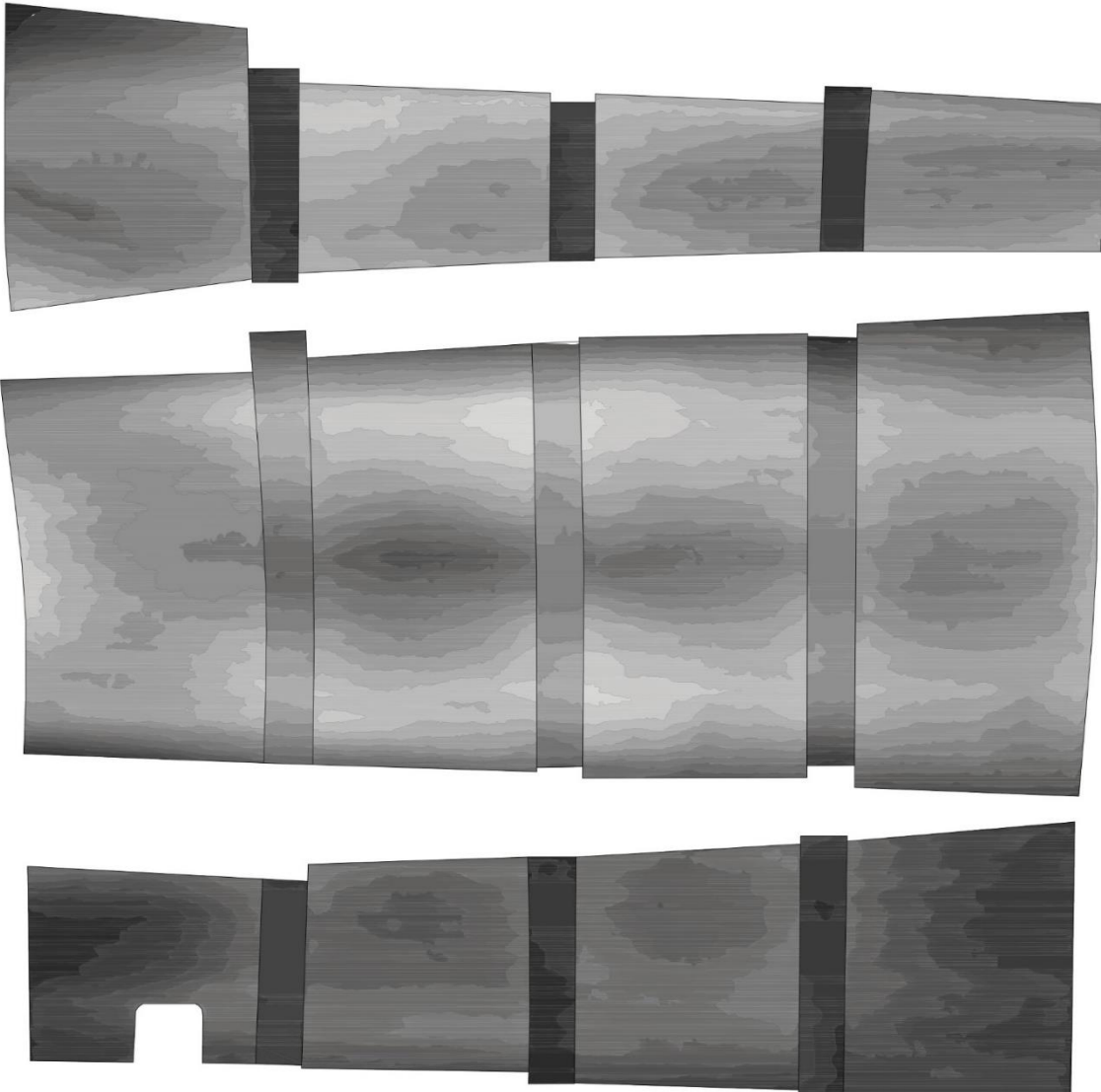




UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI

***“ESTUDI DES GLÈISES EN CORNAENCLINC DE
VÒUTES ESCARRAMINGADES”***

SERGIO COLL PLA



TESIS DOCTORAL

2017

SERGIO COLL PLA

ESTUDI DES GLÈISES EN CORNAENCLINC
DE VÒUTES ESCARRAMINGADES

TESIS DOCTORAL

dirigida por

Dr. JOSEP LLUIS I GINOVART y Dr. AGUSTÍ COSTA I JOVER

UNITAT PREDEPARTAMENTAL D'ARQUITECTURA

GRUP DE RECERCA ARCHITECTURAL HERTIAGE-PATRIARQ



UNIVERSITAT ROVIRA i VIRGILI
REUS 2017



UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI

HAGO CONSTAR que el presente Trabajo, titulado “ESTUDI DES GLÈISES EN CORNAENCLINC DE VÒUTES ESCARRAMINGADES”, que presenta SERGIO COLL PLA para la obtención del título de Doctor, ha sido realizado bajo mi dirección en el Departamento UNITAT PREDEPARTAMENTAL D’ARQUITECTURA de esta universidad

Reus a 27 de junio de 2017

Los director/es de la tesis doctoral

Josep Lluís I Ginovart

Agustí Costa Jover

A mis padres Angel y Rosa.

A Hermínia.

PRESENTACIÓN DEL VICESINDIC DETH CONSELH GENERAU D'ARAN

Plan Illustre Mossen Josep Maria Mauri i Prior, Vicari Generau deth Bisbat d'Urgelh. Illustre e Reverend Mossen Pèrre Balagué, Archiprèst d' Aran, Plan Illustre Doctor Sr. Joaquin Ruíz de Arbulo Bayona (Catedratic d'Arqueologia de Grècia e Roma, dera Universitat Rovira i Virgili e President deth Tribunau Acadèmic d' aguesta tèsi. Plan Illustre Doctor Albert Samper Sosa, Professor e investigador de geometria dera Escòla d'Arquitectura dera Universitat Rovira i Virgili e membre deth Tribunau Acadèmic d'aguesta tèsi. Plan Illustre Doctor Pedro Casariego Vales, Subdirector School of Architecture of Universitat Internacional de Catalunya e membre deth Tribunau Acadèmic d'aguesta tèsi. Plan Illustre Doctor Josep Lluís i Ginovart, Dean of School of Architecture of Universitat Internacional de Catalunya e codirector d' aguesta tèsi. Plan Illustre Doctor Agustí Costa Jover, Professor e investigador dera Escòla d'Arquitectura dera Universitat Rovira i Virgili e codirector d' aguesta tèsi. Sr. Sergio Coll Plà, defensor dera tèsi "Estudi des glèises en cornaenclinc de vòutes escarramingades", Magnific Sr. José Antonio Bruna Vilanova Conselhèr peth Terçon d'Arties e Garòs deth Conselh Generau d' Aran. Magnific Sr. Amador Marqués Atés Conselhèr peth Terçon de Quate Lòcs deth Conselh Generau d' Aran, Illustre Sr. Pau Perdices Plà, Cap de Gabinet de Sindicatura e còsso der Ajuntament de Vielha Mijaran. Illustre Sra. Luisa Estevez Sans, còsso der Ajuntament de Vielha Mijaran. Plan Excellent Sr. Jusèp Loís Sans, President der Institut d' Estudis Aranesi -Acadèmia aranesa dera lengua occitana. Plan Excellent Sr. Jèp de Montoya e Parra, President dera Seccion Aranesa der Institut d' Estudis Aranesi - Acadèmia aranesa dera lengua occitana e Assessor en Cultura e Patrimòni deth Conselh Generau d' Aran. Plan Illustre Sra. Angelina Cases Andreu, Vicepresidenta der Institut d' Estudis Aranesi-Acadèmia aranesa dera lengua occitana. Sra. Mónica López Piquer, Arquitecta e investigadora dera Universitat Internacional de Catalunya. Sr. Elisa Ros Barbosa, Tecnica en Patrimòni deth Conselh Generau d' Aran. Sra. Carla del Valle Lafuente, Directora deth Musèu dera Val d' Aran. Mónica Rodríguez Sampedro, Tecnica deth Musèu dera Val d' Aran. Estimada família deth Sr. Sergio Coll. Senhores e Senhors, Creigui qu' ei un dia gran e de hèsta autant tath Sr. Sergio Coll Plà qu' a defensat ua tèsi importatissima sus eth prumèr romanic des nòstes glèises, coma tara Acadèmia, tara Universitat e particularment entara Escòla Superior d' Arquitectura dera Universitat Rovira i Virgili.

Jo en nòm dera Val d' Aran e coma Vicesindic deth Govèrn deth País voi arregraïr era disposicion e valentia qu' auetz agut entà portar un acte tan important e simbòlic entara nòsta Val, laguens d' aguest marc de Santa Maria d' Arties. Voi creir qu'aciu totes es explicacions recebudes an prèus ua amplitud e essència qu'en un aute contèxte non auéssem respirat. Gràcies de tot còr!.

Eth treball hèt per tota era equipa damb eth Doctor Josep Lluís i Ginovart, vertadèr inventor d' aquest projècte e pRòcès, es Doctors Agustí Costa e Sergio Coll, era investigadora Mònica López e toti es vòsti collaboradors e alumnes, ath torn d' uns 150, an estat e son tà nosati d' ua importància vital.

Era tèsi que s' a liejut e defensat aué ei era punta der icebèrg deth gran trabalh hèt lèu durant sies ans pes Escòles Superiors d' Arquitectura dera Universitat Rovira i Virgili e Internacional de Catalunya, per Arquevescat d' Urgel, pera Glèisa Aranesa, peth Departament de Cultura e Patrimòni e pes Servicis Tecnicos deth Conselh Generau d'Aran damb d' auti collaboradors que s' an anant higent a trauès deth temps ath projècte.

Voi que sabesquetz toti qu' eth govèrn deth País ei conscient dera qualitat excèlsa deth vòste trabalh e qu' eth madeish e aguesta prumera tèsi damb d' autes, que segur qu' arribaràn, son importantíssims entà bastir eth nòste expedient de poder demanar en quauque moment ara UNESCO de qu' era Val d' Aran sigue declarada Patrimòni dera Umanitat. Fòrça gràcies a toti e enorabona ath Sr. Sergio Coll.

Luís Carlos Medina Modroño

Vicesindic deth Conselh Generau d'Aran

PRESENTACIÓN DEL VICESINDIC DETH ASSESSOR EN CULTURA E PATRIMONI DETH CONSELH GENERAU D'ARAN

Plan Illustre Mossen Josep Maria Mauri i Prior, Vicari Generau deth Bisbat d' Urgelh. Magnific Sr. Luís Carlos Medina Modroño, Vicesindic deth Conselh Generau d' Aran. Illustre e Reverend Mossen Pere Balagué, Archiprèst d' Aran. Plan Illustre Doctor Sr. Joaquin Ruíz de Arbulo Bayona (catedratic d' Arqueologia de Grècia e Roma dera Universitat Rovira i Virgili e President deth Tribunau Acadèmic d' aguesta tèsi. Plan Illustre Doctor Albert Samper Sosa, Professor e investigador de geometría dera Escòla d' Arquitectura dera Universitat Rovira i Virgili e membre deth Tribunau Acadèmic d' aguesta tèsi. Plan Illustre Doctor Pedro Casariego Vales, Subdirector School of Architecture of Universitat Internacional de Catalunya e membre deth Tribunau Acadèmic d' aguesta tèsi. Plan Illustre Doctor Josep Lluís i Ginovart, Dean of School of Architecture of Universitat Internacional de Catalunya e codirector d' aguesta tèsi. Plan Illustre Doctor Agustí Costa Jover, Professor e investigador dera Escòla d' Arquitectura dera Universitat Rovira i Virgili e codirector d' aguesta tèsi. Sr. Sergio Coll Plà, doctorant defensor dera tèsi "Estudi des glèises en cornaenclinc de vòutes escarramingades". Magnific Sr. José Antonio Bruna Vilanova Conselhèr peth Terçon d'Arties e Garòs deth Conselh Generau d' Aran, Magnific Sr. Amador Marqués Atés Conselhèr peth Terçon de Quate Lòcs deth Conselh Generau d' Aran, Illustre Sr. Pau Perdices Plà, Cap de Gabinet de Sindicatura e còsso der Ajuntament de Vielha Mijaran. Illustre Sra. Luisa Estevez Sans, còsso der Ajuntament de Vielha Mijaran. Plan Excellent Sr. Jusèp Loís Sans, President der Institut d' Estudis Aranesi -Acadèmia aranesa dera lengua occitana. Plan Illustre Sra. Angelina Cases Andreu, Vicepresidenta der Institut d' Estudis Aranesi - Acadèmia aranesa dera lengua occitana. Sra. Mónica López Piquer, Arquitecta e investigadora dera Universitat Internacional de Catalunya. Sr. Elisa Ros Barbosa, Tecnica en Patrimòni deth Conselh Generau d' Aran. Sra. Carla del Valle Lafuente, Directora deth Musèu dera Val d' Aran. Mónica Rodríguez Sampedro, Tecnica deth Musèu dera Val d' Aran. Estimada família deth Sr. Sergio Coll, Senhores e Senhors,

Aué ei un dia important entara Val d' Aran e tath nòste patrimòni culturau e monumentau. Eth Sr. Sergio Coll va a pronunciar e defensar era sua tèsi sus es nòstes glèises deth prumèr romaníc damb eth títol de "Estudi des glèises en cornaenclinc de vòutes escarramingades". An estat lèu sies ans de relacion contínua e constant des de qu'eth Dr. Josep Lluís i Ginovart, aconselhat peth Sr. Ferran Peus e acompanyat der alavetz conselhèr deth Conselh Generau d' Aran Sr. Marcos Vilò s' apropèren en Conselh entà méter en marcha era collaboracion entre era Escola Superior d'Arquitectura dera Universitat Rovira i Virgili e eth Conselh Generau d' Aran. Es estudiants d' arquitectura anauen a auer un camp de trabalh sus eth terrenh damb accés as glèises, entà diboishar-

les, tà estudiar-les, tà sajar de comprèner es sues patologies e es diferents solucions qu'a trauès deth temps pendent 800 ans es aranesi an cercat tà mantier-les en pè, atau coma aportar naues solucions e formes d'interpretacion e explicacion tà comprenec.

Era armonia damb eth Bisbat d' Urgel, damb eth son Arquevèsque e Coprinse d'Andorra, Monsenhor Joan Enric Vives ath dauant, eth sòn Vicari Generau e director deth patrimòni Mossen Josep Maria Mauri, es mossens aranesi, damb Mossen Pèrre Balagué com archiprèst dera Val e es sòns tecnicos, atau com damb eth Departament de Cultura e Patrimòni, damb era tecnica Elisa Ros e es Servicis Tecnicos deth Conselh Generau an estat vitaus tà artènher era quantitat e qualitat des trabalhs que s'an anat hèn pes diferents estudiants e coma non er escanejat de quaranta tres glèises e capèles dera Val hètes peth grop de colaboradors deth Dr. Josep Lluís, eth Dr. Agustí Costa, era investigadora Sra. Mónica López, eth madeish doctorant Sr. Sergio Coll damb d' auti expèrts qu'un viatge damb es donades pRòcessades estan dant a conèisher molts secrets dera construccion des madeishes, entre d' auti es que mos desnisharà aué eth Sr. Coll.

Aué damb aquesta lectura presentacion e defensa dera tèsi doctorau deth Sr. Coll era Universitat, era Acadèmia ven a portar ath territòri e ath pòble aranés era sciéncia, eth saber, es conclusions as que s'an arribat en tot méter es bases d'estudi tà que trabalhs posteriors poguen seguir aportant coneishement.

Gràcies a toti pera sua assisténcia e ath programa de Doctorat en Arquitectura, Urbanisme e Edificacion dera Escòla Superior d' Arquitectura dera Universitat Rovira i Virgili atau coma ath Tribunal qualificador pera sua generositat, esprit magnanim e condescendéncia per auer accedit qu'aguesta defensa de tèsi age gessut des parets dera Universitat e age vengut entara Val d' Aran que volerie projectar-se com un lòc important laguens deth Patrimòni dera Umanitat.

Sense més dilacion vam a passar ara part centrau der acte qu'ei era exposicion e defensa dera tèsi per part deth Sr. Sergio Coll.

Gràcies a toti.

Jèp de Montoya e Parra

Assessor en Cultura e Patrimòni deth Conselh Generau d' Aran

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar la redacción y realizar un ejercicio de retrospectiva se hace inevitable la necesidad de mostrar agradecimiento a aquellas personas que han estado presentes en el proceso de construcción de esta tesis.

Debo agradecer primero a Josep Lluís i Ginovart su insistencia en que me adentrara en el ámbito de la construcción románica del Val d'Aran y del patrimonio y su persistente condición de guía, tutor, que tanto me ha aportado.

Debo agradecer al Obispado de Urgell dejarnos documentar las Iglesias del Val d'Aran concretamente al Reverendo Mosen Pere Balaguer por las gestiones realizadas. Al Conselh Generau d'Aran por su ayuda. Más concretamente al Sr. Jep de Montoya e Parra por creer y confiar en el proyecto, a Elisa Ros Barbosa por ayudarnos con la contextualización histórica y en la logística de las campañas. A los agentes de la brigada del Conselh Generau d'Aran, Francisco Javier Antonio Gonzalez, Josep Morales Sanchez, Juan Estévez Sans, Juan Manuel Moga Muñoz, Manuel Aunos Fernandez, Manuel Barella Peguera por los esfuerzos realizados.

Los colaboradores que han pasado por él además de los ya mencionados: Igone Sota, Casandra Debois, Mauro Viciano, Debo agradecer a Agustí Costa Jover su amistad y su ayuda en todos los estados de la investigación, agradecer también la colaboración de Mónica López, Denitza Nikolaeva, Noelia Martínez, Ivette Martín-Moreno, Anna Royo y Jaume Fabregat. Una vez más, he de agradecer la plataforma de discusión y razonamiento generada en el grupo de investigación Architectural Research, como todos Genís Boix, Alejandro Serrano, Alba Campos, Ana María Solís, Carles Esteve, David Hurtado, Gemma Daunis, Laia Alarcón, Raquel Mora, Tamara Carballal, David Moreno, Víctor Pérez, Stoyana Zahara, Anna Saballs, Helena Martí y Andreas Panayotu.

Debo agradecer a Pau de Solà-Morales Serra (director de la Escuela de Arquitectura de Reus) y a Arturo Frediani su comprensión en los últimos meses y a Jordi Sardà sus necesarios consejos.

Finalmente, no deben faltar en este apartado aquellas personas que desde una perspectiva menos académica y más de acompañamiento, constancia, han hecho más fácil el intenso camino que implica la tesis. En este sentido agradezco a Laura Coll Pla, Herminia Domenech Martorell, Xisco Gelabert Muñoz y todos los que en algún momento de este recorrido habéis aportado el soporte y la comprensión que han ayudado a que esto sea posible.

Gracias.

RESUM

Era Val d'Aran se place ena cara Nord des Pirenèus. Es sues caracteristiques geografiques e climatiques, atau coma era sua orientacion cap ar Atlantic an condicionat ath long dera istoria toti es factors dera societat entre eri era arquitectura e era construccion. Aguest ei un des principaus motius entà qu'era sua arquitectura age agut ua difusion escassa. Siguec a compdar deth torisme pirenenc provinent de França que siguec coneishuda. Violet le Duc, Elies Rogent, Puig i Cadafalch, Domenech i Monater e Basegoda Nonell son autors que posterioramente realizen aportacions scientificas subergessentes.

Era presenta investigacion se plantege en contèxte dera assignatura de Construccion VI dera Escola d'Arquitectura de Reus dera Universitat Rovira i Virgili. Es trabalhs practics des alumnes suscitèren er interès ena generacion dera informacion damb metodes de captura massiva de donades coma er escanèr lasèr. Es campanhes d'escaneg lasèr se realizen en totes es glèises dera Val d'Aran, en tot hèr-ne un totau de 43 e sonque se prescindís der escaneg dera glèisa de Baqueira e dera glèisa consagrada de Mijaran. Autant ua coma era auta son de recenta construccion.

Aguesta Tèsi Doctorau se centre en estudi des glèises deth prumèr romanic segontes era classificacion d'Emmanuel Garland. Ei vertat qu'autors coma Puig i Cadafalch heren a conèisher e descriueren quauques glèises, principalement es glèises basilicaus. Ua des caracteristiques mès importantes dera arquitectura romanica ei er us de voutes. Puig i Cadafalch e Basegoda Nonell sagèren d'explicar era sua origina e forma.

Un prumèr objectiu ei eth de generar ua documentacion planimetrica, realizada a compdar de bromes de punts que complemente era ja realizada per Domenech i Montaner, Puig i Cadafalch e Basegoda Nonell.

Un dusau objectiu consistís en estudi des construccions prescientificas. Aguestes plantegen un especiau interès entà determinar quines son es principis en qué se basauen es constructors des edificis romanics. Es obres de fabrica dera Val son absolutament deformables e formarien part d'aguest grop de construccions damb aguesta fenomenologia caracteristica. Es glèises romaniques dera Val d'Aran son un conjunt unitari d'edificis qu'an estat poc alteradi ath long dera istoria.

Es resultats mostren dues tipologies d'edificis qu'atien a principis geometricas e d'estabilitat plan diferenti. Tanben mostre era viabilitat deth metode seguit entar estudi des assetaments e esbauçaments en tot èster d'utilitat tanben entà cimentar es bases entà obtier critèris de simplificacion que permeterà estudis damb elements finits.

RESUMEN

El Val d’Aran se sitúa en la cara Norte de los Pirineos. La ubicación, sus características geográficas y climáticas, así como su orientación hacia el Atlántico han condicionado a lo largo de la historia todos los factores de la sociedad, entre ellos la arquitectura y la construcción.

Esta ubicación es también uno de los principales motivos para que su arquitectura haya tenido una difusión escasa. Es gracias al turismo pirenaico proveniente de Francia que tenemos las primeras referencias documentales de las iglesias románicas. Viollet-le-Duc, Elies Rogent, Puig i Cadafalch, Domènech i Montaner y Bassegoda Nonell realizaron trabajos de documentación de estas iglesias generando una importante base documental, donde se muestra que las iglesias Romanicas del Val d’Aran son un conjunto unitario de edificios que han sido poco alterados a lo largo de la historia.

Esta tesis doctoral se centra en el estudio de las iglesias del primer románico según la clasificación de Emmanuel Garland, habiéndose estudiado algunas de estas por Puig i Cadafalch, quien no discernió entre primer y segundo románico. Para su estudio se han realizado campañas de escaneo laser en todas las iglesias del Val d’Aran, un total de 43. Únicamente se prescinde del escaneo de la iglesia de Vaqueira y la iglesia consagrada de Mijaran, tanto una como otra son de reciente construcción.

Esta tesis tiene un primer objetivo, el de generar una documentación planimétrica, realizada a partir de nubes de puntos que complementa la ya realizada por Domènech i Montaner, Puig i Cadafalch i Bassegoda Nonell.

Un segundo objetivo consiste en el estudio de estas construcciones precientíficas, que plantean un especial interés para la determinación de los principios en que se basaron sus constructores. Es característica relevante en estas obras de fábrica de la Vall mostrar una gran plasticidad. Los resultados muestran dos tipologías de edificios que atienden a principios geométricos y de estabilidad muy diferentes.

INDIICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	19
1.1.	<i>Origen de la Tesis y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN</i>	19
1.2.	<i>Objetivo</i>	23
1.3.	<i>Estructura de la Tesis</i>	23
2.	CONTEXTO GENERAL DE LAS IGLESIAS ROMANICAS ARANESAS.....	27
2.1.	<i>Visión general del románico</i>	27
2.1.1.	Contexto histórico.....	27
2.1.2.	Las escuelas Romanicas.....	31
2.1.3.	Características constructivas del primer románico.....	32
2.1.3.1.	Bóvedas:.....	33
2.1.3.2.	Muros:.....	34
2.1.3.3.	Pilares:.....	35
2.2.	<i>La arquitectura romanica del Val d'Aran</i>	35
2.2.1.	Autores de referencia.....	35
2.2.2.	Arquitectura Aranesa.....	38
2.2.3.	Límite temporal y geografico DE LA INVESTIGACIÓN.....	40
2.2.4.	Muestra representativa.....	41
3.	MARCO TEÓRICO PARA EL ESTUDIO DE CONSTRUCCIONES DE FABRICA.....	45
3.1.	<i>Levantamiento topográfico y analisis geométrico</i>	45
3.1.1.	Elección del sistema de levantamiento topográfico.....	45
3.1.2.	Principios basicos de funcionamiento del escaner laser terrestre.....	47
3.1.3.	Nubes de puntos y analisi geométrico de construcciones históricas.....	48
3.2.	<i>Mecanica de obra de fabrica</i>	49
3.2.1.	caracterización del material.....	49
3.2.2.	Contexto histórico de la teoría de arcos de obra de fabrica.....	49
3.2.3.	Desarrollo de los conceptos de catenaria y línea de empujes aplicados al analisis de arcos.....	51
3.2.3.1.	<i>Colapso de estructuras de obra de fabrica</i>	52
3.2.4.	Métodos de analisis de estructuras de obra de fabrica.....	53
3.2.4.1.	<i>Analisis límite de arcos de fabrica</i>	54
3.2.4.2.	<i>Teoremas fundamentales y enfoque del equilibrio</i>	55
4.	MÉTODO.....	57
4.1.	<i>Levantamiento</i>	57
4.1.1.	Trabajos previos.....	57
4.1.2.	CAMPAÑA DE TOMA DE DATOS.....	58
4.1.3.	Post pRocesado.....	59

4.2.	<i>Dibujado, Definición volumétrica y criterios de representación</i>	60
4.3.	<i>Estudio de los asentamientos y desplomes</i>	61
4.3.1.	Estudio del asentamiento de la bóveda	62
4.3.2.	Estudio de los desplomes de los pilares	64
4.3.3.	Estudio del desplome de los muros de la nave (sur y norte)	65
4.3.4.	Estudio del desplome del muro oeste y del ábside	67
4.4.	<i>Estudio de la estabilidad de las iglesias con bóvedas</i>	67
4.4.1.	Definición de la obra de fabrica	68
4.4.2.	Estudio de las condiciones de equilibrio	68
4.5.	<i>Convenios de dibujo utilizados</i>	69
5.	RESULTADOS	71
5.1.	<i>Resultado de los escaneos</i>	71
5.1.1.	Primera campaña.....	74
5.1.2.	Segunda campaña.....	80
5.1.3.	Tercera campaña	86
5.1.4.	Cuarta campaña.....	92
5.1.5.	Quinta campaña.....	99
5.1.6.	Sexta Campaña	115
5.1.7.	Septima campaña	126
5.2.	<i>Definición volumétrica de las edificaciones</i>	129
5.2.1.	SANT FABIAN D' Arres de Jos	131
5.2.2.	SANT JOAN D'Arros e Vila.....	132
5.2.3.	SANTA MARIA DE Cap d'Aran de Tredòs	133
5.2.4.	Sant Roc de Begòs.....	137
5.2.5.	Sant Miquèu de Vilamòs.....	139
5.2.6.	Sant Pèir de Betlan	141
5.2.7.	Sant Estèue de Tredòs.....	143
5.2.8.	Sant Pèir d'Escunhau	145
5.2.9.	Santa Eulària d'Unha	148
5.2.10.	Santa Maria de Mijaran	152
5.2.11.	Santa Maria de Vilamòs.....	155
5.3.	<i>Estudio de la estabilidad de las secciones más significativas</i>	159
5.3.1.	Definición de la obra de fÁbrica.....	159
5.3.1.1.	Sant fabian d'Arres de Jos.....	159
5.3.1.2.	Sant Miquèu de Vilamòs.....	159
5.3.1.3.	Sant Pèir de Betlan	160
5.3.1.4.	Sant Roc de Begòs.....	160
5.3.1.5.	Sant Estèue de Tredòs	161
5.3.1.6.	Sant Joan d'Arros e Vila	161
5.3.1.7.	Sant Pèir d'Escunhau	162
5.3.1.8.	Santa Maria de Mijaran	162
5.3.1.9.	Santa Eulària D'Unha	163
5.3.1.10.	Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs.....	163
5.3.1.11.	Santa Maria de Vilamòs.....	165
5.3.2.	Estudio de las líneas de presiones	167
5.3.2.1.	Estudio por los puntos de máximo asentamiento de la bóveda	168
5.3.2.1.1.	<i>Arros e Vila</i>	168
5.3.2.1.2.	<i>Sant Miquèu de Vilamòs</i>	168
5.3.2.1.3.	<i>Sant Pèir de Betlan</i>	169
5.3.2.1.4.	<i>Sant Roc de Begòs</i>	169
5.3.2.1.5.	<i>Santa Eulària d'Unha</i>	170

5.3.2.1.6.	Santa Maria de Vilamós.....	171
5.3.2.2.	Estudio de las secciones transversales por los pilares.....	171
5.3.2.2.1.	santa eulària Unha.....	171
5.3.2.2.2.	Santa Maria de Vilamós.....	173
5.3.2.3.	Estudio de las líneas de presión por los planos de máxima inclinación de los pilares de Santa Eulària d'Unha.....	174
6.	DISCUSIÓN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
6.1.	<i>Consideraciones sobre las campañas de escaneo.....</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
6.2.	<i>CONSIDERACIONES SOBRE EL REDIBUJADO DE LAS IGLESIAS.....</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
6.3.	<i>Consideraciones sobre la discriminación de los elementos constructivos.</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
6.3.1.	Estudio topográfico de las bóvedas.....	¡Error! Marcador no definido.
6.3.2.	Estudio del eje de los pilares.....	¡Error! Marcador no definido.
6.3.3.	Estudio topográfico de los muros.....	¡Error! Marcador no definido.
6.3.4.	Estudio del desplome en las impostas de muros y pilares.....	¡Error! Marcador no definido.
6.4.	<i>Sobre el Estudio de la estabilidad.....</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
6.4.1.	Estudio de la estereotomia.....	¡Error! Marcador no definido.
6.4.2.	ANÁLISIS LÍMITE.....	¡Error! Marcador no definido.
7.	CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE FUTURO.....	177
8.	BIBLIOGRAFIA.....	193
8.1.	<i>protección del patrimonio.....</i>	193
8.2.	<i>el románico.....</i>	193
8.3.	<i>métodos de levantamiento.....</i>	197
8.4.	<i>obra de fabrica y mecanica de fabrica.....</i>	200
9.	ÍNDICE DE IMAGENES.....	207
10.	ÍNDICE DE ESQUEMÁS.....	211
11.	ÍNDICE DE TABLAS.....	213

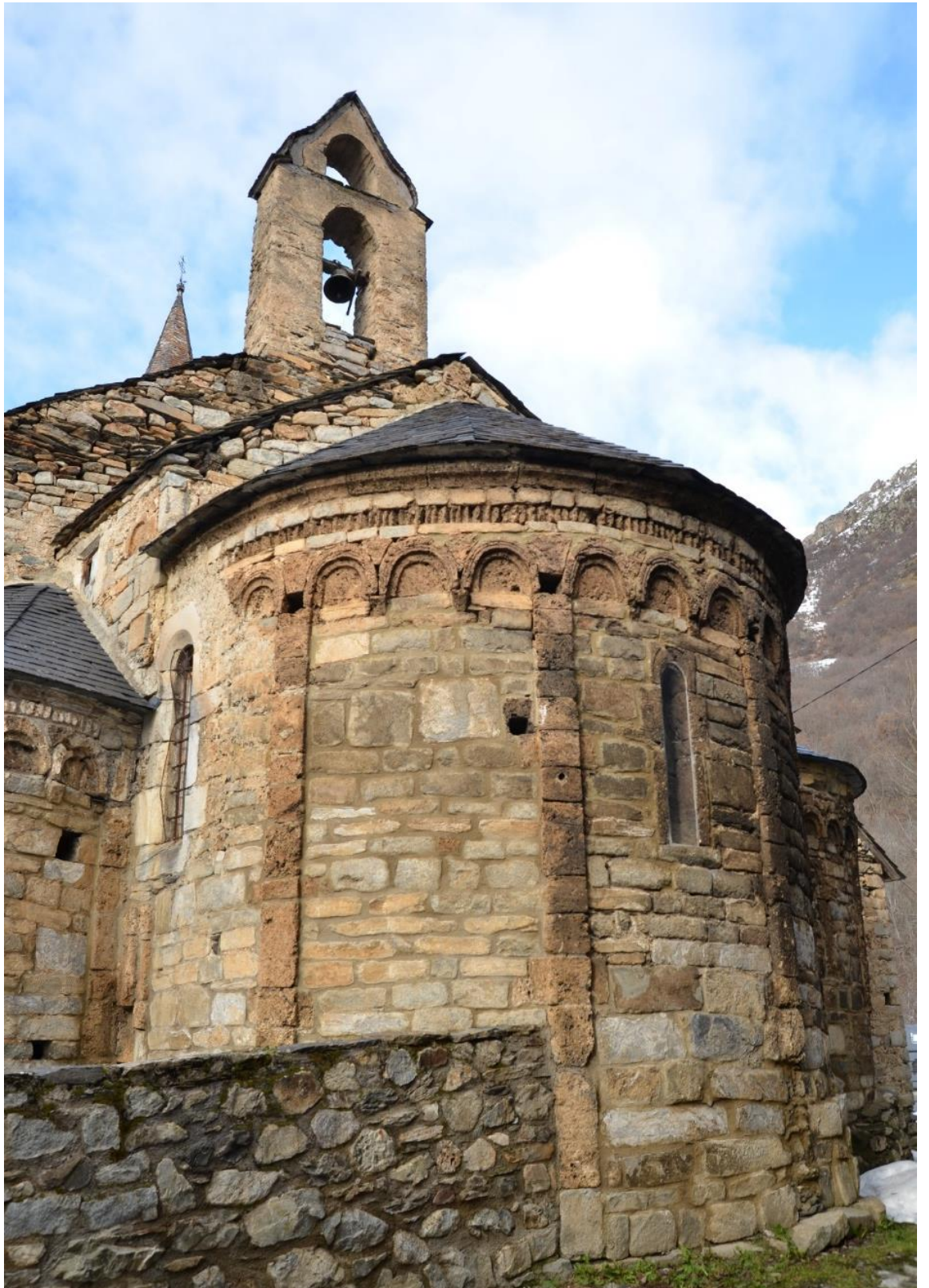


Imagen 1. Costa-Jover A. (2015). Àbside central de Santa Eulària d'Unha

1.INTRODUCCIÓN

Esta tesis doctoral titulada “ESTUDI DES GLÈISES EN CORNAENCLINC DE VÒUTES ESCARRAMINGADES” presenta los primeros estudios científicos realizados en las iglesias románicas del Val d’Aran partiendo del uso de escáner laser para realizar la toma de datos. El título responde a la definición constructiva de las iglesias, siendo la traducción literal de este “Estudio de las Iglesias no ortogonales con bóvedas abiertas”. Hay dos palabras que merecen una explicación más concreta:

El término “cornaenclinc” implica todo aquello que se construye sin ángulo recto (es decir en ángulo agudo u obtuso), así como aquellos pilares distribuidos de forma sesgada (inclinaciones, rocas, etc.). Se entiende que esta palabra da respuesta a un sistema constructivo donde la falta de espacio, las técnicas y los conocimientos de que se dispone en el momento caracterizan la construcción.

El término “escarramingada” significa abierta en sus apoyos. Se utiliza para hacer referencia a la forma en que se asientan las bóvedas románicas, abriéndose desde su apoyo con los muros hacia el exterior.

Los dos términos han sido utilizados en la construcción y montaje de "charpantes" por los carpinteros araneses. Jèp de Montoya e Parra los documentó hace más de 30 años tras entrevistar el “charpantier” José Combalí e Vilo de Casa d’Escaler de Les. Junto con Verónica Barés, técnica en política lingüística, han constatado que en el idioma occitano el sufijo “clinc” o “en clinc” significa realizado de forma oblicua al sesgo (Montoya, 2017)¹.

1.1.ORIGEN DE LA TESIS Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

Los inventarios Las iglesias estudiadas en esta investigación han permanecido durante siglos dentro del entorno pirenaico, afirmándose como una parte característica del Val d’Aran. El paso de los años es palpable en estos edificios, y nos brinda la oportunidad de acercarnos a conocer la historia que se explica en sus paredes y el comportamiento de las construcciones con el paso del tiempo. Erosión, asentamientos, intervenciones posteriores, añadidos, cambios de uso, etc. son solo alguno de los factores que han dejado huella en estas edificaciones.

El interés por estas construcciones precientíficas reside en los importantes asentamientos que presentan y que, en algunos casos, han llevado la estructura al límite de su estabilidad. Los edificios con grandes desplomes anteriores al gótico son escasos (Choisy, 1904)². Las obras de fábrica del Val d’Aran pertenecen a este grupo de construcciones.

¹ MONTOYA E PARRA, J., (2017). Transcripción de entrevista oral

² CHOISY, A. (1904). L’Art de Batir chez les Égyptiens. Paris: Éduard Rouveyre, Éditeur.

En la actualidad, la custodia de estos edificios y paisajes del Val d'Aran ha de procurarse a través de los postulados que establecen los documentos internacionales sobre la conservación del patrimonio. Especialmente *El Documento de Nara en Autenticidad* (1994)³; *Carta del patrimonio vernáculo construido* (1999)⁴, ratificada por la 12ª Asamblea General de ICOMOS en México; la Carta de Cracovia (2000)⁵; los *Principios para el análisis, conservación y restauración de las estructuras del patrimonio arquitectónico* (2003)⁶ de la 14ª Asamblea General del ICOMOS, en Victoria Falls, Zimbabwe; y por último el *Convenio europeo del paisaje*, Florencia 20 octubre de 2000⁷.

En el contexto de la documentación y catalogación en patrimonio arquitectónico, los inventarios consultados donde se realiza una recogida de datos sistemática están basados (en su mayoría) en el dibujo o la fotografía. Son ejemplo de esto el archivo de Josep Maria Gavin i Barceló⁸ y la *Guía de arquitectura de Ibiza y Formentera, Islas Pitiusas* de Elías Torres⁹.

En el caso de las iglesias del Val d'Aran, Josep Puig i Cadafalch (1897-1956) y Lluís Domènech i Montaner (1850-1923) a principios de siglo reconocieron la relevancia arquitectónica de estas iglesias románicas e iniciaron un inventario gráfico y fotográfico¹⁰.

Partiendo de este contexto se impulsa la realización de un estudio arquitectónico en profundidad de las iglesias románicas del Val d'Aran desde la asignatura "Patologías y Rehabilitación" -dirigida en sus inicios por Josep Lluís i Guinovart en la Escuela de Arquitectura de la Universidad Rovira i Virgili de Reus. Desde 2012, y con la intención de ofrecer la posibilidad de aprender en un contexto práctico, los alumnos de esta asignatura participan en campañas para la realización de una serie de levantamientos de iglesias en el Val d'Aran. Las campañas de toma de datos continúan dentro de la asignatura citada a lo largo de los cursos (2013-14), (2014-15), (2015-16) y (2016-17). Tenemos la previsión de finalizar esta toma de datos con métodos manuales el curso (2017-18)¹¹. Estas primeras aproximaciones con alumnos nos permiten estudiar las patologías constructivas existentes en las iglesias.

Es durante este proceso de formación práctica en patrimonio, patologías y rehabilitación donde nos damos cuenta de las oportunidades de estudio que nos ofrecen las iglesias románicas. Estos estudios iniciales motivaron las campañas de toma de datos con métodos masivos como el escaneo laser desde el grupo de investigación Architectural Heritage – PATRIARQ (grupo de investigación centrado en el estudio del patrimonio histórico y arquitectónico, con especial énfasis en la arquitectura medieval)¹².

El trabajo dentro del equipo PATRIARQ ha permitido profundizar en la aplicación de técnicas y el desarrollo de procesos para el estudio del patrimonio arquitectónico.

Las primeras aplicaciones de técnicas de captura masiva de datos se testearon en la Catedral de

³ (1994) CONFERENCIA NARA. Documento de Nara sobre Autenticidad. UNESCO, ICCROM e ICOMOS Nara. Japón.

⁴ 12ª ASAMBLEA GENERAL, (1999). Carta del Patrimonio vernáculo construido. ICOMOS, *International Council on Monuments and sites*. Mexico.

⁵ Conferencia Internacional sobre Conservación (2000). Carta de Cracovia: "Patrimonio Cultural como fundamento del Desarrollo de la Civilización

⁶ 14ª ASAMBLEA GENERAL (2003). Principios para el análisis, conservación y restauración de las estructuras del Patrimonio Arquitectónico. ICOMOS *International Council on Monuments and sites*. Victoria Falls (Zimbabwe).

⁷ CONSEJO DE EUROPA (2000). *Convenio europeo del paisaje*. Florencia.

⁸ www.arxiugavin.wordpress.com

⁹ TORRES, Elías (1981). *Guía de arquitectura de Ibiza y Formentera, Islas Pitiusas*. Barcelona: Col·legi Oficial d'Arquitectes de Catalunya.

¹⁰ ALCOLEA, S. (2008). *La missió arqueològica del 1907 als Pirineus*, Barcelona: Fundació La Caixa.

¹¹ LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2016). *Tranhntem Lapidés MMXVI. Treball dels alumnes de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura Universitat Rovira i Virgili*. Reus: Grupo de Investigación PATRIARCH. ISSN: 978-84-608-6899-6

¹² www.patriarq.wordpress.com

Tortosa (1345-1775). Se utilizó la técnica fotogramétrica Close Range Photogrammetry¹³, así como un Escáner Laser Terrestre (Terrestrial Laser Scanner, TLS)¹⁴. A través de estos métodos se consiguió la topografía en tres dimensiones de la compleja geometría del monumento. Paralelamente, y aunque el procedimiento no se ha utilizado en la presente tesis, también se estudió el subsuelo a través de técnicas de radar (Ground Penetrating Radar, GPR)¹⁵, siendo posible identificar estructuras ocultas en el subsuelo que permitieron plantear una hipótesis sobre la Seo Románica preexistente.

Desde PATRIARQ se han llevado a cabo también diversas investigaciones que abordaban el análisis geométrico de construcciones patrimoniales. El objetivo principal de estas era el de poner en práctica y analizar las técnicas de trazado utilizadas. Son ejemplo de este tipo de investigación: el caso de los ingenieros militares españoles¹⁶; la mencionada catedral de Tortosa¹⁷; los arcos catenarios en las cooperativas vinícolas modernistas de Cataluña¹⁸; el anfiteatro romano de Tarragona¹⁹; o también el rosetón de la catedral de Orvieto, donde también se realizó un análisis basado en los datos y un escáner laser terrestre²⁰.

Junto al estudio geométrico, también se ha llevado a cabo el estudio sobre aspectos de mecánica en estructuras de obra de fábrica. Concretamente, también en la catedral de Tortosa, se han analizado las condiciones de equilibrio durante su construcción²¹, así como la composición de los pilares del ábside²². Esta última investigación también incorporó la utilización de técnicas de radar para analizar la composición interna de los pilares, y láser para determinar su geometría y estereotomía. En este estudio se testea una metodología que es antecedente al análisis de pilares de obra de fábrica desarrollado en la presente investigación.

En el caso concreto del Val d'Aran, los resultados iniciales de las investigaciones realizadas han sido publicados en numerosos congresos internacionales.

En el primero de ellos²³, se exponía una aproximación al análisis de la estabilidad en la iglesia de

¹³ LLUIS I GINOVART, J.; COSTA-JOVER, A.; TOLDRÀ-DOMINGO, JM.; COLL-PLA, S. (2014). Close Range Photogrammetry and Constructive Characterization of Masonry Gothic Vaults. *Revista de la construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile*. Chile: Escuela de construcción civil (Facultad de ingeniería). Volumen 13, nº 1, Abril 2014.

¹⁴ LLUIS I GINOVART, J.; COSTA-JOVER, A.; PUCHE, JM.; COLL-PLA, S. (2014). Assessment of the construction pRocess of the Cathedral of Tortosa. *Journal of architectural Conservation*, 20:3, Pages 156-169; LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S.; PUCHE FONTANILLAS, J.M. (2016). Techniques of mássive data capture: A comparative approach for the assessment of complex spaces in architectural heritage. *Revista de la Construcción*. (RDLC). Pontificia Universidad Católica de Chile, Vol 15, No 1. Pages 42-50. ISSN: 0718-915X

¹⁵ LLUIS I GINOVART, J.; COSTA-JOVER, A.; COLL-PLA, S. (2014). La reconstrucción de un palimpsesto románico mediante técnicas no destructivas, *Informás de la construcción*, vol 66, 536, eo45.

¹⁶ LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2015). The legacy of the geometry of Dürer: the Fort of San Jorge (c.1724). FORT. *The international journal of fortification and military architecture*. Vol 43, 2015. Pages 156- 167. ISSN 0261-586X; LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S.; MIRALLES JORI, R. (2016). Mechanics of Eighteenth Century Spanish Military Engineers. The Project of Gunpowder Magazines. *Fort: The international journal of fortification and military architecture*. Vol 44. Pages 133-158. ISSN: 0261-586X; LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S.; LÓPEZ PIQUER, M. (2017). Hooke's Chain Theory and the Construction of Catenary Arches in Spain. *International Journal of Architectural Heritage*. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/15583058.2017.1290851>.

¹⁷ LLUIS I GINOVART, J.; COLL PLA, S.; COSTA JOVER, A. (2016). Layout of the Gothic octagonal dome of Tortosa Cathedral. *International Journal of Heritage Architecture; Studies, Repairs and Maintenance*. Vol 1, No 1. Pages 99-113. ISSN: 2058-833X

¹⁸ LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S.; LÓPEZ PIQUER, M. (2016). Layout of Catenary Arches in the Spanish Enlightenment and Modernism. *Nexus Network Journal: Architecture and Mathematics*, October 2016. DOI 10.1007/s00004-016-0313-9.

¹⁹ LLUIS I GINOVART, J.; TOLDRÀ, J. M.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2016). Quaestiones geometriae in the Amphitheatre of Tarragona. *Journal of Cultural Heritage*. Vol 18 March–April 2016, Pages 333-341. Doi 10.1016/j.culher.2015.09.002

²⁰ LLUIS I GINOVART, J.; SAMPER, A.; HERRERA, B.; COSTA, A.; COLL, S. (2016). Geometry of the Icosikaidigon in Orvieto Cathedral. *Nexus Network Journal: Architecture and Mathematics*, February 2016, Pages 1-20 DOI 10.1007/s00004-016-0289-5.

²¹ COSTA JOVER, A.; LLUIS I GINOVART, J.; COLL PLA, S. (2017). Limit Analysis and the Study of Building Stages in Masonry Structures. Experiences with the Gothic Apse of Tortosa Cathedral (1345–1441). *International Journal of Architectural Heritage*, January 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/15583058.2016.1246625>.

²² LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2016). La determinación del concepto de homogeneidad versus resistencia en los pilares de una catedral gótica mediante técnicas no invasivas. *Informás de la construcción*, Vol 68, No 543, e 155, julio-septiembre 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.119>

²³ COSTA-JOVER, A.; LLUIS I GINOVART, J.; FORTUNY-ANGUERA, G.; COLL-PLA, S. (2014). Large deformations on a XII Century Romanic church at Val d'Aran (Spain). *9th International Masonry Conference 2014 in Guimarães. Book of abstracts*. Page 221. ISBN 978- 972- 8692- 85-8.

Santa Maria d'Arties. Sus grandes deformaciones han llevado la estructura al límite de su capacidad portante.

La fábrica está compuesta por piedras de pequeño tamaño, y un mortero de propiedades mecánicas muy pobres. Esta combinación causa que la estructura sea poco rígida y que, en consecuencia, se haya ido acomodando con el tiempo, alcanzando los grandes asentamientos que presenta en la actualidad.

En este estudio, el uso combinado del análisis límite por medio de líneas de presión y el cálculo por elementos finitos (Finite Elements Method, FEM) permitió profundizar en la compresión sobre el equilibrio de las construcciones. En una dirección similar se desarrollaba la investigación en Santa Eulària de Unha, llegando a conclusiones análogas²⁴. Este estudio fue presentado en el congreso internacional STREMAH2015. En el mismo congreso se presentó el primer estudio geométrico sobre una muestra representativa de las iglesias del Val d'Aran²⁵. Esta investigación - que parte de la base topográfica desarrollada por los estudiantes de la asignatura "Patologías y Rehabilitación"²⁶- es el antecedente directo de las metodologías empleadas en la tesis. En ella se plantea por primera vez la parametrización de la geometría de estos edificios para su posterior análisis estadístico comparado.

Más adelante, en el congreso REHABEND 2016²⁷, fue presentada una comunicación donde se profundizaba, de forma teórica, en el proceso de asentamiento de las iglesias del Val d'Aran. El estudio sistemático de los desplazamientos nos permite conocer los movimientos del edificio. La tipificación de los desplazamientos de la estructura permite discretizar los distintos movimientos posibles²⁸.

Finalmente, debemos tener en cuenta la comunicación presentada en el congreso internacional HERITAGE 2016²⁹. En ella se presentan por primera vez los resultados del análisis geométrico basado en la campaña de toma de datos masiva partiendo de un escáner laser terrestre. Ésta técnica ha permitido establecer una base documental sin precedentes, que permite analizar con gran precisión la topografía de las iglesias y realizar una lectura comparada de los resultados obtenidos.

²⁴ COSTA, A.; FORTUNY, G.; FABREGAT, J.; ROYO, A. (2015). FEM assessments on roofing constructive solutions applied to a twelfth century Romanesque church at Vall d'Aran (Spain). *Stremah 2015. Proceedings of the Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIV*. Section 8. Pages 457-468. ISBN: 978-1-84564-968-5.

²⁵ LLUIS I GINOVART, J.; COLL-PLA, S.; LOPEZ-PIQUER, M. (2015) Masonry strain into Vall d'Aràn churches, *Stremah 2015. Proceedings of the Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIV*. Section 8. Pages 443-455. ISBN: 978-1-84564-968-5..

²⁶ LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2016). *Tranhntem Lapidés MMXVI. Treball dels alumnes de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura Universitat Rovira i Virgili*. ISSN: 978-84-608-6899-6; LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2016). *Glèises en Encurnanclinc de voutes Esgarramingades. Resultats de recerca i treballs dels alumnes de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura Universitat Rovira i Virgili*. ISSN: 978-84-608-9709-5

²⁷ LLUIS I GINOVART, J.; COLL, S.; LÓPEZ, M.; 2016, Las iglesias románicas del Valle de Arán y sus secciones antifuniculares. *Proceedings of 6th Euro-American Congress On Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management. REHABEND 2016*. Pages 386-393. ISBN: 978-84-608-7940-4

²⁸ LLUIS I GINOVART, J.; COLL, S.; LÓPEZ, M. (2016). Las iglesias románicas del Valle de Aran y sus secciones antifuniculares. *Proceedings of 6th Euro-American Congress On Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management. REHABEND*. Pages 386-393. ISBN: 978-84-608-7940-4.

²⁹ COLL PLA, S.; LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; SAMPER SOSA, A. (2016). [Large deformations in the Romanesque churches of Vall d'Aran \(XII-XIII\)](#). *Proceedings of the 5th International Conference on Heritage and Sustainable Development*. Volume 2. HERITAGE 2016. Pages 1249-1256. ISBN: 978-989-8734-15-0.

Finalmente, en este apartado y exponiendo el contexto previo a la tesis, debemos tener en cuenta las exposiciones realizadas en el COAC de Tarragona³⁰, el Institut d'Estudis Ilerdencs³¹ y la Seu d'Urgell³², donde se presentan los resultados de los levantamientos realizados por los alumnos.

1.2.OBJETIVO

El objetivo general de la tesis es el estudio de los asentamientos de una selección de iglesias (del que clasificaremos como 1er Románico Aranés) a partir de técnicas de levantamiento y análisis basadas en nubes de puntos. Partiendo de este objetivo general, se definen diversos objetivos específicos:

Un primer objetivo es el de generar una documentación planimétrica que servirá de base para el estudio. El uso de un Escáner Laser Terrestre permitirá obtener una base documental sin precedentes de todo el conjunto de iglesias. Esto aportará un volumen de información muy rico, tanto en cantidad como en calidad, que permite indagar en la investigación más allá de los primeros levantamientos realizados por Domènech i Montaner y Puig i Cadafalch o que los dibujados por Bassegoda Nonell.

Un segundo objetivo consiste en el estudio sistemático de los elementos principales que componen la estructura de estas construcciones precientíficas. Así, se ahondará en el estudio del asentamiento³³ de las bóvedas, los desplomes³⁴ en las impostas de los muros y pilares, y la forma actual de los muros y pilares. Ello nos llevará al estudio de las bóvedas como elemento que en el transcurso de asentarse solicita progresivamente a los muros y pilares, y el estudio de los pilares y muros como elementos solicitados. Se estudiará también como se han deformado estos elementos (bóvedas, muros y pilares) tanto de forma cualitativa como cuantitativa.

Por último, para completar la comprensión sobre los procesos de deformación se analizarán las condiciones de equilibrio de la estructura. Estas estructuras se conciben bajo el criterio de estabilidad del conjunto, y en la actualidad se pueden analizar según la teoría del análisis límite desarrollada por Jacques Heyman³⁵. Este modelo de análisis permite, en base al desarrollo de un sistema de cargas en equilibrio que incluye todos los elementos que conforman la sección de la nave, establecer las posibles posiciones relativas de la línea de presiones.

Es necesario comprender que, el texto que se presenta muestra el estado actual de las iglesias y permite realizar un seguimiento a los mismos por tal de en estudios posteriores se pueda determinar con mayor precisión intervenciones específicas acordes con el origen de su patología.

1.3. ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis se inicia con un "Contexto general de las iglesias románicas aranesas" donde desde un estado histórico general se van concretando aspectos que nos son importantes para la definición de la arquitectura aranesa.

³⁰ LLUIS I GINOVART, J., COSTA-JOVER, A., COLL-PLA S. (2016). TRAHNTEM LAPIDES MMXVI. <https://patriarq.wordpress.com/2016/02/23/trahntem-lapides-mmxvi/>

³¹ LLUIS I GINOVART, J., COSTA-JOVER, A., COLL-PLA S., QUERAL-LLABERIA J. (2016). GLÈISES EN ENCURNANCLINC DE VOUTES ESGARRAMINGADES. <https://patriarq.wordpress.com/2016/12/26/gleises-en-encurnanclinc-de-voutes-esgarramingades-2/>

³² LLUIS I GINOVART, J., COSTA-JOVER, A., COLL-PLA S., QUERAL-LLABERIA J. (2017). ESTUDI GRAFIC DES GLÈISES EN CURNAENCLINC DERA VAL D'ARAN. <https://patriarq.wordpress.com/2017/04/27/estudi-grafic-des-gleises-en-curnaenclinc-dera-val-daran/>

³³ Acción y efecto de asentar o asentarse. Rae. www.rae.es

³⁴ m. Arq. Parte que sobresale de la línea de aplomo. Rae. www.rae.es

³⁵ HEYMAN, J. (1966). The Stone Skeleton. *International Journal of Solids and Structures*. Great Britain: Pergamon Press Ltd. Vol. 2, pp. 249-279.

Posteriormente, en el apartado “Marco teórico para el estudio de construcciones de fábrica” se desarrollan aquellos conocimientos que, siendo secundarios, son parte necesaria para el desarrollo de la investigación.

En el apartado de “Método” se explican las técnicas desarrolladas para el estudio de las iglesias. Al tratarse de una investigación con diversas vías de estudio se requiere un sistema que ofrezca una lectura conjunta y unitaria.

El apartado de “Resultados” es una parte muy relevante de la tesis por tener un importante contenido gráfico, que a su vez aporta la información clave para poder definir y estudiar las iglesias.

Los resultados se inician con los “Resultados de los escaneos” donde se muestra las plantas de todas las iglesias escaneadas, todas con la misma orientación y a la misma escala, de tal modo que son fácilmente comparables.

Posteriormente en el apartado “Definición volumétrica de las edificaciones” se muestra las iglesias seleccionadas en planta sección y perspectiva después de interpretar y realzar los elementos arquitectónicos de interés.

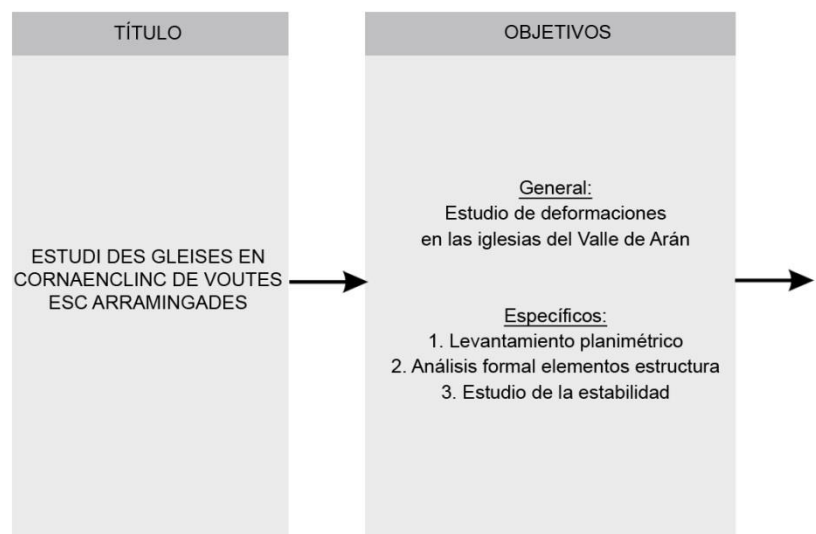
En el apartado de “Estudio de asentamientos y desplomes” se explica el proceso de estudio de los asentamientos y desplomes de los edificios.

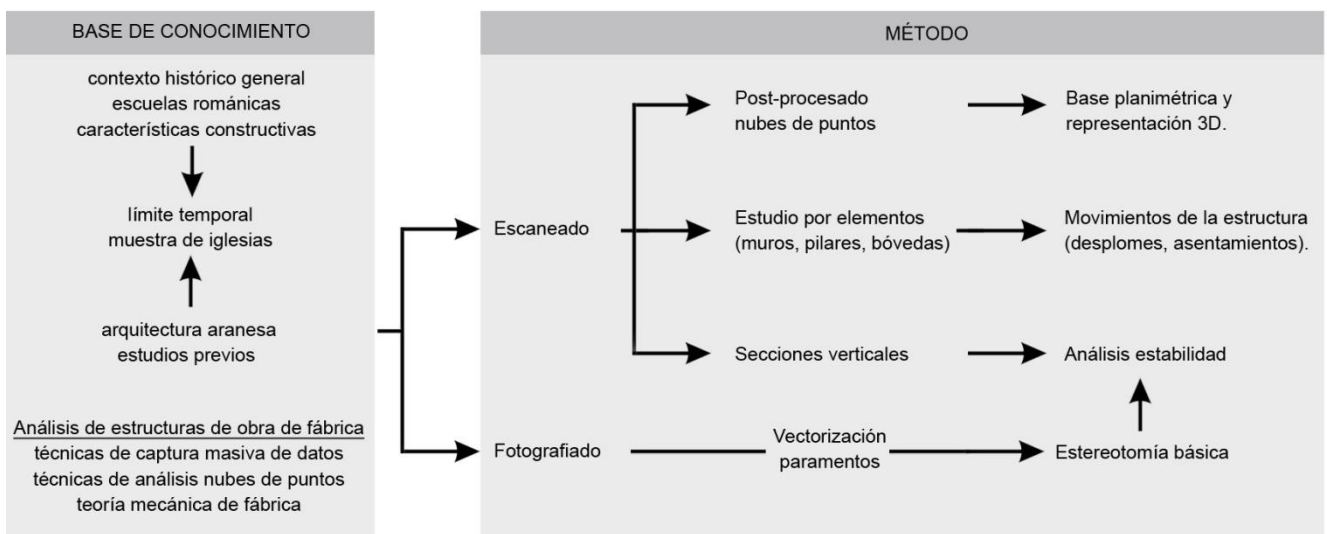
Por último, en el apartado de “Estudio de la estabilidad de las secciones más significativas” se muestran los estudios de estabilidad.

El apartado de “Discusión” reflexiona y pone en relación los resultados obtenidos.

Finalmente, en el apartado de “Conclusiones” se concretan las aportaciones de la tesis (Esquema 1).

Los anejos se recopilan en el CD anexo a la Tesis. Estos contienen los detalles de la localización de las iglesias del Val d’Aran (Anejo 1); especificaciones técnicas de cada posicionamiento (Anejo 2); cálculo de la altura de las cotas de la topografía de las bóvedas y muros (Anejo 3); estudio de las impostas de las bóvedas y determinación de la forma que más se aproxima a la bóveda (Anejo 4); estudio de los pilares (Anejo 5); estudio de los muros (Anejo 6); y, finalmente, estudio de las líneas de presiones (Anejo 7).





Esquema 1. Esquema de la Tesis

2.CONTEXTO GENERAL DE LAS IGLESIAS ROMANICAS ARANESAS.

Este apartado, como indica el título, sirve como aproximación al románico. Primero a nivel general, sobre todo ubicándolo temporal y geográficamente; más adelante centrándonos en el primer románico, sus características constructivas y escuelas; y finalmente introduciremos el románico aranés, tema central de la tesis.

2.1.VISIÓN GENERAL DEL ROMÁNICO

Este punto aportará la documentación necesaria para dar una visión general del contexto histórico-arquitectónico del románico. Aquí se explica de donde procede el estilo románico y cómo evoluciona hasta su fin. Aunque la voluntad es centrarse en el tipo de construcción, nos acercaremos al estilo a través de las aportaciones de diferentes historiadores.

2.1.1.CONTEXTO HISTÓRICO

No hay una única verdad a la hora de explicar y clasificar el románico. Sí que tenemos al alcance las aproximaciones de distintos autores, y estas en diálogo nos ayudan a conseguir una perspectiva general de esta etapa. En el presente apartado se busca ubicar esta corriente en la historia.

El prerrománico se desarrolla una vez empezada la decadencia del Imperio Romano en el siglo IV, implicando también la caída de las artes que daban representatividad a este imperio³⁶. El cristianismo, religión vinculante en el desarrollo del estilo románico se implantó junto con la romanización desde mediados del siglo III y pronto se organizan las primeras diócesis en Cataluña³⁷ (Esquema 2).

Desde la caída del Imperio Romano los pueblos del norte serán los encargados de gobernar en los territorios más debilitados. Estos adoptan la religión cristiana, y serán los sacerdotes los encargados de los conocimientos relativos a las ciencias, las artes y la arquitectura. Serán, entonces, los sacerdotes los directores de las obras. Uno de los principales desafíos que tuvieron estos nuevos constructores, fue adaptarse a las condiciones de pobreza material y tecnológica. Esta época se caracteriza por el uso del ensayo-error para las construcciones y un retorno a las formas prerromanas resultado del momento de cambios, que rompe en cierto modo con la transmisión de conocimientos de los pueblos barbaros en Italia, Francia y España³⁸.

El pueblo Visigodo se establece en la Península Ibérica a principios del siglo IV, con sede en Tolosa, y se mantendrá hasta el siglo VIII³⁹. Según Puig i Cadafalch, el arte de las iglesias visigóticas es una continuación del arte antiguo en decadencia, donde se aprovechan elementos de las ruinas

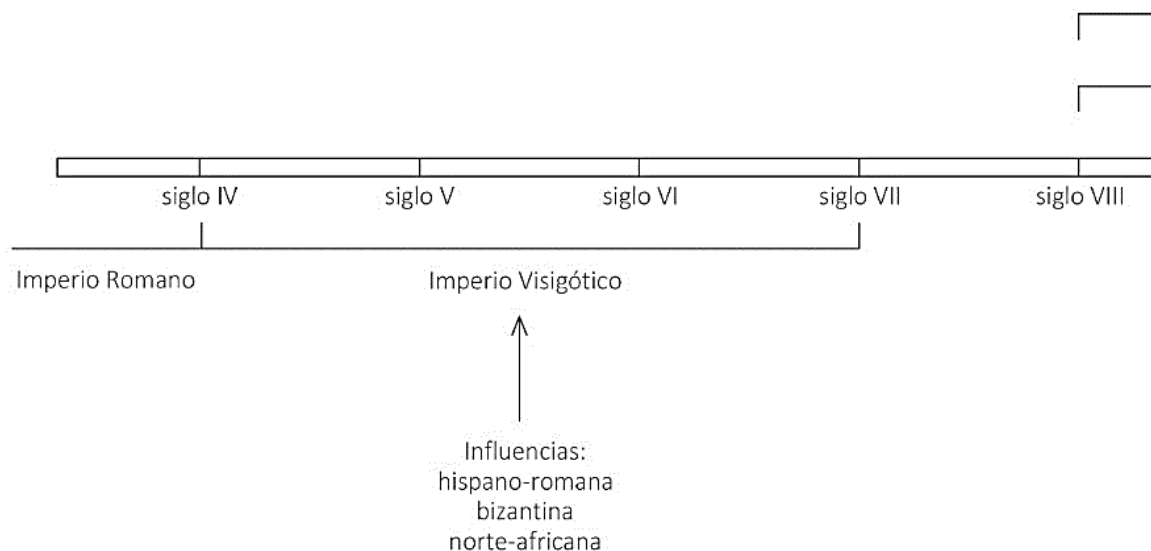
³⁶ HEREU, P. (1990) *Elies Rogent i Amat, Memories, Viatges i Lliçons*, Barcelona: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, pp. 244.

³⁷ ERLANDE-BRANDENBURG, A. (1972). Chapelles Pre-romanes à choeur quadrangulaire du département de l'Hérault, *Bolletín Monumental La Pierre-qui-Vire: Zodiaque*, pp. 58.

³⁸ HEREU, P. (1990) *Elies Rogent i Amat, Memories, Viatges i Lliçons*, Barcelona: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, pp. 245.

³⁹ MANUEL DE MONER, J. (1891) Vall d'Aran. *Album Histórich, Pintoresch Y Monumental de Lleyda Y Sa Provincia*. Barcelona: [Estampa de Joseph Sol Torrens \(Impremta\)](#), pp. 345–358.

romanas⁴⁰. Esta afirmación se contradice a la de Elies Rogent quien defendía que la tradición constructiva romana se pierde y es el sacerdote quien en época románica da sentido geométrico y constructivo a las edificaciones⁴¹.



El arte visigótico se puede considerar un arte hispano-romano, con adición de elementos norteafricanos y bizantinos y con alguna aportación de viejas fórmulas ibéricas. El imperio Visigótico comienza su decadencia con el inicio de las invasiones musulmanas. A través de los mozárabes, el arte visigótico influencia al arte catalán⁴². Esta influencia puede ser observada en Sant Pere de Rodes, Sant Andreu de Sureda, Santa Eulària d'Elna y Sant Martí de Canigó⁴³ o Sant Miguel de Cuxà (974)⁴⁴, ninguna de ellas ubicada en la zona de la Val d'Aran.

La aparente ausencia de restos visigóticos en el Val d'Aran decanta la realidad de esta zona pirenaica hacia la perspectiva de Elies Rogent, considerando que el clérigo ocupa el rol clave en la construcción en este período.

(la proporció romana, basada en la grega, es basa en les proporcions humanes (ma, peu cana , etc. aquesta proporció antropia és complementada per la proporció platónica 1:1. Sant Agustí sIV és el que fa canvis en quant a les mesures: el centre no és l'home, sinó Déu. Les proporcions teocentristes són "iguals" però per causa divina")

En el año 800 el Papa León III (795-816) proclamó a Carlomagno (742-814) heredero del imperio de los francos, como sucesor de los emperadores romanos. Su imperio se desarrolla a lo largo de los siglos IX y X (Imagen 2). Uno de los hechos más trascendentales en esta etapa es la creación de

⁴⁰ PUIG I CADAVALCH, J.A. (1920). *L'arquitectura Romànica a Catalunya*, Barcelona: Ricard Duran i Alsina. Vol. XXXIII, pp 6.

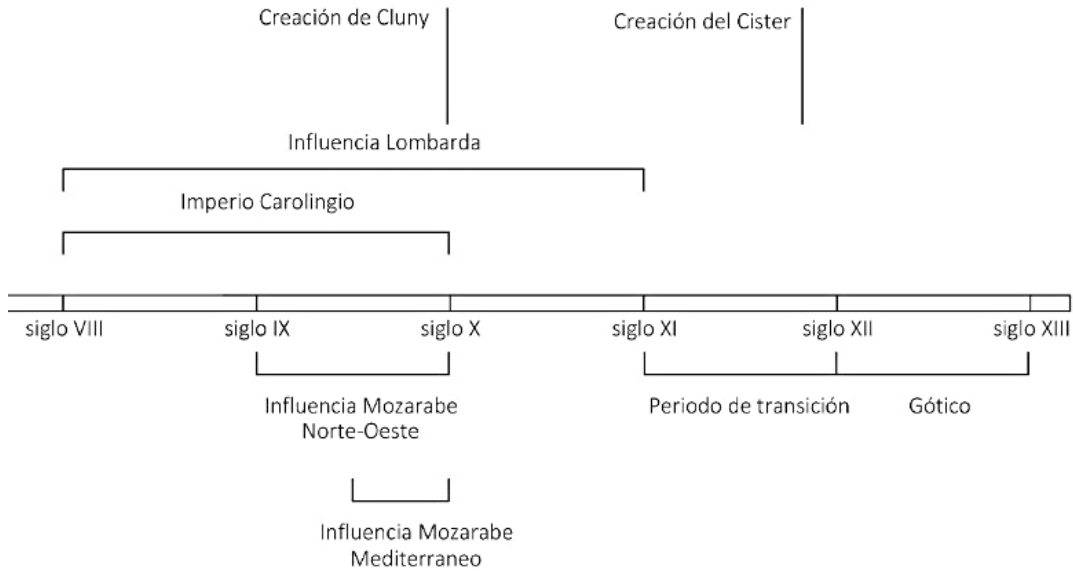
⁴¹ HEREU, P. (1990) *Elies Rogent / Amat, Memories, Viatges i Lliçons*, Barcelona: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, pp. 244.

⁴² TORRES BALBAS, L., (1934). El Arte de La Alta Edad Media y del periodo románico en España. *Arte de la Alta Edad Media*. Madrid: Escuela Tecnica Superior de Madrid, pp. 169; DE PALOL, P.; LORÉS, I. (1999). L'arquitectura abans del Romànic. *Del Romà al Romànic. Historia, art i cultura de la Tarraconense Mediterrània entre els segles IV i X*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana.

⁴³ SPRIGNA, I. (2010) *Los Repertorios Decorativos En La Escultura Medieval: El Ajedrezado Como Instrumento Para La Definición de Una Geografía Artística En El Marco Del Románico Europeo*. (Tesis Doctoral). Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament d'Historia de l'Art, pp. 81.

⁴⁴ MUIR WHITECHILL, W. (1973). *L'art romanica a Catalunya segle XI* (traducció de Josep Vallverdú). Barcelona: Edicions 62, pp. 13.

la Marca Hispánica como resistencia a los árabes⁴⁵. En este proceso cabe destacar el rol de los eclesiásticos catalanes, quienes mantendrán relaciones con las autoridades cordobesas⁴⁶. En relación con esta situación, la arquitectura catalana quedó condicionada por dos influencias: la originaria de Territorio Franco y la de Territorio Musulmán⁴⁷.



Esquema 2 Esquema cronológico del románico

Puig i Cadafalch (1867-1956) diferencia dos etapas de influencia musulmana: la primera a lo largo del siglo X, en los reinos del noroeste peninsular donde inmigran numerosos mozárabes; la segunda, en la segunda mitad del siglo X, es de carácter espiritual e influye solo en la vertiente mediterránea⁴⁸.

Coetáneamente, a lo largo de los siglos VIII al XI, hombres “lombardos” intervienen en la política, religión o comercio; concretamente a partir del siglo IX la palabra “lombardo” se referir a constructor⁴⁹ en Catalunya.

El concepto “románico” fue utilizado por primera vez en el siglo XVIII para hacer referencia a las manifestaciones artísticas desarrolladas en la Europa Occidental entre el siglo X y el siglo XIII, siglo en el que se da paso a una nueva etapa.

El primer románico, se inicia a mediados del siglo IX, hecho coincidente con el renacimiento artístico en Bizancio. Este arte influyó el arte de Occidente y del centro de Europa, influencia que se ejemplifica en la construcción de Santa Maria de Aquistran (construida en piedra) a finales del siglo VIII, a imitación de la iglesia de Sant Vital de Ravena (construida en ladrillo) consagrada en 547d.C. Esta época se caracterizará por sus ricas soluciones estructurales, arquitectónicas y

⁴⁵ SPRIGNA, I. (2010) *Los Repertorios Decorativos En La Escultura Medieval: El Ajedrezado Como Instrumento Para La Definición de Una Geografía Artística En El Marco Del Románico Europeo*. (Tesis Doctoral). Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament d'Historia de l'Art, pp. 77-85.

⁴⁶ SARRATE FORGA, J. (1974). *El arte románico en el Cap d'aran*. Lérida: José Sarrate Forga. pp. 12-14

⁴⁷ TORRES BALBAS, L., (1934). *El Arte de La Alta Edad Media y del periodo románico en España. Arte de la Alta Edad Media*. Madrid: Escuela Tecnica Superior de Madrid, pp. 17.

⁴⁸ PUIG I CADAFALCH, J.A. (1920). *L'arquitectura Romànica a Catalunya*, Barcelona: Ricard Duran i Alsina. Vol. XXXIII,

⁴⁹ TORRES BALBAS, L., (1934). *El Arte de La Alta Edad Media y del periodo románico en España. Arte de la Alta Edad Media*. Madrid: Escuela Tecnica Superior de Madrid. pp. 35-38.

artísticas. Gran parte de esta riqueza es importada del Imperio Bizantino, la iconoclastia bizantina provocó la migración de escultores y mosaicistas desde la zona de Siria-Bizantina hasta el Rhin⁵⁰ y hasta la Lombardia y Catalunya⁵¹.

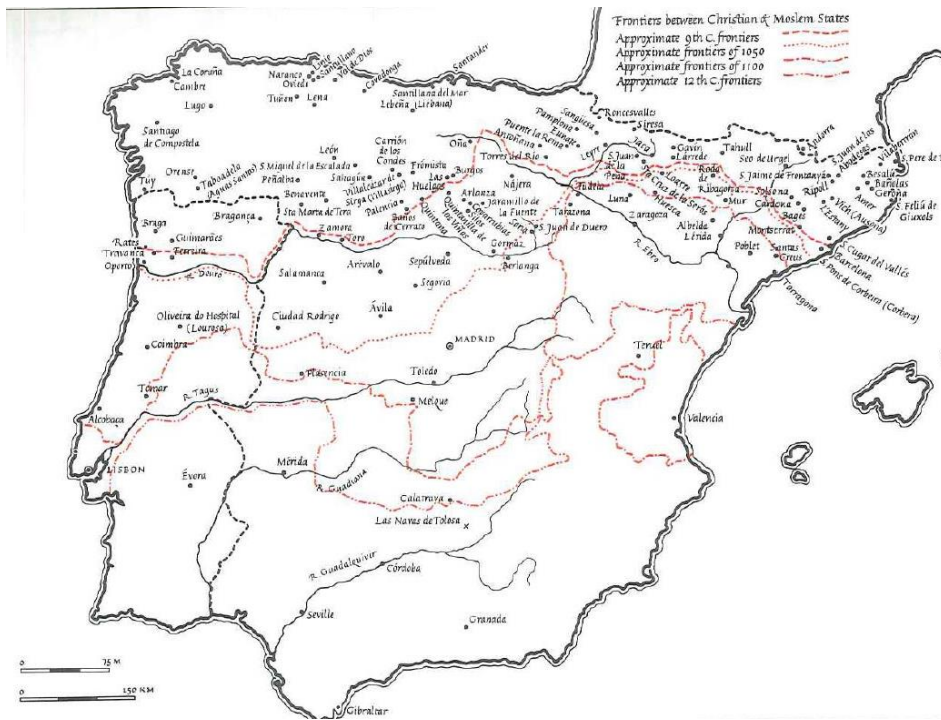


Imagen 2. Kenneth J. K. Carolingian and Romanesque Architecture 800-1200,

Este arte común coetáneo al estilo mozárabe se extiende desde Catalunya, Lombardía, los Valles del Roine y del Saona, Suiza, Renania y Holanda⁵².

Se considera que el nuevo estilo da su inicio en el Monasterio de Cluny (909d.C.). Este tiene su origen en la donación del duque de Aquitania Guillermo III, que permitió al Abad Brumón fundar el monasterio con 12 monjes. Allí se elaboró la reforma cluniacense. La regla Benedictina de “Ora et Labora” se extendió por toda Europa a través de los caminos de peregrinación, debido a la adoración de las reliquias que solo poseían los monjes. Así aumentaron las donaciones, que revirtieron en su mayor difusión y en la construcción.

En el año 1054 se separaron las iglesias de Occidente y Oriente, y el Papa Gregorio VII (1020-1085) acometió la reforma para unificar la liturgia de todo Occidente. Los monjes cluniacenses apoyan al Papa como máximo poder de la iglesia y con ello también la unificación de la liturgia.

El arte cluniacense queda reflejado por la negación en la diatriba de San Bernardo de Claraval (1090-1153), en una carta del Abad Guillermo de Saint Thierry (1075-1148), donde se ataca las esculturas de los claustros y las imágenes profanas⁵³.

La influencia cluniacense mengua a partir del año 1070. La siguiente tendencia se contrapone a

⁵⁰ PUIG I CADAVALCH, J.A. (1920). *L'arquitectura Romànica a Catalunya*, Barcelona: Ricard Duran i Alsina. Vol. XXXIII, pp 6-7.

⁵¹ BASSEGODA NONELL, J. (1974). Estética Expresionista de la arquitectura romanica lombarda en Catalunya como consecuencia de las deformaciones formales y estructurales de las iglesias, *De Re Restauratoria*. Barcelona: Catedra Gaudí (UPC). Vol. II, pp. 35-38

⁵² MUIR WHITECHILL, W. (1973). *L'art romanica a Catalunya segle XI* (traducción de Josep Vallverdú). Barcelona: Edicions 62, pp. 13

⁵³ SCHAPIRO, M. (1977). *Estudios Sobre El Románico*. Madrid: Alianza Editorial

⁵⁴ GRODECKI, L.; MÜTHERICH, F.; TARALON, J.; WORMALD, F. (1973). *Le siècle de l'an mil*. Paris: Gallimard. Vol. 20, No. 77, pp. 58.

esta, también benedictina. La Orden de Cluny considera que la palabra de dios ha de ser transmitida de todas las formas posibles. La Orden del Cister considera que esta mirada ha degenerado, y no se ha realizado un buen uso de la de la iconografía. Por este motivo, la limitan a los edificios cultos: catedrales y patios de estas.

La Orden del Cister, creada al 1098, será la encargada de restaurar los preceptos benedictinos de austeridad y prohibición de la pintura, escultura y los mosaicos, así como los campanarios. Cabe mencionar que los maestros constructores de esta época eran Borgoñeses⁵⁵. Considerándose que los “*Magistri comacini*” empiezan a influir en la arquitectura a partir de esta reforma⁵⁶.

El paso del arte románico al arte gótico es un punto muy estudiado por los arquitectos de la segunda parte del siglo XIX. Puede hablarse de estilo de transición o la primera arquitectura gótica que se desarrolla en Francia a lo largo del siglo XII.

Para terminar de acotar el Románico en el tiempo, tenemos en cuenta la aportación de Otto Homburger (1885-1964), que en 1958 presenta una nueva interpretación de este período de transición: entre 1190 y 1250 se estableció, en ciertas regiones de occidente, un estilo que no era ni románico ni gótico. Las inspiraciones estilísticas de este estilo son bizantinas y antiguas. Cabe mencionar que en la Exposición de 1970, donde se discutieron las diferencias entre el arte románico y el gótico⁵⁷, esta teoría fue parcialmente cuestionada por no ser homogénea⁵⁸.

2.1.2.LAS ESCUELAS ROMANICAS

Este punto se centra en el primer románico y las diferentes escuelas e influencias que lo caracterizan. El primer románico es un estilo de transición, absorbe los estilos con los que se encuentra y presenta diferencias notables según su ubicación. Puede ser estudiado a partir de las diferentes escuelas locales, que tuvieron su auge en el siglo XII⁵⁹.

Hay divergencia de opiniones en el momento de definir, caracterizar y tratar de clasificar el primer románico. En este apartado se trata de mencionar aquellas escuelas, características que tenemos en cuenta y nos aportan información.

Truchis (1897-1980) formuló las diferencias entre el románico del Norte y del sur de Francia⁶⁰. Puig i Cadafalch (1897-1956) estudió la arquitectura románica del sur de forma unitaria⁶¹.

Por su parte, Domènech i Montaner (1850-1923) citando a August Choisy (1841-1909) y a Viollet le Duc (1814-1879), reduce las influencias a la Oriental del Adriático; la mediterránea; las del norte y la influencia Palestina. Cada una de estas influencias da lugar a una escuela⁶². Grodecki (1910-1982) relaciona estas escuelas con las influencias más cercanas, asociando la arquitectura de la Lombardía a la bizantina; la arquitectura catalana a la arquitectura mozárabe; la de la Borgoña a la escuela cluniacense, en contacto con la rivera del río Saona⁶³.

Ainaud de Lasarte (1925-2012) diferencia la escuela de la región de Poitou y la de las comarcas centrales de Francia. El mismo autor afirma que esta corriente se difunde antes que el estilo del primer románico por los condados catalanes y roselloneses, hecho que cuestiona la distinción de

⁵⁵ PUIG I CADAVALCH, J.A. (1920). *L'arquitectura Romànica a Catalunya*, Barcelona: Ricard Duran i Alsina. Vol. XXXIII, pp 36.

⁵⁶ ADELL I GISBERT, J. (2005). L'aparició Dels Magistri Comacini a Catalunya, Aspectes Tecnològics i d'organització. *Els Comacini I L'arquitectura Romanica a Catalunya; Simposi Internacional*. Girona-Barcelona: Universitat de Girona- Museu Nacional d'Art de Catalunya, pp. 54.

⁵⁷ GRODECKI, L. (1986). *Le Moyen Age Retrouvé: de l'an mil a l'an 1200*. Paris: Flammarion, pp. 385-386.

⁵⁸ MUSSAT, A.; GRODECKI, L. (1987). Le Moyen Age retrouvé, de l'an mil à 1200. *Bulletin Monumental*. Paris: Flammarion, tome 145, n°1, pp. 133

⁵⁹ PUIG I CADAVALCH, J.A. (1920). *L'arquitectura Romànica a Catalunya*, Barcelona: Ricard Duran i Alsina. Vol. XXXIII, pp.8.

⁶⁰ TRUCHIS, P. (1921). L'architecture de La Bourgogne Française Sous Robert Le Pieux (988-1031) *Bulletin Monumental*. Francia: Société Française d'Archéologie. T.LXXX, pp. 988-1031.

⁶¹ ARMI, E. (1975). Orders and Continuous Orders in Romanesque Architecture. *Journal of the Society of Architectural Historians*. California: University of California Press. Vol.XXXIV. núm 3, pp. 175

⁶² CHOISY, A. (1899). *Histoire de L'architecture*. Paris: Gauthier-Villars imprimeur-libraire. Tomo II, pp. 180

⁶³ GRODECKI, L.; MÜTHERICH, F.; TARALON, J.; WORMALD, F. (1973). *Le siècle de l'an mil*. Paris: Gallimard. Vol. 20, No. 77, pp. 53.

Puig i Cadafalch (1897-1956) entre primer i segundo románico⁶⁴. Grodeki (1910-1982) en *Le siècle de l'an mil en 1973*, pone en cuestión esta teoría también⁶⁵.

El románico del sur, Lombardo, acostumbra a ser rígido, monótono por su uniformidad y con vueltas (precoz en Cataluña y la Lombardía).

El originario de Poitou, presenta piedra bien tallada, pilares cruciformes y grandes capiteles de inspiración clásica. Este estilo se desarrolla a partir del comercio fluvial de mar a mar que remonta el Ródano, baja por el Loira y sigue el curso del río Garona. La escuela de Poitou tienen bóveda de cañón seguido en la nave central.

La característica de la escuela bizantina Perigord es el uso de la cúpula bizantina de cantería.

La escuela cluniacense tiene riqueza y perfección decorativa. Con bóvedas de cañón seguido y con naves laterales con bóvedas por arista con decoración escultórica. El auge de este arte se encuentra en el siglo XI, época de la primera cruzada, y período de construcción del primer románico del Val d'Aran.⁶⁶

La escuela catalana se caracteriza por construcciones con bóvedas desnudas que dan continuidad a paredes lisas. Se conserva el plan de basílica romana. En Cataluña, en pleno siglo X, se construyen bóvedas de cañón cubriendo la nave central y bóvedas de cuarto de círculo, arbotantes seguidos, como dice Viollet cubriendo las laterales ⁶⁷

Otras escuelas relevantes son: la del norte que se caracteriza por usar sillería en sus muros y en sus pilares, con altas naves, con cerchas de madera y volumetría compleja⁶⁸. Es un arte relacionado con el arte carolingio, grandes basílicas, mucha iluminación.

La de Auvernia y la Provenza, en las que Ainaud de Lasarte afirma que equilibra la nave central con bóvedas de cañón semicirculares o de cuarto de círculo que cubren las naves laterales.

La anglonormanda que, según Domènech i Montaner, las bóvedas son de origen romano y Renana se extiende hacia Inglaterra.

Finalmente, el grupo asturiano que se desarrolla hacia el sur conservando el arte latino bizantino transmitido por los visigodos.

2.1.3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DEL PRIMER ROMÁNICO

Como indica el título, este apartado expone las características constructivas del primer románico y, más concretamente, el existente en el territorio catalán y sus elementos principales.

La construcción románica, según Viollet-le-Duc, es una derivación de la construcción romana. Los países en que la tradición romana es más intensa, como el sur de Francia, Catalunya y la Lombardía, transforman los antiguos métodos. La primera diferencia entre las obras de constructores romanos y románicos consiste en la economía de medios y materiales, pues los materiales empleados por los monjes son los que se podían encontrar a su alrededor, en las canteras que poseían⁶⁹.

⁶⁴ AINAUD DE LASARTE, J.M. (1994). El romànic en l'àmbit català. L'arquitectura religiosa. *Introducció a l'estudi de l'art romànic Català. Fons d'art romànic Català del Museu Nacional d'Art de Catalunya*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana, pp. 71-75.

⁶⁵ SARRATE FORGA, J. (1973). *La Provincia de Lerida, Extremo Sur-Occidental Del Area de Expansión Del Arte Lombardo*. Lérida: Editorial Marlana.

⁶⁶ DOMENECH I MONTANER, L. (1886). *Historia General Del Arte*. Barcelona: Montaner y Simon Editores, pp. 648-649.

⁶⁷ DOMENECH I MONTANER, L. (1886). *Historia General Del Arte*. Barcelona: Montaner y Simon Editores, pp. 651-52.

⁶⁸ ARMI, E. (1975). Orders and Continuous Orders in Romanesque Architecture. *Journal of the Society of Architectural Historians*. California: University of California Press. Vol.XXXIV. núm 3, pp. 175.

⁶⁹ VIOLLET LE DUC, E. (1996). *La construcción medieval*. Madrid: Inst. Juan de Herrera, pp.12.

Las iglesias del primer románico son simples, generalmente pequeñas basílicas de tres naves sin transepto. Un ejemplo claro es la basílica de Ravena⁷⁰. También nos encontramos iglesias de nave única conectada a un ábside semicircular⁷¹ cubiertos por una techumbre de madera a dos aguas.

La iglesia de Sant Miguel de Cuixà, consagrada el 974, ilustra las características de este período. Sus pilares son perforaciones en los muros. Los materiales pétreos son seleccionados y discriminados según su uso: *opus quadratum* de grandes bloques de granito en los pilares, esquinas y puntos nodales de la estructura; y uso de piedra sin tallar para la ejecución del *opus caementitum* de los muros⁷².

Los elementos constructivos donde se puede observar mejor la evolución arquitectónica son los muros, pilares y bóvedas. Dentro de *L'Arquitectura Romanica a Catalunya (1918-1920)* Puig i Cadafalch determina la caracterización de estos elementos en lo que llama análisis estructural y artístico de la mampostería, bóvedas y pilares⁷³ y hace notable que merecen ser estudiados por separado.

2.1.3.1. BÓVEDAS:

Las bóvedas son el elemento más característico de la construcción románica. Desde mitad del siglo X aparecen iglesias completamente abovedadas, normalmente de una nave, aunque sea con tres ábsides que dan sobre un discreto transepto⁷⁴. Son numerosos los autores que han estudiado y descrito la construcción de bóvedas en el románico, sus similitudes y diferencias con los métodos constructivos y materiales romanos.

Puig i Cadafalch (1897-1956) confiere el interés del estilo al temprano abovedamiento, ejemplificándolo en la iglesia de L'Écluse⁷⁵. Siendo un elemento estructural muy conocido en la arquitectura hispánica de los siglos VIII y IX. En Cataluña están documentadas las bóvedas de piedra desde el año 957 con la consagración de San Esteban de Banyoles⁷⁶.

En el diseño de los soportes de las bóvedas de los edificios de diversas naves se observa el uso del *opus vitatum*, de mampuesto⁷⁷. Casi siempre son construidas con cimbra de tablas o cañas y tierra reforzadas con madera.

Eugène Viollet-le-Duc (1814-1879) es quien definirá con más precisión la construcción románica y el estudio de las bóvedas de cañón y, a su vez, la interacción con el muro que, en algunos casos, se resuelve con un estribado con vigas de madera⁷⁸. Por motivos de ahorro de material, los arcos de refuerzo que los romanos construían en el interior en la arquitectura romana aparecen en el exterior. Viollet-le-Duc los explica como cerchas permanentes⁷⁹. Este hecho le da un valor plástico evidente, provocando una división del espacio e introduciendo columnillas, convirtiendo las

⁷⁰ GRODECKI, L.; MÜTHERICH, F.; TARALON, J.; WORMALD, F. (1973). *Le siècle de l'an mil*. Paris: Gallimard. Vol. 20, No. 77, pp. 53.

⁷¹ DURLIAT, M.; ALLÈGRE, V. (1969). Pyrénées Romanes. *Bulletin Monumental* (traducción inglesa de M. De Fontaney). La Pierre-qui-Vire: Zodiaque. Pp. 17-23

⁷² ADELL I GISBERT, J. (2005). L'aparició Dels Magistri Comacini a Catalunya, Aspectes Tecnològics i d'organització. *Els Comacini I L'arquitectura Romanica a Catalunya; Simposi Internacional*. Girona-Barcelona: Universitat de Girona- Museu Nacional d'Art de Catalunya, pp. 51-60.

⁷³ PUIG I CADAFALCH, J. (1918). *L'arquitectura romànica a Catalunya*, Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, Vol. 64, pp. 645-668.

⁷⁴ GRODECKI, L.; MÜTHERICH, F.; TARALON, J.; WORMALD, F. (1973). *Le siècle de l'an mil*. Paris: Gallimard. Vol. 20, No. 77, pp. 141-174.

⁷⁵ CONANT, K.J. (2001). *Arquitectura Carolingia Y Romanica, 800-1200*. Madrid: Manuales Arte Catedra, pp. 800-1200.

⁷⁶ MICHEL, A. (1970). Homology of Simplicial Objects. Applications of categorical algebra. *Proceedings of symposia in pure mathematics*. New York: Cornell University. Vol. 17, pp. 15-36.

⁷⁷ ADELL I GISBERT, J. (2005). L'aparició Dels Magistri Comacini a Catalunya, Aspectes Tecnològics i d'organització. *Els Comacini I L'arquitectura Romanica a Catalunya; Simposi Internacional*. Girona-Barcelona: Universitat de Girona- Museu Nacional d'Art de Catalunya. pp. 57-58.

⁷⁸ VIOLLET-LE-DUC, E. (1854-1868). *Dictionnaire de l'architecture française du XI au XVI siècle*. Paris: Published B. Bance, pp. 11-16.

⁷⁹ VIOLLET LE DUC, E. (1996). *La construcción medieval*. Madrid: Inst. Juan de Herrera, pp. 13.

columnas en cruciformes. Las naves laterales son cubiertas con cuartos de bóveda de cañón para ayudar a descargar estructuralmente la bóveda central⁸⁰.

August Choisy (1841-1909) estudia la bóveda de cañón en la construcción romana con ladrillo u hormigón⁸¹, y recurre a la referencia bizantina con la construcción de bóvedas de cañón con cimbra o sin ella⁸². El mismo autor plantea la clasificación según la disposición de las nervaduras, habiendo de tres tipos: arcos que atraviesan la bóveda, arcos empotrados en la imposta que luego se separan, y arcos que son completamente exentos⁸³.

Puig i Cadafalch identifica dos tipologías de construcciones desde principios del cristianismo. La primera es la análoga a la basílica latina; las segundas son cubiertas con arcos torales (edificios de arte local)⁸⁴. La bóveda condiciona la construcción del resto del edificio. Este mismo autor describe los principios fundamentales de la construcción de arcos y bóvedas, cuya diferencia principal con las romanas es que estas son elásticas mientras las romanas son monolíticas⁸⁵. Establece la evolución de las bóvedas y la introducción de la columna en el románico catalán⁸⁶.

Según Domènech i Montaner las bóvedas románicas son de mampostería grosamente despiezada unidas con pésimos morteros⁸⁷.

También Leopoldo Torres Balbas (1888-1960) estudia la transmisión de los principios de construcción de bóvedas desde el mundo romano, pasando por el sur de Francia hasta la Península Ibérica⁸⁸. Coetáneamente, Bonaventura Bassegoda i Musté (1896-1987) va a plantear, desde el punto de vista matemático, la teoría elástica a través del tercio central de bóvedas y cúpulas⁸⁹.

Eduardo Torroja (1899-1961) afirmó que los fajones son auténticos arcos de refuerzo. Las bóvedas con arcos fajones tienden a concentrar sus empujes sobre estos anillos más rígidos y se presta a transmitirlo a los contrafuertes⁹⁰.

Finalmente, Juan Bassegoda Nonell (1930-2012) expone cómo los modelos de tradición romana dieron forma constructiva a las bóvedas medievales a la romana en Catalunya⁹¹

2.1.3.2. MUROS:

El muro se ve desplomado por el asentamiento de la bóveda. El detalle constructivo del muro estructural se basaba en el uso de sillar para los paramentos y compactando con cascote el mortero interior. En muros no estructurales usaron sillería de una hoja relleno con ripio o mortero⁹². El sillar es de pequeñas dimensiones, con hiladas de diferente tamaño y se prescinde

⁸⁰ GRODECKI, L.; MÜTHERICH, F.; TARALON, J.; WORMALD, F. (1973). *Le siècle de l'an mil*. Paris: Gallimard. Vol. 20, No. 77, pp. 141-174.

⁸¹ CHOISY, A. (1873). *L'art batir chez les Romains*. Paris: Ducher et Cie, pp. 31-47.

⁸² CHOISY, A. (1883). *L'art batirchez les Byzantins*. Paris: Libraries de la Socièté Anonyme de Publications Périodiques, pp. 19-43.

⁸³ HURTADO-VALDEZ P. A., (2008). *Auguste Choisy: El dibujo de las cimbras románicas y góticas*. Monografías de la Universidad Politécnica de Madrid. pp.4

⁸⁴ PUIG I CADAVALCH, J.; FALGUERA, A.; GODAY I CASALS, J. (1983). *L'Arquitectura romànica a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans: Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya. pp. 14.

⁸⁵ PUIG I CADAVALCH, J. (1901). *Historia General del Arte. Escrita y editada en vista de los monumentos y de las mejores obras publicadas hasta el día*, Barcelona: Montaner i Simon Edirtores, Tomo II, pp. 660-665.

⁸⁶ PUIG I CADAVALCH, J.A. (1920). *L'arquitectura Romànica a Catalunya*, Barcelona: Ricard Duran i Alsina. Vol. XXXIII, pp 29-31.

⁸⁷ DOMENECH I MONTANER, L. (1886). *Historia General Del Arte*. Barcelona: Montaner y Simon Editores, pp. 662.

⁸⁸ TORRES BALBAS, L. (1946). Bóvedas romanas sobre arcos de resalto, *Archivo Español de Arqueología*. Madrid: Centro Superior Investigación Científicas, pp. 217-262.

⁸⁹ BASSEGODA MUSTÉ, B. (1944). Racionalismo a ultranza en la arquitectura ojival. *Separata Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*. Barcelona: Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. Tercera época, Núm. 504, Vol. XXVII, Núm. 4, pp. 20.

⁹⁰ TORROJA MIRET, E. (1960). *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones científicas., pp. 113-114.

⁹¹ BASSEGODA NONELL, J. (1977). Bóvedas medievales a la romana. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*. Barcelona: Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. Tercera época, Núm. 782, Vol. XLIII, Núm. 8, pp. 287-382.

⁹² VIOLLET-LE-DUC, E. (1996). *La construcción medieval*. Madrid: Inst. Juan de Herrera, pp. 12.

del paralelismo de la junta. La estereotomía de las piezas se ve mejorada a partir de 1020-1030 afectando a la cantidad de mortero⁹³.

El mortero se utiliza como material de agregación en la mampostería y en la cantería para el reparto de cargas. Este es de peor calidad y menos homogéneo que el romano. Se atribuye el descenso de la calidad particularmente a la pérdida de los procedimientos romanos de fabricación de la cal (elección, cocción, extinción, homogeneidad y proporción de mezclas). También debe considerarse la variación en la aplicación del mortero en la obra⁹⁴. Dentro del periodo románico la calidad del mortero mengua a partir del siglo XI⁹⁵, y también disminuye su grosor de 7-8 cm a 3-4 cm.

Respecto al origen de la mampostería, esta se adecua a las diferencias litológicas de la zona. En el caso del Val d'Aran: en el norte (anticlinal de Les), hay esquistos granitos y conglomerados; en el noroeste (sinclinal de Vielha) hay rocas calcáreas y esquistos arcillosos de devoniano y siluriano; o las formas más suaves de la banda Noreste⁹⁶.

2.1.3.3.PILARES:

En la tradición romana, las columnas son distribuidas a través de patrones visuales de pares axiales. Este esquema de pares fue usado en Roma entre el cuarto y séptimo siglo, y posteriormente se volvió a usar entre los siglos noveno y doceavo. Entre estos dos periodos hay una significativa diferencia: en los principios del cristianismo estos eran usados de forma jerárquica, situando las mejores piezas cerca de los ábsides⁹⁷, mientras los de menor valor se situaban al final; en el periodo altomedieval este principio no era importante. Las columnas circulares serán usadas desde el siglo X y para cubrir edificios con cerchas de madera, esta definición se acerca a las iglesias de Santa Eulària d' Unha y Santa Maria de Vilamòs con la salvedad de que se construyeron con mampostería, seguramente por limitaciones geográficas. Vergnolle afirma que el pilar no se adopta hasta el siglo XII⁹⁸, el sistema constructivo se basaba en unos aplacados de piedra que encerraban relleno⁹⁹.

2.2.LA ARQUITECTURA ROMANICA DEL VAL D'ARAN

Finalmente hablaremos también del estilo románico aranés, sus peculiaridades, así como de los autores de referencia que nos han precedido.

2.2.1.AUTORES DE REFERENCIA

Como ya se ha comentado, la localización del Val d'Aran le generó cierto grado de aislamiento a lo largo de la historia. Su rico legado patrimonial ha tenido escasa difusión a nivel científico, siendo su difusión más generalizada a partir del siglo XIX, y sobretudo a través del turismo pirenaico¹⁰⁰.

⁹³ VERGNOLLE, É. (1998). La Colonne À L'époque Romane. Réminiscences et Nouveautés. *Cahiers de Civilization Médiévale*. Vol. 41, pp. 141-74.

⁹⁴ ALVAREZ, J.I.; MARTÍN, A.; GARCÍA, P.J. (1995). Historia de los morteros. *Patrimonio Histórico*. Sevilla: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Año 3. Núm 13, pp. 11-12; 52-59;

⁹⁵ ESTEBAN LORENTE, J. F. (2007). La Metrología Y Sus Consecuencias En Los Edificios de La Alta Edad Media Española III. El Primer Románico En España. *Artigrama: Revista del Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Zaragoza*. Zaragoza: Departamento de Historia de Arte; Prensas Universitarias de Zaragoza. Vol. 22, pp. 423-472.

⁹⁶ PLADEVALL, J.; VIGUÉ, F. (1985) *Catalunya romanica*. Barcelona: Grup Enciclopèdia Catalana. Vol. 13, pp. 343.

⁹⁷ MALMSTROM, R.E. (1975) *The Colonnades of High Medieval Churches at Rome*. Chicago: The University of Chicago Press on behalf of the International Center of Medieval Art. Vol. 14, No. 2, pp. 37-45.

⁹⁸ VERGNOLLE, É. (1998). La Colonne À L'époque Romane. Réminiscences et Nouveautés. *Cahiers de Civilization Médiévale*. Vol. 41, pp. 141-74.

⁹⁹ VIOLLET LE DUC, E. (1996). *La construcción medieval*. Madrid: Inst. Juan de Herrera, pp. 13.

¹⁰⁰ ROS BARBOSA, E. (2012). Coneixement del patrimoni artístic aranès a través de fotografies i documents dels primers turistes, *Annals del Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès*. Ripoll: Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès. pp. 239-268.

La primera crónica de la que se tiene constancia es del visitador de Felipe III, Juan Francisco de Gracia de Tolba (1575-1626) en 1613. En 1778 Francisco de Zamora (1757-1812) y en 1845 Pascual Madoz (1806-1870), describieron algunos aspectos arquitectónicos¹⁰¹.



Imagen 3 Chapuy , Nicolas Marie Joseph (1790-1858). Couvent de la Mère de Dieu à Vézilles. Vallée d'Aran

Ya en el siglo XIX, Nicolas Marie Chapuy (1790-1858) realiza un viaje que le llevará a dibujar el Santuario de Mijaran (Imagen 3) y la Iglesia de Betren¹⁰². Posteriormente, en 1833 Viollet-le-Duc (1814-1879) visitó y dibujó la Iglesia Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossost ¹⁰³ (Imagen 4), dibujo que se vio reproducido en el segundo volumen dedicado a España de la colección *L'Univers ou Histoire et description de Tous les peuples* por Girault de Prangey (1804-1892)¹⁰⁴.

El interés de los excursionistas franceses fue recogido por Elies Rogent (1821-1897) en su libro *La arquitectura cristiana en el Principado de Cataluña*¹⁰⁵. Quien incentivó a Lluís Domènech i Montaner (1850-1923), en 1905, a realizar la excursión a los pirineos que le sirvió para dibujar y fotografiar los edificios románicos que posteriormente usó para la publicación *L'arquitectura romànica de Catalunya*¹⁰⁶. En este viaje fotografió las iglesias de *Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossost, Sant Martin d'Aubèrt, Sant Fèlix de Vilac, Santa Maria de Mijaran, Sant Miquèu de Vielha, Sant Estèue de Betren, Santa Maria d'Arties, Sant Andrèu de Salardú y Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs*¹⁰⁷.

¹⁰¹ ROS BARBOSA, E. (2011). Coneixement del patrimoni artístic aranés a través de fotografies i documents dels primers turistes. *Annals del Centre d'Estudis del Ripollès*. Ripoll: Centre d'Estudis del Ripollès. IBIX 7. pp. 242

¹⁰² ESPAÑOL, F. (2011). 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*. Ripoll: Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès, IBIX 7 pp. 13–36

¹⁰³ VIOLLET LE DUC, E. (1972). *Voyage Aux Pyrénées: 1833*. Lourdes: Les Amis Du Musée Pyrénéen,

¹⁰⁴ GUÉROULT LAVALLÉE, J. (1847). *Espagne. L'Univers. Histoire et Description de Tous Les Peuples*. París: Firmin Didot.

¹⁰⁵ ROGENT, E. (1857). *Cuadro de la arquitectura cristiana de nuestro Principado y de la aurora de su renacimiento en la segunda mitad del presente siglo. (Discurs pronunciat a l'acta de la sessió pública cel-lebrada per l'acadèmia de Belles Arts de la Província de Barcelona)*.

¹⁰⁶ GRANELL, E.; RAMON, A. (2006). *Lluís Domènech i Muntaner: viatges per l'arquitectura romànica*, Barcelona: Col·legi d'Arquitectes de Catalunya, pp. 30-32.

¹⁰⁷ ROS BARBOSA, E. (2011). Coneixement del patrimoni artístic aranés a través de fotografies i documents dels primers turistes. *Annals del Centre d'Estudis del Ripollès*. Ripoll: Centre d'Estudis del Ripollès. IBIX 7 pp. 243.

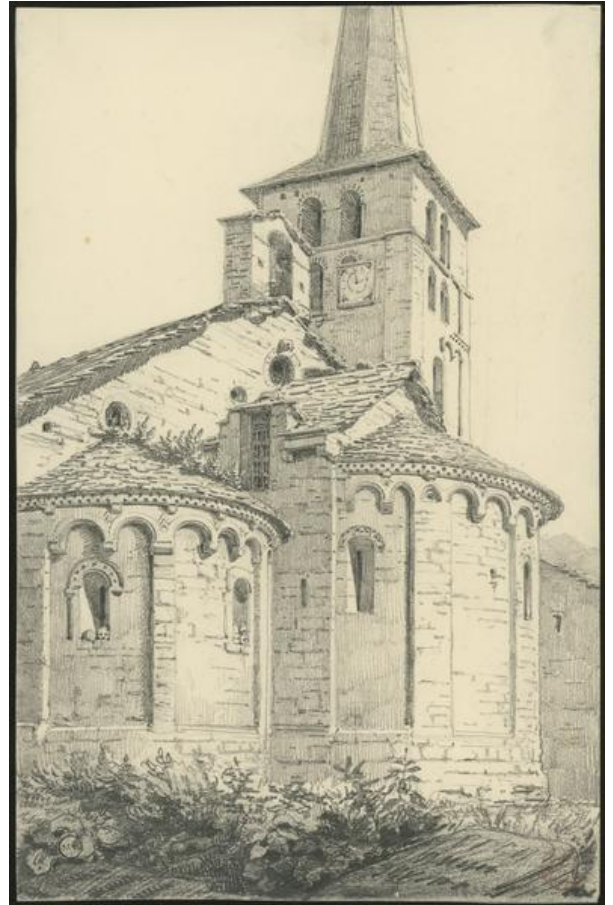


Imagen 4. Viollet-le-Duc, Eugène (1833). Ministère de la Culture (France), Médiathèque de l'architecture et du patrimoine, dist. RMN

El año 1906 Juli Soler i Santaló (1865-1914) publicó la *Guía de la Val d'Aran*, donde se describe la fábrica románica¹⁰⁸. Un año más tarde, en 1907 el Institut d'Estudis Catalans patrocinó la expedición a los Pirineos de los arquitectos Josep Puig i Cadafalch (1897-1956) i Josep Goday (1882-1936), el historiador Guillem M. Broccà (1850-1918), el conservador del Museo Episcopal de Vich Josep Gudiol Cunill (1872-1931) y el fotógrafo Adolf Más (1861-1936), siendo resultado la publicación en el Anuari de l'Institut d'Estudis Catalans del artículo *Les Esglésies dominiques amb cobertes de fusta de les Valls de Bohí i d'Aran*¹⁰⁹. En este informaban de los rasgos arquitectónicos de las iglesias.

El año 1909 Puig y Cadafalch culminó el trabajo iniciado por Domènech y Montaner en la publicación de *L'arquitectura romànica de Catalunya*. A Puig i Cadafalch se le debe atribuir la clasificación de la arquitectura románica catalana a través del levantamiento de planos y fotografías de las iglesias. Junto a Gudiol estudió las influencias lombardas, hecho que quedó reflejado en 1930 con la publicación *Quelcom sobre llombarts* en la Revista de la Asociación

¹⁰⁸ SOLER I SANTALÓ J. (1906). *La Vall d'Aran*, Barcelona: Centre Excursionista de Catalunya (report. Tremp Garsineu, 1998).

¹⁰⁹ ESPAÑOL, F. (2011). 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*. Ripoll: Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès, pp. 29.

Artística i Arqueològica. Junto a Junyent publicó *L'arquitectura religiosa en la Catalunya Carolingia y Catalogne romane, Sainte Marie de la Pierre qui-vire*¹¹⁰.

Entre los años 1913-18, Ceferí Roquefort (1872-1917) redactó el volumen correspondiente a la provincia de Lleida dentro de la *Geografía General de Catalunya*, donde se publicaron las fotografías realizadas por Adolf Más en la excursión de 1907¹¹¹.

A lo largo del periodo comprendido entre la misión arqueológica del 1907 y el inicio de la Guerra Civil solo aparecen aportaciones de carácter generalista que se limitan a repetir la información ya recabada. En esta etapa, pero, cabe destacar las aportaciones del excursionista Josep Salvany i Blanch (1866-1929), quien en 1917 documentó el Val d'Aran. Joan Roig i Font también documentó los objetos de las iglesias en el viaje realizado en 1921¹¹².

En la segunda mitad del siglo XIX se inicia una segunda corriente de estudio que, basándose en los autores de la primera mitad de siglo XIX, consigue ir un paso más allá en el estudio de las iglesias románicas. El año 1941, Walter Muir Whitechill (1905-1978), publicó *L'art romànic a Catalunya segle XI*, él es quien introduce el concepto de primer románico desde el siglo X después de estudiar edificios de Cataluña, Aragón e Italia. Posteriormente en 1973, discute sobre los orígenes del estilo románico¹¹³.

En 1963 José Sarrate Forga realiza un breve estudio entorno a las influencias de las iglesias románicas, y actualiza la descripción de las iglesias del Val d'Aran en la publicación de *La Provincia de Lérida, Extremo Sur Occidental del Arte de expansión Lombardo*¹¹⁴.

En 1969 Marcel Durliat (1917-2006), estudió los motivos de proliferación de las iglesias y la benevolencia de la región pirenaica¹¹⁵.

Posteriormente, Juan Bassegoda Nonell (1930-2012) en la ponencia del XVIII Congreso di Storia dell'Architettura, la *Estética expresionista de la arquitectura románica lombarda en Catalunya como consecuencia de las deformaciones formales y estructurales de las iglesias*¹¹⁶, estableció que las anomalías formales constituyen una de las características de la arquitectura románica que se produce en Catalunya. Entre los ejemplos expuestos en su tesis, aparecen algunas de las iglesias del Val d'Aran.

2.2.2.ARQUITECTURA ARANESA

Las formas prerromanas aranesas son de origen celta y vasco. En época romana fue distrito de Convenarum. Los siglos VI-VII, la Orden Monástica de Sant Benito, aporta la influencia visigótica a los Pirineos¹¹⁷ y esta se verá influenciada por el Islam¹¹⁸, siempre teniendo en cuenta que la influencia musulmana no se estableció en el Val d'Aran¹¹⁹.

¹¹⁰ BASSEGODA NONELL, J. (1974). Estética Expresionista de la arquitectura romana lombarda en Catalunya como consecuencia de las deformaciones formales y estructurales de las iglesias, *De Re Restauratoria*. Barcelona: Catedra Gaudí (UPC). Vol. II. pp. 35-38.

¹¹¹ ROCAFORT, C. (1918) *Geografía General de Catalunya, Provincia de Lleyda*. Barcelona: Establiment Editorial de Albert Martin, pp. 616-977.

¹¹² ROS BARBOSA, E. (2011). Coneixement del patrimoni artístic aranés a través de fotografies i documents dels primers turistes. *Annals del Centre d'Estudis del Ripollés*. Ripoll: Centre d'Estudis del Ripollés. IBIX 7. pp. 244-245.

¹¹³ MUIR WHITECHILL, W. (1973). *L'art romanica a Catalunya segle XI* (traducción de Josep Vallverdú). Barcelona: Edicions 62, pp. 13.

¹¹⁴ SARRATE FORGA, J. (1973). *La Provincia de Lerida, Extremo Sur-Occidental Del Area de Expansión Del Arte Lombardo*. Lérida: Editorial Marlana.

¹¹⁵ DURLIAT, M.; ALLÈGRE, V. (1969). Pyrénées Romanes. *Bolletín Monumental* (traducción inglesa de M. De Fontaney). La Pierre-qui-Vire: Zodiaque

¹¹⁶ BASSEGODA NONELL, J. (1974). Estética Expresionista de la arquitectura romana lombarda en Catalunya como consecuencia de las deformaciones formales y estructurales de las iglesias. *De Re Restauratoria*, Barcelona: Catedra Gaudí (UPC). Vol. II. pp. 33-64.

¹¹⁷ MANUEL DE MONER, J. (1891) Vall d'Aran. *Album Històric, Pintoresch Y Monumental de Lleyda Y Sa Provincia*. Barcelona: Estampa de Joseph Sol Torrens (Impremta), pp. 345-358.

¹¹⁸ GRODECKI, L.; MÜTHERICH, F.; TARALON, J.; WORMALD, F. (1973). *Le siècle de l'an mil*. Paris: Gallimard. Vol. 20, No. 77, pp. 4.

¹¹⁹ YARZA, J. (2004). *Arte Y Arquitectura En España (500-1250)*, Madrid: Manuales Arte Catedra. pp. 1-392

Con la instauración de la diócesis de Commenges^{120 121}, en el siglo XI y hasta el siglo XIII floreció el arte románico en este valle¹²². Observa Durliat (1917-2006), que en el Val d'Aran se reproduce el esquema ocurrido en el resto de occidente: una primera parte románica, donde se definen las características del estilo y un segundo románico donde florecen y se desarrollan estas características¹²³.

Este arte europeo es introducido en Cataluña a través de las familias feudales que volvían triunfantes de las cruzadas, se complementó con los movimientos artísticos locales, y se mantuvo vivo más de un siglo después que el estilo europeo. El centro neurálgico son los valles de Bohí y Aran¹²⁴. La invasión árabe del siglo VIII no influyó en el Val d'Aran.

El primer románico es una corriente sin adornos. Seguramente estas formas decorativas fueron aplicadas por cuadrillas de canteros deambulantes¹²⁵. En el caso del Val d'Aran, la bóveda se aplicó en edificios ya en construcción, sin modificar ni los pilares ni los muros, siendo esto, motivo de considerables grietas y asentamientos, implicando en consecuencia la instalación de contrafuertes¹²⁶.

Los ábsides se cubren con un cuarto de esfera aparejado con piedra sin labrar. El ábside central siempre va precedido por un corto tramo de bóveda troncocónica, cuyos tramos estrechos son reminiscencias de los arcos triunfales de las basílicas primitivas. Este tramo se acusa en el exterior, con cubierta a dos vertientes¹²⁷.

Domènech i Montaner, que describe el esquema en planta de las iglesias, considera una escuela previa que da lugar a las siguientes características: uso de tres pares de pilares, muros presbiterales convergentes hacia el ábside y la cubierta a dos aguas¹²⁸.

Puig i Cadafalch consideró la arquitectura aranesa como obras parciales ejecutadas por pobres pastores indígenas, y clasificó las edificaciones de acuerdo con los distintos tipos estructurales y decorativos¹²⁹. En esta parte del pirineo leridano se construye en pleno románico con cubierta de madera, mientras la tradición catalana empleaba la bóveda de piedra desde época visigótica¹³⁰.

José Sarrate Forga asocia los siguientes rasgos al Visigótico: muros convergentes hacia el altar; bóvedas de cañón apoyadas sobre muros lisos, con intencionado desplome interior para parecer que las vueltas se inician en el suelo; pretendida imitación de la bóveda celeste; arcos ultrapasados

¹²⁰ DURLIAT, M.; ALLÈGRE, V. (1969). Pyrénées Romanes. *Bolletín Monumental* (traducción inglesa de M. De Fontaney). La Pierre-qui-Vire: Zodiaque. Pp. 17-23

¹²¹ BOYA E BUSQUETS, J. M. (2008). *Memoria d'Aran: un vol panoramíc suber era istoria aranesa. En Aran Clavis Regni. Era defensa d'un país*. Vielha: Conselh Generau d'Aran. Pp. 21: A lo largo de los siglos IX y X el Valle se disputó entre los condes del Pallars, Ribagorza y Comenges. La diócesis episcopal de Lugdunum Convenarum se reinstauró con Bertrand de l'Isle (1083-1123) obispo que dio nombre a la antigua diócesis de Lugdunum. Mientras tanto dependía de la diócesis metropolitana de Auish (A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Vall d'Aran. En *Catalunya romana*, Vol. XIII, pp. 325). Con la supresión del Obispado de Comenge con la Revolución Francesa, el Valle de Aran pasa a manos del Obispado de Urgell.

¹²² ROS BARBOSA, E. (2015). The movable and immovable heritage of the Aran Valley and its management. *Proceedings of the Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIV*. Spain: C.A. Brebbia, Wessex Institute of Technology, UK and S. Hernandez, University of A Coruña Vol. 8, pp. 471.

¹²³ DURLIAT, M.; ALLÈGRE, V. (1969). Pyrénées Romanes. *Bolletín Monumental* (traducción inglesa de M. De Fontaney). La Pierre-qui-Vire: Zodiaque

¹²⁴ SARRATE FORGA, J. (1974). *El arte románico en el Cap d'aran*. Lérida: José Sarrate Forga.

¹²⁵ YARZA, J. (2004). *Arte Y Arquitectura En España (500-1250)*, Madrid: Manuales Arte Catedra. pp. 1-392

¹²⁶ SARRATE FORGA, J. (1975). *El arte románico en el Mig Aran*, Lérida: José Sarrate Forga.

¹²⁷ CONANT, K.J. (2001). *Arquitectura Carolingia Y Romanica, 800-1200*. Madrid: Manuales Arte Catedra, pp.107-120

¹²⁸ PUIG I CADAVALCH, J.; FALGUERA, A.; GODAY I CASALS, J. (1983). *L'Arquitectura romànica a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans: Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, pp.80.

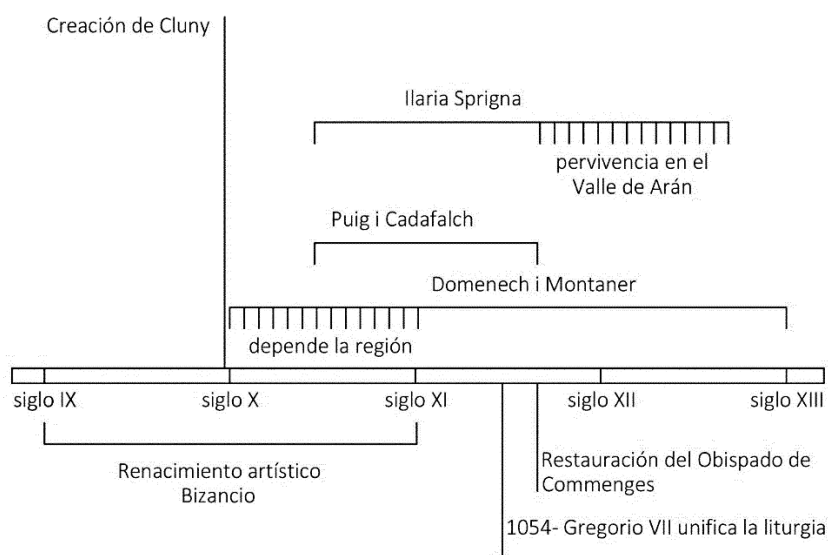
¹²⁹ BASSEGODA NONELL, J. (1974). Estética Expressionista de la arquitectura romana lombarda en Catalunya como consecuencia de las deformaciones formales y estructurales de las iglesias, *De Re Restauratoria*. Barcelona: Catedra Gaudí (UPC). Vol. II. pp. 35-38.

¹³⁰ SARRATE FORGA, J. (1974). *El arte románico en el Cap d'aran*. Lérida: José Sarrate Forga. pp. 17

o arcos de herradura; plantas en forma de cruz donde aparecen los tres ábsides con los tres altares; y ábside rectangular o de marcada herradura¹³¹.

La construcción del segundo románico según Puig i Cadafalch es con muros lisos, y con cornisas sostenidas con ménsulas (sustituyendo las arcuaciones lombardas). Puertas y ventanas son sostenidas por columnas y capiteles esculturales, y aparece el tímpano esculpido. Las bóvedas de las naves laterales funcionan como arbotantes. Aparece la yuxtaposición de las columnas¹³². Durante la segunda edad románica, los progresos realizados en el corte de piedra marcan todas las investigaciones y justifican las soluciones adoptadas. En este punto aparecen las marcas de picapedrero^{133, 134, 135}. De forma paralela se introducen las bóvedas, la piedra labrada en forma de sillares, se inicia la escultura románica y aparece la pintura mural¹³⁶.

2.2.3. LÍMITE TEMPORAL Y GEOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN



Esquema 3 Esquema cronológico del primer románico aranés. Hipótesis según diversos autores.

No existe ninguna iglesia prerrománica anterior al siglo XI¹³⁷. A lo largo de los siglos IX – XI se produce un renacimiento artístico en Bizancio que influenció en el arte de Occidente y del centro de Europa (Esquema 3). Posteriormente, a lo largo de los siglos XI, XII y XIII floreció el arte románico en esta zona. Este florecimiento tuvo lugar bajo la influencia de la diócesis de Comenges durante el obispado de Bertrand de l'Isle (1083-1123). Cabe destacar la aceptación general de que se trata de una época confusa debido a la ausencia de restos documentales¹³⁸. A mediados del siglo XIII ya

¹³¹ SARRATE FORGA, J. (1973). *La Provincia de Lerida, Extremo Sur-Occidental Del Area de Expansión Del Arte Lombardo*. Lérida: Editorial Marlana..
¹³² PUIG I CADAVALCH, J.; FALGUERA, A.; GODAY I CASALS, J. (1983). *L'Arquitectura romànica a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans: Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya. pp. 26-31.
¹³³ PUIG I CADAVALCH, J.A. (1920). *L'arquitectura Romànica a Catalunya*, Barcelona: Ricard Duran i Alsina. Vol. XXXIII, pp 36
¹³⁴ DURLIAT, M.; ALLÈGRE, V. (1969). Pyrénées Romanes. *Bolletín Monumental* (traducción inglesa de M. De Fontaney). La Pierre-qui-Vire: Zodiaque.
¹³⁵ DE PALOL, P.; LORÉS, I. (1999). L'arquitectura abans del Romànic. *Del Romà al Romànic. Historia, art i cultura de la Tarraconense Mediterrània entre els segles IV i X*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana, pp. 28.
¹³⁶ SPRIGNA, I. (2010) *Los Repertorios Decorativos En La Escultura Medieval: El Ajedrezado Como Instrumento Para La Definición de Una Geografía Artística En El Marco Del Románico Europeo*. (Tesis Doctoral). Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament d'Historia de l'Art. pp. 77.
¹³⁷ A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Vall d'Aran. *En Catalunya romanica*. Barcelona: Fundació Enciclopedia Catalana Vol. XIII, pp. 317
¹³⁸ TORRES BALBAS, L. (1946). Bóvedas romanas sobre arcos de resalto, *Archivo Español de Arqueología*. Madrid: Centro Superior Investigación Científicas , pp. 149-216

se encuentran documentados todos los pueblos del Val d'Aran a excepción de Es Bordes¹³⁹. En total hay 35 iglesias que tienen trazas románicas¹⁴⁰.

Domènech i Montaner anota que el renacimiento cultural empieza en el siglo X (en como el Mediodía¹⁴¹), en otros empieza con el siglo XI, época de peregrinaciones a Tierra Santa, perviviendo hasta el siglo XIII en zonas fronterizas y centros de poder¹⁴².

Según Puig i Cadafalch el primer románico aranés transcurre desde el año 950 hasta el 1080,¹⁴³. Cabe destacar la peculiaridad de que la estructura fundamental, característica del primer románico, se mantendrá latente más de un siglo después en las iglesias del Val d'Aran¹⁴⁴.

A modo de ejemplo, otras iglesias coetáneas como la iglesia de Sant Julià de Coaner se consagró el año 1022, Santa Maria de Ripoll se consagra el año 1032, les Seus de Girona y Vic se consagran en 1038, la Seu d'Urgell se consagra en el 1040, San Serni de Tavérnoles en el año 1040, Sant Vicent de Cardona en el 1040, Sant Miquel de Cuixà antes del año 1046 y Sant Pere de Casserres el 1052.

La arquitectura aranesa precisa de relacionarla con la geografía en que se ubica. El Val d'Aran es localizado en la cara norte de los Pirineos, delimita por el norte con el departamento Haute-Garone de Francia y por el suroeste con la región de la Ribagorza, provincia de Huesca. En el sur y el este limita con la región catalana del Alta Ribagorza y el Pallars Subirà. Tiene una extensión de 634 Km² y el 30% de su superficie se encuentra por encima de los 2000 m.

Históricamente las relaciones comerciales y culturales del Val d'Aran tienen lugar con el norte a través del río Garona, siendo muy intensa la relación con la región de Comenges y Courserans. Prueba de ello son los restos romanos encontrados en la fachada sur de la Iglesia de *Santa Maria de Vilamòs*.

2.2.4. MUESTRA REPRESENTATIVA

El aislamiento del Val d'Aran condicionó el desarrollo y la integración del románico en los conocimientos constructivos de la zona. Todas las iglesias fueron construidas a partir de la segunda mitad del siglo XI, con una situación económica favorable. Las técnicas usadas en la construcción adaptan el estilo imperante en las tradiciones constructivas arcaicas¹⁴⁵. Esta afirmación está basada en la información historiográfica ya que no se conserva ninguna acta de consagración, tampoco ningún documento relativo a las obras de las edificaciones¹⁴⁶.

Uno de los primeros autores que clasificó las iglesias según sus características constructivas fue Puig i Cadafalch (1897-1956) en 1920 en *L'arquitectura romànica a Catalunya*. En este libro define las iglesias de *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs*, *Santa Eulària d'Unha*, *Sant Andrèu de Salardú*, *Santa Maria d'Arties*, *Santa Maria de Mijaran*, *Sant Fèlix de Vilac*, *Santa Maria de Vilamòs*, *Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossost*, *Sant Pèir d'Escunhau*, *Sant Estèue de Betren* y *Sant Julian*

¹³⁹ BOYA E BUSQUETS, J. M. (2008). *Memoria d'Aran: un vol panoramic suber era istoria aranesa*. En *Aran Clavis Regni. Era defensa d'un país*. Vielha: Conselh Generau d'Aran. pp. 20.

¹⁴⁰ ROS BARBOSA, E. (2015). The movable and immovable heritage of the Aran Valley and its management. *Proceedings of the Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIV*. Spain: C.A. Brebbia, Wessex Institute of Technology, UK and S. Hernandez, University of A Coruña Vol. 8, pp. 471.

¹⁴¹ Puig i Cadafalch y Domenech i Montaner usaron esa terminología para referirse al sur de Europa.

¹⁴² DOMENECH I MONTANER, L. (1886). *Historia General Del Arte*. Barcelona: Montaner y Simon Editores.

¹⁴³ MUIR WHITECHILL, W. (1973). *L'art romanica a Catalunya segle XI* (traducción de Josep Vallverdú). Barcelona: Edicions 62, pp. 13

¹⁴⁴ SPRIGNA, I. (2010) *Los Repertorios Decorativos En La Escultura Medieval: El Ajedrezado Como Instrumento Para La Definición de Una Geografía Artística En El Marco Del Románico Europeo*. (Tesis Doctoral). Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament d'Historia de l'Art, pp. 79.

¹⁴⁵ ROS BARBOSA, E. (2007). *Er Art Romanic dera Val d'Aran*. Vielha: Conselh Generau d'Aran, pp. 45.

¹⁴⁶ ROS BARBOSA, E. (2012). Ua uelhada ath passat des nostes glèises. *Terra Aranesa*, liau Epoca. Núm. 11, pp. 45

de Garos. En su clasificación no hay una clara separación entre primer y segundo románico, y solo tiene en cuenta las principales iglesias, olvidándose de muchas otras¹⁴⁷.

Posteriormente, Durliat (1917-2006), en el texto *El mundo románico* de 1969 consideró que las iglesias de *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs*, *Sant Fèlix de Bagergue*, *Santa Maria d'Arties*, *Mair de Diu deth Rosèr d'Aubèrt*, *Sant Roc de Begòs*, *Santa Maria de Vilamòs*, *Sant Fabian d'Arres de Jos* y *Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossost* eran completamente románicas; que las iglesias de *Sant Fèlix de Vilac* y *Sant Pèir d'Escunhau* eran parcialmente románicas; las iglesias de *Santa Maria de Mijaran* y *Santa Maria de Vilamòs* eran iglesias románicas en ruinas; y las iglesias de *Tredòs*, *Arties*, *Vilac* y *Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossost* tienen la portalada románica. Este último grupo de iglesias es muy complejo de clasificar, atendiendo a las peculiaridades de las portaladas románicas se entiende que se refiere a la iglesia de *Sant Estève de Tredòs*, la Iglesia de



¹⁴⁷ PUIG I CADAFALCH, J.; FALGUERA, A.; GODAY I CASALS, J. (1983). *L'Arquitectura romànica a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans: Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya.

Eth Remei d'Arties (desacralizado), así como la de *Sant Blai de Vilac* (desacralizado)¹⁴⁸.

En 1974,75 y 76, Sarrate Forja publica tres libros donde contextualiza el románico aranés y describe las principales iglesias del Val d'Aran¹⁴⁹.

Posteriormente en 1998 se publica también la *Enciclopèdia de Catalunya Romànica*, que también describe las iglesias más representativas¹⁵⁰.

En el año 2007 Elisa Ros propone una clasificación que pone en relevancia el esquema en planta de las iglesias. En esta, *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs*, *Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossost*, *Santa Maria d'Arties*, *Santa Eulària d'Unha*, *Sant Fèlix de Vilac* y *Santa Maria de Mijaran* pertenecerían a un esquema basilical; y las iglesias de *Sant Blas de Les*, *Sant Miquèu de Vilamòs* y *Sant Fabian d'Arres de Jos*, pertenecerían a una clasificación secundaria¹⁵¹. Cabe destacar la afirmación de que la iglesia de *Santa Maria de Mijaran* era de planta basilical posteriormente reformada y que la capilla de *Sant Joan Baptista de Les* se considera románica.



Imagen 5 Mapa de localización de las iglesias estudiadas

¹⁴⁸ DURLIAT, M.; ALLÈGRE, V. (1969). Pyrénées Romanes. *Bolletín Monumental* (traducción inglesa de M. De Fontaney). La Pierre-qui-Vire: Zodiaque Pp. 17-23

¹⁴⁹ SARRATE FORGA, J. (1974). El arte románico en el Cap d'aran. Lérida: José Sarrate Forga; SARRATE FORGA, J. (1975). El arte románico en el Mig Aran, Lérida: José Sarrate Forga; SARRATE FORGA, J. (1976). El arte románico en el Baix Aran. Lérida : José Sarrate Forga.

¹⁵⁰ A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Val d'Aran. En *Catalunya romanica*. Barcelona: Fundació Enciclopedia Catalana Vol. XIII.

¹⁵¹ ROS BARBOSA, E. (2007). *Er Art Romanic dera Val d'Aran*. Vielha: Conselh Generau d'Aran, pp. 45

No será hasta el año 2015 que Enmanuel Garland en el texto *Le premier age roman dera Val d'Aran*, realiza una clasificación exhaustiva de las iglesias románicas. Las diferencia entre primer y segundo románico. Las iglesias pertenecientes al primer románico son: *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs, Sant Estève de Tredòs, Santa Eulària d'Unha, Sant Pèir d'Escunhau, Santa Maria de Mijaran, Sant Fèlix de Vilac, Sant Joan d'Arros e Vila, Sant Roc de Begòs, Sant Miquèu de Vilamòs, Santa Maria de Vilamòs, Sant Fabian d'Arres de Jos y Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossost*. De forma complementaria cita a *Sant Pèir de Betlan*¹⁵².

Cabe destacar que, posteriormente, en la descripción más exhaustiva dice que las iglesias de *Sant Fèlix de Vilac* y *Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossost*, pertenecen al segundo románico. En el caso de Bossost, el campanario es el único elemento que encaja con las características del primer románico. La primera planta del campanario presenta piedras de diferente procedencia, hecho que no se da en la iglesia de Vilac. Se da a entender que sería de transición.

La evolución en la clasificación estilística de las iglesias es pausada debido al uso de técnicas constructivas y recursos estilísticos arcaicos en su construcción. Asumiendo esta dificultad, tomamos la clasificación de Garland como la más minuciosa y certera en su clasificación (Imagen 5).

¹⁵² 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, pp. 85

3.MARCO TEÓRICO PARA EL ESTUDIO DE CONSTRUCCIONES DE FABRICA

En este apartado se exponen las herramientas que han sido claves para la recopilación, interpretación y análisis de la información generada en torno a las iglesias románicas del Val d’Aran.

3.1.LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y ANALISIS GEOMÉTRICO

En este apartado centraremos la atención en el método de toma de datos usado para estudiar los edificios y el porqué de la elección de este.

3.1.1.ELECCIÓN DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para el estudio de los edificios requerimos de una base planimétrica adecuada, es decir, con una precisión y detalle que se correspondan con los estudios a realizar.

Vitruvio (c.80-70 a.C.-15 a.C.) enunciaba que el arquitecto debe ser diestro con el lápiz y tener conocimiento de dibujo, de tal forma que se pueda mostrar la apariencia del proyecto. El dibujo era una herramienta fundamental para definir la geometría y proporción de las iglesias. Una referencia clara coetánea al inicio de la construcción de las iglesias del Val d’Aran es el plano de Saint Gallo (s. IX) que nos muestra la distribución teórica de la abadía. A pesar de ello, son muy escasos los documentos planimétricos medievales.

El uso de planos para la construcción de edificios afloró en el Renacimiento, con los trabajos de arquitectos como Sebastiano Serlio (1475-1554) o Andrea Palladio (1508-1580), y se consolidará en el siglo XVIII con Jaques-Germain Soufflot (1713-1780) o Jean-Baptiste Rondelet (1743-1829).

En ninguna de las iglesias románicas del Valle de Aran propuestas a analizar se ha localizado documentación escrita o planimétrica de su construcción. Los primeros documentos gráficos conocidos corresponden a arquitectos como Viollet-le-Duc (1814-1879) quien dibujó la Iglesia de Bossost¹⁵³, o Lluís Domènech i Montaner (1850-1923)¹⁵⁴ y Josep Puig i Cadafalch (1897-1956)¹⁵⁵ y Juan Bassegoda Nonell (1930-2012)¹⁵⁶, quienes usaron técnicas topográficas y fotográficas para

¹⁵³ ESPAÑOL, F., (2011). El Pirineu desvetllat: Viatges i descoberta del patrimoni medieval el pirineu desvetllat. *Annals del Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès*. Ripoll: Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès. IBIX 7, pp. 13-36.

¹⁵⁴ GRANELL, E; RAMON, A., (2006) *Lluís Domènech i Montaner: viatges per l'arquitectura romanica*. Barcelona: Col·legi d'Arquitectes de Catalunya, pp. 276-282.

¹⁵⁵ ALCOLEA, S. (2008). *La missió arqueològica del 1907 als Pirineus*, Barcelona: Fundació La Caixa, pp. 8-22.

¹⁵⁶ SÀEZ-ARAGONÈS, G., (1976). Primera fase del proyecto de restauración de la Iglesia de Santa Maria de Arties en el Valle de Aran (Lérida), *Cuadernos de Arquitectura y Urbanismo*. Núm. 116, pp. 63-71.

documentar las iglesias más significativas del Valle de Aran. Posteriormente, a partir de mediados de los años 80 se empiezan a utilizar herramientas de Computer-Aided Design (CAD) en Santa Maria de Arties ¹⁵⁷.

Para el estudio de los asentamientos observados en los edificios del Val d'Aran realizamos un breve repaso a los principales métodos de levantamiento actuales, siendo estos: métodos manuales de medida directa, métodos geofísicos de medida indirecta, fotogrametría, y escaneo laser 3D. Los métodos que permiten una captura tridimensional de datos son la Fotogrametría y el Escaneo Laser 3D. Los dos son métodos no invasivos de captura masiva de datos, ya que permiten obtener una gran cantidad de información en muy poco tiempo y sin necesidad de alterar el estado de los edificios ni realizar ningún tipo de modificación a estos ¹⁵⁸.

La tecnología de captura masiva de datos es usada para obtener nubes de puntos (forma en que se recopila la información) y resulta especialmente útil para el estudio geométrico y estructural de los edificios de obra de fábrica con formas irregulares. Este tipo de técnicas permiten reducir en gran medida el tiempo invertido para la toma de datos, y la precisión de los resultados es claramente mayor que el mismo trabajo realizado con técnicas más tradicionales. Como contrapartida, implican un procesamiento posterior más laborioso y requieren software específico y hardware de gran capacidad para poder trabajar con las nubes de puntos. En todo caso, ambas permiten obtener buenos resultados y han sido ampliamente testeadas ¹⁵⁹. La geometría estudiada se puede visualizar después del post procesado y la interpretación de la información que ofrece la nube de puntos.

Una vez obtenida la nube de puntos, se realiza un mallado en el que se obtiene la superficie del objeto. Este proceso se ve dificultado en caso de contener nubes de puntos con exceso de ruido o puntos demasiado dispersos, ya que la construcción de mallas se realiza a partir de la formación de polígonos. La reconstrucción de modelos cerrados es un problema en la actualidad ¹⁶⁰ y se hace necesario corregir las imperfecciones manualmente para poder obtener resultados con los que trabajar.

El uso de medidas directas requiere mucho tiempo de trabajo de campo, mientras que los métodos de captura masiva de datos ofrecen mayor rapidez y precisión que los sistemas geofísicos ¹⁶¹, y son ampliamente usados en patrimonio arquitectónico. Si se trata de elegir entre las dos opciones de captura masiva que presentamos, actualmente las técnicas de escáner laser ofrecen una operativa sencilla y rápida ¹⁶², pero las técnicas fotogramétricas tienen una mejor relación coste-precisión ¹⁶³. La fotogrametría plantea ciertas dificultades en espacios interiores, especialmente cuando no es posible obtener visuales amplias y la luz interior es escasa. Cuando se está estudiando elementos asimétricos, con formas libres, de superficies con texturas

¹⁵⁷ 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*. Llauda: Departament de Cultura i Mitjans de Comunicació, pp. 75-103.

¹⁵⁸ PAVLIDIS, G.; KOUTSOUDIS, A.; FOTIS, A.; VASSIOLIS, T.; CHRISTODOULOS, C., (2007) Methods for 3D digitization of Cultural Heritage, *Journal of Cultural Heritage*, vol. 8, no. 1, pp. 93-98, Jan. 2007.

¹⁵⁹ KADOBAYASHI, R.; KOCHI, N., OTANI, H.; FURUKAWA, R. (2004). Comparison and evaluation of laser scanning and photogrammetry and their combined use for digital recording of cultural heritage. *International Archives of Photogrammetry*.

¹⁶⁰ REMONDINO, F. (2003). From point cloud to Surface the modelling and visualization problem, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34.

¹⁶¹ HADDAD, N. (2011). From ground surveying to 3D laser scanner: A review of techniques used for spatial documentation of historic sites, *Journal of King Saud University*, Vol. 23, pp. 114.

¹⁶² LERONES, P. M.; FERNANDEZ, J. L.; GIL, A. M.; GÓMEZ-GARCÍA-BERMEJO, J.; CASANOVA, E. Z. (2010). A practical approach to making accurate 3D layouts of interesting cultural heritage sites through digital models, *Journal of Cultural Heritage*. Vol. 11, Issue. 1, pp. 1-9.

¹⁶³ RIVEIRO, B.; MORER, P.; ARIAS, P.; ARTEAGA, I., (2010). Terrestrial laser scanning and limit analysis of masonry arch bridges, *Construction and buildings materials*. Vol. 25, Issue: 4, pp. 1726-1735.

irregulares, elementos elevados o con cavidades, y escasa luz (el caso de las iglesias románicas del Val d'Aran, el escaneo laser será mejor opción.

Por otra parte, tanto el escaneo laser como la fotogrametría presentan problemas con las superficies reflejantes como el cristal o el agua. De igual modo, en superficies rugosas y negras, la mayor parte de la luz es absorbida y pueden observarse puntos perdidos. Es por ello por lo que se deben tener en cuenta las capacidades ópticas de los materiales, principalmente su absorbancia¹⁶⁴, así como para la detección y definición de ángulos agudos y líneas de intersección¹⁶⁵, tanto con fotogrametría como con escáner laser.

En base a las observaciones realizadas, se escoge trabajar con un escáner laser, el cual permite obtener una nube de puntos con información geométrica y colorimétrica. Las iglesias del Val d'Aran están construidas con muros de mampostería y bóvedas de obra de fábrica con formas muy irregulares, por lo que el uso de esta técnica resulta ser el más idóneo para estudiarlos.

3.1.2. PRINCIPIOS BASICOS DE FUNCIONAMIENTO DEL ESCANER LASER TERRESTRE

El escáner laser estima las superficies a partir de las normales de los datos tomados en 3D. La forma usada para conseguir un Modelo de Superficie Denso Digital (DDSM) es a través de la tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging)¹⁶⁶. Esta tecnología realiza la toma de distancias de forma remota a partir de la iluminación y el análisis de la luz reflejada.

El escáner laser basa la toma de medidas en la emisión de un pulso de radiación en dominio visible o infrarrojo que se propaga por el aire hasta que se encuentra en la superficie de un objeto y este refleja la señal. El escáner calcula la distancia según el desfase de la amplitud de onda entre la onda emitida y la reflejada. Para ello el escáner está equipado con un fotodiodo que detecta el pulso reflejado, y un reloj de alta precisión que se activa con la emisión y detiene con la llegada de la onda reflejada. Una vez dada la medida del tiempo y la velocidad de la onda se obtiene la distancia. La distancia de cada punto se localiza en el espacio a partir de coordenadas esféricas¹⁶⁷. Este sistema de obtención de puntos también proporciona un color.

Podemos distinguir entre sistemas de medición estáticos y dinámicos. Hablaremos de escáner dinámico cuando el escáner se monta en una plataforma móvil y requiere otros sistemas de posicionamiento adicionales tales como INS o GPS, lo que hace que el sistema completo sea más complejo y caro. Ejemplos de laser escáner dinámico los encontramos en aeroplanos (laser escáner aerotransportado), o sobre vehículos o plataformas aéreas no tripuladas. Este sistema suele tener por objetivo la documentación digital de los edificios, entorno y objetos físicos, proporcionando de forma rápida y precisa un análisis de las características geométricas de lo

¹⁶⁴ RÜTHER, H.; MTALO, G.; MNGUMI, E. (2003). 3D modelling of heritage sites in Africa. A case study in the world heritage site of Kilwa Kisiwani, Tanzania. *Proceedings CIPA XIXth International Symposium*, Antalya, Turkey, pp. 175-180; AGNELLO, F.; LO BRUTTO, M.; LO MEO, G. (2005). DSM and digital Orthophoto in cultural heritage documentation. *Proceedings of CIPA XXth International Symposium*. Torino, Italy: ACTA Conferences and Events. Pp.49-54; SANTANA, M.; VAN GENECHTEN, B.; DE BRUYNE, M.; POELMAN, R.; HANKAR, M.; BARNES, S.; CANER, H.; BUDIÉL, L.; HEINE, E.; REINER, H.; LERMA, J.L.; BIOSCA, J.M. (2008). *3D Risk Mapping. Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning. Training Material Based on Practical Applications*. Europe: Flemish Agency of the European Leonardo Da Vinci programme.

¹⁶⁵ BONORA, V., COLOMBO, L., MARANA, B., MATTIOLI, V. (2005). Laser technology for cross-section survey in ancient buildings: a study for S.M. Maggiore in Bergamo. *Proceedings of the CIPA 2005*. Torino (Italy).

¹⁶⁶ HADDAD, N. (2011). From ground surveying to 3D laser scanner: A review of techniques used for spatial documentation of historic sites, *Journal of King Saud University*, Vol. 23, pp. 109-118.

¹⁶⁷ RIVEIRO, B.; MORER, P.; ARIAS, P.; ARTEAGA, I., (2010). Terrestrial laser scanning and limit analysis of masonry arch bridges, *Construction and buildings materials*. Vol. 25, Issue: 4. pp. 1726-1735.

observado. El Modelo de Levantamiento Digital (DEMs) resultante permite un detallado estudio de los edificios o de la ciudad¹⁶⁸.

Por otra parte, será el caso de escáner estático cuando el escáner se mantiene en una posición fija durante la toma de datos. Las ventajas de este método son la alta precisión y la densidad elevada de puntos. Suele ser el método más extendido a la hora de realizar escaneados terrestres, pero no todos los escaneados laser terrestres son estáticos. El escáner utilizado en la presente investigación será de este tipo.

3.1.3. NUBES DE PUNTOS Y ANALISI GEOMÉTRICO DE CONSTRUCCIONES HISTÓRICAS

La evolución tecnológica está permitiendo, en la actualidad, la utilización de sistemas de captura masiva de datos en diversas disciplinas, que van desde la propia arquitectura¹⁶⁹ o la arqueología¹⁷⁰, a otras como la geología¹⁷¹ o la hidrología¹⁷².

En el caso concreto de la arquitectura, las mencionadas ventajas que ofrece el Escáner Laser Terrestre han hecho que sea una herramienta fundamental en el estudio del patrimonio construido. El uso más elemental a la vez que potente, es el propio levantamiento arquitectónico, como por ejemplo en el caso de la Puerta de Antioquía de Alepo¹⁷³, o la catedral de Santiago de Compostela¹⁷⁴. Pero también encontramos aplicaciones relevantes que van desde el estudio geométrico al análisis estructural. Estas operativas a menudo pasan por el estudio en sección de diferentes partes del edificio, sistematizando el análisis en diversos planos bidimensionales. Será el caso, entre muchos otros, de la iglesia de Santa María Maggiore en Bérgamo¹⁷⁵ o la catedral de Ávila¹⁷⁶.

El estudio de los asentamientos de los edificios es un campo en desarrollo, en el que el software existente ofrece diversas herramientas que, siendo muy útiles, aún requieren un consumo de tiempo importante en algunos procesos no automatizados.

Algunos casos de referencia en el estudio de asentamientos son las iglesias de Cantalovo¹⁷⁷ o de Santa María de Portonovo¹⁷⁸, ambas en Italia, en las que se utilizan superficies de comparación para determinar los asentamientos existentes en los elementos constructivos. Otro ejemplo será

¹⁶⁸ ARAYICI, Y. (2007). An approach for real world data modelling with the 3d Terrestrial laser Scanner for built environment, *Automation in Construction*. United Kingdom. Vol. 16, pp. 816-829.

¹⁶⁹ FASSI, F.; ACHILLE, C.; FREGONESE, L., (2011). Surveying and modelling the main spire of Milan Cathedral using multiple data sources. *The Photogrammetric Record*, 26(136), 462-487.

¹⁷⁰ MCCARTHY, J. (2014). Multi-image photogrammetry as a practical tool for cultural heritage survey and community engagement. *Journal of Archaeological Science*, 43(1), 175-185.

AL-KHEDER, S., AL-SHAWABKEH, Y., & HAALA, N. (2009). Developing a documentation system for desert palaces in Jordan using 3D laser scanning and digital photogrammetry. *Journal of Archaeological Science*, 36(2), 537-546.

¹⁷¹ WESTOBY, M. J.; BRASINGTON, J.; GLASSER, N. F.; HAMBREY, M. J.; REYNOLDS, J. M., (2012). Structure-from-Motion" photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.

¹⁷² 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(PB), 1914-1927.

¹⁷³ NÚÑEZ, M. A.; BUILL, F.; REGOT, J.; DE MESA, A. (2012). Levantamiento arquitectónico de la Puerta de Antioquía (Alepo). *Informás de La Construcción*, 64(528), 487-496.

¹⁷⁴ MARTÍNEZ, S.; ORTIZ, J.; GIL, M. L.; & REGO, M. T., (2013). Recording Complex Structures Using Close Range Photogrammetry: The Cathedral of Santiago De Compostela. *The Photogrammetric Record*, 28(144), 375-395.

¹⁷⁵ BONORA, V.; COLOMBO, L.; MARANA, B.; MATTIOLI, V.; & MARCONI, V., (2005). Laser technology for cross-section survey in ancient buildings: a study for S.M. Maggiore in Bergamo. *Proceedings of the CIPA 2005 XX*.

¹⁷⁶ BENITO, M. A. (2011). La Catedral de Avila: Evolución constructiva y analisis estructural. PhD thesis. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.

¹⁷⁷ BONALI, E.; PESCI, A.; CASULA, G.; BOSCHI, E. (2014). Deformation of ancient buildings inferred by terrestrial laser scanning methodology: The cantalovo church case study (Northern Italy). *Archaeometry*, 56(4), 703-716.

¹⁷⁸ QUAGLIARINI, E.; CLINI, P.; RIPANTI, M. (2016). Fast, low cost and safe methodology for the assessment of the state of conservation of historical buildings from 3D laser scanning: The case study of Santa Maria in Portonovo (Italy). *Journal of Cultural Heritage*.

el Palazzo d'Accursio en Bolonia¹⁷⁹, donde la información obtenida con el escáner se complementa con la escasa información histórica existente para mejorar la comprensión sobre el edificio, a la vez que se obtienen mapas de deformación que permiten realizar su análisis morfológico. Otro caso interesante, aunque con unas características arquitectónicas muy deferentes, es el estudio de la Torre Campanario de Caorle de la iglesia de Santo Stefano Protomartire¹⁸⁰, en donde se desarrolla una aplicación específica para analizar su importante desplome.

3.2.MECANICA DE OBRA DE FABRICA.

Este apartado resulta en una aproximación a la obra de fábrica y a las herramientas teóricas que permiten estudiar sus propiedades.

3.2.1.CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

En construcción se entiende por fábrica al conjunto de elementos constructivos mínimos que supone una estructura arquitectónica. Dichos elementos constructivos pueden estar ligados por un mortero que aumenta la adhesión entre ellos, o pueden estar juntos en equilibrio. La fábrica se elabora con materiales tallados o conformados como la piedra o el ladrillo, que tienen una gran resistencia a compresión.

Entendemos así por estructura de fábrica a aquella formada por la superposición de elementos rígidos (como bloques de piedra o ladrillo) en contacto directo entre ellos o con mortero, dispuestos de tal forma que están en equilibrio bajo la acción de la gravedad. A diferencia de materiales como el acero o el hormigón, se trata de un material compuesto y heterogéneo, esencialmente discontinuo y anisótropo.

Las fábricas están sometidas normalmente a fuerzas de compresión bajas con relación a su resistencia, de manera que es difícil que éstas puedan afectar a la integridad estructural del conjunto. Su resistencia a tracción es muy débil y la interacción entre los diferentes elementos se produce básicamente por esfuerzos de compresión. Además, el rozamiento entre piezas es suficientemente alto para evitar el deslizamiento.

Las formas arqueadas aparecen ante la necesidad de cubrir una luz determinada. Puesto que la fábrica tiene una resistencia casi nula a tracción, la estrategia lógica es conseguir que el material trabaje a compresión.

Construidos a partir de elementos pequeños, los arcos consiguen que sus elementos estén sometidos a fuerzas de compresión. Así, la resistencia depende de sus características geométricas. Las formas geométricas arqueadas producen empujes y para que sean estables necesitan un sistema de contrarresto.

Los tres criterios estructurales fundamentales son resistencia, rigidez y estabilidad. Cuando hablamos de fábricas, y especialmente de fábricas históricas, el concepto clave es la estabilidad. El equilibrio se alcanza a través de la geometría, que establece ciertas relaciones entre las dimensiones de los elementos estructurales y es la base de las antiguas reglas tradicionales para el proyecto de bóvedas y estribos de fábrica.

3.2.2.CONTEXTO HISTÓRICO DE LA TEORÍA DE ARCOS DE OBRA DE FABRICA

La teoría científica para analizar estructuras de obra de fabrica nace a finales del s. XVII y se desarrolla a lo largo de los siglos XVIII y XIX. Debido a los cambios en los sistemas constructivos provocados por la industrialización y el desarrollo de la teoría elástica, la llamada antigua teoría

¹⁷⁹ 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.

¹⁸⁰ TEZA, G.; PESCI, A. (2013). Geometric characterization of a cylinder-shaped structure from laser scanner data: Development of an analysis tool and its use on a leaning bell tower. *Journal of Cultural Heritage*, 14(5), 411–423.

de arcos y bóvedas dejó de utilizarse hasta mediados del s.XX, ya que no era útil para calcular las entonces emergentes estructuras metálicas.

La teoría se retoma a partir de 1930 para determinar la capacidad mecánica de puentes medievales sometidos a nuevas cargas. A partir de 1960, el profesor Jaques Heyman¹⁸¹ establece la base teórica del Análisis Límite aplicado a estructuras de fábrica. Según sus principios, la fábrica es un material unilateral que presenta resistencia infinita a compresión, resistencia nula a tracción y en el que es imposible el fallo por deslizamiento.

La revisión exhaustiva de la historia de la teoría de arcos de fábrica puede encontrarse en diversas obras. Los trabajos de Poncelet (1788-1867)¹⁸² y Winkler (1835-1888)¹⁸³ recopilan las teorías iniciales desarrolladas entre los siglos XVII y mediados del XIX. La teoría elástica de arcos se desarrolla principalmente durante el siglo XIX. Es posible encontrar la historia de este proceso en la bibliografía de autores como Timoshenko (1878-1972)¹⁸⁴ o Charlton¹⁸⁵, pero será Heyman quien estudie la evolución de la teoría en el marco del Análisis Límite, situándolo de forma rigurosa en el marco de la moderna teoría de estructuras. También Kurrer¹⁸⁶ ofrece una visión completa en su obra de la historia, tanto de la antigua teoría de arcos como de la teoría elástica y, más recientemente, autores como Huerta¹⁸⁷, Roca¹⁸⁸ o Theodossopoulos¹⁸⁹ han abordado también el contexto histórico de la teoría de obra de fábrica.

En la actualidad, los principios establecidos por Heyman han permitido el desarrollo de diversas investigaciones para el análisis de estructuras de fábrica. Sera el caso de Block¹⁹⁰, Boothby¹⁹¹, Huerta¹⁹², Ochsendorf¹⁹³ y O'Dwyer¹⁹⁴, entre otros. El análisis de estructuras de fábrica a partir de líneas de presión es particularmente apropiado en el caso de estructuras que son marcadamente bidimensionales, o con una disposición basada en la simetría, que permite el equilibrio de las fuerzas contrapuestas de forma sencilla. Cuando esto no sucede, se pueden utilizar estrategias clásicas, como el conocido método de los cortes¹⁹⁵, así como métodos más recientes como el Thrust Network Analysis (TNA) planteado por Block¹⁹⁶ y cuyas aplicaciones aún se siguen desarrollando¹⁹⁷.

¹⁸¹ HEYMAN, J. (1966). The stone skeleton. *International Journal of Solids and Structures*, 2, pp. 249-279; HEYMAN, J. (1995). *The Stone Skeleton: Structural Engineering of Masonry Architecture*. Cambridge: Cambridge University Press.

¹⁸² PONCELET, J.V. (1835). Solution graphique des principales questions sur la stabilité des voûtes. *Mémorial de l'Officier du Génie*, 12, pp. 151-213, pl. III.

¹⁸³ WINKLER, E. (1879-80). Die lage der stützlinie im gewölbe. *Deutsche Bauzeitung*, Berlin: Konradin Medien GmbH

¹⁸⁴ TIMOSHENKO, S.P. (1953). *History of Strength of Materials: With a Brief Account of the History of Theory of Elasticity and Theory of Structures*. New York: McGraw-Hill.

¹⁸⁵ CHARLTON, T.M. (1982). *A History of Theory of Structures on the Nineteenth Century*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

¹⁸⁶ KURRER, K. E. (2008). *The history of the Theory of Structures: From Arch Analysis to Computational Mechanics*. Berlin: Ernst and Sohn.

¹⁸⁷ HUERTA, S. (2004). *Arcos, Bóvedas Y Cúpulas. Geometría Y Equilibrio En El Cálculo Tradicional de Estructuras de Fabrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera; HUERTA, S. (2008). The Analysis of Masonry Architecture: A Historical Approach. *Architectural Science Review*, Vol. 51, Issue 4, pp. 297-328.

¹⁸⁸ ROCA, P.; CERVERA, M.; GARIUP, G.; PELÁ, L. (2010). Structural Analysis of Masonry Historical Constructions. Classical and Advanced Approaches. *Archives of Computational Methods in Engineering*. Vol. XVII, Núm. 3, pp. 299-325.

¹⁸⁹ THEODOSSOPOULOS, D.; SINHA, B. (2013). A Review of Analytical Methods in the Current Design Processes and Assessment of Performance of Masonry Structures. *Construction and Building Materials* 41. Elsevier Ltd: 990-1001. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.07.095.

¹⁹⁰ BLOCK, P.; CIBLAC, T.; OCHSENDORF, J., (2006). Real-Time Limit Analysis of Vaulted Masonry Buildings. *Computers and Structures* 84: 1841-52.

¹⁹¹ BOOTHBY, T. E. (2001). Analysis of Masonry Arches and Vaults. *Progress in Structural Engineering and Materials* 3. 246-56. doi:10.1002/pse.84.

¹⁹² HUERTA, S. (2005). Mecánica de Las Bóvedas de Fabrica: El Enfoque Del Equilibrio. *Informás de La Construcción* Vol. 56, Núm. 73-89. doi:gen.cen.1994.1172.

¹⁹³ OCHSENDORF, J. (2002). *Collapse of Masonry Structures*. (PhD thesis). Cambridge University: Department of Engineering.

¹⁹⁴ O'DWYER, D. (1999). Funicular Analysis of Masonry Vaults. *Computers & Structures* 73 (1-5): 187-97. doi: 10.1016/S0045-7949(98)00279-X.

¹⁹⁵ UNGEWITTER, G.G. (1890). *Lehrbuch Der Gotischen Konstruktionen*. III Auflage Neu Bearbeitet von K. Mohrmann (3rd. Ed, 2 Vols.) Leipzig:Weigel Nachfolger.

¹⁹⁶ BLOCK P., OCHSENDORF J. (2007). Thrust Network Analysis: A New Methodology for Three-Dimensional Equilibrium. *Journal of the International Association of Shell and Spatial Structures* 48. Pp. 167-73.

¹⁹⁷ FRATERNALI, F. (2010). "A Thrust Network Approach to the Equilibrium Problem of Unreinforced Masonry Vaults via Polyhedral Stress Functions." *Mechanics Research Communications*. Vol. 37, pp. 198-204.

3.2.3. DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS DE CATENARIA Y LÍNEA DE EMPUJES APLICADOS AL ANÁLISIS DE ARCO

Robert Hooke (1635-1703) se interesa en el s. XVII en hallar un procedimiento científico de cálculo para determinar la estabilidad de los arcos y dimensionar sus soportes. Hooke propone en 1675 el principio de la catenaria invertida de las cargas como la línea de trayectoria de esfuerzos: del mismo modo que cuelga el hilo flexible, así pero invertido, se sostendrá el arco rígido¹⁹⁸. Este conocimiento fue aplicado por Christopher Wren (1632-1723) en la cúpula de San Pablo en Londres en 1675¹⁹⁹ con la colaboración de Hooke.

La ecuación matemática de la catenaria fue formulada más tarde por David Gregory (1659-1708) y publicada en 1697²⁰⁰. Gregory afirma que la catenaria es la verdadera forma del arco, ya que si estos se sostienen es porque se puede trazar una catenaria en su interior.

Años más tarde, los planteamientos de James Stirling (1692-1770) publicados en 1717²⁰¹, inspiraran a Giovanni Poleni (1683-1761) en el análisis de la cúpula de la basílica de San Pedro en el Vaticano²⁰².

Por otra parte, Philippe de La Hire (1640-1719) formula²⁰³ el equilibrio de los arcos y bóvedas según la teoría de la cuña, y establece, por primera vez, qué peso deben tener las dovelas para que el arco sea estable mediante un polígono funicular. En 1712²⁰⁴ observará que cuando los estribos de una bóveda son insuficientes se rompen en un ángulo de 45 grados. Por ello, teoriza que la parte superior del arco actúa en forma de cuña, sin rozamiento, creando una fuerza que tiende a volcar el estribo.

Belidor (1698-1761) simplificará el método de De la Hire en 1725²⁰⁵ reduciendo a unas tablas el cálculo del estribo necesario para la construcción de bóvedas. Posteriormente, Charles-Augustin Coulomb (1736-1806) determina en 1773²⁰⁶ la existencia de un empuje máximo y un empuje mínimo en un arco. La formulación rigurosa del concepto de línea de presiones, o línea de empujes, no llegaría hasta el s. XIX con Claude-Louis-Marie-Henri Navier²⁰⁷ (1785-1836), Henry Moseley²⁰⁸ (1802-1872) y E. Méry²⁰⁹ (fl. 1840).

Podemos definir el concepto de línea de presiones como el lugar geométrico de los centros de empuje que depende de la geometría del arco y de sus cargas, así como de la familia de juntas planas, es decir, el lugar geométrico del punto de paso de los esfuerzos por un sistema de planos de corte dados²¹⁰. Considerando que la fábrica solo trabaja a compresión, la línea de empujes debe estar contenida dentro del grosor del arco. Así, cualquier línea de empujes que cumpla esta

¹⁹⁸HOOKE, R. (1676). A description of helioscopes, and some other instruments, London, pp. 31.

¹⁹⁹HEYMAN, J. (2003). Wren, Hooke and Partners. *Proceedings of the First International Congress on Construction History*. Madrid: Instituto Juan de Herrera. pp. 1-11.

²⁰⁰GREGORY, D. (1676). Catenaria. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Núm. 19, pp. 637-652.

²⁰¹STIRLING, J. (1717). *Lineae Tertii Ordinis Neutonianae*, Oxon: Eduardi Whisler. pp. 11-14

²⁰²POLENI, G. (1748). Memorie istoriche della gran cupola del Tempio Vaticano. *Stamperia del Seminario*, Padova.

²⁰³DE LA HIRE, P. (1695). *Traite de mecanique de la Hire*. Paris: L'imprimerie royale

²⁰⁴DE LA HIRE, P. (1712). *Sur la construction de voutes dans les edifices*. Paris: (L'imprimerie)..

²⁰⁵FOREST DE BELIDOR, B. (1725). *Nouveau cours de Mathématique à l'usage de l'Artillerie et du Génie, où l'on applique les parties les plus utiles de cette science à la théorie et à la pratique de différents sujets qui peuvent avoir rapport à la guerre*. Paris: Chez Charles-Antoine Jombert, pp. 490-498.

²⁰⁶COULOMB, C.A. (1773). Essai sur une application de maximis et minimis a quelques problemes de statique, relatifs a l'Architecture. *Mémoires de Mathématique et de Physique, Présentés à l'Académie des Sciences par divers Savans*. Tome VII, pp. 343-382.

²⁰⁷NAVIER, C.L.M.H. (1826). *Resumé des Leçons donnés à l'Ecole des Ponts et Chaussées sur l'Application de la Mécanique à l'Etablissement des Constructions et des Machines*. Paris: Firmin Didot.

²⁰⁸MOSELEY, H. (1833). On a new principle in statics, called the principle of least pressure. *Philosophical Magazine* 3, pp. 285-288.

²⁰⁹MÉRY, E. (1840). Mémoire sur l'équilibre des voûtes en berceau. *Annales des Ponts et Chaussées*, lams. 133-134, pp. 50-70.

²¹⁰HUERTA, S. (2008). The Analysis of Masonry Architecture: A Historical Approach. *Architectural Science Review*, Vol. 51, Issue 4, pp. 297-328.

condición representa una posible solución de equilibrio de entre infinitas posibilidades. Este principio es la base del análisis límite de arcos y sus teoremas fundamentales.

3.2.3.1. COLAPSO DE ESTRUCTURAS DE OBRA DE FABRICA

Los primeros estudios estructurales de bóvedas aparecen en la segunda mitad del s. XIX, motivados por el renovado interés en las formas góticas. Por aquel entonces, el concepto de línea de presión estaba bien desarrollado, pero el estudio de bóvedas espaciales o de edificios era más complicado. Scheffler²¹¹ (fl.1857) plantea la idea de una bóveda de cañón cortada en rodajas para estudiar el comportamiento estático de las bóvedas de arista, pero la operativa resulta muy compleja y nunca es llevada a la práctica.

Wittman²¹² (fl.1879) y Planat²¹³ (fl.1887) realizaron los primeros análisis prácticos, pero fue Karl Mohrmann en la tercera edición del libro de Ungewitter²¹⁴ (fl.1890) quien aplicó de manera exhaustiva la técnica en un edificio completo. Para ello aplica la técnica de los cortes, estableciendo una serie de leyes para decidir la familia de planos de corte. En el s. XX, los arquitectos podían estudiar el comportamiento estático de las bóvedas de los edificios con la ayuda de métodos simples de estática gráfica. Por citar algunos ejemplos, Benouville²¹⁵ (fl.1891) en la catedral de Beauvais, o Rubió i Bellver²¹⁶ (1870-1952) en la catedral de Palma de Mallorca.

La seguridad de las estructuras de fábrica abovedadas depende de la estabilidad de los elementos que soportan el empuje de los arcos y bóvedas. Su fallo produciría un colapso de la estructura, y no es casual que la mayoría de las reglas tradicionales hagan referencia al dimensionado de los estribos. Reglas como la conocida regla del tercio ofrecen un coeficiente de seguridad muy amplio, siendo posible encontrar estructuras en buen estado que no cumplan esta norma.

El colapso de arcos, o bóvedas, se produce a partir de la formación de articulaciones. Dado que la fábrica tiene una capacidad muy limitada para soportar tracciones, a partir de la línea de presiones podemos identificar las zonas donde estas aparecerán. Así, allí donde la línea de presiones toque el límite de la sección del arco aparecerá una articulación, y una tracción en el lado contrario. A partir de la formación de la cuarta articulación se pondrá en marcha el mecanismo cinemático que puede provocar el colapso del arco.

Conocido el empuje del arco o bóveda, el análisis de los elementos de soporte es un problema de estática: el momento que produce el empuje debe ser contrarrestado por el peso del soporte. Es usual considerar que los elementos de soporte son monolíticos, y volcaran si el esfuerzo desestabilizante es mayor que el momento estabilizante producido por el peso total. La línea de empujes dependerá de la familia de juntas o planos de corte que se consideren.

Normalmente no se tendrá en cuenta la aportación de los muros entre los estribos, a pesar de que parte del peso del muro contribuirá a aumentar la estabilidad ya que es habitual que estén conectados con los estribos. Esta consideración está por el lado de la seguridad, pero si tras realizar el análisis el estado de equilibrio no es satisfactorio, se deberá plantear otras hipótesis. Según el caso debería estudiarse en profundidad la constitución interna de la fábrica, poniendo especial interés en la trabazón entre muros y estribos o contrafuertes. La anisotropía en los muros debe considerarse no sólo transversalmente, también en vertical.

²¹¹ SCHEFFLER, H. (1857). *Theorie der Gewölbe, Futtermauern und eisernen Brücken*. Braunschweig: Verlag der Schullbuchhandlung.

²¹² WITTMANN, W. (1879). Zur Theorie der Gewölbe. *Zeitschrift für Bauwesen*. Berlin: Ernst & Sohn. Vol. 29, pp. 61-74.

²¹³ PLANAT, P. (1887). *Pratique de la mécanique appliquée a la resistance des matériaux*, Paris.

²¹⁴ UNGEWITTER, G.G. (1890). *Lehrbuch Der Gotischen Konstruktionen*. III Auflage Neu Bearbeitet von K. Mohrmann (3rd. Ed, 2 Vols.) Leipzig:Weigel Nachfolger.

²¹⁵ BENOUVILLE, L. (1891-1892). Étude sur la cathédrale de Beauvais. *Encyclopédie d'Architecture*, Vol. 4.

²¹⁶ RUBIÓ Y BELLVER, J. (1912). Conferencia acerca de los conceptos organicos, mecanicos y constructivos de la Catedral de Mallorca. *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*, pp. 87-140.

Rankine²¹⁷ (1820-1872) sugería que el empuje debía pasar, al menos, dentro del tercio central de los estribos. Estudios realizados sobre estructuras existentes sitúan la línea de empujes dentro del cuarto central, siendo el coeficiente geométrico todavía más restrictivo. En todo caso, las líneas de presiones deberán estar contenidas dentro de la sección de fábrica, de acuerdo con los principios del análisis límite.

3.2.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE OBRA DE FÁBRICA

El propósito del análisis estructural es el de caracterizar la respuesta de la estructura ante una variedad de condiciones y acciones. En la actualidad podemos distinguir entre dos categorías básicas para el análisis de estructuras de obra de fábrica²¹⁸: métodos clásicos basados en el análisis límite y la estática gráfica; métodos computacionales basados en elementos finitos (FEM en inglés); análisis elástico lineal; análisis no lineal; macromodelización; y, finalmente, micromodelización.

El análisis límite a partir de las curvas de presión permite, tal y como se ha expuesto, evaluar las condiciones de equilibrio de una estructura a partir de su geometría y su peso. A pesar de que su uso es habitual y su validez aceptada a nivel internacional, no existe ningún programa informático, comercial o de código abierto, que haya resuelto su implementación. Diversos trabajos académicos han abordado la cuestión, resolviendo solo parcialmente el problema.

Los elementos finitos (FEM) permiten evaluar la distribución de esfuerzos y desplazamientos en una estructura. Su principal limitación reside en que los resultados del cálculo dependen de factores difíciles de concretar con precisión, como las condiciones de contorno y contacto entre distintas partes o materiales. Además, la fábrica es un material heterogéneo y anisótropo, con un comportamiento marcadamente no-lineal, por lo que es necesario utilizar homogeneizaciones para reproducir su respuesta estructural. Su interés reside en la posibilidad de evaluar la totalidad (o parte) de una estructura en tres dimensiones, y a pesar de las limitaciones expuestas, resulta especialmente útil para el análisis de la respuesta ante acciones sísmicas.

El cálculo elástico lineal tiene una aplicabilidad limitada en estructuras de obra de fábrica debido a la naturaleza propia del material. Es gracias a su accesibilidad y el limitado coste computacional que se ha utilizado como herramienta auxiliar en la diagnosis general de estructuras de fábrica. Se pueden simular acciones como la gravedad o asentamientos, y la aparición de tracciones puede asociarse con la fisuración existente. Así, este tipo de cálculo es adecuado principalmente para obtener información cualitativa. Algunos ejemplos los encontramos en la modelización de estructuras como la Torre de Pisa²¹⁹, el Coliseo²²⁰, la Cripta Güell²²¹ o la cúpula oval de la Catedral de Tortosa²²².

En cuanto al cálculo no lineal, distinguiremos entre macromodelización y micromodelización, aunque en ambos casos se utilizara alguna estrategia de homogeneización del material para

²¹⁷ RANKINE, W.J.M. (1858). *A Manual of Applied Mechanics*. London: Charles Griffin.

²¹⁸ ROCA, P.; CERVERA, M.; GARIUP, G.; PELÀ, L. (2010). Structural Analysis of Masonry Historical Constructions. Classical and Advanced Approaches. *Archives of Computational Methods in Engineering*. Vol. XVII, Núm. 3, pp. 299–325.

²¹⁹ MACCHI, G.; RUGGERI, M.; EUSEBIO, M.; MONCECCHI, M. (1993). Structural assessment of the leaning tower of Pisa. *Structural preservation of the architectural heritage*. Zürich, Switzerland: IABSE. pp. 401–408.

²²⁰ CROCI, G. (1995). *The Colosseum: safety evaluation and preliminary criteria of intervention*. *Structural Analysis of Historical Constructions*, Barcelona.

²²¹ ROCA, P. (1998). Studies of Gaudi's Cripta de la Colonia Güell. *Structural analysis of historical constructions II*. CIMNE, Barcelona, pp. 377–393.

²²² LLUIS I GINOVART, J.; COSTA-JOVER, A.; FORTUNY-ANGUERA, G.; DE SOLÀ MORALES-SERRA, P.; TOLDRÀ-DOMINGO, J.M. (2013). Proceso de rotura de una cúpula oval en la catedral de Tortosa. Análisis el mecanismo de colapso. *Informás de la Construcción*. Vol. 65 532, octubre-diciembre 2013, pp. 509-517.

desarrollar el cálculo²²³. En una macromodelización, la obra de fábrica se define como un material homogéneo equivalente, caracterizado por unas propiedades medias u homogeneizadas. Describen la respuesta de la obra de fábrica con precisión aceptable, aunque no llegan a simular modos de comportamiento que impliquen separación o deslizamiento entre partes. Permiten abordar el análisis de grandes elementos estructurales, como son los casos de la catedral de Mallorca²²⁴ o la iglesia de Santa Maria del Mar de Barcelona²²⁵ entre muchos otros.

En la micromodelización, los distintos componentes (bloques, mortero, interfaz) se modelan separadamente mediante ecuaciones constitutivas específicas. Debido al coste computacional, sólo pueden utilizarse para analizar elementos pequeños²²⁶. En este contexto, el conocido como Distinct Element Method²²⁷ (DEM) permite reproducir el comportamiento general de la obra de fábrica, es decir, elevada rigidez de los bloques, nula resistencia a tracción y a la fricción.

Tal y como se ha indicado, las estructuras de fábrica se rigen por el criterio de estabilidad, por lo que la distribución de los esfuerzos no es tan importante en este caso como puede serlo en una estructura de hormigón o acero. Por tanto, las estrategias de cálculo utilizadas se basarán en el análisis límite a partir de las líneas de presión.

3.2.4.1. ANALISIS LÍMITE DE ARCOS DE FABRICA

Heyman enuncia las siguientes hipótesis sobre el comportamiento de la obra de fábrica: resistencia infinita a compresión; resistencia nula a tracción; e imposibilidad de deslizamiento.

Las grietas modifican la línea de empujes del arco de forma que la distribución de esfuerzos internos varía completamente. Es imposible conocer este tipo de perturbaciones, por lo que podemos afirmar que no existe un estado real de la estructura, sino un estado cambiante y, por tanto, es imposible conocer cuál es la verdadera línea de empujes, objetivo del cálculo elástico.

Las deformaciones no son elásticas, son el resultado de la división de la estructura en una serie de partes que, conectadas a través de las articulaciones, permiten ciertos movimientos. Cualquier análisis estructural elástico (o por el método de los elementos finitos) trata de conocer la tensión en cada punto de la estructura para luego compararla con las tensiones admisibles obtenidas en ensayos de laboratorio. En el caso de las estructuras de fábrica el requisito de la resistencia juega un papel secundario y las afirmaciones sobre el material no consideran las deformaciones elásticas.

El análisis de estados límite, también conocido como análisis plástico, tiene como objetivo evaluar la carga estructural necesaria para provocar el colapso de la estructura. Aunque no sea posible determinar el empuje real del arco, sabemos que la línea de empujes deberá estar contenida dentro del grosor del arco.

Heyman desarrolla y sienta las bases de la formulación moderna de análisis de estados límite durante la última década del siglo XX, demostrando que las estructuras de fábrica pueden ser analizadas como un conjunto rígido de bloques a través del análisis límite.

²²³ LOURENÇO, P.B. (1996) *Computational strategies for masonry structures*. PhD Thesis. Delft: Delft University of Technology.

²²⁴ MARTÍNEZ, G.; ROCA, P.; CASELLES, O.; CLAPÉS, J. (2006). Characterization of the dynamic response for the structure of Mallorca Cathedral. *Structural analysis of historical constructions*. New Delhi, India: Lourenço PB, Roca P, Modena C, Agrawal S (eds).

²²⁵ MURCIA-DELISO, J.; DAS, A.K.; ROCA, M.; CERVERA, M. (2009). Seismic safety analysis of historical masonry structures using a damage constitutive model. *Thematic conference on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering*.

²²⁶ LOTFI, H.R., SHING, P.B. (1994). Interface model applied to fracture of masonry structures. *Journal of Structural Engineering – ASCE*, Vol. 120, Issue 1, pp. 63–80; LOURENÇO, P.B.; ROTS, J.G. (1997). A multi-surface interface model for the analysis of masonry structures. *Journal of Engineering Mechanics- ASCE*, Vol. 123, Issue 7, pp. 660–668.

²²⁷ CUNDALL, P. A.; STRECK, O.D. (1979). A discrete numerical model for granular assemblies. *Geotechniques*, Vol. 29, Issue 1, pp. 47-65; CUNDALL, P.A.; HART, R.D. (1992). Numerical modelling of discontinua. *Engineering computations*, Vol. 9, Issue 2, pp. 101-113.

3.2.4.2. TEOREMÁS FUNDAMENTALES Y ENFOQUE DEL EQUILIBRIO

Existen dos posiciones extremas de la línea de empujes, se corresponden con el empuje mínimo y el empuje máximo, y dan pie a los teoremas fundamentales de la plasticidad. El Teorema del Límite Inferior enuncia que si es posible demostrar al menos un posible estado de equilibrio estático admisible, la estructura es segura. A partir de este teorema el análisis busca una línea de presiones admisible según el estado de cargas. Por otra parte, el Teorema del Límite Superior indica que, si se puede encontrar un mecanismo cinemático admisible para el cual el trabajo resultante de fuerzas externas sea positivo o cero, la estructura colapsará.

Según el Teorema del Límite Inferior, también conocido como Teorema de la Seguridad, si podemos dibujar una línea de empujes dentro del grosor de un arco, sabemos que ese arco tiene al menos una posibilidad de mantenerse en pie. La cuestión fundamental de la teoría de estructuras es poder determinar la seguridad de ese arco. Según Heyman²²⁸, si en una estructura es posible una distribución de los esfuerzos internos en equilibrio con las cargas, y que no sobrepase un cierto valor de resistencia del material, la estructura será segura y no colapsará.

El sistema de esfuerzos deberá cumplir con la condición de cedencia. Esta consiste en que el material debe trabajar a compresión, los empujes deben estar contenidos dentro de cada junta. Por tanto, el arco será estable y no colapsará si podemos dibujar una línea de empujes dentro del arco. No se hace ninguna consideración sobre las condiciones de contorno. El arco se agrietará respondiendo a movimientos de los apoyos y la línea de empujes se moverá hasta encontrar nuevos estados de equilibrio.

El Teorema de la Seguridad del Análisis Límite soluciona el problema de encontrar la línea de empujes real, ya que es imposible determinarla, pero bastará poder dibujar una línea de empujes dentro del arco para demostrar que es seguro.

Una de las consecuencias más importantes del Teorema de la Seguridad es que permite el enfoque del equilibrio en el cálculo y análisis estructural, de manera que el objetivo del estudio no es buscar el estado real de equilibrio, sino encontrar posibles estados de equilibrio. Según Huerta²²⁹ es la herramienta más apropiada para comprender y analizar las construcciones de fábrica en la actualidad.

²²⁸HEYMAN, J. (1999). *El esqueleto de piedra*. Madrid: Instituto Juan de Herrera. (Traducción íntegra de la edición original: Heyman, J. (1995). *The Stone Skeleton*). Cambridge: Cambridge University Press; HEYMAN, J. (1995). *The Stone Skeleton: Structural Engineering of Masonry Architecture*. Cambridge: Cambridge University Press.

²²⁹HUERTA, S. (2005). Mecánica de Las Bóvedas de Fabrica: El Enfoque Del Equilibrio. *Informás de La Construcción* Vol. 56, Núm. 73–89. doi:g cen. 1994.1172.

4.MÉTODO

El método aplicado tendrá como referencia los trabajos realizados en el grupo de investigación Architerctural Heritage-PATRIARQ explicados en el apartado “1.1 Origen de la tesis, motivación y sistema”, y se basará en los conocimientos planteados en el apartado de “3. Marco teórico para el estudio de construcciones de fábrica”, donde ya se ha explicado la fiabilidad y conveniencia del escáner láser.

Será importante adaptar los métodos de estudio al número de iglesias estudiadas, así como a sus singularidades. El método se aplicará a 11 iglesias pertenecientes al primer románico. Estas pueden dividirse, según la apertura de la nave, entre las que tienen bóveda y las que tienen cerchas. También según la existencia del ábside original o la sustitución de este por un presbiterio.

El método de estudio se divide entre la fase de estudio previo de las diferentes técnicas de levantamiento, la fase de trabajo de campo, y por último la fase de tratamiento de los datos en despacho.

4.1.LEVANTAMIENTO

Para poder trabajar a partir de los datos procedentes del escaneo es necesario seguir un proceso que resultará en un volumen del edificio apto para ser estudiado. El primer paso es el de la preparación de las campañas de escaneo láser, seguido de la toma de datos y finalmente se ha de realizar un post-procesado de los datos obtenidos.

Es importante remarcar que no se ha buscado realizar una planimetría rigurosa a través de la representación de las campañas, sino experimentar con las posibilidades de representación arquitectónicas basadas únicamente en las nubes de puntos obtenidas.

4.1.1.TRABAJOS PREVIOS

Los trabajos previos comprenden las operaciones organizativas necesarias para preparar los escaneos. Nos centramos en la ordenación de las campañas, así como el proyecto de escaneado.

La ordenación de las diferentes campañas responde a aspectos prácticos como accesibilidad o compatibilidad con el uso litúrgico. Inicialmente se planteaba realizar las campañas de toma de datos siguiendo criterios historicistas, pero la mejor manera de tener plena accesibilidad a los edificios estudiados fue a través de consensuar el calendario del trabajo de campo con el obispado de la Seu de Urgell y con el Conselh Generau d’Aran.

Para la realización de las campañas se cuenta con la colaboración del responsable del Conselh Generau d’Aran Jèp de Montoya e Parra; la técnica de cultura del Conselh Generau d’Aran Elisa Ros Barbosa y la ayuda de los agentes de la brigada del Conselh Generau d’Aran: Francisco Javier

Antonio González, Josep Morales Sánchez, Juan Estévez Sans, Juan Manuel Moga Muñoz, Manuel Aunos Fernández y Manuel Barella Peguera. También se cuenta con el beneplácito del obispado de la Seu d'Urgell, y con la ayuda de los Rectores: excelentísimo señor Josep Amiell, reverendo mosén Joseph Geethafonkalan y reverendo Mosén Pere Balagué.

Una vez coordinado el calendario, queda pendiente un importante paso antes de proceder al escaneado de las iglesias. Se ha de estudiar el edificio, su ubicación, condiciones de luz y sombra, y acceso para poder estimar la mejor programación de escaneo²³⁰, determinando elementos como: localización y número de escaneos; resolución a usar (debe decidirse en relación con la máxima distancia de escaneo); los posicionamientos; el orden en que se realizaran los levantamientos; el tiempo en que se realizará el barrido; y el horario más conveniente para la toma de datos. También resulta clave conocer las propiedades y limitaciones del escáner, incluso a niveles tan básicos como la autonomía de las baterías.

4.1.2. CAMPAÑA DE TOMA DE DATOS

El siguiente paso es el de la toma de datos. Cada escaneo genera una nube de puntos de información, y en cada iglesia se toman varios escaneos según las características mencionadas en el anterior apartado. A partir de las nubes generadas en las diferentes localizaciones se configurará una nube de puntos conjunta con información geométrica e información de color del edificio²³¹.

El escáner usado para el escaneo es el P20 de Leica con las siguientes características técnicas: el tipo de láser es de tiempo de vuelo de alta velocidad mejorado con la tecnología Waveform Digitising (WFD); el ancho de banda es de 808 nm (invisible)/658 (visible) y esta es de clase 1 (de acuerdo con IEC60825:2014); la ratio del escaneo es de 1000000 puntos y el ruido a 100 metros es de 9.0 mm en colores negros, 4.30mm en colores grises, y 1.5 mm en colores blancos; el campo de visión es de 360º en horizontal y 270º en vertical. El escáner toma datos tanto de distancia como de colores de los paramentos estudiados. El rango de temperaturas en el que se puede operar es entre -20ºC i +50ºC. Puede operar entre la luz completa y la absoluta oscuridad y no le afecta la humedad (IP54 (IEC60529)).

El escáner láser funciona a partir de un rayo láser que es desviado verticalmente mediante el uso de un espejo poligonal. Este movimiento, combinado con la base rotatoria, permite adquirir un campo de visión de 360º en horizontal y 270º en vertical. Los datos geométricos y fotográficos son guardados en el disco duro y todas las operaciones son ordenadas desde una pantalla táctil con un interfaz intuitivo.

Los escaneos se han realizado con un rango de distancia de entre 0.10-100 m, con una resolución de 12.5mm a los 10m. Hay que tener en cuenta que en todos los casos la distancia de escaneo está cerca de los 5 metros. Se considera que la media de error está en 6.25 mm. En el Anejo 1 se encuentran explicadas las características técnicas de cada uno de los escaneos.

El principal problema en la toma de datos surge al realizar una mala elección de los posicionamientos, ya que se debe tener en cuenta las distancias y las oblicuidades que pueden

²³⁰ RIVEIRO, B. (2011). *Terrestrial laser scanning and limit analysis of masonry arch bridges*, *Construction and Buildings Materials*, Vol. 25, pp. 1727-1728.

²³¹ BERNARDINI, F.; RUSHMEIER, H. (2002). *The 3D model acquisition pipeline*, *Computer Graphics*. The Eurographics Association and John Wiley & Sons Ltd. Vol. 21. pp. 149-172; LEVOY, M., PULLI, K., CURLESS, B., RUSINKIEWICZ, S., KOLLER, D., PEREIRA, L., GINZTON, M., ANDERSON, S., DAVIS, J., GINSBERG, J., SHADE, J., AND FULK, D. (2000). The Digital Michelangelo Project: 3-D Scanning of Large Statues. *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. Pages 131-144; STUMPFEL, J.; TCHOU, C.; HAWKINS, T.; DEBEVEC, P.; COHEN, J.; JONES, A.; EMERSON, B. (2003). Assembling the sculptures of the Parthenon. *Proceedings of the SIGGRAPH 2003 Conference on Sketches & Applications: in conjunction with the 30th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. San Diego, California, USA, pp. 41-50.

afectar negativamente a la calidad del registro provocando ruido en la nube de puntos. En este sentido también, se deben tener en cuenta las propiedades reflectantes de los materiales que se escanean (los colores oscuros acumulan más error y las superficies brillantes y lisas acumulan menos error que las superficies rugosas y mates). Otro problema será el de la calidad y tamaño de las fotografías.

4.1.3. POST PROCESADO

Una vez realizado el itinerario topográfico se consigue un archivo de extensión (.imp) y gran capacidad. Este contiene información de la nube de puntos e imágenes. Con este archivo empezaremos el trabajo de procesado de datos en el despacho.

Se considera postproceso aquella fase de estudio obligatoria por tal de tener el volumen completo y preparado para poder afrontar cuestiones científicas. El post procesado se inicia en el limpiado y unión de las diferentes nubes de puntos según un sistema de coordenadas comunes.

Como ya hemos comentado, el escaneo nos ha dado como resultado una serie de volúmenes pertenecientes a diferentes partes del edificio. Estas partes son las que se deben unir en esta fase para posteriormente limpiar el ruido. Este proceso se puede realizar con métodos manuales o con métodos automáticos. Ello dependerá de las características de los escaneos, el número de dianas y el número de puntos comunes. Si se ejecuta automáticamente, en este caso, se une a partir de la localización de dianas que se pusieron en el escenario previamente al escaneo. Si se realiza manualmente se une a partir de la localización de puntos comunes realizados por el usuario.

Posteriormente a la unión, el protocolo obliga a combinar las diferentes nubes de puntos en una²³². Para la ejecución de este paso se han usado programas específicos de visualización y edición de datos. Concretamente, la unión de nubes se ha hecho con el programa Cyclone, asociado al escáner láser.

Una vez unificadas las diferentes nubes de puntos, con el objetivo de tener una nube de puntos manejable se procede a la eliminación del ruido y de partes del escaneo que nos son prescindibles, como el entorno. Se debe tener en cuenta que en muchas ocasiones se ha escaneado a 360º, tanto en el interior como en el exterior, con el objetivo de tener puntos comunes de reserva y en este punto pueden ser eliminados.

Se debe prestar especial atención a los reflejos de los vidrios, lluvia, escaneo de animales o personas. Una vez realizado este proceso se obtiene una nube de puntos con una densidad media de nube de 5530646 puntos, preparada para la investigación científica posterior.

La finalización de la fase explicada conlleva la visualización de las nubes de puntos en 3D donde se reconoce la forma de la iglesia con claridad y se puede realizar un primer estudio planimétrico de estas iglesias²³³ (apartado 5.1 Resultado de los escaneos).

A partir de este punto es necesario pasar por un proceso de mallado que nos permitirá realizar diversas acciones como mejorar las condiciones gráficas aplicando sobre la malla una imagen realizada con una cámara fotográfica²³⁴. Este proceso es útil, principalmente, para conseguir un volumen realístico del edificio. Se debe tener en cuenta que, con la tecnología actual, para

²³² BUCKSCH, A.; LINDENBERGH, R. (2008). *Skeletonization method for point cloud processing*, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Núm. 63 Published by Elsevier B.V, pp. 115-127.

²³³ LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2016). *Glèises en Encurnanclinc de vòutes Esgarramingades. Resultats de recerca i treballs dels alumnes de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura Universitat Rovira i Virgili*. Tarragona: Impremta Virgili. ISSN: 978-84-608-9709-5.

²³⁴ ZALAMA, E.; GÓMEZ, J.; LLAMÁS, 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*. ISSN: 1093-9687. Vol 26. pp. 381- 392. Wiley Blackwell.

conseguir un correcto renderizado es necesario simplificar el volumen inicial. Los programas como 3D Reshaper permiten esta opción, aunque las opciones usadas de manera más recurrente son las de reducción del volumen 3D a 2D consiguiendo sus secciones horizontales o verticales más representativas²³⁵. También se recurre a reducir el volumen 3D a otro 3D que se aproxima pero que es parametrizable²³⁶.

4.2.DIBUJADO, DEFINICIÓN VOLUMÉTRICA Y CRITERIOS DE REPRESENTACIÓN

Las plantas, las secciones, las vistas, y en general todos los elementos que es posible extraer de un modelo de nube de puntos, hacen que la información geométrica referente a un edificio sea más comprensible y manejable. Sin embargo, cuando el levantamiento se ha realizado con alta definición, es decir, mediante un escáner láser, es posible obtener elementos sin delinear, que respetan el dato original.

Basta con diseccionar el modelo de nube de puntos. Esto se debe a que la densidad de las mediciones es tal, que resulta suficiente seleccionar los puntos contenidos en un plano de cierto grosor —algunos milímetros dependiendo de la densidad del levantamiento— para obtener una planta o una sección clara de un edificio sin necesidad de trazar líneas entre los puntos. De este modo, el plano realizado a partir de un modelo de nube de puntos sin delinear puede aproximarse más a la realidad objetiva que otro elaborado por métodos tradicionales²³⁷.

El dibujado de las plantas y secciones se inicia con el seccionado en vertical u horizontal de la nube de puntos a partir de los comandos “sección planar” o “sección a mano alzada”. Ya desde una inspección visual se observa que los suelos no son horizontales, con lo que se tendrá en cuenta que el rango sea el menor posible²³⁸.

El volumen obtenido es suficientemente completo para la realización de estudios de cubicaje. Se cubirán únicamente las edificaciones románicas, entendiéndose como aquellas partes aún existentes más aquellas que han desaparecido pero que podemos modelizar. El proceso de toma del cubicaje se realiza con el comando de 3D Reshaper de “Volumen/cuadratura numérica” tanto para la malla interior como para la exterior.

La sección longitudinal se ha realizado por el eje longitudinal de la iglesia y la sección transversal por el cuarto vano o el más occidental. La orientación de la planta está modificada para facilitar la lectura de las secciones. Y la perspectiva caballera esta girada 15º hacia el este para una mejor

²³⁵ REMONDINO, F.; EL-HAKIM, S.; GONZO, L.; (2009). 3D-ARCH 2009:3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures. *Proceeding of the 3rd ISPRS International Workshop*; SORIA-MEDINA, A.; MARTINEZ, J.; ARIAS, P.; BUFFARA-ANTUNES, A. Z. (2013). Three-dimensional modeling of the romanesque church of Santa MARIA de Castrelos (Vigo-Spain) using terrestrial Láser Scanner. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and spatial information Sciences*. Volumen XL-5/W2,2013 XXIV Straesbourg, France: International CIPA Symposium.

²³⁶ RODRIGO-GONZALEZ, P.; GONZALES-AGUILERA, D.; GÓMEZ-LAHOZ, J. (2007). From cloud to surface: modeling structures in Láser scanner point cloud. *Workshop on Láser Scanning and SilverLáser*. Finland; QUATTRINI, R.; MALINVERNI, E. S.; CLINI, P.; NESPECA, R.; ORLIETTI, E. (2015). From TLS to HBIM. High quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture. *The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Avila Spain. Volume XL-5/W4; SANTANA, M.; VAN GENECHTEN, B.; DE BRUYNE, M.; POELMAN, R.; HANKAR, M.; BARNES, S.; CANER, H.; BUDIÉL, L.; HEINE, E.; REINER, H.; LERMA, J.L.; BIOSCA, J.M. (2008). *3D Risk Mapping. Theory and Practice on Terrestrial Láser Scanning. Training Material Based on Practical Applications*. Europe: Flemish Agency of the European Leonardo Da Vinci programme.

²³⁷ GARCIA-GOMEZ I.; FERNANDEZ DE GOROSTIA LÓPEZ DE VIÑASPRE M.; MESANZA MORAZA A. (2011). Láser escáner y nubes de puntos. Un horizonte aplicado al análisis arqueológico de edificios. *Arqueología de la arquitectura*. Pp. 25-44.

²³⁸ MAÑANA-BORRAZAS P.; RODRIGUEZ-PAZ A.; BLANCO-ROTEA R. (2008). Una experiencia en la aplicación del Láser Escáner 3D a los procesos de documentación y análisis del Patrimonio Construido: su aplicación a Santa Eulària de Bóveda (Lugo) y San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela). *Arqueología de la Arquitectura*, 5, pp. 15-32.

lectura del interior. En las secciones, el negro significa el edificio románico y el gris significa su pertenencia a un estilo posterior no románico.

Las reconstrucciones afectan a todas las iglesias a excepción de las iglesias de Sant Miquèu de Vilamòs, Sant Joan d'Arres de Jos, Sant Joan d'Arros e Vila, Sant Estèue de Tredòs, Santa Eulària d'Unha y Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs. El principal problema radicarà en la obligatoriedad de reconstruir los ábsides de las iglesias de Sant Pèir d'Escunhau y Santa Maria de Vilamòs a partir de la búsqueda de las relaciones en 2D. Mijaran debería ser estudiada después de un proceso de reconstrucción tridimensional, siendo la planta actual un caso incomparable en el estudio.

4.3.ESTUDIO DE LOS ASENTAMIENTOS Y DESPLOMES

El volumen obtenido nos permite estudiar la forma actual de la edificación. Poniendo esta en relación con una forma inicial podemos cuantificar los asientos o desplomes, aunque la forma inicial de las iglesias es desconocida, por lo que una comparación volumétrica es compleja. Con el objetivo de realizar esta comparativa consideramos dos tipos de elementos dentro de la construcción: aquellos que en su asentamiento deforman a otros (bóvedas) y aquellos que son deformados (muros y pilares). Esta diferenciación nos lleva a estudiar las iglesias según sus elementos constructivos de forma individualizada, y a compararlos con un objeto geométrico de referencia. Comparamos las bóvedas con cilindros o troncos de cono, tal y como anunciaba Bassegoda Nonell. Los pilares se comparan con una línea vertical y los muros se comparan con un plano vertical.

De manera específica, se estudiarán las bóvedas de las iglesias de Santa Maria de Vilamòs, Santa Eulària d'Unha, Sant Pèir de Betlan, Sant Miquèu de Vilamòs, Sant Joan d'Arros e Vila, Arres de Jos y Sant Roc de Begòs. Estas se discriminarán del resto de nube de puntos interior de cada una de las iglesias cortando por la línea de imposta (cuando no hay cornisa) o por la parte superior de la imposta (cuando hay cornisa). En sus cortes en los muros este y oeste se realizarán por el pliegue con los muros verticales.

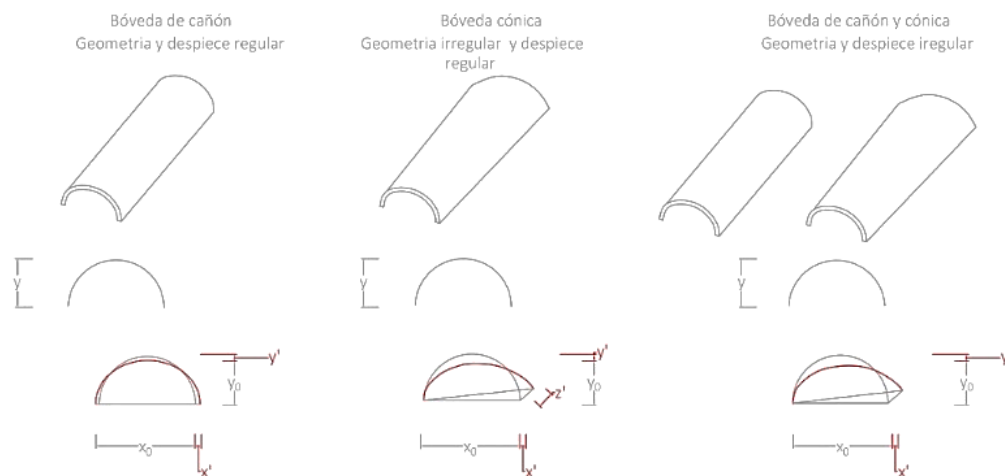
Como elementos desplomados, se estudiarán los pilares de Santa Maria de Vilamòs, Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs y Santa Eulària d'Unha. La parte de los pilares que se estudiará será el fuste. Este será discriminado por la parte inferior por la línea que define el suelo (al comprobar que la mayoría no tienen base) y en su parte superior por la línea inferior de la imposta (al tratarse de piezas monolíticas) o en la línea de imposta. Se estudiarán también los muros de todas las iglesias a excepción de la Iglesia de Santa Maria de Mijaràn. Estos se discriminarán de igual forma que los pilares.

Esta operación se realiza con la nube de puntos y no con la malla debido a que es un conjunto de unidades sin medida localizadas en el espacio (x, y, z) y que no supone ningún error de simplificación (ni del conjunto ni de borde) añadido en el protocolo de trabajo. El proceso se realiza con los comandos para limpiar nubes de 3d Reshaper, posteriormente se fabrica una malla acorde a estos puntos. Las mallas se generan a partir del comando de generación de mallas de 3D Reshaper a partir de un muestreo normal con un promedio entre puntos de 0.033 m, y con una detección de orificios con un tamaño de triángulo de 0.099 m.

La información en el estudio los desplomes de los pilares y muros que se expone en las imágenes gráficas está mayorada (x10), la altura está a la escala indicada y la información numérica está en valor verdadero.

4.3.1. ESTUDIO DEL ASENTAMIENTO DE LA BÓVEDA

Partiendo de una mirada histórica entorno al estudio de bóvedas, Robert Willis (1800-1875) menciona las bóvedas románicas en la parte introductoria a la mecánica de las bóvedas cilíndricas de *On the Construction of the Vaults of the Middle Ages* (1842)²³⁹. Luís Villanueva y Bartrina reduce el estudio de las bóvedas al estudio de una rebanada de la misma. Introduce el esfuerzo a lo largo del eje de la iglesia debido a uso de aparejo trabado ayudado por el mortero.



Esquema 4 Tipologías de deformación de las diferentes bóvedas.

Para el estudio del asiento de las bóvedas se tienen en cuenta las teorías de Bassegoda Nonell (1974)²⁴⁰, en las que afirmaba que estas iglesias contenían bóvedas cónicas. Considerando acertadas estas teorías, los empujes actúan en tres direcciones (x , y , z) y la resultante no será perpendicular a la directriz de la bóveda. Estos esfuerzos son transmitidos a los elementos estructurales verticales, provocando deformaciones sobre los muros de cerramiento. Por otra parte, las bóvedas que se apoyan sobre los muros de los arcos torales, que a su vez lo hacen sobre los pilares de la nave central, van a tener deformaciones sobre los tres planos dfm ($dfmx$, $dfmy$, $dfmz$) (Esquema 4). Por estos motivos se entiende que el estudio de las bóvedas necesita de una comprensión tridimensional, aceptando la teoría de Villanueva Bartrina de trabajo en los dos sentidos (tanto longitudinal como transversal)²⁴¹.

Las iglesias del primer románico que tienen bóvedas son Santa María de Vilamòs, Santa Eulària d'Unha, Sant Miquèu de Vilamòs, Sant Joan d'Arros e Vila i Sant Pèir de Betlan. Sant Roc de Begòs, aunque también presenta bóveda, debe ser estudiado mediante otro proceso, pues se trata de una bóveda claramente apuntada. El conjunto de las iglesias mencionado se considera una muestra suficiente para realizar estudios comparativos, sin obviar la diferencia de tamaños entre ellas.

²³⁹ WILLIS, R. (1842). *On the Construction of the Vaults of the Middle Ages*, *Transactions of the Royal Institute of British Architects*. Vol. 1, pp. 3-13.

²⁴⁰ BASSEGODA NONELL, J. (1974). Estética Expresionista de la arquitectura romana lombarda en Catalunya como consecuencia de las deformaciones formales y estructurales de las iglesias. *De Re Restauratoria*, Barcelona: Catedra Gaudí (UPC). Vol. II.

²⁴¹VILLANUEVA, J.L. (1974). Las Bóvedas de Cañón. *De Re Restauratoria*. Barcelona: Catedra Gaudi. UPB. Vol. 2, pp. 145-58.



Esquema 5 Proceso de estudio de las bóvedas

Para el análisis es conveniente tener una visión completa de las bóvedas, así que se decide realizar un estudio topográfico de ellas. Se plantea un estudio respecto el plano horizontal²⁴², evidenciándose la necesidad de diseñar un sistema que permita visualizar toda la bóveda. Tomando como referencia el eje central de la bóveda se realizan dos estudios. En los siguientes párrafos explicamos el procedimiento a seguir para realizar estos estudios, el primero a través del programa 3DReshaper.

Primero, una topografía desplegada de la bóveda. Para ello el protocolo a seguir será: determinación del eje central de la nube de puntos con el comando de 3DReshaper <Eje Neutro>; determinación de la forma que más se aproxima a la bóveda con el comando de 3DReshaper <Extraer forma> (las opciones factibles son o tronco de cilindro o tronco de cono); determinación del rango de las cotas; realizar troncos de cono o cilindros paralelos según el rango con los comandos de 3DReshaper <copiar> y <escala>; seccionado de las bóvedas con los troncos de cono o cilindros con el comando de 3DReshaper <Intersección>; desplegado de la topografía sobre el plano horizontal para su interpretación con el comando de 3DReshaper <Desenrollar>. En el estudio de los asentamientos se estudiará cuanto de diferente es la forma inicial respecto la forma simplificada²⁴³ (Esquema 5).

La segunda parte estudiará comparativamente la altura del eje central junto a la línea de las impostas por tal de determinar si son rebajadas, peraltadas o de cañón. Si las impostas están por encima de del eje central es rebajada o a carpantel (caso imposible para el románico), si se encuentran a la misma altura son de cañón, y si están por debajo son peraltados o apuntados.

Para poder diferenciar entre rebajado o carpantel y apuntado o peraltado se acompaña el estudio de unas secciones verticales. El plano (τ) determina la directriz de la bóveda y los diferentes planos (ω_i) transversales a la directriz (τ). Las secciones (ω_i) variarán en función de la tipología de la planta, bien sea de planta basilical de tres naves o de nave única.

Se estudiará la curvatura mediante la relación entre la luz (l) y la flecha (f) en la imposta de la bóveda. Si ambos datos son iguales, la bóveda será semicircular. Si la luz (l) es mayor que la flecha (f), será rebajada. Si la luz (l) es menor que la flecha (f) la bóveda será peraltada (Esquema 6).

²⁴² LLUIS I GINOVART, J.; COLL-PLA, S.; LOPEZ-PIQUER, M. (2015). Masonry strain into Vall d'Aràn churches. *Proceedings of the Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIV*. A Coruña: C.A. Brebbia, Wessex Institute of Technology, UK and S. Hernandez, University of A Coruña. Section 8. Pages 443-455. ISBN: 978-1-84564-968-5; CAROTI G.; DE FALCO A., (2003). Geometric survey for the structural assessment of the architectural heritage: the case of the cupola of the baptistery of S. Giovanni e reparata in Lucca. *The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXIV, Part 5/W12.

²⁴³ BRUNO, N.; COÏSSON, E.; COTTI M. (2017). Láser-Scanner survey of structural disorders: an instrument to inspect the history of Parma Cathedral's central nave. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Florence. Volume XLII-5/W1.

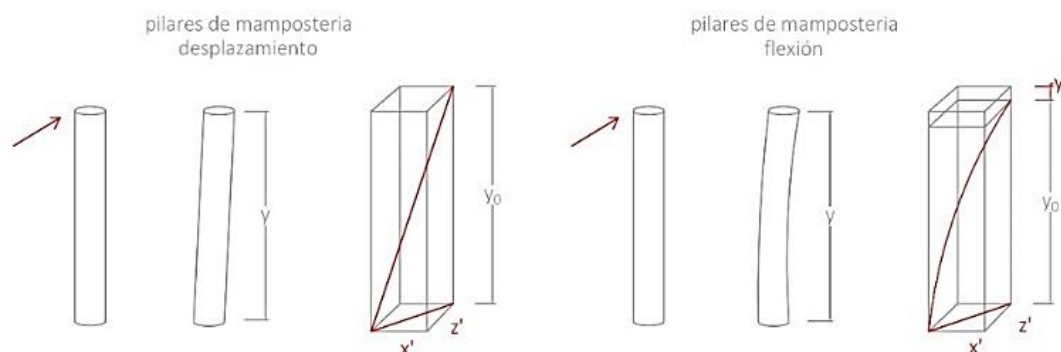


Esquema 6 Estudio de la tipología de bóvedas

Este segundo estudio acompañado de la topografía nos dará una lectura en 3D del sistema de construcción de las bóvedas. Con ello se introduce la altura del eje central al estudio de las bóvedas por secciones verticales.

4.3.2. ESTUDIO DE LOS DESPLOMES DE LOS PILARES

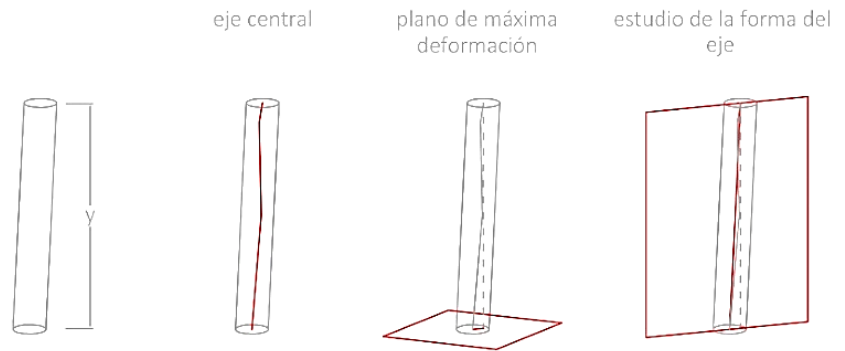
De igual modo al método seguido para el estudio de las bóvedas, se consideran los mismos desplomes en longitudinal y transversal para los pilares. Obteniendo un descenso de extremo exterior, y a su vez un desplazamiento sobre el eje (z), si los pilares están contruidos con material discontinuo y con abundantes juntas de fábrica, existe una tendencia general a que el pilar se traslade en su parte superior, de aquí que no exista $\Delta dfpy$. Las deformaciones así producidas serán del tipo dfp ($dfpx, 0, dfpz$). En determinados casos puede ser una acción combinada de giros y traslaciones, con lo que la caracterización general se haría por intervalos (Esquema 7).



Esquema 7 Tipología de deformación de los pilares

Para la determinación del plano que contiene la máxima deformación y el estudio de la forma del desplome se estudia la polilínea formada por los baricentros, deducida a partir del seccionado de las hiladas de mampostería²⁴⁴. El protocolo a seguir para la realización de este estudio empieza en el seccionado horizontal de las hiladas y la localización del baricentro de estas. Así, se dibujará una polilínea 3D que, proyectada sobre el plano horizontal, nos indicará, a partir de la unión de sus extremos, la dirección del plano vertical de máxima deformación. Una vez localizado este, el mismo eje se proyectará sobre el plano de máxima deformación, permitiéndonos obtener un dibujado 2D del desplome del eje de los pilares (Esquema 8).

²⁴⁴ MONTEIRO-GENIN S., (2001). The nave vault of the Hieronymites Monastery Church in Lisbon. *In Historical constructions*. Guimeraes: Lourenço P. B., Roca P. Editores. pp. 296.



Esquema 8 Proceso de estudio de los pilares

El desplome de los pilares puede realizarse de dos formas diferentes: una primera opción, donde el resultado del desplazamiento es un eje con forma de arco, indica que las juntas admiten cierto movimiento de rotación; un segundo movimiento es el que se da cuando el resultado final del desplazamiento del eje central es una línea recta diferente a la vertical, resultante del desplazamiento en horizontal de las hiladas.

La aproximación de las secciones a la forma se realizará mediante métodos estadísticos. A partir del diagrama de dispersión de puntos, determinamos la recta de regresión y miramos la bondad del ajuste a partir del coeficiente de determinación ($0 =$ valores independientes; $1 =$ valores dependientes).

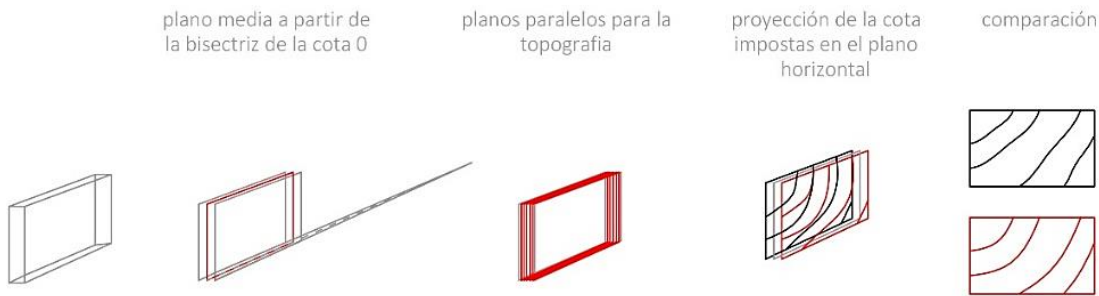
También será de importancia la contabilización de las piezas de cada hilada. Este dato indicará la cantidad de mortero en juntas verticales. Eso a su vez indicará la posible deformabilidad del pilar (a más mortero, más deformación). Cabe destacar que este procedimiento no se puede realizar en la iglesia de Unha, y en la iglesia de Cap d'Aran de Tredòs solo de forma parcial. En cambio, en la iglesia de Santa Maria de Vilamòs se puede realizar fácilmente.

4.3.3. ESTUDIO DEL DESPLOME DE LOS MUROS DE LA NAVE (SUR Y NORTE)

Si atendemos al tipo de asiento de las bóvedas, es lógico pensar que, de forma análoga a los pilares, los muros se deforman en los mismos planos. Si atendemos a la geometría de los muros concretamos que el único movimiento de desplome posible es aquel que se produce en el plano perpendicular al eje del muro.

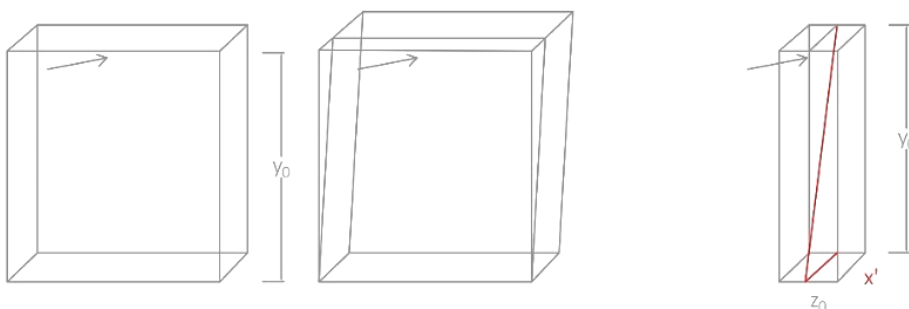
La localización de la sección de máximo desplome se realiza a partir de un estudio topográfico de los muros. Este estudio se realiza en cada uno de los muros (sur y norte) de las naves. Los documentos topográficos se generarán a partir del plano cuya componente horizontal estará definida por la línea que más se aproxima a las dos líneas correspondientes a los paramentos interior y exterior de cota 0. Ello se realiza con el comando de <Extraer forma> de 3D Reshaper.

Este plano nos servirá como cota 0 de la topografía tanto para el paramento interior como el exterior. La altura de los diferentes planos de sección se deducirá a partir del estudio de los rangos de máxima distancia al plano de referencia de la nube de puntos de los muros (Esquema 9).



Esquema 9 Proceso de estudio de los muros

La topografía nos permitirá estudiar el paralelismo de los paramentos interiores y exteriores, así como localizar la sección de máximo desplome. Este último paso se realizará a partir de la localización del punto más alejado del plano de referencia. Se considera que es posible que el desplome interior y exterior no coincida ni en módulo, ni forma, ni localización, por lo que el estudio de forma del asentamiento se realizará a partir de la sección de los paramentos externos. De forma análoga a los pilares se realiza un seccionado horizontal por las hiladas de los muros, por tal de dibujar la línea de desplome de los paramentos (Esquema 10).



Esquema 10 Tipología de deformación de los muros

Para el estudio de los desplomes se medirá la parte superior del muro o pilar respecto la vertical de la misma sección desde el suelo²⁴⁵. Para el estudio de la estabilidad de los muros y contrafuertes uno de los parámetros más significativos a tener en cuenta es el ángulo formado por el desplome de los muros. Esta inclinación está en relación con el grosor del muro y el punto de incidencia de la línea de máxima presión en el suelo²⁴⁶, y siempre se estudiará en relación al empuje de la

²⁴⁵ PELLEGRINELLI, A.; FURINI, A.; RUSSO, P.; (2014). Earthquakes and ancient leaning towers: Geodetic monitoring of the bell tower of San Benedetto Church in Ferrara (Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 15. Pp. 687-691; BERTACCHINI, E.; BONI, E.; CAPRA, A.; CASIAGNETTI, C.; DUBBINI, M. (2010). Terrestrial laser scanner for surveying and monitoring middle age towers. *FIG Congres 2010, Facing the Challenges-Building the Capacity*. Sydney Australia.

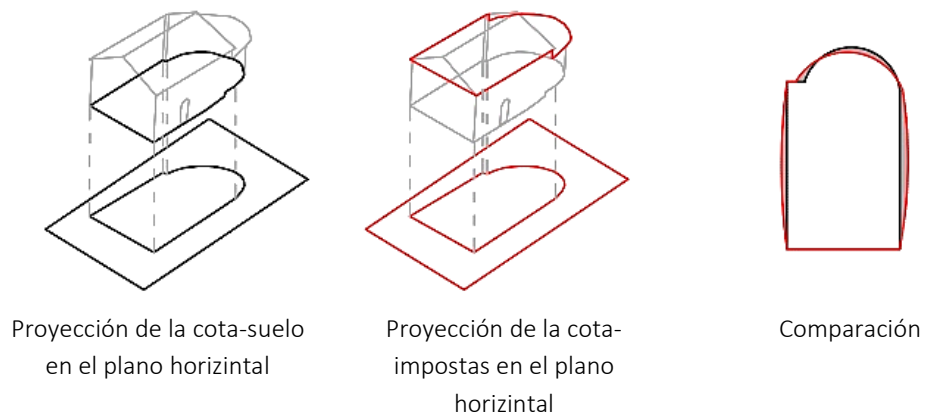
²⁴⁶ HUERTA S.; LÓPEZ G., (1997). Stability and consolidation of an ashlar barrel vault with great deformations: the church of Guimerei. *Transactions on the Built Environment*. Vol 26. ISSN 1743-3509

bóveda. También cabe considerar un desplome máximo de 3º en muros y de 2. 5º en contrafuertes²⁴⁷ siempre que se considere que el contrafuerte es rígido²⁴⁸.

4.3.4. ESTUDIO DEL DESPLOME DEL MURO OESTE Y DEL ÁBSIDE

La deformada de las impostas se define a partir de la superposición de la planta seccionada por la cota cero y la planta seccionada por la imposta. La sección por la imposta, en caso de no existir moldura, se define a partir del cambio de plano. En caso de haber moldura se considerara la parte inferior a esta. La comparativa entre estas dos plantas permite tomando como referencia la sección por la cota 0 nos permite definir la dirección y módulo de la deformada. La sección por la cota cero se realiza a partir del redibujado de la planta en la línea donde termina el suelo y empieza a la pared (comprendida en todos los casos entre cota 0 y 20) y proyección en el plano horizontal. La sección por la imposta se realiza a partir del redibujado de la línea de imposta y su proyección en el plano horizontal. El seccionado se realiza con el programa 3D Reshaper y la proyección y comparativa se realiza con AutoCAD en dos dimensiones (Esquema 11).

Solamente estudiamos las partes románicas del edificio por ser aquellas objeto de estudio. El resto de partes pertenecen a diferentes épocas con diferentes obras de fábrica y diferentes características mecánicas, con lo que no son comparables con las deformaciones del primer románico. Debido a las múltiples alteraciones arquitectónicas, en los casos en que se ha construido una capilla no es posible interpretar la deformada de las impostas, por no tener la línea en la cota 0.



Esquema 11. PProceso de estudio de las impostas

4.4. ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LAS IGLESIAS CON BÓVEDAS

El estudio de la estabilidad de las iglesias se basa en el análisis límite. Los datos necesarios para llevarlo a cabo son la geometría de la sección y los pesos específicos de los distintos materiales. La geometría se obtiene a partir de las nubes de puntos. En cuanto a los materiales, no se dispone de datos empíricos, por tanto, en primer lugar, se estudia el despiece de la obra de fábrica que será usado para la determinación de los pesos de los elementos constructivos de las secciones

²⁴⁷ BLOCK P., (2003). *Equilibrium systems. Studies in Masonry Structure* (Submitted to the Department of Architecture in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Architecture Studies at the Massachusetts Institute of Technology). Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

²⁴⁸ OCHENDORF, J.A.; HERNANDO, J.I.; HUERTA, S. (2004). Collapse of Masonry Buttresses. *Journal of Architectural Engineering*. Vol. 10, núm. 3.

consideradas a partir de pesos específicos de referencia. Posteriormente se trazarán las líneas de presión por el método de los cortes con el objetivo de analizar las condiciones de equilibrio.

4.4.1.DEFINICIÓN DE LA OBRA DE FABRICA

La técnica de escaneo permite la elección de la densidad de puntos para ajustar la calidad en función del uso. Se opta por elegir una densidad de puntos que nos permita un estudio volumétrico y completar la información con fotografías para un estudio minucioso de la estereotomía.

El estudio de la obra de fábrica se inicia en la detección de las diferentes obras existentes en las construcciones. No es objetivo del estudio realizar una lectura de paramentos exhaustiva, ya que el método de cálculo utilizado para la línea de presiones es poco sensible a cambios pequeños, y por tanto no afectan a la valoración cualitativa del resultado. Se toman muestras representativas de las principales áreas identificadas visualmente.

Una vez detectadas las diferentes fábricas se realizan fotografías frontales a estas a 2 metros de distancia y se mide la estereotomía de las piedras en largo y grosor (en pocos casos se consigue medir el espesor), y se apunta el origen de la piedra (ígneas, metamórficas, areniscas). Finalmente, se mide el grosor de la junta horizontal de mortero, así como la granulometría del árido empleado. Las fotografías se escalan después a e.:1/10 para representar un cuadrado de 1m x1m.

En los pilares se realiza la misma operación, con la salvedad de que para poder ajustar la curvatura el recuadro debe ser rectangular y de 1m de altura por 0.5 m de ancho. En ambos casos la contabilización de los grosores de juntas se realiza en todas las hiladas y se extrae la media. La contabilización de la estereotomía se hace en todas las piezas enteras y se extrae la media. En el cálculo del peso de los muros se tienen en cuenta las capas de los muros.

Las mediciones se realizan a partir de procesos manuales. El levantamiento manual es útil para la obtención de puntos individuales siendo el edificio interpretado y simplificado para su correcto dibujo²⁴⁹.

4.4.2.ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE EQUILIBRIO

Las iglesias que implican mayor complejidad desde el punto de vista del equilibrio son aquellas que están cubiertas con bóveda, ya sean de tres naves o de una sola nave. En ambos casos, la estabilidad del conjunto depende de que los elementos de contrarresto soporten los empujes provocados por las bóvedas, y de que, en el caso de existir tres naves, los empujes entre las bóvedas se equilibren con todo el sistema estructural.

Así, el estudio de la estabilidad de las iglesias puede realizarse a partir de las secciones transversales en aquellas iglesias que tienen bóveda²⁵⁰. El estudio de las líneas de presión se realizará por el Método de los Cortes. Éste se basa en el mismo principio que el utilizado en el cálculo de cúpulas.

El primer cálculo de una cúpula real por gajos fue realizado en el contexto de los informes sobre la cúpula de San Pedro de Roma. Giovanni Poleni (1683-1761)²⁵¹ fue el primero en emplear modelos colgantes para la determinación de líneas de empujes en cúpulas. El principio se basa en

²⁴⁹ HADDAD, N.A. (2011). From ground surveying to 3D láser scanner: A view of techniques used for spatial documentation of historic sites, *Journal of King Saud University*, Vol. 23, pp. 109-118.

²⁵⁰ VAN GENECHTEN, B.; SANTANA QUITERO, M.; SCHUEREMANS, L. (2008). The use of 3D-Scanning for the structural analysis of masonry vaults-a case study on the Saint James Church. *Conference on Virtual Systems and Multimedia Dedicated to Digital Heritage*.

²⁵¹ POLENI, G. (1748). Memorie istoriche della gran cupola del Tempio Vaticano. *Stamperia del Seminario*, Padova, Col. 30-50.

la división en arcos de la cáscara según el corte con planos meridianos. Ésta técnica se convirtió en el enfoque habitual para el análisis de cúpulas, y Heyman (1925-act) retoma la técnica en el marco de la teoría de Análisis Límite.

Del mismo modo que en las cúpulas, se puede aplicar el método de los cortes en el análisis de bóvedas. En el caso de bóvedas de cañón, los cortes son perpendiculares al eje central de la bóveda. Cada una de las bóvedas cilíndricas está compuesta por una serie de arcos fundamentales apoyados sobre el sistema de soporte. Es posible calcular el empuje de cada arco y comprobar su repercusión en la correspondiente sección del sistema de soporte. En todo caso, tal y como enunciaba Ungewitter²⁵², la familia de planos de corte dependerá de la geometría de la bóveda.

En el caso concreto de las iglesias del Val d'Aran analizadas, se realizan diferentes secciones: las primeras son transversales al eje principal de la iglesia y se localizan en los puntos de máximo asentamiento de las bóvedas, identificados por medio del análisis geométrico. Además, en el caso de las iglesias de planta basilical, también se trazan de forma perpendicular al eje central de la iglesia por los pilares de estas. Por último, se trazan las secciones por los pilares en el sentido del plano de máxima deformación. Esta última familia de cortes es poco habitual, y responde al problema de la tridimensionalidad de la estructura, ya que el método de los cortes es una herramienta básicamente bidimensional.

Para el cálculo de las secciones realizadas por los pilares se tiene en cuenta la volumetría que va de parte central del vano a parte central del vano, además se repercute el área tributaria de la cubierta como carga puntual, así como de los arcos transversales. El grosor de las secciones que estudia los vanos tiene un recorrido desde el eje del pilar hasta el eje del otro pilar. La sección del muro también tiene el mismo espesor considerado en las bóvedas.

4.5. CONVENIOS DE DIBUJO UTILIZADOS

Para la representación y estudio de los edificios, se genera la sección longitudinal ϕ_2 trazada por la bisectriz del ángulo α formado por los ejes ϕ_1 y ϕ_3 de los muros del evangelio y de la epístola respectivamente. La sección transversal ω_1 será definida como aquella sección perpendicular al eje ϕ_2 que pasa por los pilares P1 y P2 (Imagen 6).

La sección transversal ω_2 será definida como aquella sección perpendicular al eje ϕ_2 que pasa por los pilares P3 y P4. La sección transversal ω_3 será definida como aquella sección perpendicular al eje ϕ_2 que pasa por los pilares, P5 y P6. (ilustración 6)

El estudio de la dirección del desplome de los muros se definirá a partir del ángulo β , medido desde el plano $\omega_1, \omega_2, \omega_3$.

La sección por la cota 0 se define como aquella realizada por el punto más alto del suelo con el objetivo de poder realizar una sección completa. La sección por la imposta queda definida en una altura variable en las iglesias con bóvedas por la línea donde el paramento cambia de tendencia. En las iglesias donde no hay bóvedas se define por la línea formada por los apoyos de las cerchas. El rango en las iglesias de una sola nave es menor por tratarse de una sola línea de imposta. El rango en las iglesias de tres naves es mayor debido a que se trata de diferentes planos de impostas (ábsides, pilares y muros).

²⁵² UNGEWITTER, G. G. (1890). Lehrbuch der gotischen Konstruktionen: III Auflage neu bearbeitet von K. Mohrmann (3rd. ed, 2 vols.). (W. Nachfolger, Ed.). Leipzig.

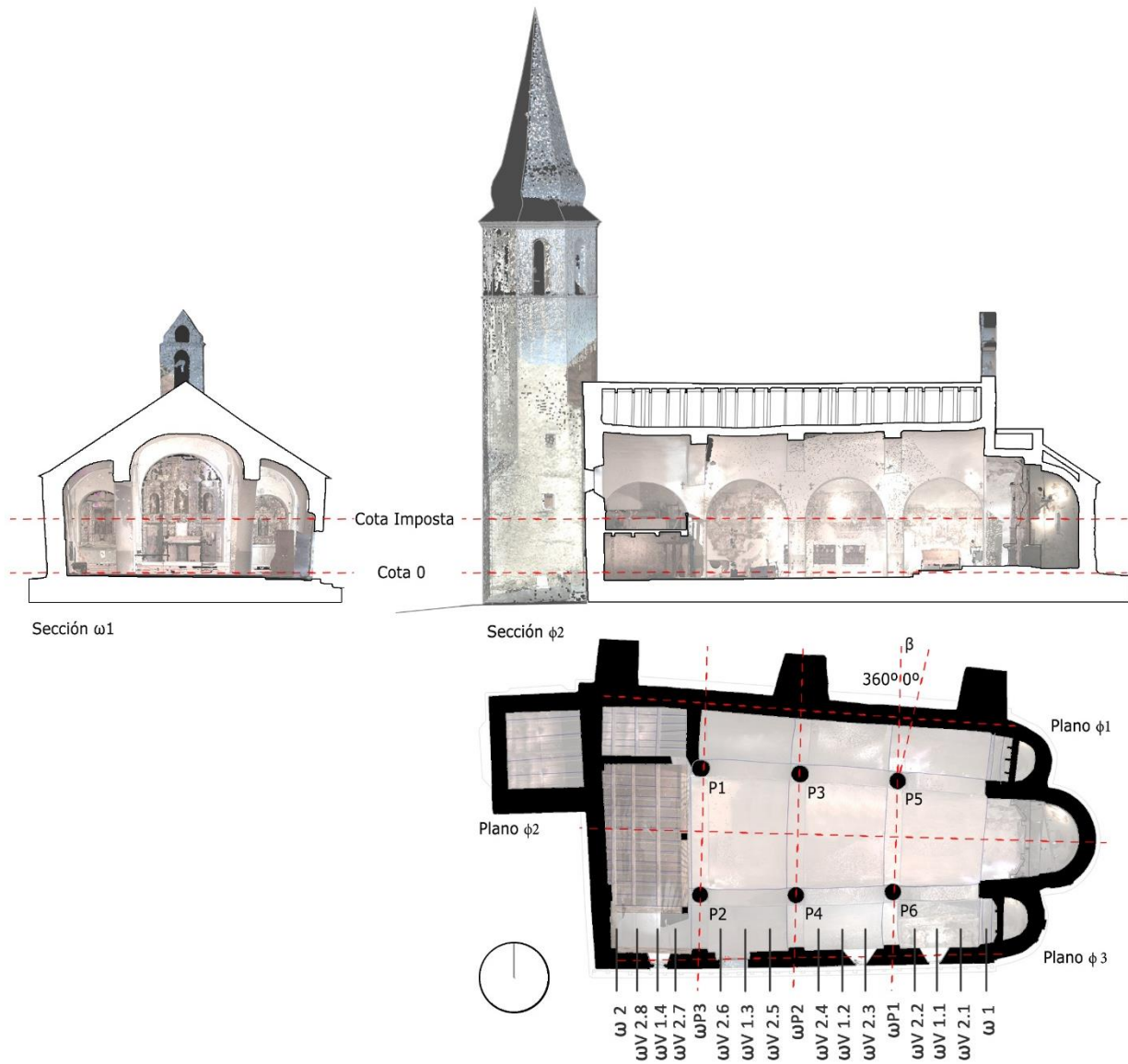


Imagen 6. Convenio de dibujos utilizados.

5.RESULTADOS

Los resultados se ordenan de forma que se pueda realizar una lectura completa del estudio realizado, dividiéndose en: resultados de los escaneos, donde se explican las campañas realizadas; definición volumétrica de las edificaciones, donde se definen graficamente las iglesias y se aportan datos numéricos sobre sus dimensiones; estudio topográfico de las bóvedas, donde se estudia la topografía actual de las bóvedas; estudio geométrico de los pilares, donde se estudia la forma del eje de los pilares; estudio topográfico de los muros; estudio geométrico de la sección de máximo esplome de los muros, donde de forma analoga se define la forma de la sección en los pilares; estudio de las impostas, donde se estudia de forma unitaria el desplome de los muros y de los pilares; y por último, el estudio de la estabilidad de las secciones más significativas, donde se estudia la obra de fábrica así como se dibujan las líneas de presiones de las secciones más desplomadas o asentadas.

5.1.RESULTADO DE LOS ESCANEOS

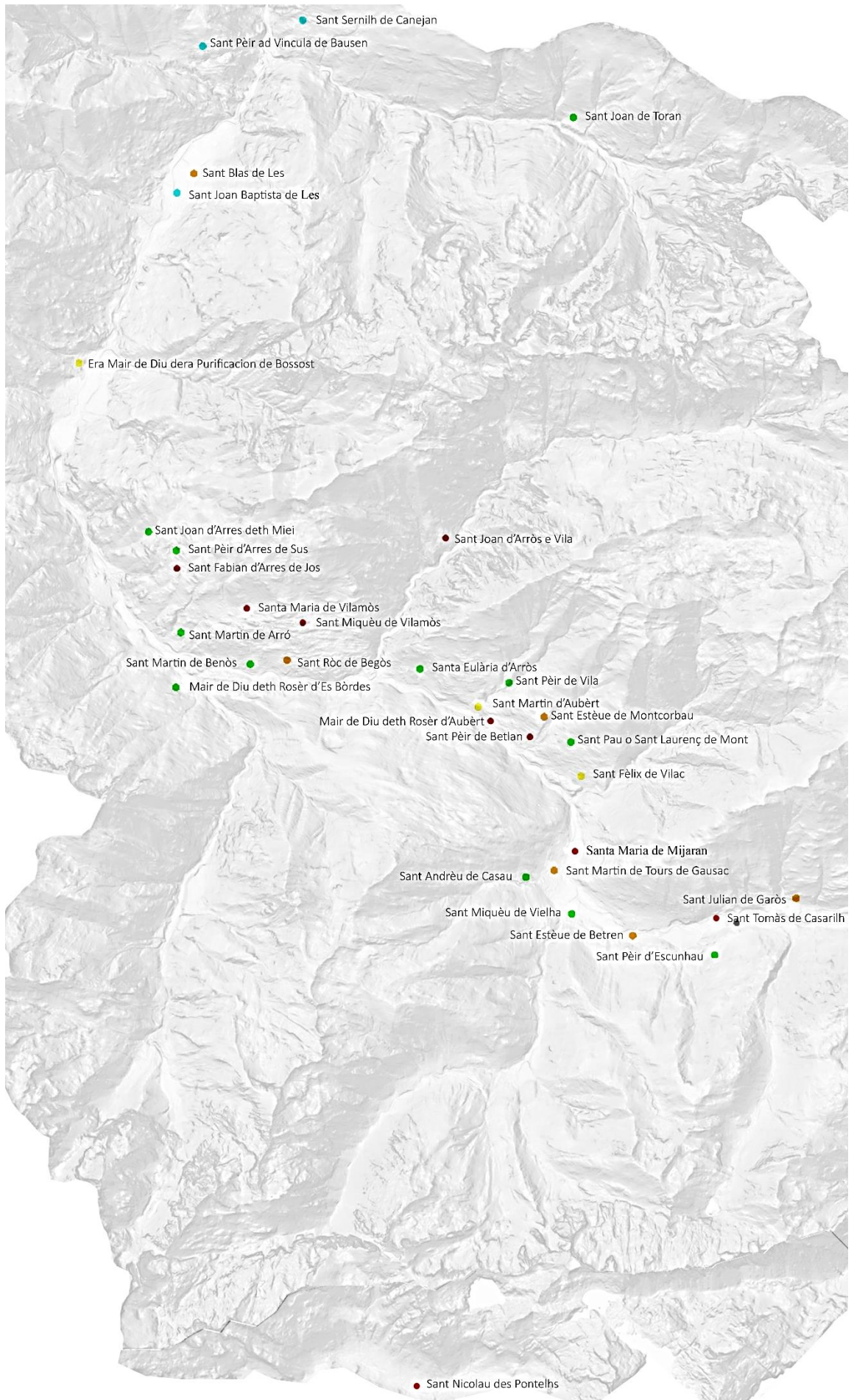
Uno de los objetivos de la tesis consiste en generar una base de datos topográficos de todas las iglesias que permita contar con documentación planimétrica para la realización de estudios comparativos. Cabe recordar que este estudio comparativo se inicia, con la presente tesis doctoral, con el estudio del primer románico.

Este primer apartado de resultados es de carácter principalmente visual. En él se exponen los resultados de los escaneos de las iglesias a lo largo de siete campañas de toma de datos. Esta información visual es la resultante de haber recopilado la información con un escáner láser, haber trabajado las nubes de puntos resultantes y conseguido, tras esto, generar contenido en 3D preciso y capaz de proporcionar la información necesaria para un exhaustivo estudio arquitectónico de estos edificios.

En los anejos 1 y 2 se explica la ubicación así como la persona de contacto de cada una de las iglesias (Imagen 7).

La información recopilada se muestra clasificada en las distintas campañas de trabajo de campo. Junto con ellas, se aporta información referente a la localización de las iglesias dentro del Val d'Aran en general, y de cada municipio específicamente. De cada iglesia en concreto se muestra una fotografía exterior, un plano donde ubicarla, y una planta realizada a partir de la información recopilada con el escáner láser.

Otra información relevante para la toma de datos en campo, son las condiciones climáticas de ese momento. Principalmente, es importante poder tener luz natural en el momento de escanear la parte exterior de las iglesias, pero factores como la humedad, el frío, el calor, y las precipitaciones son condicionantes en general para poder garantizar unos buenos resultados.



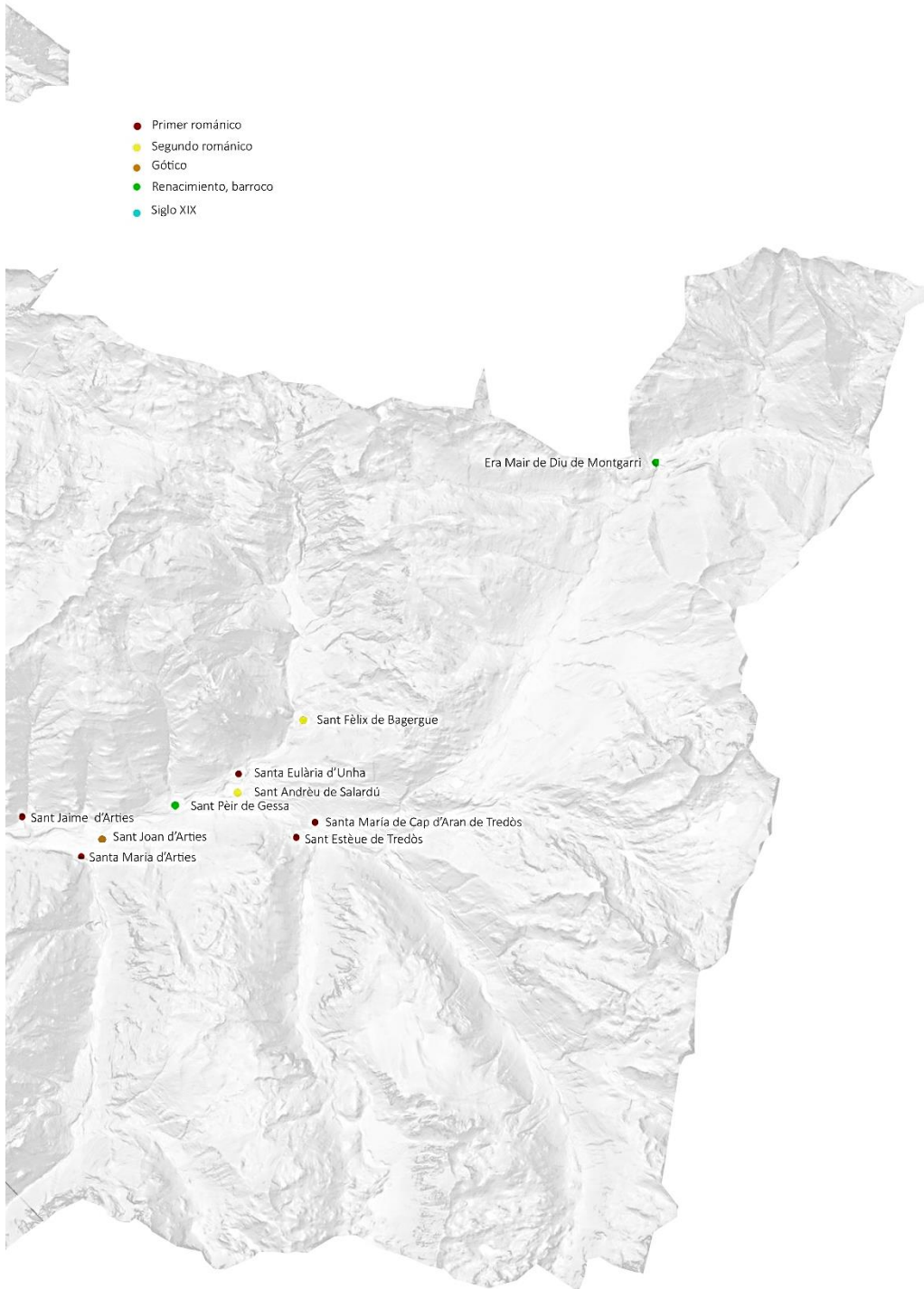


Imagen 7. Localización de las iglesias escaneadas.

5.1.1.PRIMERA CAMPAÑA

La primera campaña de toma de datos se organiza entorno a (Imagen 8):



Imagen 8. localización de las iglesias de la primera campaña

Iglesias realizadas en la primera campaña: Iglesia *Santa Maria de Vilamòs* (Tabla 3); Iglesia *Santa Maria d'Arties* (Tabla 4); Iglesia *Sant Martin de Tours de Gausac* (Tabla 5); Iglesia *Sant Andrèu de Casau* (Tabla 6); Iglesia *Santa Eulària d'Unha* (Tabla 7).

Resumen climatico²⁵³ (Tabla 1 y 2):

	HR max	HR media	Tº media	Tº max.	Tº min.	Viento	Precipitación	Irradiación solar	Evapotranspiración
19/12/2014	95	92	3,7	6	1,5	--	0	--	--
20/12/2014	94	87	4,6	9,9	-0,4	--	0,2	--	--
21/12/2014	93	75	2,5	6,3	-0,4	--	0	--	--
22/12/2014	69	53	5,3	11	2,7	--	0	--	--
23/12/2014	75	54	4,8	10,7	-0,5	--	0	--	--
24/12/2014	79	65	0,5	6,5	-2,3	--	0	--	--

Tabla 1 Resumen climatico de Vielha de la primera campaña para las iglesias de Arties, Casau, Gausac y Unha.

	HR max	HR media	Tº media	Tº max	Tº min	Viento	Precipitación	Irradiación solar	Evapotranspiración
19/12/2014	46	83	4,6	7,1	1,5	--	0	6,9	0,87
20/12/2014	79	100	-0,1	2,1	-3,2	--	0,9	4,1	0,35
21/12/2014	19	81	3,2	7,4	-3,1	--	0	8,6	0,88
22/12/2014	16	24	7,1	10,1	4,5	--	0	8,8	0,95
23/12/2014	16	27	5,4	8,3	1,6	--	0	7	0,9
24/12/2014	40	74	-0,	2,2	-4,5	--	0	8,9	0,72

Tabla 2 Resumen climatico de Sasseuva de la primera campaña para la iglesia de Vilamòs.

²⁵³ <http://www.ruralcat.net/web/guest/agrometeo.estacions>

Iglesia Santa Maria de Vilamòs

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Mónica López Piquer

Rector de la iglesia de Santa María de Vilamòs:

Joseph Geethafonkalan

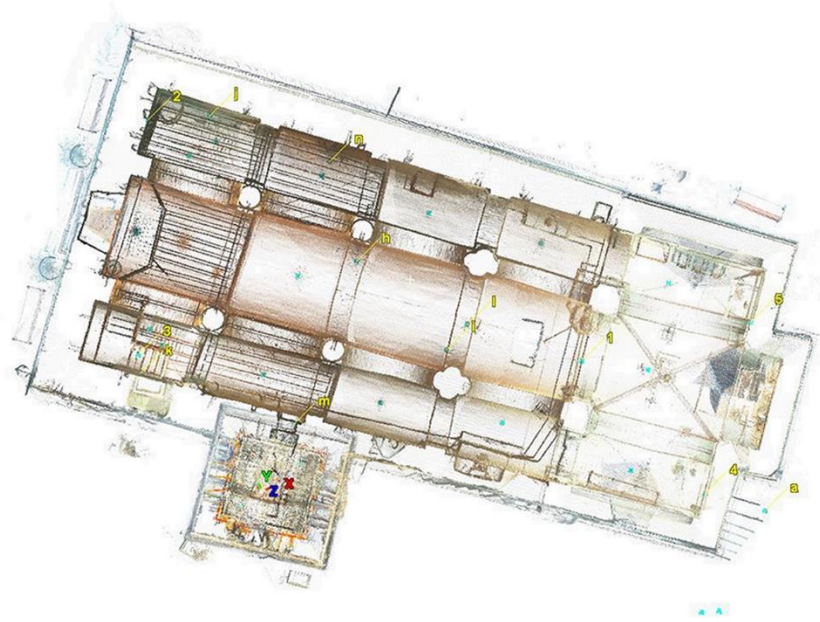


Tabla 3 : Características escaneo de Santa Maria de Vilamòs. e.:1/300



Iglesia Santa Maria d'Arties

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Mónica López Piquer

Rector de la Iglesia de Santa María d'Arties:

Padre Pere Balagué

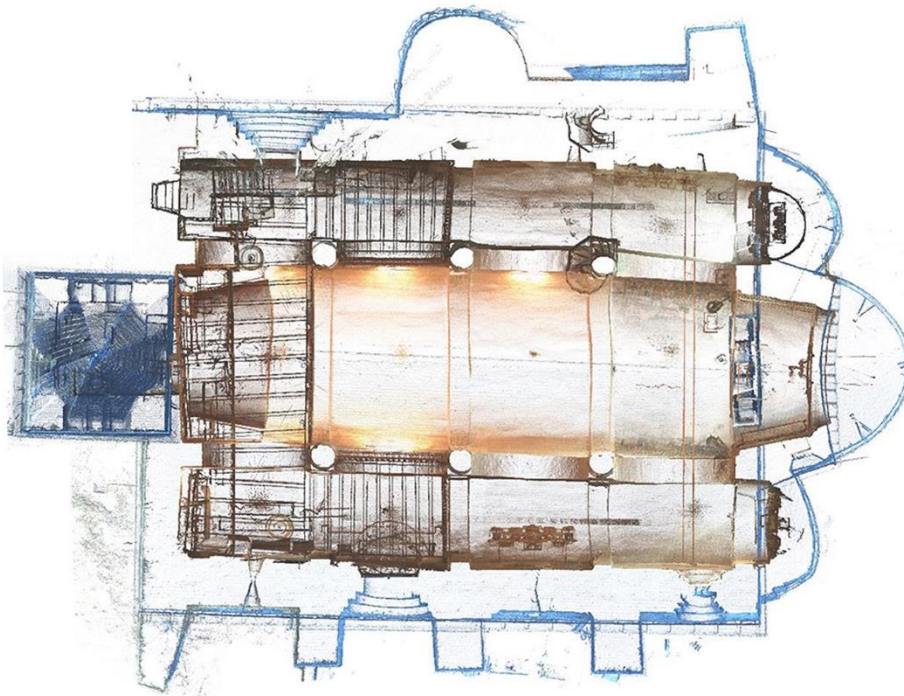
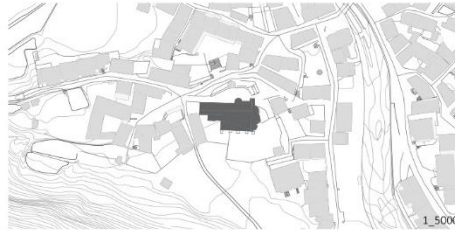


Tabla 4: Características escaneo de Santa Maria de Arties. e.:1/300

Iglesia Sant Martin de Tours de Gausac

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Mónica López Piquer

Rector de la iglesia de Sant Martí de

Gausac:
Padre Pere Balagué

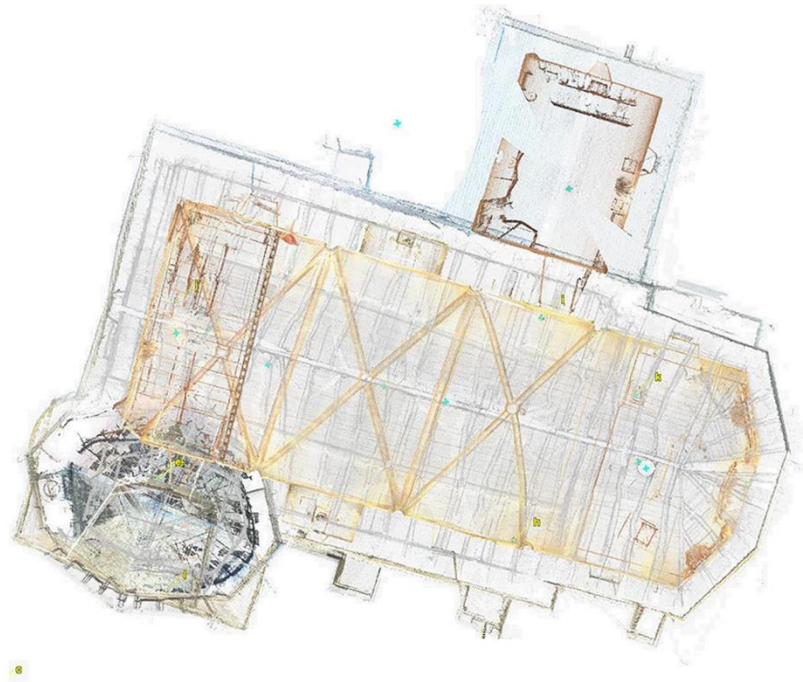
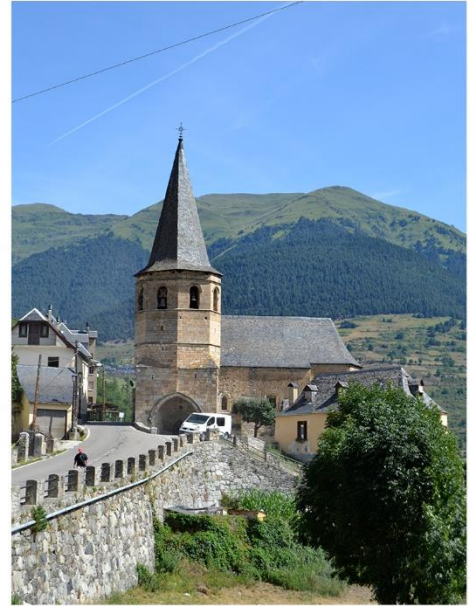
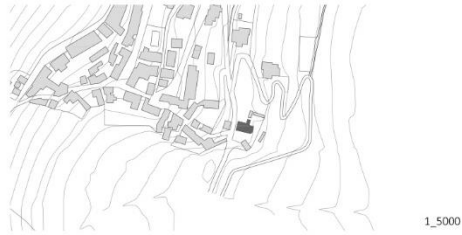


Tabla 5: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Martí de Gausac. e.:1/300



Iglesia Sant Andrèu de Casau

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Mónica López Piquer

Rector de la iglesia de Sant Andrèu de Casau:

Padre Josep Amiel
Padre Joseph Geethafonkalan
Padre Pere Balagué

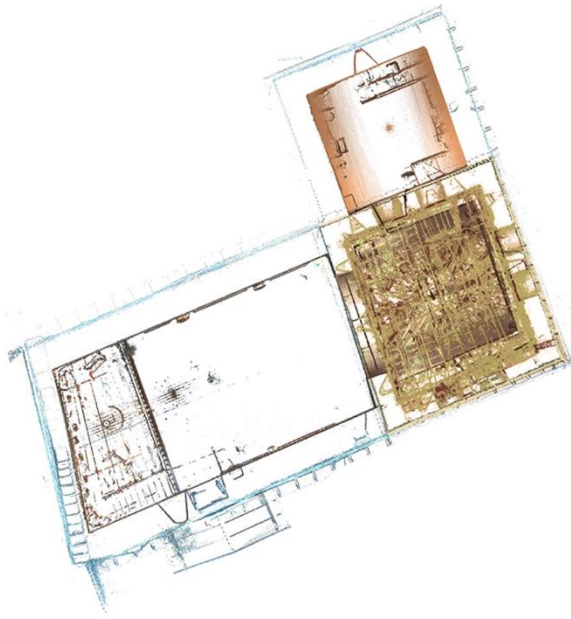
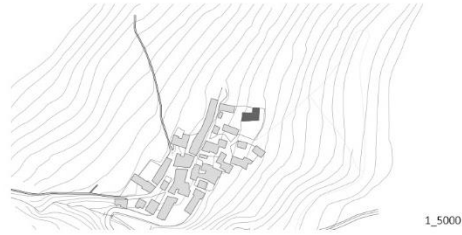


Tabla 6 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Andrèu de Casau. e.:1/300

Iglesia Santa Eulària d'Unha

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Mónica López Piquer

Rector de la iglesia de Santa Eulària d'

Unha:
Padre Pere Balagué

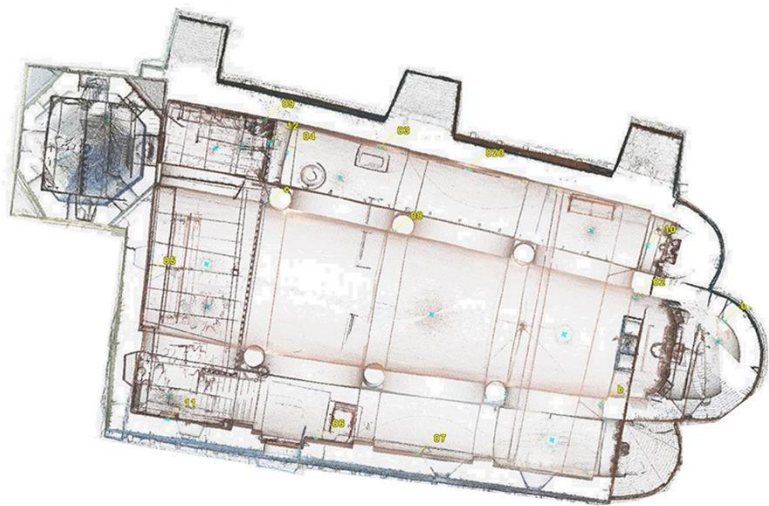
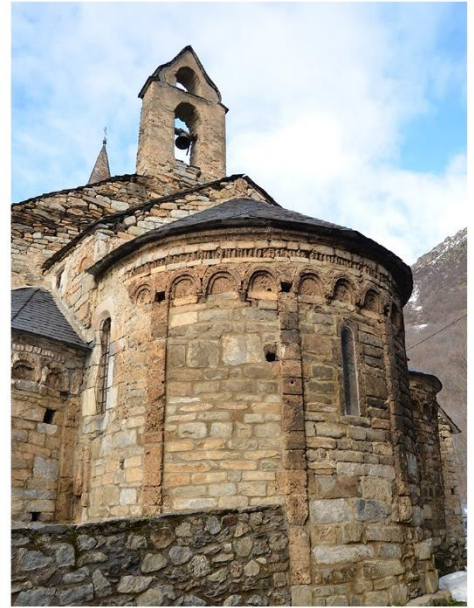


Tabla 7 Características del escaneo de la Iglesia de Santa Eulària d'Unha. e.:1/300

5.1.2.SEGUNDA CAMPAÑA

La segunda campaña de toma de datos se organiza entorno a (Imagen 9):

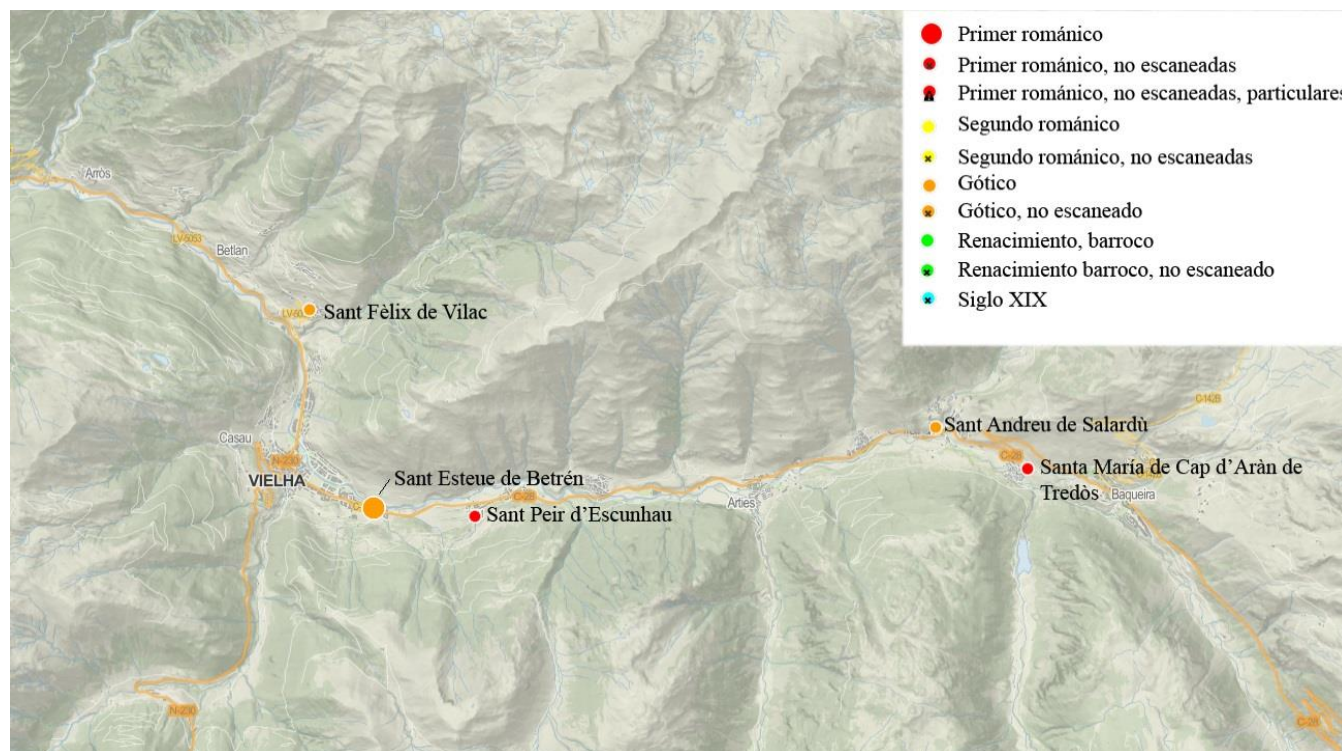


Imagen 9. Localización de las iglesias de la segunda campaña.

Iglesias realizadas en la segunda campaña:

Iglesia *Sant Peir d'Escunhau* (Tabla 9); Iglesia *Sant Andreu de Salardú* (Tabla 10); Iglesia *Sant Fèlix de Vilac* (Tabla 11); Iglesia *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs* (Tabla 12); Iglesia *Sant Estèue de Betren* (Tabla 13).

Resumen climatico en la estación de Vielha²⁵⁴ (Tabla 8):

	HR ma x	HR Media	Tº media	Tº max.	Tº min.	Vient o	Precipitació n	Irradiació solar	Evapotranspiració n
07/01/2015	86	71	-0,4	6,1	-4,1	--	0	--	--
08/01/2015	77	63	1,6	6,6	-2,7	--	0	--	--
09/01/2015	77	60	3,9	11	0,8	--	0	--	--
10/01/2015	87	76	5,8	11,9	2,6	--	0	--	--
11/01/2015	93	88	1,9	5,8	-1,2	--	2	--	--

Tabla 8: Climatología de la segunda campaña

²⁵⁴ <http://www.ruralcat.net/web/guest/agrometeo.estacions>

Iglesia Sant Pèir d'Escunhau

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Mónica López Piquer

Rectores de la iglesia de Sant Pèir d'Escunhau:

Padre Josep Amiell
Padre Joseph Geethafonkalan
Padre Pere Balagué

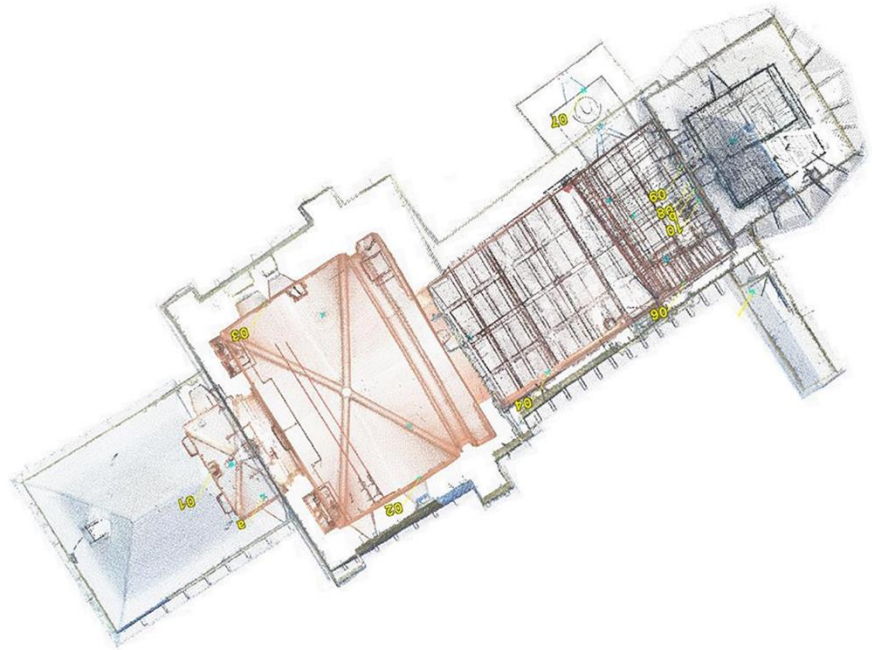
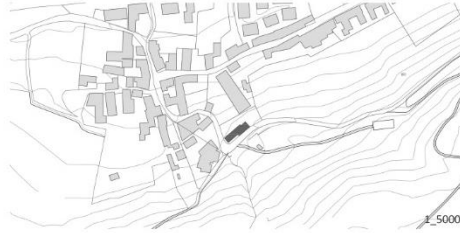
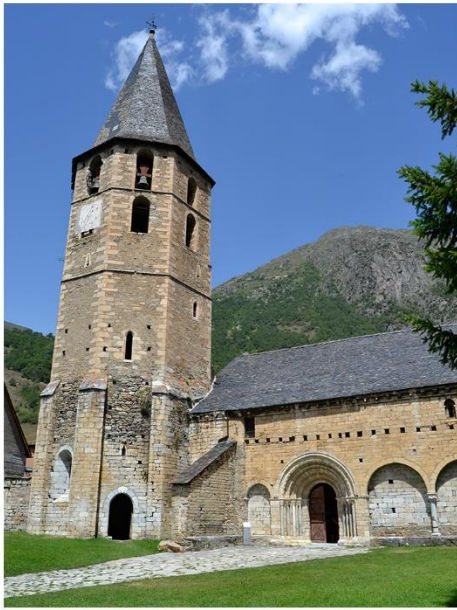


Tabla 9: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Pèir d'Escunhau. e.:1/300



Iglesia Sant Andreu de Saldarú

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Mónica López Piquer

Rector de la iglesia de Sant Andreu de Saldarú:

Padre Pere Balagué

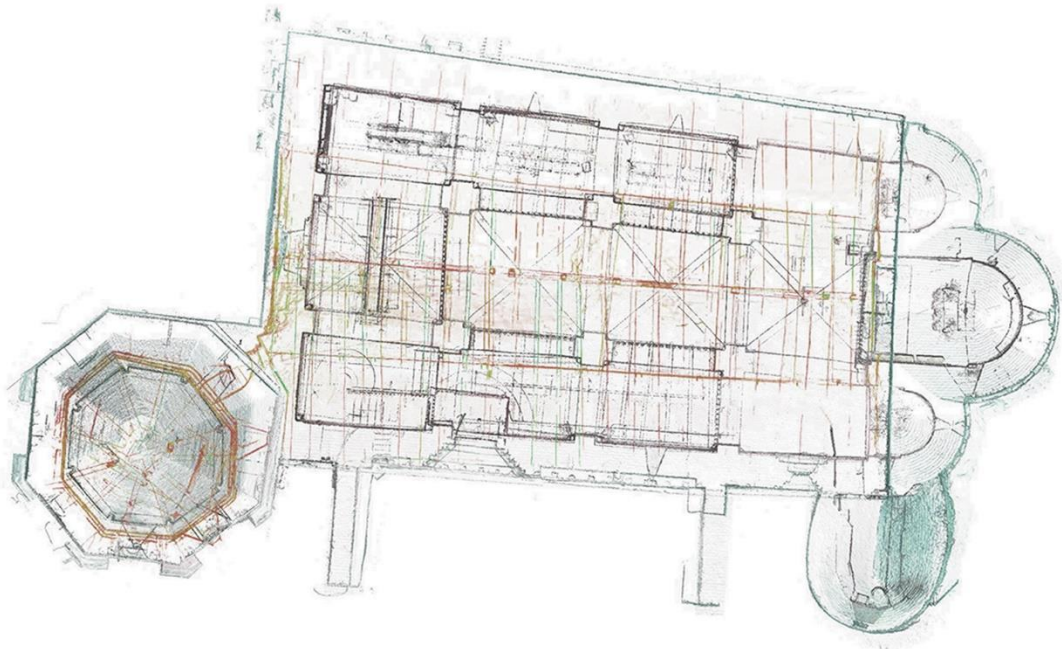
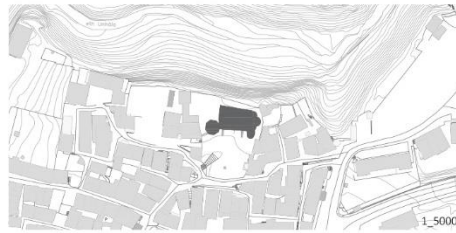


Tabla 10: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Andreu de Saldarú. e.:1/300

Iglesia Sant Fèlix de Vilac

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Mónica López Piquer

Rectores de la iglesia de Sant Fèlix de Vilac:

Padre Josep Amiell
Padre Joseph Geethafonkalan
Padre Pere Balagué

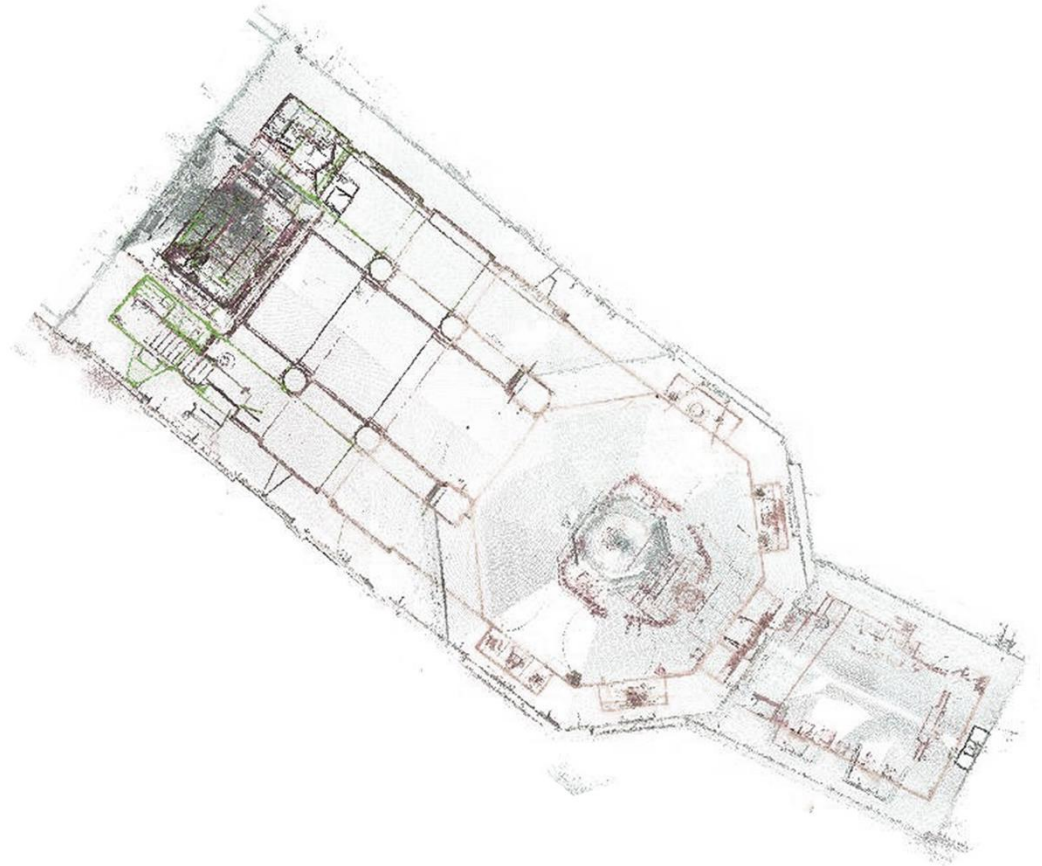
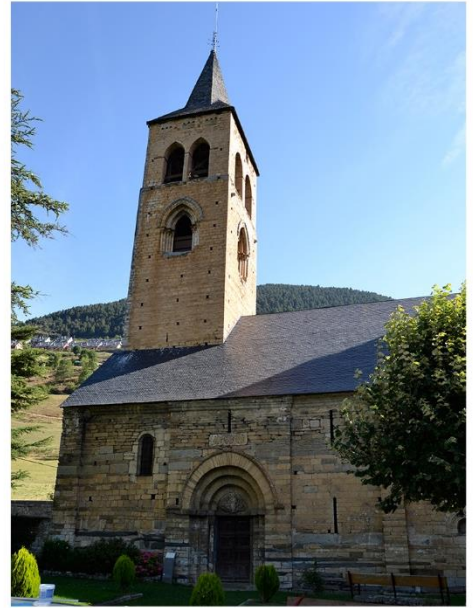
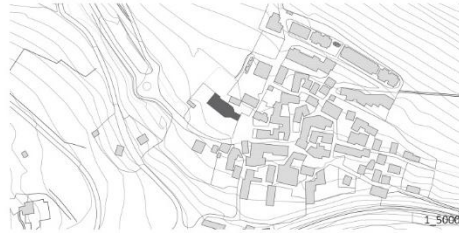


Tabla 11: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Félix de Vilac. e.:1/300



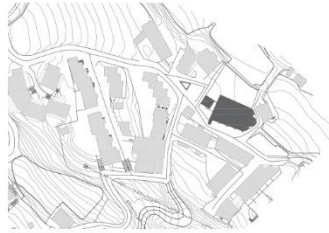
Iglesia Santa María de Cap d'Aran de Tredòs

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover,
Sergio Coll Pla,
Mónica López Piquer

Rectores de la iglesia de Santa María de Cap d'Aran de Tredòs:

Padre Pere Balagué



1_5000



Tabla 12: Características del escaneo de la Iglesia de Santa María de Cap d'Aran de Tredòs. e.:1/300

Iglesia Sant Estèue de Betren

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart

Agustí Costa Jover

Sergio Coll Pla

Mónica López Piquer

Rectores de la iglesia de Sant Estèue de Betren:

Padre Josep Amiell

Padre Joseph Geethafonkalan

Padre Pere Balagué

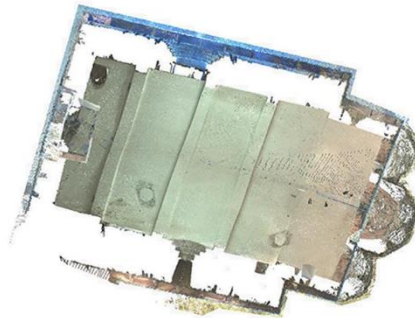
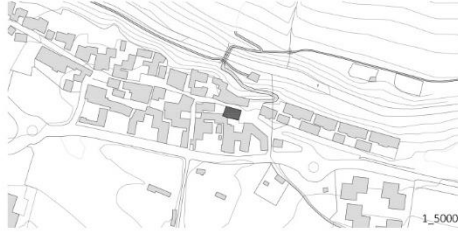


Tabla 13 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Estèue de Batrén. e.:1/300

5.1.3. TERCERA CAMPAÑA

La tercera campaña de toma de datos se organiza entorno a (Imagen 10):

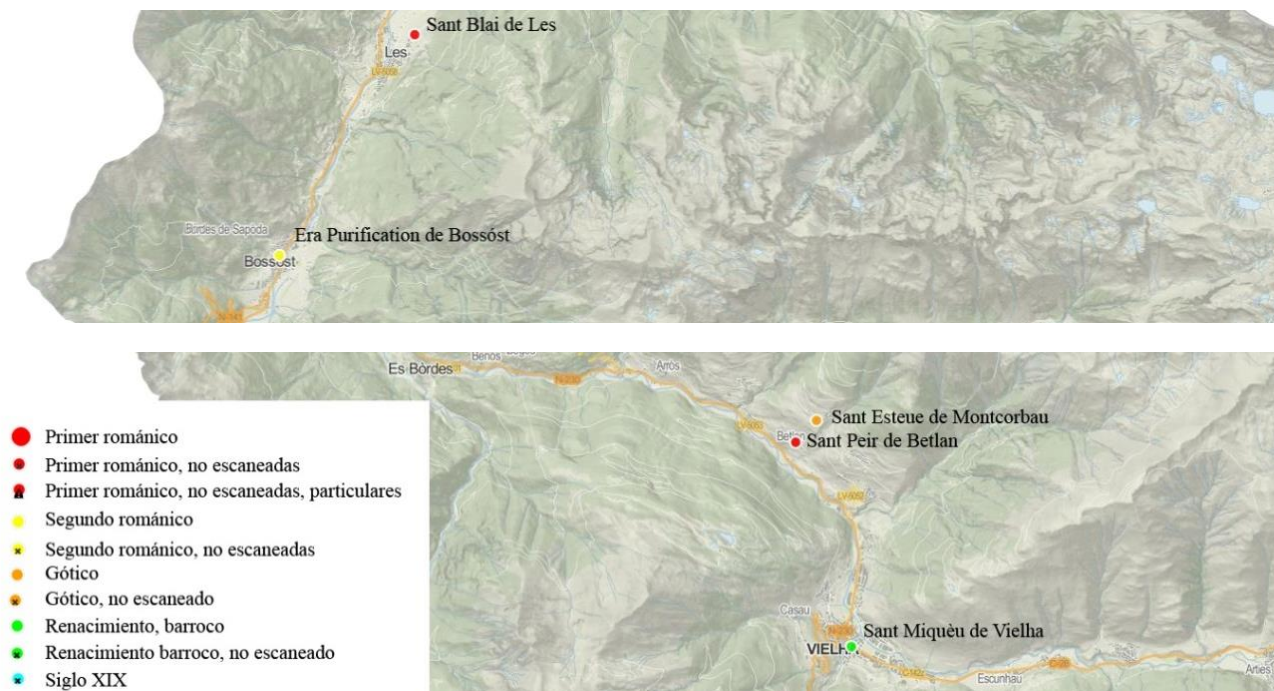


Imagen 10. Localización de las iglesias de las tercera campaña.

Iglesias realizadas en la tercera campaña: Iglesia *Sant Estèue de Montcorbau* (Tabla 16); Iglesia *Sant Blas de Les* (Tabla 17); Iglesia *Sant Pèir de Betlan* (Tabla 18); Iglesia *Sant Miquèu de Vielha* (Tabla 19); Iglesia *Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossost* (Tabla 20).

Resumen climatico (Tabla 14-15):

	HR max	HR Media	Tº media	Tº max.	Tº min.	Vient o	Precipitació n	Irradiación solar	Evapotranspiració n
08/04/2015	75	46	9,6	19	2,3	--	0	--	--
09/04/2015	48	27	11,1	19,5	3,7	--	0	--	--
10/04/2015	65	38	10,3	15,9	4,4	--	0	--	--
11/04/2015	90	64	10,2	17,8	4,5	--	0,5	--	--
12/04/2015	88	61	11,1	19,3	4,9	--	0	--	--
13/04/2015	92	59	12,7	23,5	5,8	--	6,1	--	--
14/04/2015	91	54	13,2	23,6	6	--	0	--	--

Tabla 14 Climatología de la estación de Vielha para la tercera campaña para las iglesias de Montcorbau, Vielha y Betlan

	HR max	HR media	Tº media	Tº max	Tº min	Viento	Precipitación	Irradiación solar	Evapotranspiración
08/04/2015	31	64	4	8,3	-0,2	--	0	26,9	3,38
09/04/2015	23	48	3,4	6,5	-1	--	0	21,3	2,78
10/04/2015	54	72	1,2	5,7	-1,5	--	0	21,4	2,34
11/04/2015	83	100	2	4,9	0	--	2	16,6	1,99
12/04/2015	75	100	3,9	8,7	0,9	--	0	18,9	2,41
13/04/2015	64	85	5,7	10,1	2,3	--	0	17,2	2,35
14/04/2015	42	69	7,7	12,2	3,5	--	0	27,5	3,84

Tabla 15 Climatología de la estación de Sasseuva para la tercera campaña para las iglesias de Bossost y Les.

Iglesia Sant Estèue de Montcorbau

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Estèue de Montcorbau:

Padre Josep Amiell
Padre Joseph Geethafonkalan
Padre Pere Balagué

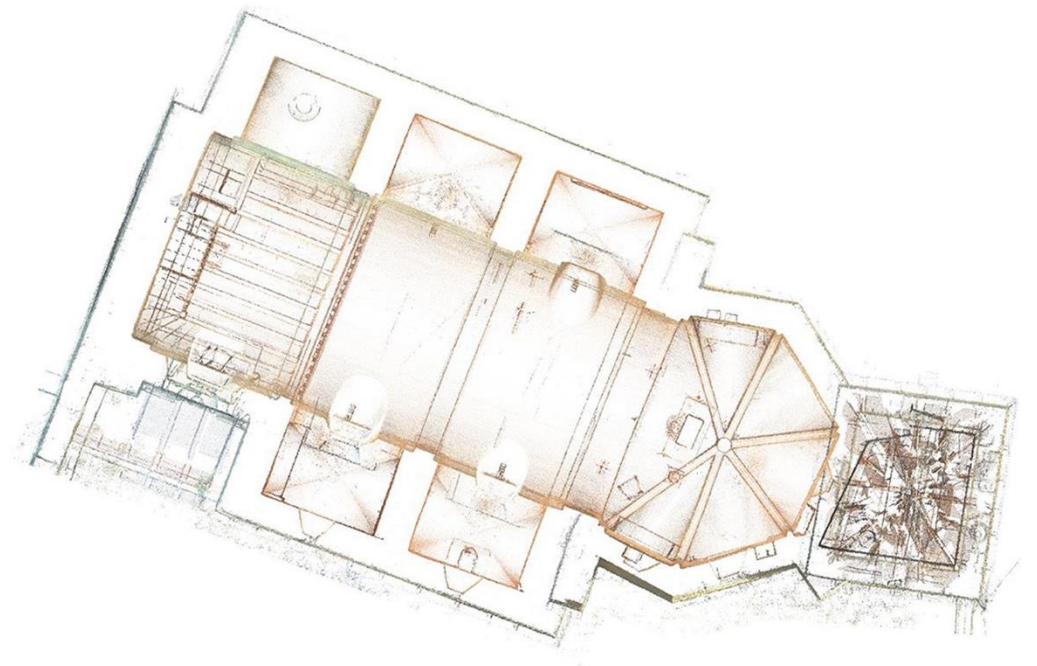


Tabla 16: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Estèue de Montcorbau. e.:1/300



Iglesia Sant Blas de Les

Responsables del escaneo:
Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadziyska

Rectores de la iglesia de Sant Blas de Les:
Padre Joseph Geethafonkalan



1_5000

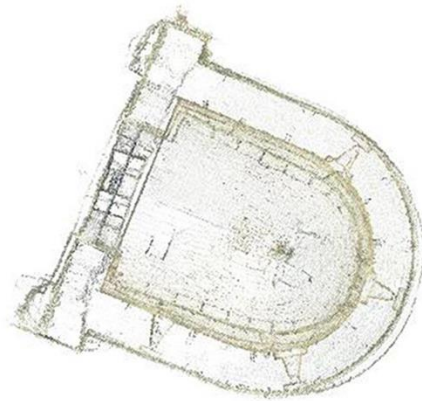


Tabla 17 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Blas de Les. e.:1/300

Iglesia Sant Pèir de Betlan

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadziyska

Rectores de la iglesia de Sant Pèir de Betlan:

Padre Josep Amiell
Padre Joseph Geethafonkalan
Padre Pere Balagué

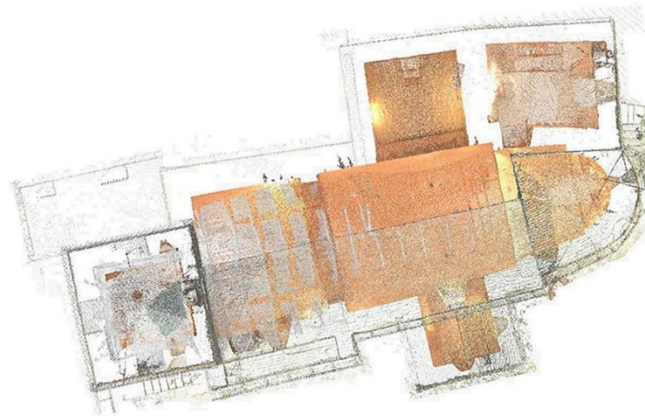
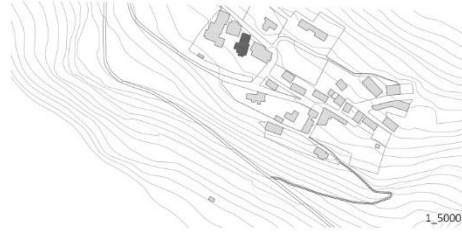


Tabla 18 Características del escaneo de la iglesia de Sant Pèir de Betlan. e.:1/300



Iglesia Sant Miquèu de Vielha

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadziyska

Rectores de la iglesia de Sant Miquèu de Vielha:

Padre Josep Amiell
Padre Joseph Geethafonkalan
Padre Pere Balagué

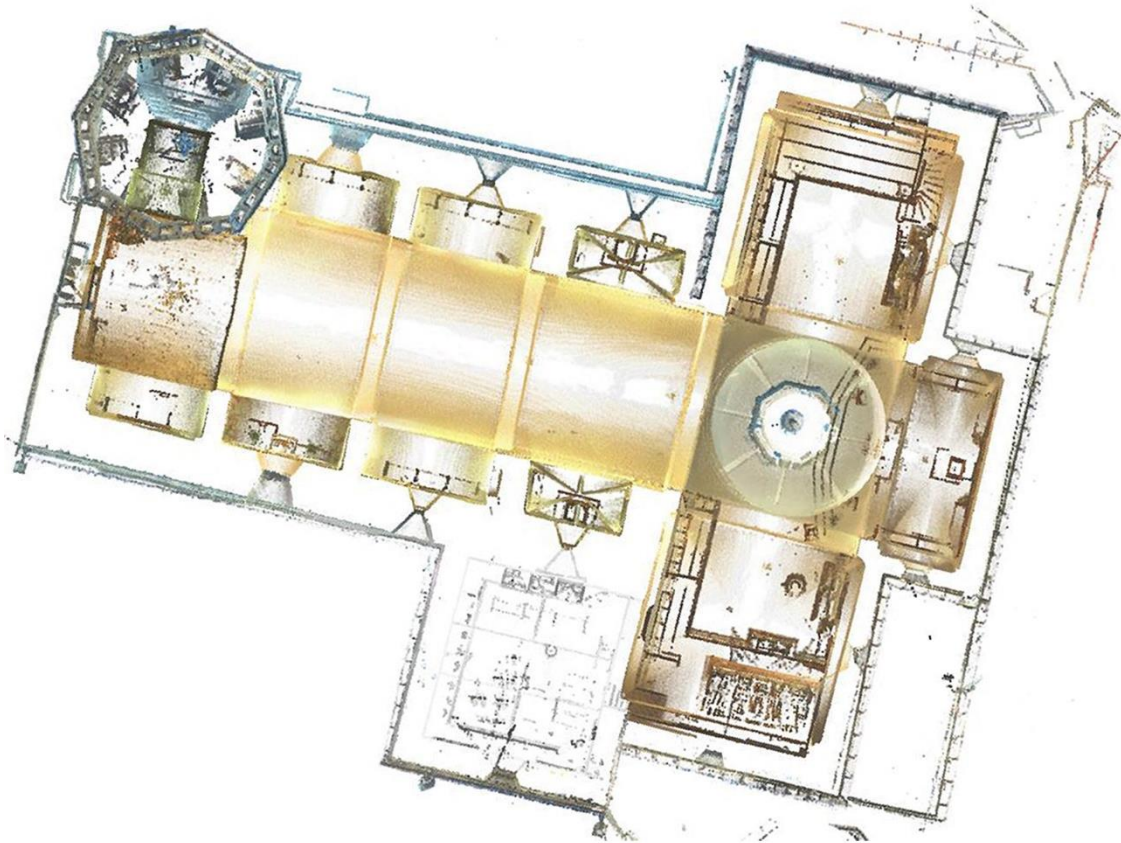
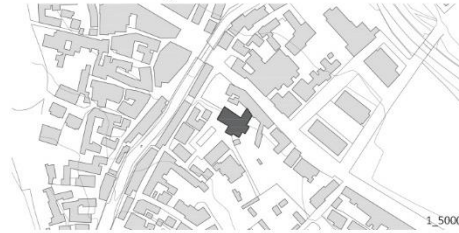


Tabla 19: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Miquèu de Vielha. e.:1/300

Iglesia Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossost

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart

Agustí Costa Jover

Sergio Coll Pla

Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia Era Mair de Diu dera

Purificacion de Bossost:

Padre Joseph Geethafonkalan

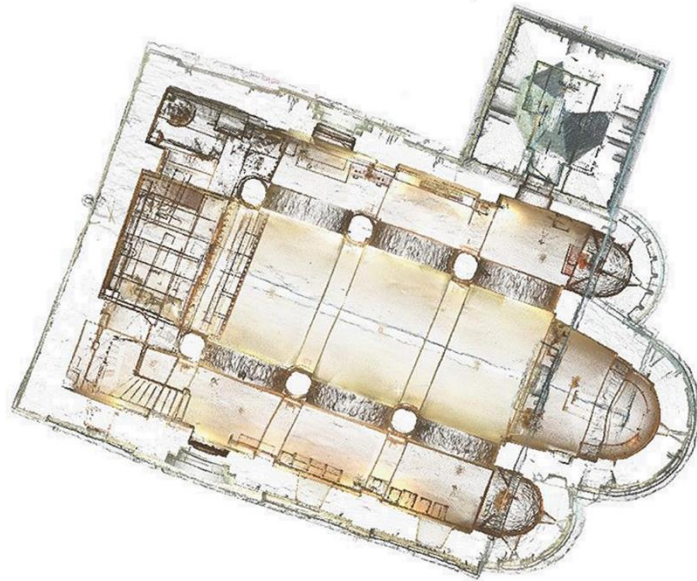
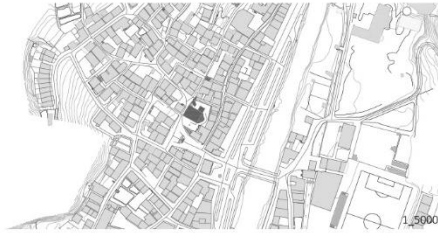


Tabla 20: Características del escaneo de la Iglesia de Era Purificacion de Bossost. e.:1/300

5.1.4. CUARTA CAMPAÑA

La cuarta campaña de toma de datos se organiza entorno a (Imagen 11):

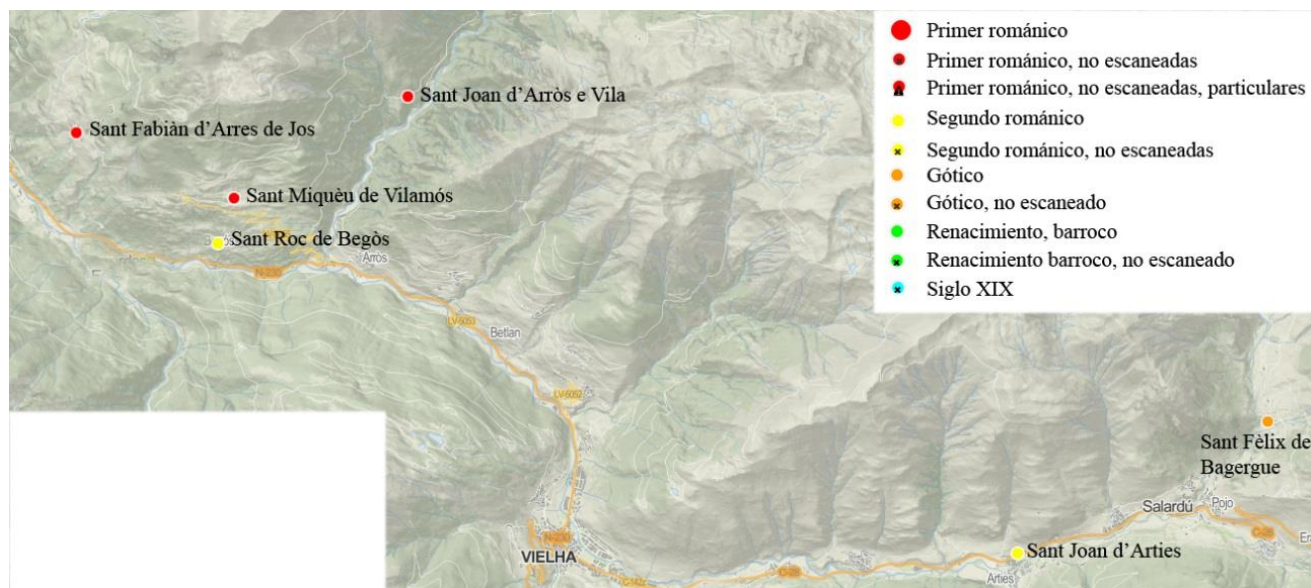


Imagen 11. Localización de las iglesias de la cuarta campaña.

Iglesias realizadas en la cuarta campaña: Sant Roc de Begòs (Tabla 23); Sant Miquèu de Vilamòs (Tabla 24); Sant Fabià d'Arres de Jos (Tabla 25); Sant Joan d'Arros e Vila (Tabla 26); Sant Joan d'Arties (Tabla 27); Sant Fèlix de Bagergue (Tabla 28).

Resumen climatico²⁵⁵ (Tabla 21-22)

	HR	HR	Tº	Tº	Tº	Vient	Precipitació	Irradiació	Evapotranspiració
	max	Media	media	max.	min.	o	n	solar	n
08/04/2015	75	46	9,6	19	2,3	--	0	--	--
09/04/2015	48	27	11,1	19,5	3,7	--	0	--	--
10/04/2015	65	38	10,3	15,9	4,4	--	0	--	--
11/04/2015	90	64	10,2	17,8	4,5	--	0,5	--	--
12/04/2015	88	61	11,1	19,3	4,9	--	0	--	--
13/04/2015	92	59	12,7	23,5	5,8	--	6,1	--	--
14/04/2015	91	54	13,2	23,6	6	--	0	--	--

Tabla 21 Climatología de Vielha para la cuarta campaña las iglesias de Bagergue, Begòs, Arros e Vila y Arties:.

	HR max	HR media	Tº media	Tº max	Tº min	Viento	Precipitación	Irradiación solar	Evapotranspiración
08/04/2015	31	64	4	8,3	-0,2	--	0	26,9	3,38
09/04/2015	23	48	3,4	6,5	-1	--	0	21,3	2,78
10/04/2015	54	72	1,2	5,7	-1,5	--	0	21,4	2,34
11/04/2015	83	100	2	4,9	0	--	2	16,6	1,99
12/04/2015	75	100	3,9	8,7	0,9	--	0	18,9	2,41
13/04/2015	64	85	5,7	10,1	2,3	--	0	17,2	2,35
14/04/2015	42	69	7,7	12,2	3,5	--	0	27,5	3,84

Tabla 22 Climatología de Sasseuva para la cuarta campaña para las iglesias de Vilamòs y Arres de Jos

²⁵⁵ <http://www.ruralcat.net/web/guest/agrometeo.estacions>

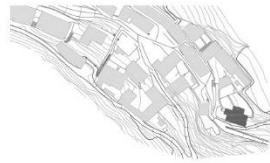
Iglesia Sant Ròc de Begòs

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Roc de Begòs:

Padre Joseph Geethafonkalan



1_5000

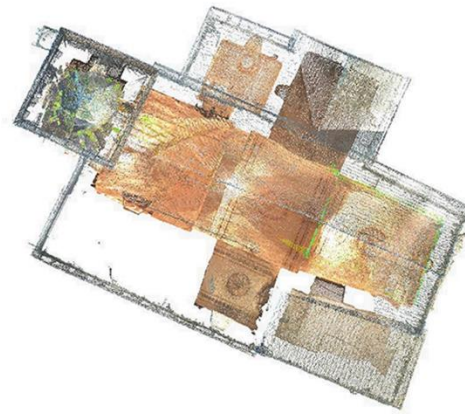


Tabla 23 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Roc de Begòs. e.:1/300



Iglesia Sant Miquèu de Vilamòs

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Miquèu de Vilamòs:

Padre Joseph Geethafonkalan

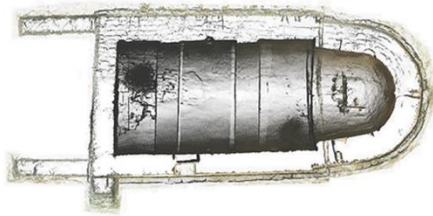
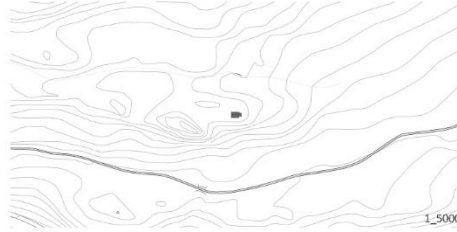


Tabla 24: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Miquèu de Vilamòs. e.:1/300

Iglesia Sant Fabian d'Arres de Jos

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadziyska

Rectores de la iglesia de Sant Fabian d'Arres de Jos:

Padre Joseph Geethafonkalan



1_5000



Tabla 25: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Fabian d'Arres de Jos. e.:1/300



Iglesia Sant Joan d'Arròs e Vila

Responsables del escaneo:
Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadziyska

Rectores de la iglesia de Sant Joan d'Arròs e Vila:
Padre Josep Amiell
Padre Joseph Geethafonkalan
Padre Pere Balagué

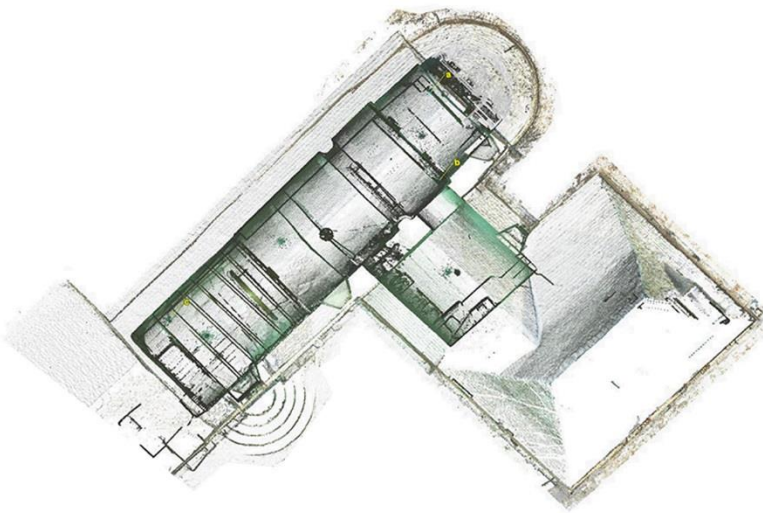
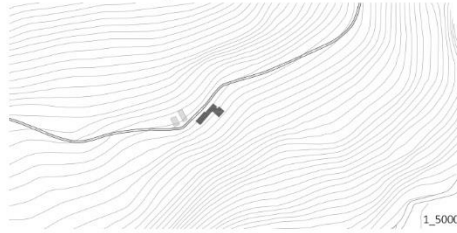


Tabla 26: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Joan d'Arros e Vila e.:1/300

Iglesia Sant Joan d'Arties

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Joan d'Arties:

Padre Pere Balagué

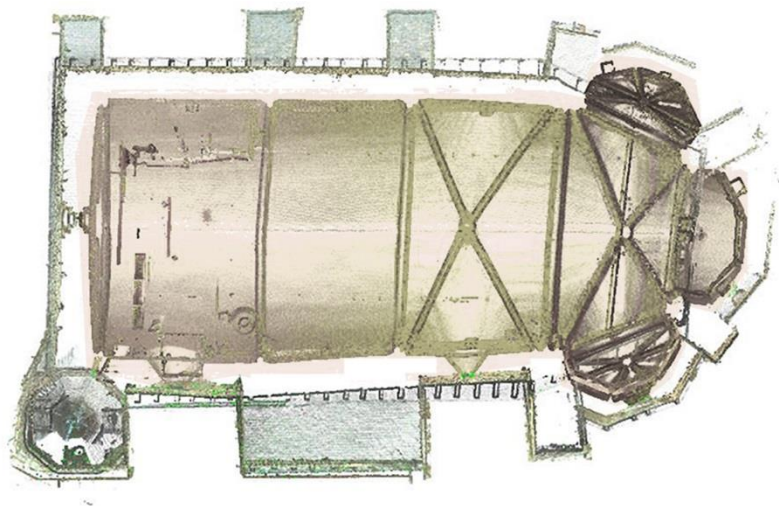
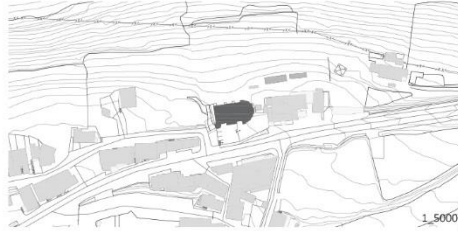


Tabla 27: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Joan d'Arties. e.:1/300



Iglesia Sant Fèlix de Bagergue

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart

Agustí Costa Jover

Sergio Coll Pla

Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Fèlix de Bagergue:

Padre Pere Balagué

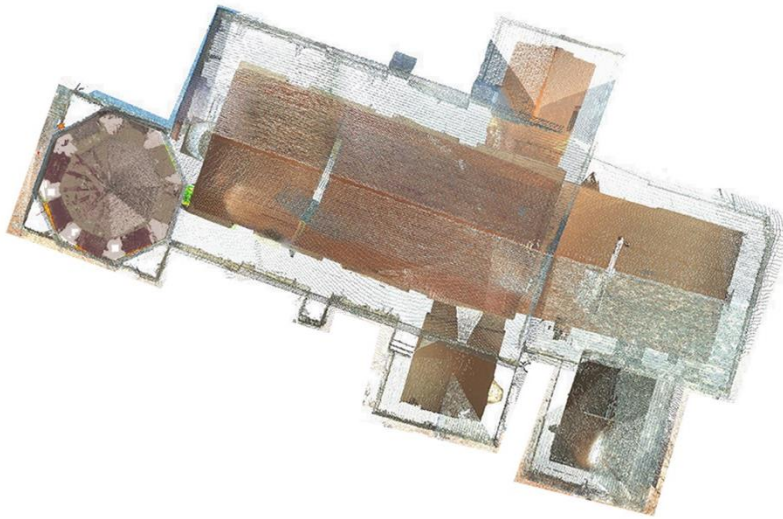


Tabla 28: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Fèlix de Bagergue. e.:1/300

5.1.5. QUINTA CAMPAÑA

La quinta campaña de toma de datos se organiza entorno a (Imagen 12):

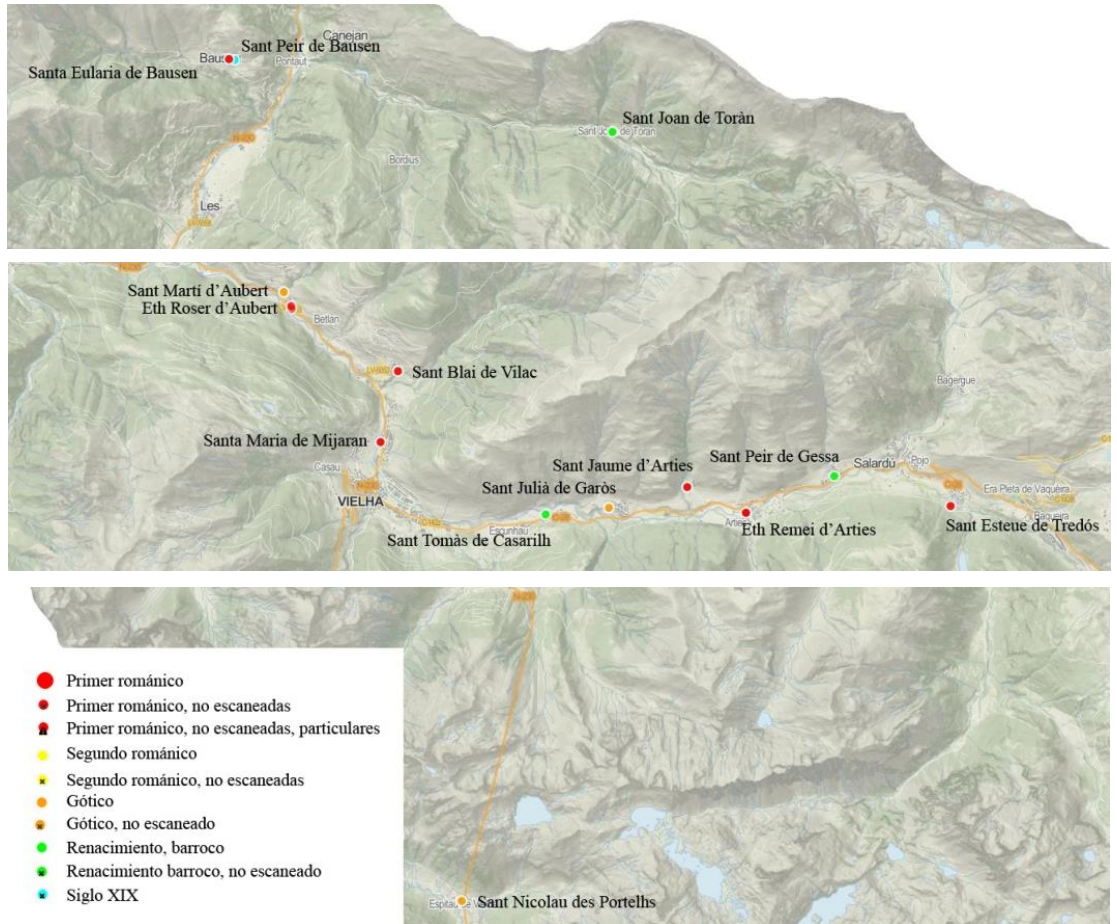


Imagen 12. Localización de las iglesias de la quinta campaña

Iglesias realizadas en la quinta campaña: Iglesia *Sant Pèir de Gessa* (Tabla 32); Iglesia *Sant Julian de Garos* (Tabla 33); Iglesia *Sant Martin d'Aubèrt* (Tabla 34); Iglesia *Mair de Diu deth Rosèr d'Aubèrt* (Tabla 35); Iglesia *Sant Joan de Toran* (Tabla 36); *Sant Estèue de Tredòs* (Tabla 37); Iglesia *Sant Jaime d'Arties* (Tabla 38); Iglesia *Sant Tomàs de Casarilh* (Tabla 39); Iglesia *Santa Maria de Mijaran* (Tabla 40); Iglesia *Sant Nicolau des Pontelhs* (Tabla 41); Iglesia *Eth Remei d'Arties* (Tabla 42); Iglesia *Sant Pèir ad Vincula de Bausen* (Tabla 43); Iglesia *Sant Blai de Vilac* (Tabla 44). Iglesia *Santa Eulària de Bausen* (Tabla 45);

Resumen climatico²⁵⁶ (Tabla 29-30-31):

	HR max	HR Media	Tº media	Tº max.	Tº min.	Viento	Precipitación	Irradiación solar	Evapotranspiración
15/05/2015	92	79	6,6	10,6	3,9	--	7,2	--	--
16/05/2015	92	75	9,3	17,3	5,1	--	0,7	--	--
17/05/2015	90	71	12	19,5	5,2	--	0	--	--
18/05/2015	93	66	15	23,9	6,6	--	0	--	--
19/05/2015	92	88	6,9	11,7	4,3	--	22,6	--	--

Tabla 29 Climatología de Vielha para la quinta campaña para las iglesias de Arties, Casau, Gausac y Unha

256 <http://www.ruralcat.net/web/guest/agrometeo.estacions>

	HR max	HR media	Tº media	Tº max	Tº min	Vient o	Precipitació n	Irradiació solar	Evapotranspiración n
15/05/2015	100	100	-2,7	-1,6	-4,2	--	6,6	6,9	0,44
16/05/2015	96	100	0,5	4,9	-3,1	--	1,8	16,6	1,78
17/05/2015	68	100	6,6	9,6	3,3	--	0	32,2	4,28
18/05/2015	74	100	8,5	12,7	4,9	--	0	31,3	4,46
19/05/2015	100	100	-0,1	5,5	-4,1	--	24	4,7	--

Tabla 30 Climatología de Sasseuva para la quinta campaña para las iglesias de Bausen y Torà

	HR max	HR media	Tº media	Tº max	Tº min	Vient o	Precipitació n	Irradiació solar	Evapotranspiración n
15/05/2015	100	97	-2,7	-3,6	-1,4	--	8,1	8,1	0,85
16/05/2015	100	92	0,3	-3,4	4,7	--	6,9	21	1,88
17/05/2015	100	66	6,3	4,2	8,4	--	0	31,2	3,33
18/05/2015	100	75	7,8	3,7	13,1	--	0	27	3,44
19/05/2015	100	98	0,4	-3,8	7,1	--	28,4	5,6	0,45

Tabla 31 Climatología de Lac Redon para la quinta campaña para la iglesia de Portelhs

Iglesia Sant Pèir de Gessa

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Pèir de Gessa:

Padre Pere Balagué

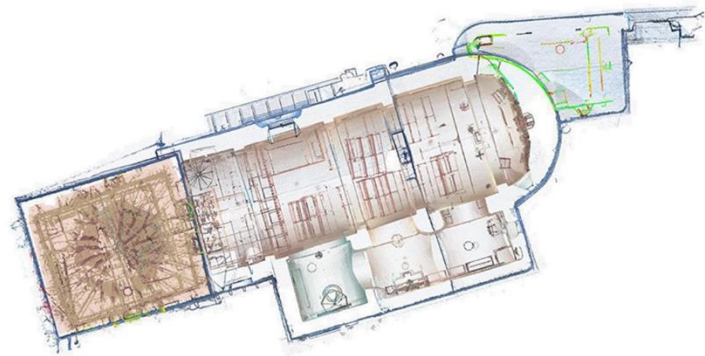
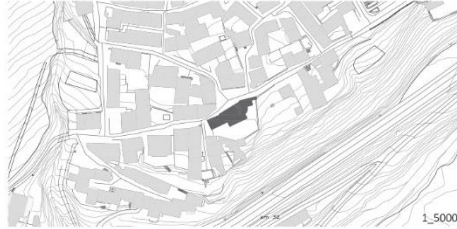


Tabla 32: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Pèir de Gessa. e.:1/300



Iglesia Sant Julian de Garòs

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Julià de Garòs:

Padre Pere Balagué

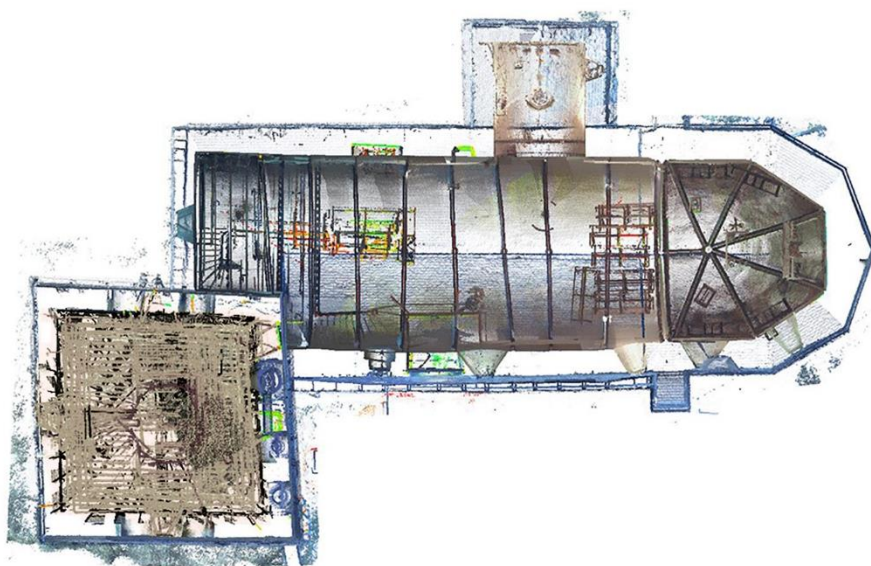
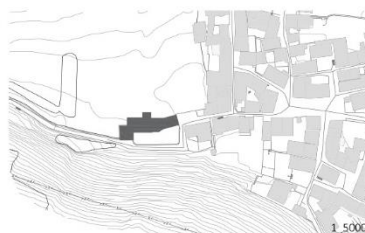


Tabla 33 Características del escaneo de la Iglesia de Julià de Garos. e.:1/300

Iglesia Sant Martin d'Aubèrt

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadziyska

Rectores de la iglesia de Sant Martin d'Aubèrt:

Padre Josep Amiell
Padre Joseph Geethafonkalan
Padre Pere Balagué

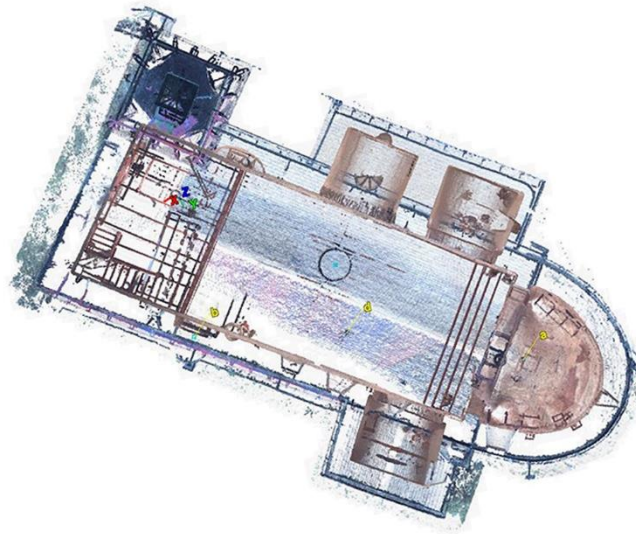
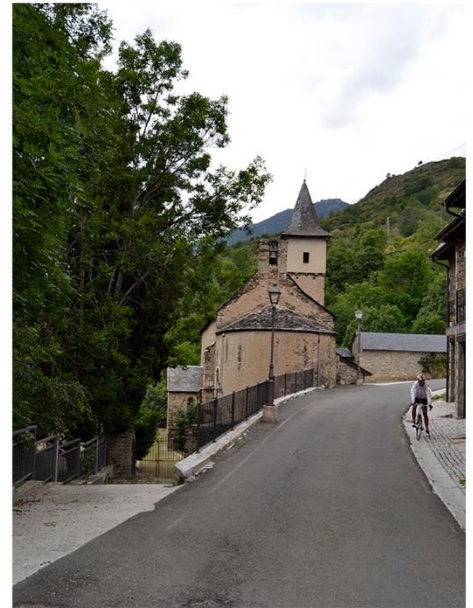
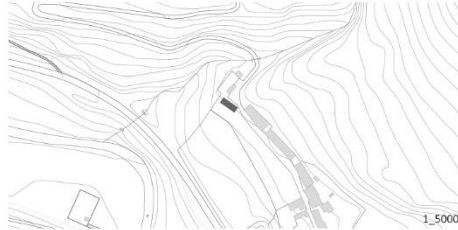


Tabla 34: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Martin d'Aubèrt. e.:1/300



Iglesia Mair de Diu deth Rosèr d'Aubèrt

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Mónica López Piquer

Rector de la Iglesia de Santa María d'Arties:

Padre Josep Amiell
Padre Joseph Geethafonkalan
Padre Pere Balagué

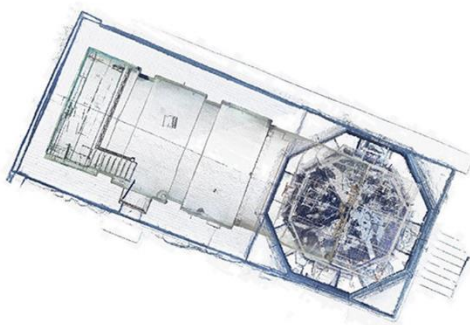
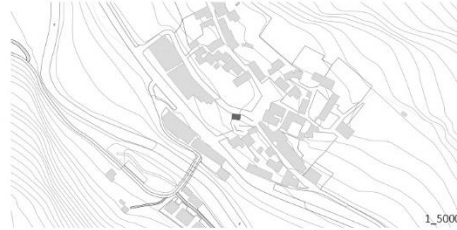


Tabla 35 Características del escaneo de la Iglesia de la Mair de Diu deth Rosèr d'Aubèrt. e.:1/300

Iglesia Sant Joan de Toran

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhiyska

Rectores de la iglesia de Sant Joan de Toran:

Padre Joseph Geethafonkalan

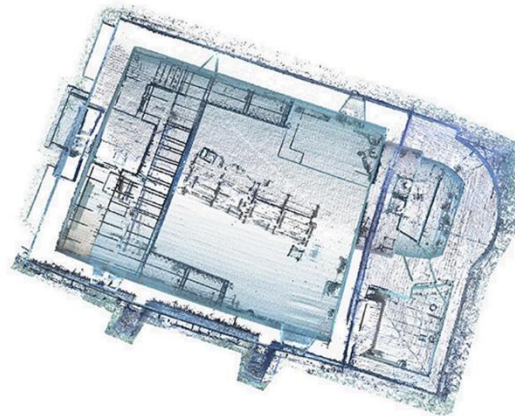
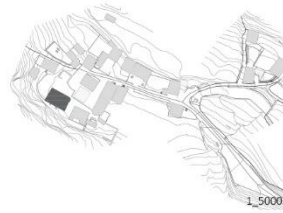


Tabla 36 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Joan de Toràn e.:1/300



Iglesia Sant Estèue de Tredòs

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadziyska

Rectores de la iglesia de Sant Estèue de Tredós:

Padre Pere Balagué

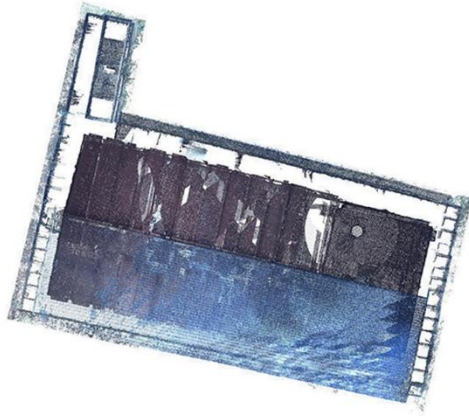


Tabla 37 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Estèue de Tredòs. e.:1/300

Iglesia Sant Jaime d'Arties

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Jaime d'Arties:

Padre Pere Balagué

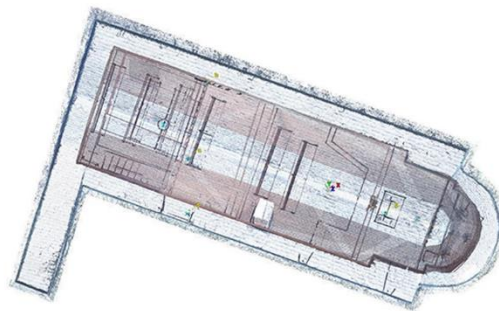
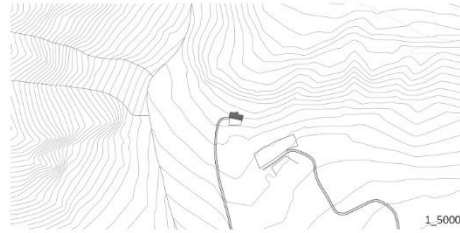


Tabla 38 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Jaime d'Arties. e.:1/300



Iglesia Sant Tomàs de Casarilh

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Tomàs de Casarilh:

Padre Josep Amiell
Padre Joseph Geethafonkalan
Padre Pere Balagué

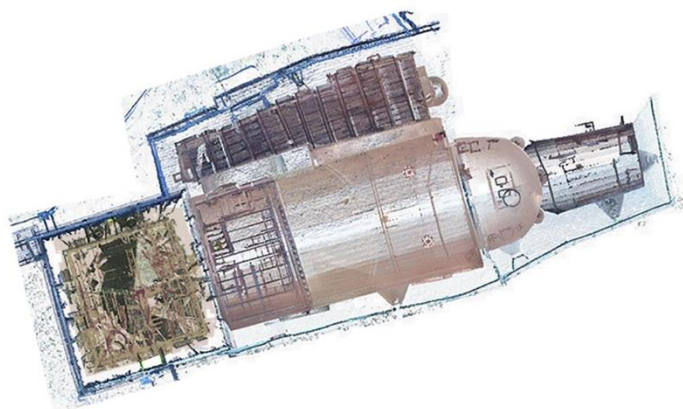


Tabla 39 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Tomàs de Casarilh. e.:1/300

Iglesia Santa Maria de Mijaran

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadziyska

Rector de la iglesia de Santa Maria de Mijaran:
Desacralizada

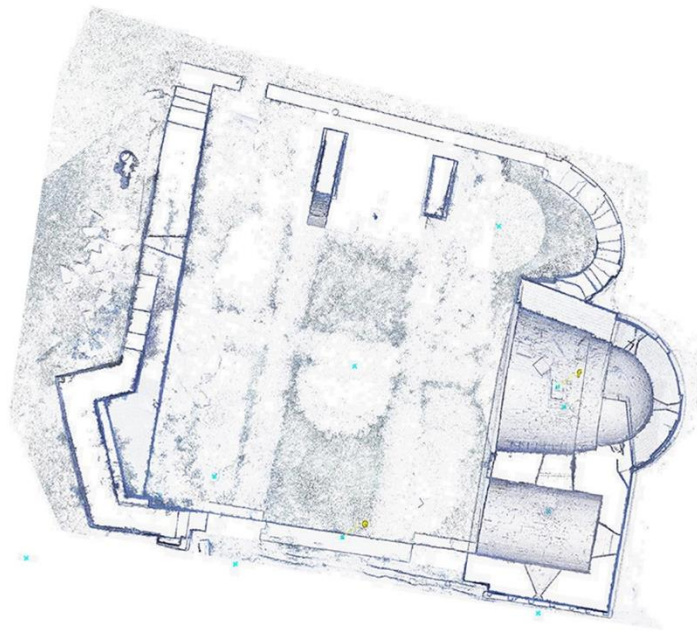
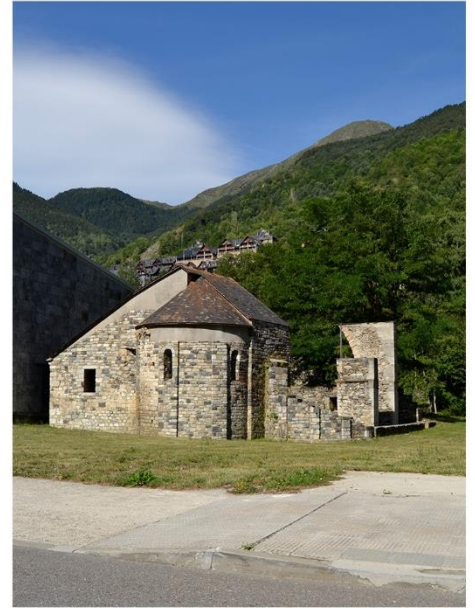


Tabla 40 Características del escaneo de la Iglesia de Santa Maria de Mijaran. e.:1/300



Iglesia Sant Nicolau des Pontelhs

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart

Agustí Costa Jover

Sergio Coll Pla

Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Nicolau des Pontelhs:

Desacralizada

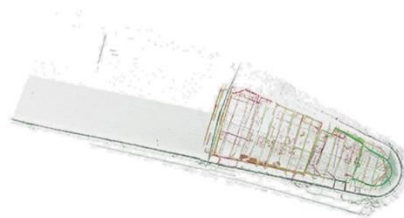
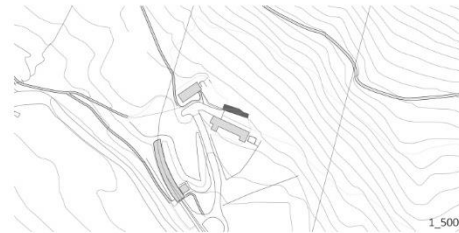


Tabla 41 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Nicolau des Pontelhs. e.:1/300

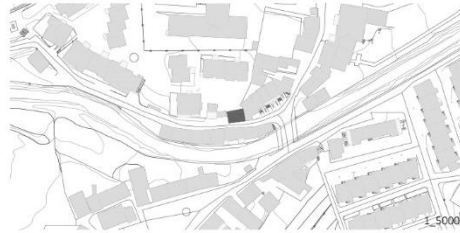
Iglesia Eth Remei d'Arties

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Eth Remei d'Arties:

Desacralizada



El edificio actual de la Iglesia Eth Remei d'Arties està desacralizado, siendo de titularidad privada, resultando un edificio con múltiples modificaciones arquitectónicas, así que no se considera para el estudio actual.

Tabla 42 Características de la Iglesia de Eth Remei d'Arties. e.:1/300



Iglesia Sant Pèir ad Vincula de Bausen

Responsables del escaneo:
Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadziyska

Rectores de la iglesia de Sant Pèir ad Vincula de Bausen:
Padre Joseph Geethafonkalan

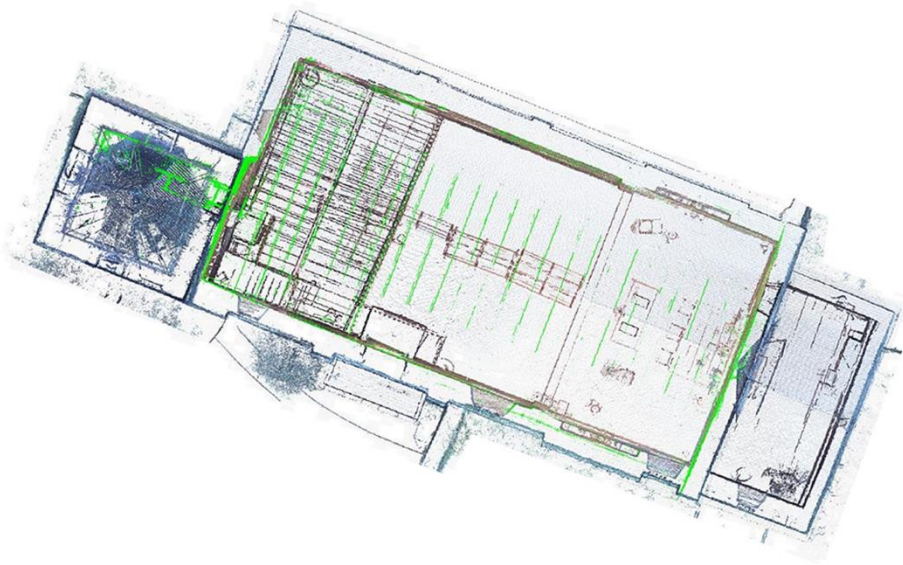
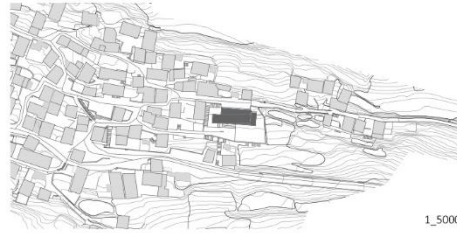


Tabla 43 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Pèir ad Vincula de Bausen. e.:1/300

Iglesia Sant Blai de Vilac

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Blai de Vilac:

Desacralizada



El edificio actual de la Iglesia Sant Blai de Vilac està desacralizado, siendo de titularidad privada, resultando un edificio con múltiples modificaciones arquitectónicas, así que no se considera para el estudio actual.



Iglesia Santa Eulària de Bausen

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart

Agustí Costa Jover

Sergio Coll Pla

Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Eulària de Bausen:

Desacralizada



1_5000

El edificio actual de la Iglesia Santa Eulària de Bausen està desacralizado, siendo de titularidad privada, resultando un edificio con múltiples modificaciones arquitectónicas, así que no se considera para el estudio actual.

Tabla 45 Características de la Iglesia de Santa Eulària de Bausen. e.:1/300

5.1.6.SEXTA CAMPAÑA

La sexta campaña de toma de datos se organiza entorno a (Imagen 13):

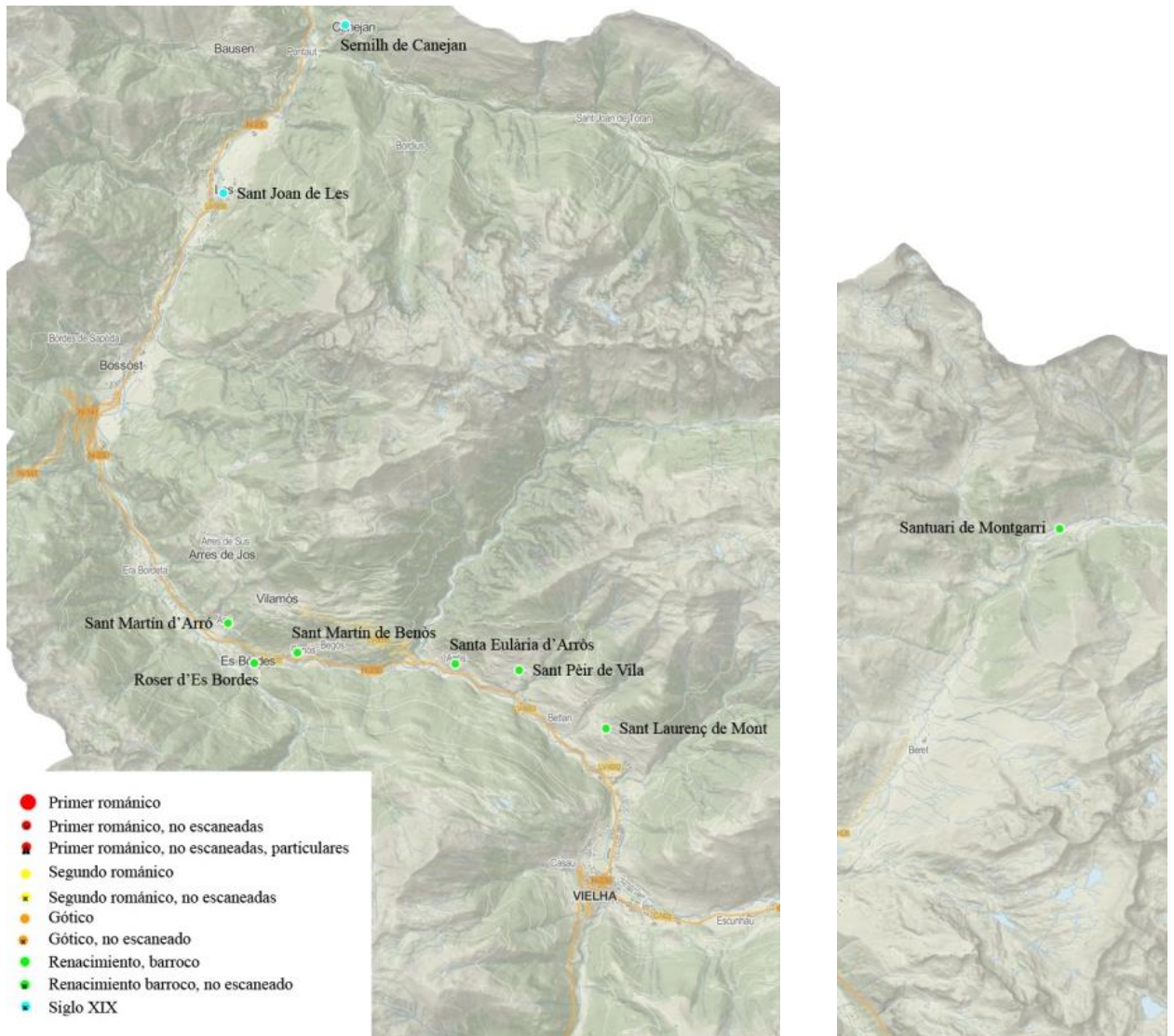


Imagen 13. localización de las iglesias de la sexta campaña

Iglesias realizadas en la sexta campaña:

Iglesia *Sant Joan Baptista de Les* (Tabla 49); Santuario *Era Mair de Diu de Montgarri* (Tabla 50); Iglesia de Sant Pau o Sant Laurenc de Mont (Tabla 51); Iglesia *Sant Sernilh de Canejan* (Tabla 52); Iglesia *Santa Eulària d'Arros* (Tabla 53); Iglesia *Sant Pèir de Vila* (Tabla 54); Iglesia *Sant Martin de Arró*(Tabla 55); Iglesia *Mair de Diu deth Rosèr d'Es Bordes* (Tabla 56); Iglesia *Sant Martin de Benòs* (Tabla 57).

Resumen climatico²⁵⁷ (Tabla 26-47-48):

	HR max	HR Media	Tº media	Tº max.	Tº min.	Viento	Precipitación	Irradiación solar	Evapotranspiración
30/07/2015	93	92	12,8	15,1	11	--	20,1	--	--
31/07/2015	94	92	13,5	20,2	10	--	51,8	--	--
01/08/2015	94	83	12,8	16,1	11	--	0,4	--	--
02/08/2015	94	70	18	28,9	9	--	0	--	--
03/08/2015	92	68	20,8	31,6	13,6	--	9,6	--	--
04/08/2015	93	80	17,9	24,2	13,6	--	1,6	--	--
05/08/2015	93	67	21,3	30,5	14,2	--	0	--	--
06/08/2015	85	59	22,2	32,8	15,4	--	0	--	--

Tabla 46 Climatología de Vielha para la sexta campaña para las iglesias de Mont, Vila, Arros, Benòs, Arró y Es Bordes

	HR max	HR media	Tº media	Tº max	Tº min	Viento	Precipitación	Irradiación solar	Evapotranspiración
30/07/2015	97	100	8,4	10,9	7,3	--	36	5,6	0,85
31/07/2015	92	100	8,9	13,3	6,1	--	33,6	5,9	1,01
01/08/2015	99	100	7,1	11,9	5,1	--	0,3	19,2	2,59
02/08/2015	53	94	14,2	17,9	7,5	--	0	30,7	5,01
03/08/2015	56	89	16,8	23,2	10,9	--	4,4	25,6	4,71
04/08/2015	72	92	14,8	18,7	11	--	0	29,4	4,83
05/08/2015	61	87	16,4	20,9	12,3	--	0	26,2	4,58
06/08/2015	45	65	18,3	22,6	14,5	--	0	29,9	5,37

Tabla 47 Climatología de Sasseuva para la sexta campaña para las iglesias de Les y Canejan

	HR max	HR media	Tº media	Tº max	Tº min	Viento	Precipitación	Irradiación solar	Evapotranspiración
30/07/2015	100	96	11,4	8,6	7,1	--	66	3,8	0,58
31/07/2015	99	89	13,5	9,1	5,8	--	42	7,7	1,2
01/08/2015	100	97	11,8	7,3	4,9	--	0	18,7	2,47
02/08/2015	98	60	17,6	13,2	7,1	--	0	29,8	4,55
03/08/2015	94	55	22,3	16,1	10,3	--	10,9	26,6	4,68
04/08/2015	98	61	18,6	15,3	9,5	--	2,4	26,8	4,35
05/08/2015	74	53	20,1	16,3	12,7	--	0	26,6	4,69
06/08/2015	74	38	21,9	18,5	14	--	0	29,7	5,5

Tabla 48 Climatología de La Bonaigua para la sexta campaña para la iglesia de Montgarri

257 <http://www.ruralcat.net/web/guest/agrometeo.estacions>

Iglesia Sant Joan Baptista de Les

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Ivette Martí-Moreno Félix
Noelia Martínez García
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska
Anna Royo Bareng

Rectores de la iglesia de Sant Joan Baptista de Les:

Padre Joseph Geethafonkalan

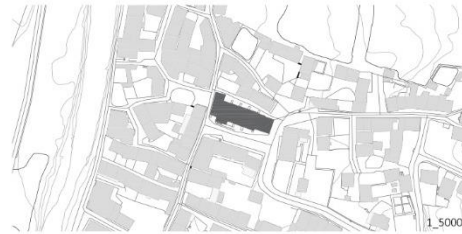
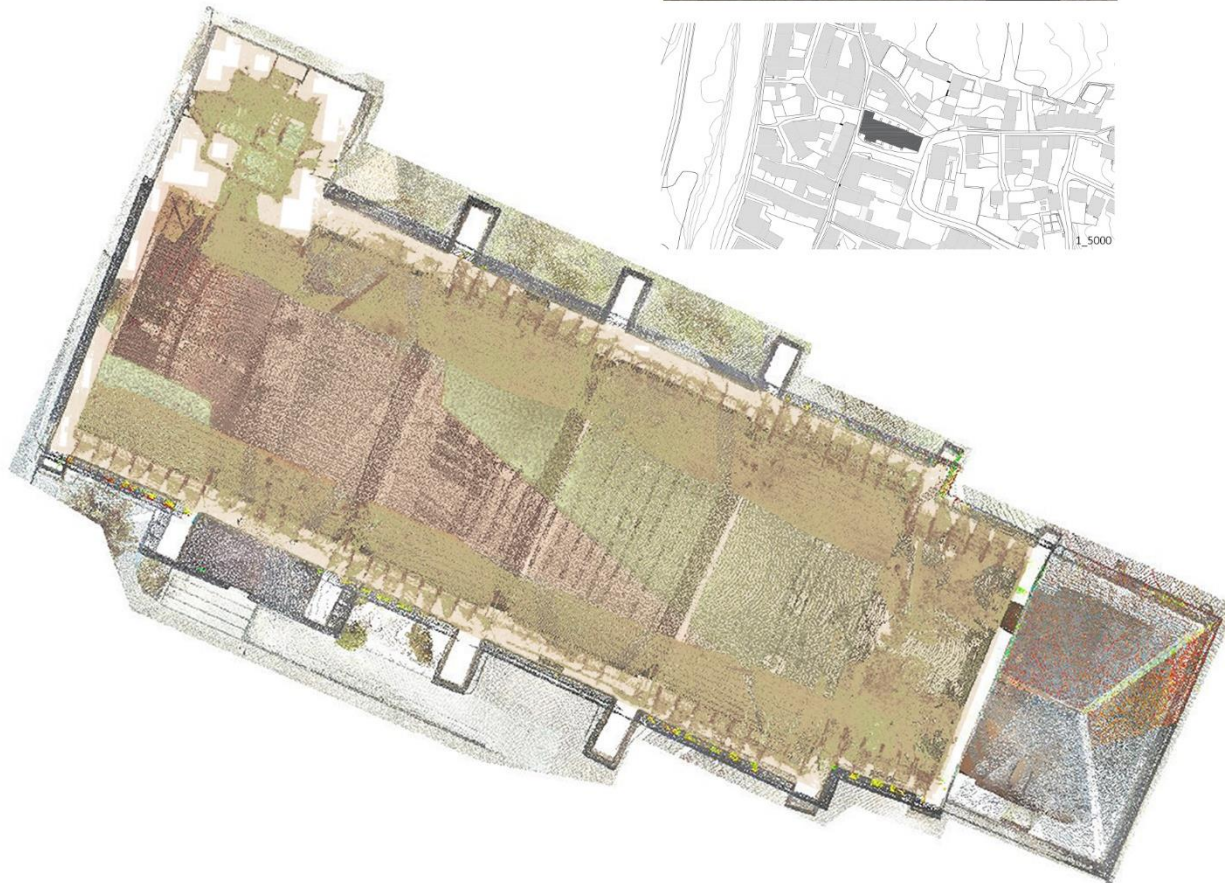


Tabla 49 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Joan Baptista de Les. e.:1/300



Santuario Era Mair de Diu de Montgarri

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Ivette Martí-Moreno Félix
Noelia Martínez García
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska
Anna Royo Bareng

Rectores de la iglesia del Santuario de Montgarri:

Padre Pere Balagué

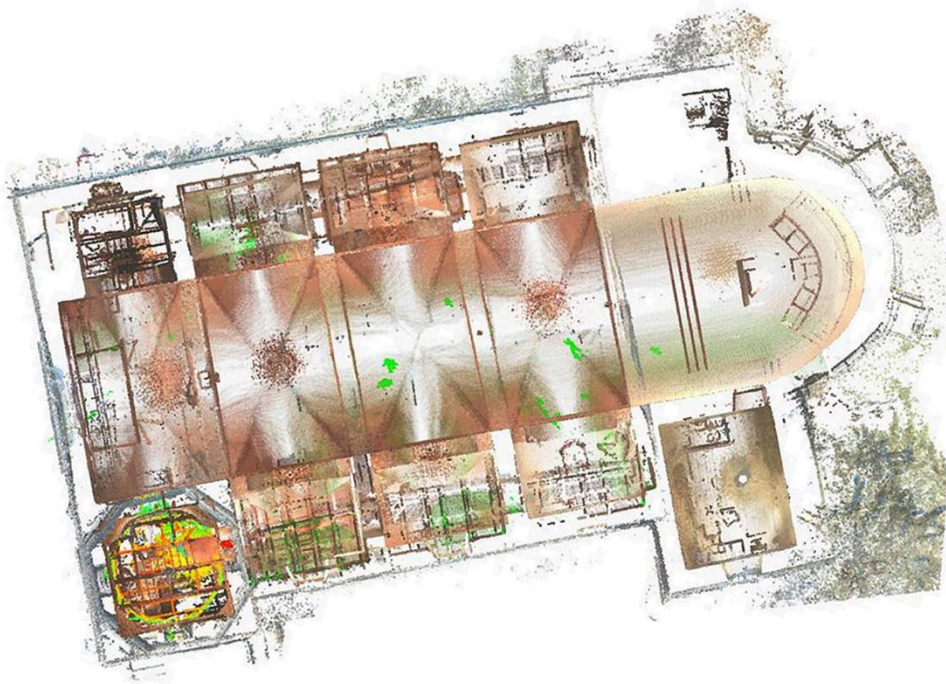
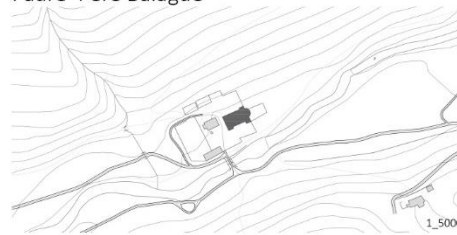


Tabla 50 Características del escaneo del Santuario Era Mair de Diu de Montgarri. e.:1/300

Iglesia Sant Pau o Sant Laurenç de Mont

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Ivette Martí-Moreno Félix
Noelia Martínez García
Denitsa Nikolaeva Kavgadziyska
Anna Royo Bareng

Rectores de la iglesia de Sant Laurenç de Mont:

Padre Josep Amiell
Padre Joseph Geethafonkalan
Padre Pere Balagué

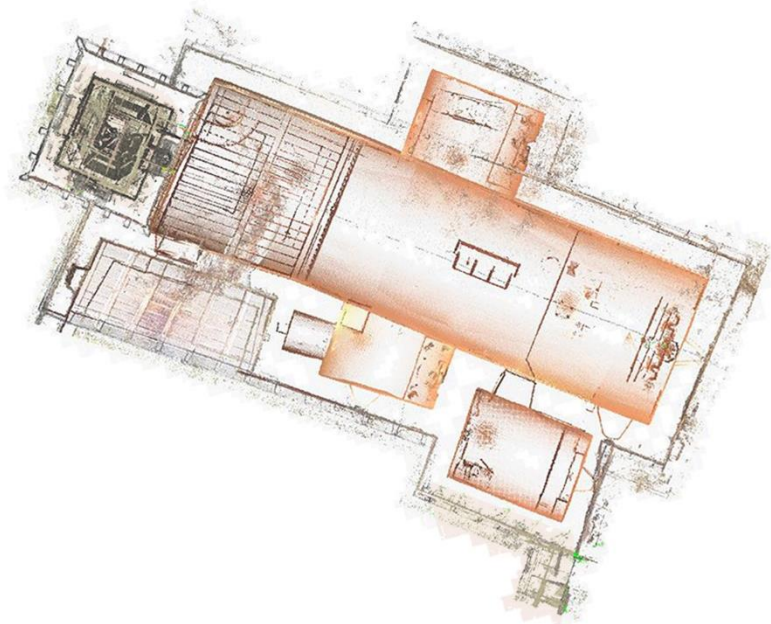
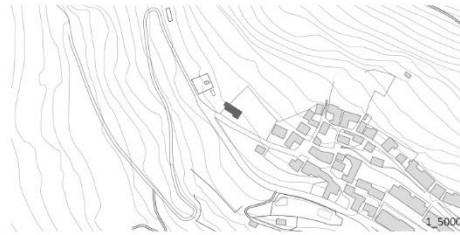


Tabla 51 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Pau o Sant Laurenç de Mont. e.:1/300



Iglesia Sant Sernilh de Canejan

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Ivette Martí-Moreno Félix
Noelia Martínez García
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska
Anna Royo Bareng

Rectores de la iglesia de Sernilh de Canejan:

Padre Joseph Geethafonkalan

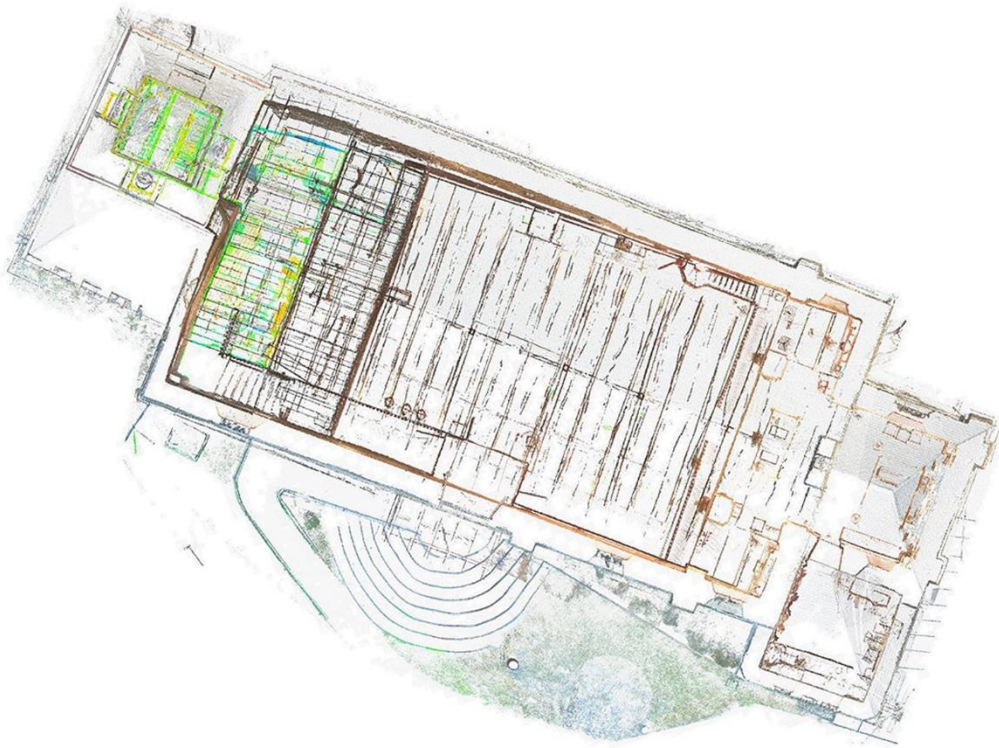
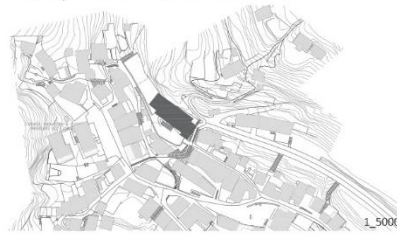


Tabla 52 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Sernilh de Canejan. e.:1/300

Iglesia Santa Eulària d'Arròs

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Ivette Martí-Moreno Félix
Noelia Martínez García
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska
Anna Royo Bareng

Rectores de la iglesia de Santa Eulària d'Arròs:

Padre Josep Amiell
Padre Joseph Geethafonkalan
Padre Pere Balagué

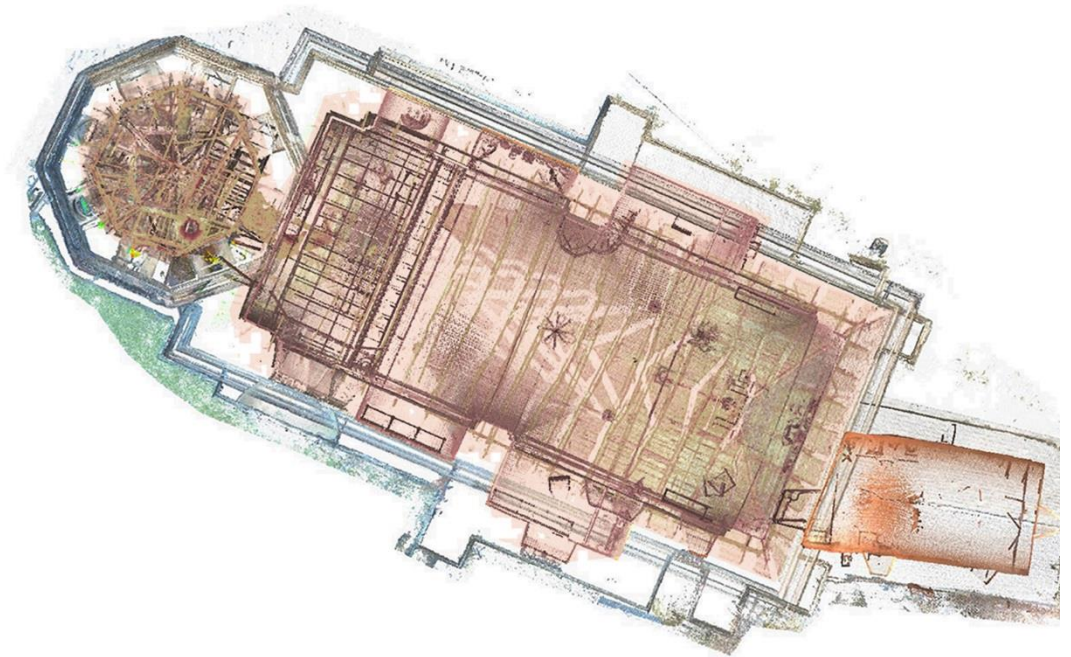
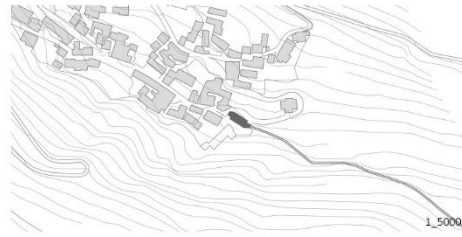


Tabla 53 Características del escaneo de la Iglesia de Santa Eulària d'Arros. e.:1/300



Iglesia Sant Pèir de Vila

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Ivette Martí-Moreno Félix
Noelia Martínez García
Anna Royo Bareng
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Pèir de Vila:

Padre Josep Amiell
Padre Joseph Geethafonkalan
Padre Pere Balagué

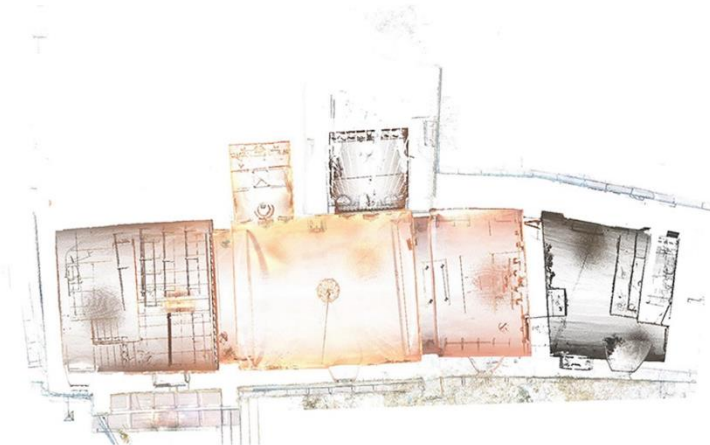
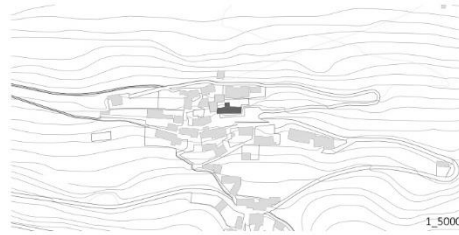


Tabla 54 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Pèir de Vila. e.:1/300

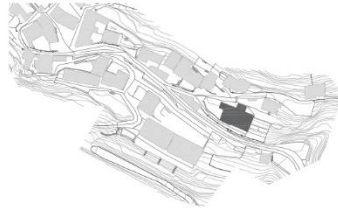
Iglesia Sant Martin d'Arró

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Ivette Martí-Moreno Félix
Noelia Martínez García
Denitsa Nikolaeva Kavgadziyska
Anna Royo Bareng

Rectores de la iglesia de Sant Martin d'Arró:

Padre Joseph Geethafonkalan



1_5000

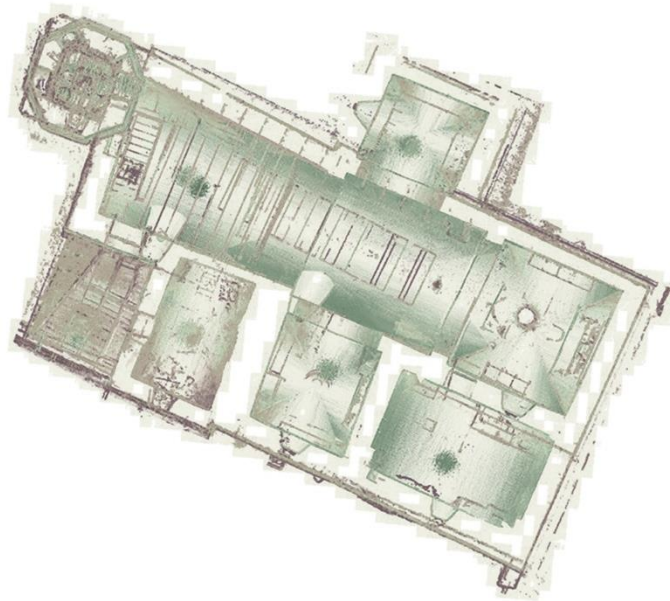


Tabla 55 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Martí d'Arro. e.:1/300



Iglesia Mair de Diu deth Rosèr d'Es Bòrdes

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Ivette Martí-Moreno Félix
Noelia Martínez García
Denitsa Nikolaeva Kavgadziyska
Anna Royo Bareng

Rectores de la iglesia de Era Mair de Diu deth Rosèr d'Es Bòrdes:

Padre Joseph Geethafonkalan

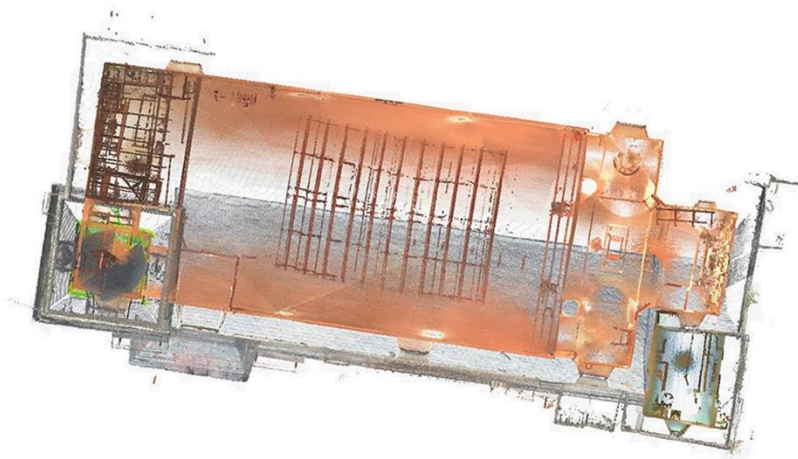
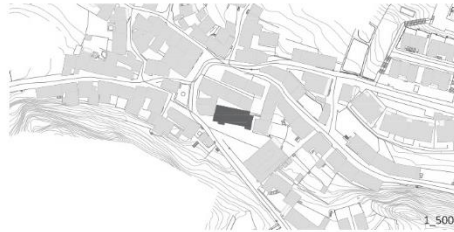


Tabla 56 Características del escaneo de la Iglesia de Mair de Diu deth Rosèr d'Es Bordes. e.:1/300

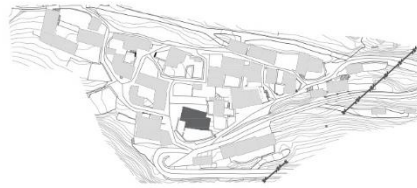
Iglesia Sant Martin de Benòs

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Ivette Martí-Moreno Félix
Noelia Martínez García
Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska
Anna Royo Bareng

Rectores de la iglesia de Sant Martin de Benòs:

Padre Joseph Geethafonkalan



1_5000



Tabla 57 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Martí de Benòs. e.:1/300

5.1.7. SEPTIMA CAMPAÑA

La septima campaña de toma de datos se organiza entorno a (Imagen 14):

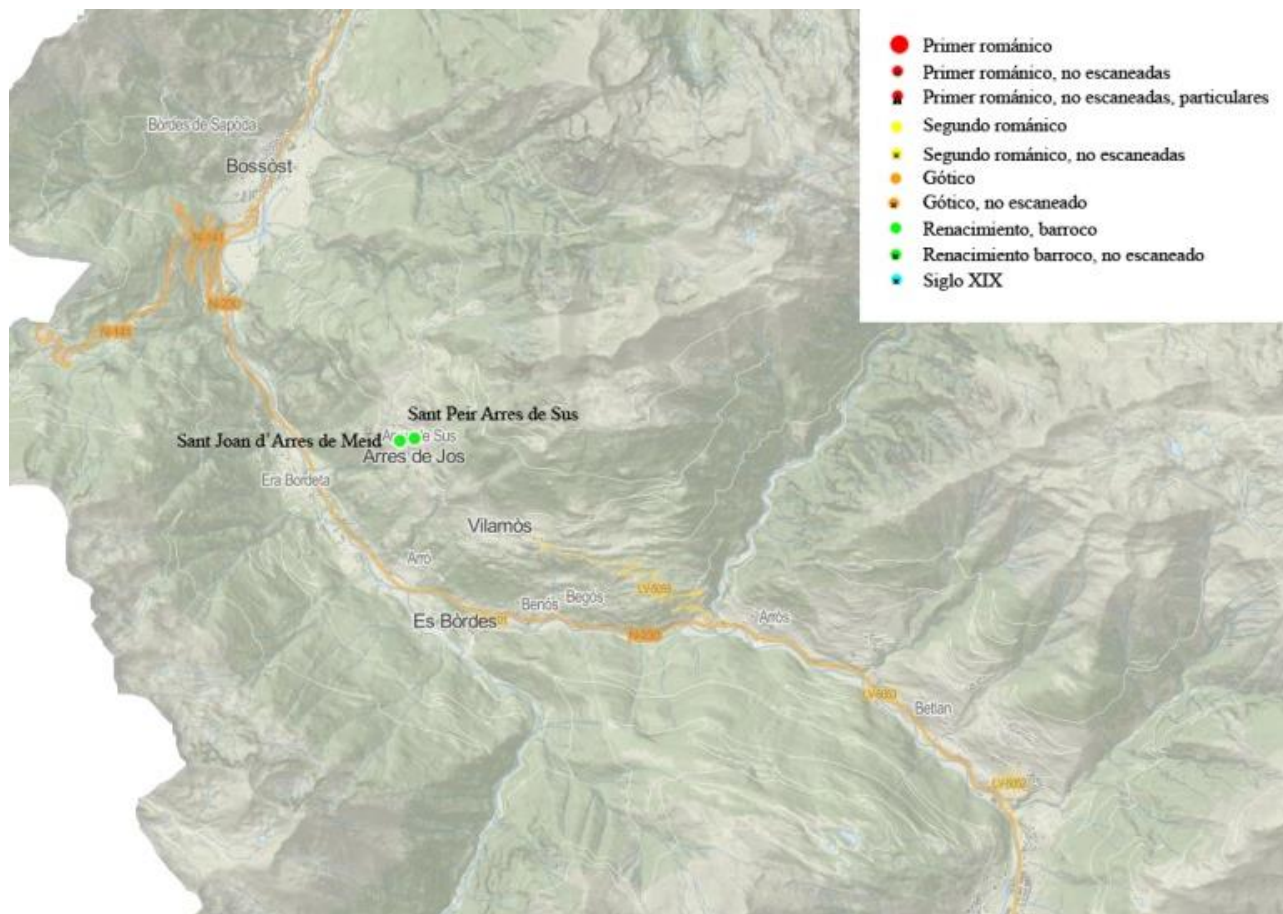


Imagen 14. Localización de las iglesias de la septima campaña

Iglesias realizadas en la septima campaña:

Iglesia *Sant Pèir d'Arres de Sus* (Tabla 59); Iglesia *Sant Joan d'Arres de Meid* (Tabla 60).

Resumen climatico²⁵⁸ (Tabla 58):

	HR max	HR media	Tº media	Tº max	Tº min	Viento	Precipitación	Irradiación solar	Evapotranspiración
30/09/2015	87	100	4,9	7,7	2,2	--	0	9,1	1,22
01/10/2015	89	100	4,3	7,8	1,1	--	6,1	12,1	1,49
02/10/2015	82	100	3,1	6	1,4	--	0,3	13,1	1,42
03/10/2015	59	93	4,7	7,7	2,4	--	4,8	17	2,05
04/10/2015	66	85	8,6	14,5	4,2	--	0,3	7,3	1,16

Tabla 58 Climatología de Sasseuva para la septima campaña para las iglesias de Arres:

258 <http://www.ruralcat.net/web/guest/agrometeo.estacions>

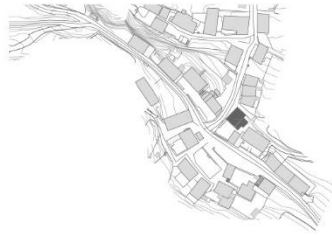
Iglesia Sant Pèir d'Arres de Sus

Responsables del escaneo:

Josep Lluís i Ginovart
Agustí Costa Jover
Sergio Coll Pla
Ivette Martí-Moreno Félix
Noelia Martínez García
Denitsa Nikolaeva Kavgadziyska

Rectores de la iglesia de Sant Pèir d'Arres de Sus:

Padre Joseph Geethafonkalan



1_5000

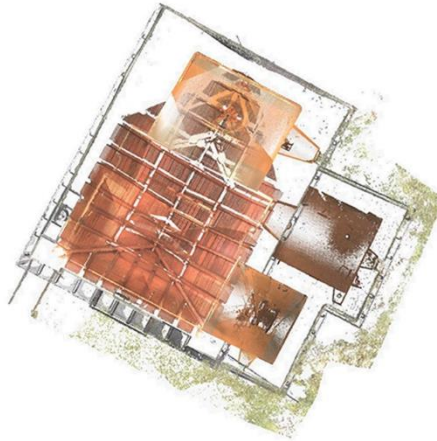


Tabla 59 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Pèir d'Arres de Sus. e.:1/300



Iglesia Sant Joan d'Arres deth Mieí

Responsables del escaneo:

- Josep Lluís i Ginovart
- Agustí Costa Jover
- Sergio Coll Pla
- Ivette Martí-Moreno Félix
- Noelia Martínez García
- Denitsa Nikolaeva Kavgadzhyska

Rectores de la iglesia de Sant Joan d'Arres deth Mieí:

- Padre Joseph Geethafonkalan

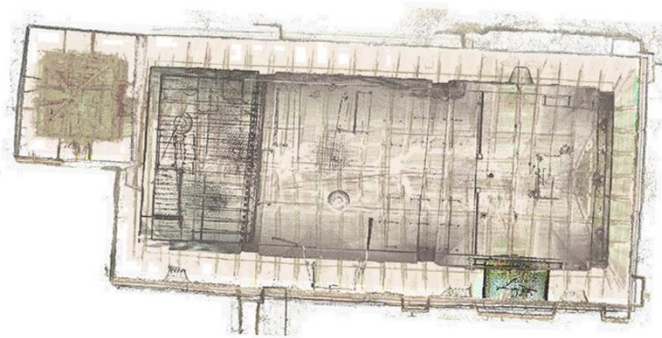
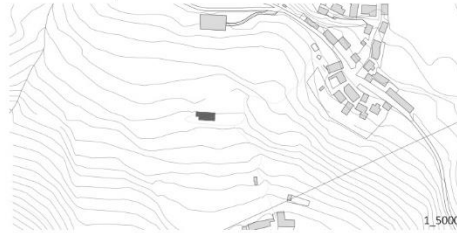


Tabla 60 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Joan d'Arres de Meid, e.:1/300

5.2. DEFINICIÓN VOLUMÉTRICA DE LAS EDIFICACIONES.

Se presenta, a continuación, la documentación planimétrica de las iglesias que son objeto de este estudio. Se testean aquí las posibilidades de la representación arquitectónica basada principalmente en las nubes de puntós registradas.

Se define la documentación para cada iglesia con:

- Una sección horizontal por la cota del suelo (representada en negro)
- Una sección vertical en sentido longitudinal (representada en blanco). Esta sección longitudinal se ha realizado por el eje de la iglesia, deduciéndose este como la mediatriz de los ejes de los muros de la nave.
- Una sección transversal (representada en blanco). La sección transversal se ha realizado por la distancia media del vano construido más al oeste.
- También se plantea una representación tridimensional, tal y como ya hizo Puig i Cadafalch²⁵⁹. En este caso, dado que se trata de geometrías complejas diseñadas en edificios de poca entidad, se decide realizar una axonometría desde el cuadrante superior.

En el momento de completar las partes de las iglesias no escaneadas se usan los siguientes criterios:

- En el caso de la reconstrucción de las bóvedas que no han sido escaneadas en su interior, se considera que el grosor es el enunciado por O'connor²⁶⁰: entre 1:10 y 1:20 respecto a la luz libre.
- Para la suposición de un estado inicial de los ábsides de las iglesias de *Santa Maria de Vilamòs* y *Sant Pèir d'Escunhau*, se toman como referencia los ábsides de las iglesias de *Santa Eulària d'Unha* y *Sant Pèir de Betlan* por similitud del ancho de iglesia (11.71 m- 11.31m; 6.18m- 6.10m) (Tabla 61).

	¶murs	ancho
Iglesia <i>Sant Miquèu de Vilamòs</i>	0.896	5.466
Iglesia <i>Sant Fabian d'Arres de Jos</i>	0.629	6.240
Iglesia <i>Sant Joan d'Arros e Vila</i>	1.093	4.898
Iglesia de <i>Sant Estèue de Tredòs</i>	1.202	7.035
Iglesia de <i>Sant Roc de Begòs</i>	1.318	5.039
Iglesia de <i>Sant Pèir de Betlan</i>	2.755	6.104
Iglesia de <i>Sant Pèir d'Escunhau</i>	2.344	6.189
Iglesia de <i>Santa Eulària d'Unha</i>	5.957	11.315
Iglesia de <i>Santa Maria de Mijaran</i>	6.100	15.944
Iglesia de <i>Santa Maria de Vilamòs</i>	2.702	11.717
Iglesias de <i>Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs</i>	1.337	15.939

Tabla 61. Agulo entre los muros de la nave y ancho en metros, entre los mismos.

Una importante preocupación antes de iniciar los estudios es la evolución morfológica de las edificaciones, esta se ha conservado intacta a lo largo del todo el siglo XX²⁶¹.

Por lo general, la planta de las iglesias del Val d'Aran es muy irregular. La mayoría presentan una orientación de este a oeste con un muro occidental no perpendicular al eje de la nave.

²⁵⁹ PUIG I CADAFALCH, J.A. (1920). *L'arquitectura Romànica a Catalunya*, Barcelona: Ricard Duran i Alsina. Vol. XXXIII.

²⁶⁰ LANCASTER, L. (2005). *Concrete vaulted construction in Imperial Rome: innovations in context*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 296.

²⁶¹ A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Vall d'Aran. *En Catalunya Romanica*. Barcelona: Fundacio Enciclopedia Catalana Vol. XIII. pp. 343.

A continuación se exponen las características morfológicas y constructivas principales de la arquitectura románica aranesa²⁶²:

- La posición lateral de las puertas de pequeño tamaño (a sur).
- La completa ausencia de decoración a excepción de la decoración lombarda de los ábsides²⁶³.
- La aparición de un presbiterio con paredes ligeramente convergentes hacia el ábside (reminiscencia de arcos triunfales de las basílicas primitivas). Este cuerpo es mayor cuanto más antiguo y se usaba en época visigótica para comunicar los ábsides²⁶⁴.
- El uso de mampuestos medianos, minimamente careados y pulidos, de distinta procedencia
- Los pilares con un cimatio en lugar de capitel o con un ábaco cuadrado de transición entre el fuste cilíndrico y la entrega rectangular de los arcos de medio punto de los muros formeros.
- El uso de vueltas en criptas, coros y ábsides contruidos con piedra sin labrar.
- El uso de piedra calcárea en arcos.

De todas las iglesias románicas del Val d'Aran se pueden extraer dos esquemas muy claros de planta: iglesias de planta basilical sin transepto e iglesias de una sola nave. Una segunda clasificación apela al tipo de cubrición del edificio, ya sea con bóveda o con cercha de madera.

Las iglesias basilicales son de tres naves con tres pares de pilares mayoritariamente circulares. Presentan tres ábsides en el este, con muros decorados con arcuaciones lombardas y lesenas en bajorrelieve. Esta decoración es derivada del arte otomano. Son edificaciones que se asemejan al estilo de Ravena²⁶⁵ y con analogías a la arquitectura de Mosa. La primera iglesia basilical construida es la de *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs*, de finales del siglo XI, sin bóvedas y con pilares cruciformes²⁶⁶. Puig i Cadafalch apuntaba a un origen paleo-cristiano del esquema en planta²⁶⁷.

Por otra parte, el estudio de las iglesias de una sola nave es complejo por el amplio espectro de estudio. Las más sencillas son las que se asemejan a una "ecclesia eremitana", sin decoración. Un segundo grupo es el compuesto por iglesias con campanario y decoración.

En el estudio proporcional se deben tener en cuenta los preceptos de Vitruvio, sobretodo para buscar la unidad de medida de las iglesias basilicales, en las que también se estudia desde las proporciones generales. Es el caso de las iglesias *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs*, *Santa Eulària d'Unha* y *Santa Maria de Vilamòs*.

²⁶² ROS BARBOSA, E. (2007). *Er Art Romanic dera Val d'Aran*. Vielha: Conselh, pp. 45.

²⁶³ ESTEBAN LORENTE, J. F. (2007). La Metrología Y Sus Consecuencias En Los Edificios de La Alta Edad Media Española III. El Primer Románico En España. *Artigrama: Revista del Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Zaragoza*. Zaragoza: Departamento de Historia de Arte; Prensas Universitarias de Zaragoza. Vol. 22. pp. 423-472.

²⁶⁴ SARRATE FORGA, J. (1974). *El arte románico en el Cap d'aran*. Lérida: José Sarrate Forga. pp. 15-26

²⁶⁵ GRODECKI, L.; MÜTHERICH, F.; TARALON, J.; WORMALD, F. (1973). *Le siècle de l'an mil*. Paris: Gallimard. Vol. 20, No. 77, pp. 53.

²⁶⁶ ROS BARBOSA, E. (2007). *Er Art Romanic dera Val d'Aran*. Vielha: Conselh, pp. 46

²⁶⁷ PUIG I CADAFALCH, J.A. (1920). *L'arquitectura Romànica a Catalunya*, Barcelona: Ricard Duran i Alsina. Vol. XXXIII, pp 10.

5.2.1.SANT FABIAN D' ARRES DE JOS

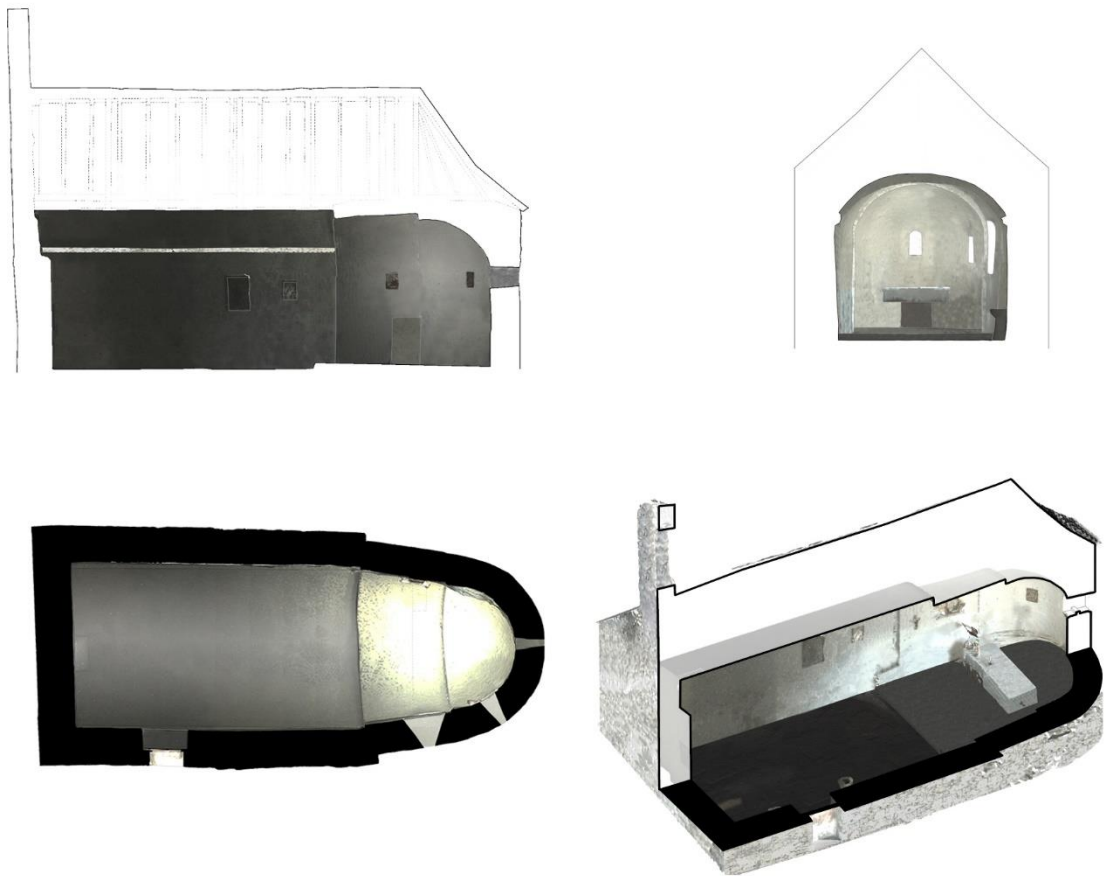


Imagen 15 Planimetría de Sant Joan d'Arres de Jos. e.:1/200

La iglesia de Sant Fabian d'Arres de Jos (Imagen 15) es un pequeño edificio de unos 12 m de longitud por 4 de largo, con una nave de 7.50 m de longitud. Está compuesto, en la nave, de muros paralelos, y cuenta con un ábside con un espacio conoidal presbiterial de muros convergentes en un semicírculo.

Según Sarrate Forga, la nave estaba cubierta por una bóveda de cañón de la que se conservaban, en 1976, los arranques²⁶⁸. En la actualidad está cubierta por un falso techo en forma de bóveda. Desde el exterior se detectan dos fases constructivas. La primera hasta 2.5 m de altura, donde se ubica la decoración románica con una estereotomía regular de 50 cm de largo por 16 cm de grosor sobre la que se construye con una estereotomía irregular. La mampostería romànica esta construida con piedras locales (piedra toba, calcareo y esquistos) vagamente trabajados y de espesor irregular, pero puesto en hiladas horizontales (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica). El único acceso esta ubicado al sur, con una apertura de pequeño tamaño de dimensiones de un metro de ancho por 2.10 m de alto, y construido con piedra toba (Tabla 62).

Geometría interna (Alto x Ancho x Largo)	Volumen:	Grosos de los muros
Nave (4.25 (imp. ext.) x 4.48 x 7.77) m	M3 útiles: 200.825	Nave: 0.96 m
Ángulo entre muros de la nave: 0,629 °	M3 construidos: 157.585	Ábside: 0.79 m
Ábside (3.92 x 4.24 x 4.30) m	Útil/constru.: 1.274	Bóveda: -

Tabla 62 Mediciones de la Iglesias de Arres de Jos.

²⁶⁸ SARRATE FORGA, J. (1976). *El arte románico en el Baix Aran*. Lérida : José Sarrate Forga, pp. 15.

5.2.2.SANT JOAN D'ARROS E VILA

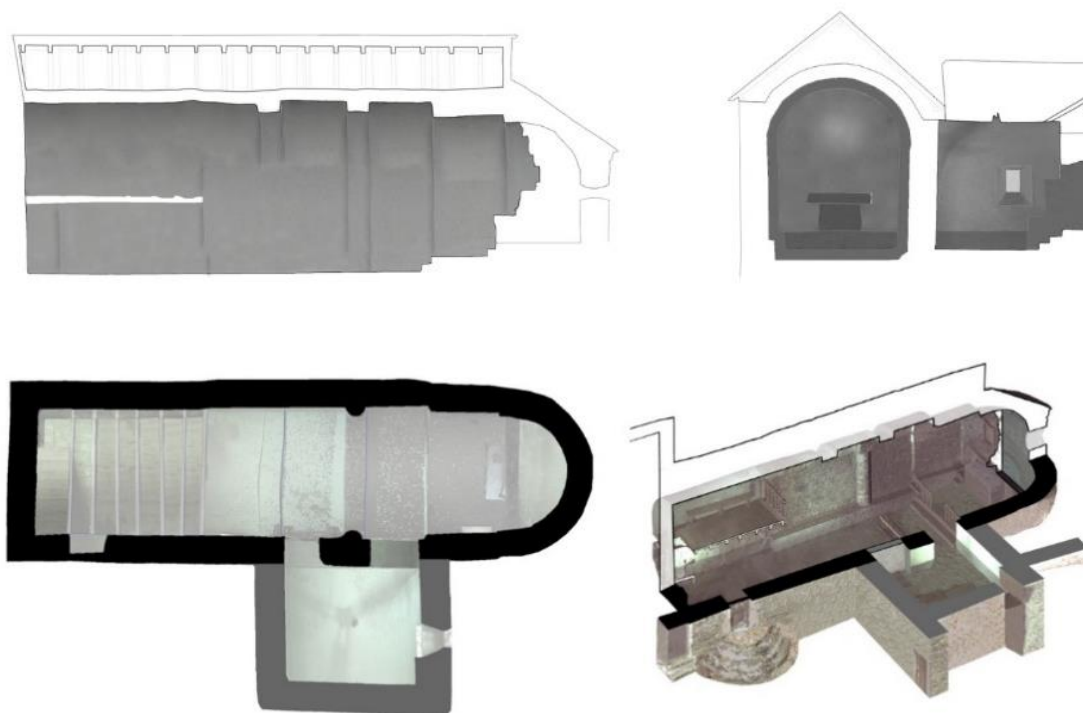


Imagen 16 Planimetría de la iglesia de Sant Joan d'Arros e Vila. e.:1/200

La iglesia de Sant Joan d'Arros e Vila (Imagen 16) consta de una sola nave cubierta con una bóveda de cañón con arcos fajones que acaban con unas pilastras semicirculares. La decoración se limita a las arcuaciones de la cabecera y encima un friso dentado y una cornisa, realizada con piedra toba. Los mampuestos son de diversa procedencia poco regular. El ábside esta iluminado por una pequeña ventana axial, realizado con piedra toba, y precedido de un espacio presbiterial que lo une con la nave. En su exterior el ábside está decorado con nueve arcuaciones, más una axial, más 9 arcuaciones (en total 19). Sobre el ábside hay un friso dentado en piedra toba. Las arcuaciones, talladas en un solo bloque, sitúan la iglesia dentro de las formás del siglo XII²⁶⁹. Los muros de la nave son completamente paralelos, y con una estereotomía irregular (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica). Está cubierto con bóvedas de cañón con arcos fajones, de dovelas claramente careadas. El ábside está precedido de un arco de cañón de muros paralelos (Tabla 63).

Geometría interna (Alto x Ancho x Largo)	Volumen	Grosos de los muros
Nave (4.50 x 3.59 x 10.90) m	M3 útiles: 216.529	Nave: 0.81 m
Ángulo entre muros de la nave: 1.093 °	M3 contruidos: 209.578	Ábside: 0.77 m
Ábside (3.72 x 3.41 x 3.91) m	Útil/constru: 1.033	Bóveda: 0.359 m

Tabla 63 Mediciones de la iglesia de Sant Joan d'Arros e Vila

²⁶⁹ A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Vall d'Aran. *En Catalunya Romanica*. Barcelona: Fundacio Enciclopedia Catalana Vol. XIII, pp. 449.

5.2.3.SANTA MARIA DE CAP D'ARAN DE TREDÒS

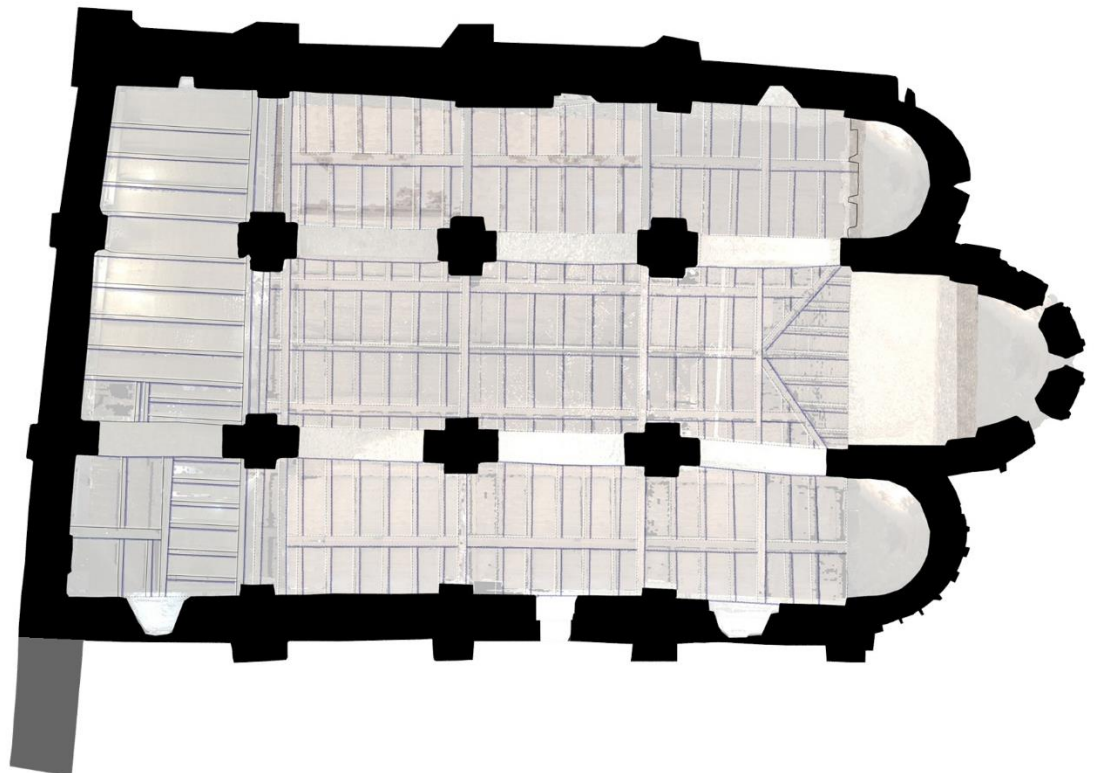
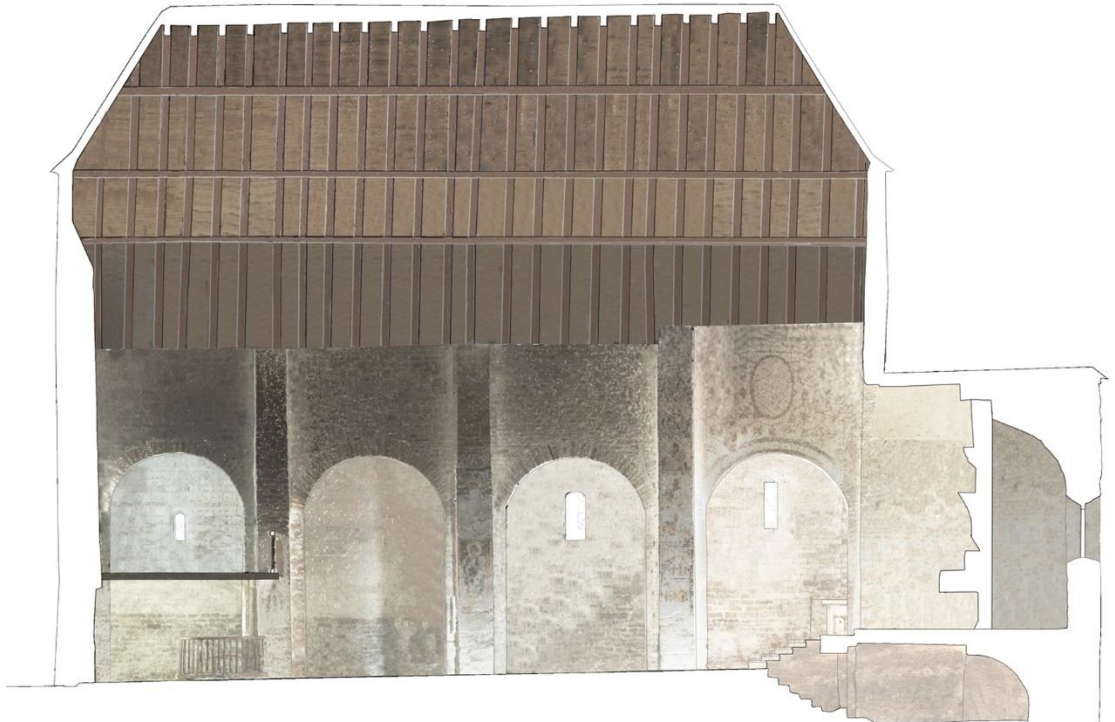




Imagen 17 Planimetría de la iglesia de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs. e.: 1/200.

La iglesia *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs* (Imagen 17) es una de las más antiguas iglesias románicas de planta basilical²⁷⁰. Fue documentada en 1198 en una escritura de Pedro el Católico donde se eximía a sus pobladores de pejaes o tributos²⁷¹. Es la iglesia más grande del primer románico, cuenta con una nave de muros paralelos orientada de NO a SE. La planta es basilical de tres naves y muros con pilastras exteriores y interiores alineados con los pilares en las fachadas sur, oeste y norte.

La fachada sur cuenta con dos fases constructivas en horizontal. La primera llega hasta los 4 metros de altura, y la segunda hasta el friso. Esta primera fase cuenta con piezas de una sola procedencia, con una estereotomía de 33cm de largo por 13 cm de grosor. El grosor del granulado del mortero es de 3 mm. La entrada actual, del segundo románico, está orientada al oeste. Por otra parte, aún está en uso la entrada original del segundo románico, también pequeña, con arco de cañón con tímpano, con un crismón gravado al estilo de la catedral de Jaca.

La nave cuenta con tres pares de columnas de sección cruciforme que sostienen arcos torales de cañón, tal y como ocurre en Sant Miguel de Cuxà (estos arcos se muestran como perforando el muro), dejando clara la direccionalidad del edificio.

Todos los arcos están contruidos a partir de un aparejo mediano de 41 cm de largo por 14 de grosor, careado de granito, y con unas juntas de mortero de unos 0.03 cm de granulometria. Los arcos del evangelio son más altos que los de la epístola. Una de las hipótesis descartada por Montserrat Pagés i Paretas (1951-act) es la de la correspondència a diferentes fases constructives ya que cuentan con el mismo despiece y aparejo. En cambio la misma autora acepta la hipótesis de que fuese por seguridad estructural. Estas son del siglo XI²⁷². Se aprecia también un regresado en los pilares y en las pilastras de los muros, que contrasta con las impostas, más estrechas y decoradas con bolas en relieve acusado²⁷³.

También cuenta con un ábside principal y dos absidiolas.

En el eje de la fachada oeste se dispone la entrada principal, la cual consta de tres arcos de medio punto en degradación. En el intermedio existen sendas columnas cilíndricas, y en el interior se han esculpido dos impostas. La fachada norte, contruida sobre una primera parte de 1.5 m de altura del primer románico, cuenta con dos ventanas con columnas y motivos ajedrezados. Esta fachada se termina con canecillos sobre los que descansa la cornisa.

La nave está encabezada por un presbiterio que se eleva unos escalones. En su centro se abre una apertura que da acceso a una cripta con vuelta de cañón. Esta, respondería a un santuario del primer románico, contruido con un pequeño aparejo careado de granito²⁷⁴ (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica; Tipo A). El arco del acceso está configurado a partir de dovelas de piedra toba. La cripta consta de dos espacios, uno rectangular y otro semicircular, separados por un arco de medio punto adovelado. Esta, resultado de la adaptación del ábside a la topografía, está semiescabada en la roca²⁷⁵. La cripta carece de ventilación e iluminación, asemejándose esta a la cripta de la iglesia de Cardet en el Valle de Bohí.

²⁷⁰ PUIG I CADAFALCH, J. (1907). Les esglésies romàniques ab cobertes de fusta de les Valls de Bohí i d'Aran. *Anuari de l'Institut d'Estudis Catalans*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, pp. 81-82.

²⁷¹ ROS BARBOSA, E. (2007). *Er Art Romanic dera Val d'Aran*. Vielha: Conselh, pp. 47.

²⁷² PAGÉS I PARETAS, M. (2010). Es pintures romàniques de Santa Maria de Cap d'Aran. *En Miscellanèa en aumenatge a Melquiades Calzado de Castro "Damb eth cor Aranès"*. Arros: Institut d'Estudis Aranesi Casa deth Senhor, pp. 323-324.

²⁷³ SARRATE FORGA, J. (1974). *El arte románico en el Cap d'aran*. Lérida: José Sarrate Forga. pp. 31-39

²⁷⁴ 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, pp.89-90

²⁷⁵ GARLAND, E.; ROS, E. (2003). Eglise romane sainte-marie de cap d'aran dnas l'ancien diocese de cominges. *Mémoires de la Société Archéologique du Midi de la France*. Toulouse: Société Archéologique du Midi de la France. t. LXIII, pp. 115.

El ábside principal, del siglo XI²⁷⁶, está precedido de un arco de cañón cilíndrico construido a partir de losas de pizarra de unos 50 cm de ancho por 70 cm de largo por 5 cm de grosor. El ábside central cuenta con unos muros de obra de fábrica con piedras de diferente procedencia (granítica, metamórfica, sedimentarias) y poco mortero (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica; Tipo C). Este ábside contiene 3 ventanas de las cuales 2 pertenecen al primer románico. La central y la del evangelio, que están construidas con piedra toba y forman un doble chaflán²⁷⁷. En cambio, la de la epístola pertenece a la época moderna, siendo resultante de una ampliación hacia la derecha. En su exterior el ábside presenta 6 dobles arcuaciones, una doble arcuación central y 6 dobles arcuaciones más, todas ellas de piedra toba y construido por piezas claramente diferenciadas: ménsulas, tímpanos, dovelas de los arcos y rellenos, sobre estas hay un friso de dientes de sierra y una cornisa. Sobre el ábside principal hay un óculo de 70 cm de diámetro.

La diversidad de aparejos indica el prolongado tiempo de construcción, a lo largo de diferentes fases constructivas (Tabla 64).

La absidiola del evangelio cuenta con dos fases constructivas muy claras. La primera llega hasta 1.5 m de altura aproximadamente, con piedras poco careadas de diferente procedencia (granítica, metamórfica, sedimentarias) (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica; tipo A; B). Esta fase se descubrió en 2003 en una cata dirigida por Elisa Ros Barbosa y promovida por el Conselh Generau d’Aran²⁷⁸. Esta fase se desarrolla a lo largo de la fachada norte también, y podría datar del siglo XI²⁷⁹. Sobre esta fase se extiende una primera hilada de adaptación y una fase constructiva que engloba esta absidiola y la fachada norte con obra de fábrica de mármol, perfectamente careada. Cuenta con canecillos esculpidos y un friso ajedrezado. Sobre este hay un óculo de 60 cm de diámetro.

La absidiola de la epístola cumple con las características del primer románico, pero con modificaciones ejecutadas a lo largo del segundo románico con mampostería marmórea de 33cm de largo por 14cm de grosor. Cuenta con arcuaciones en piedra toba sobre 3 columnas, con capiteles corintios (seguramente extraídos de algún edificio romano) y sobre canecillos alternados con las columnas. Sobre este hay un óculo tapiado. El edificio estuvo cubierto con bóvedas de cañón, aunque de la nave central no queda ningún vestigio, y cuarto de bóvedas en las naves laterales, de las que quedan residuos sustanciales. Según Puig i Cadafalch es la única iglesia que conserva la cubierta de madera²⁸⁰. Zamora en 1788 también indicó que no estaba cubierta por bóvedas²⁸¹.

Geometría interna (Alto x Ancho x Largo)	Volumen	Grosores de los muros
Nave (8.78 x 13.62 x 20.96) m	M3 útiles: 4321.009	Nave:
Ángulo entre muros de la nave: 1.337 °	M3 construidos: 1427.26	- muro norte: 1.14 m
Ábside(6.71 x 5.0 x 5.51) m	M3 Útil/constru: 3.027	- muro sur: 1.23 m
		Ábside: 1.14 m
		Bóveda: -

Tabla 64 Mediciones de la iglesia de Santa Maria de Cap d’Aran de Tredòs.

²⁷⁶ PAGÉS I PARETAS, M. (2010). Es pintures romaniques de Santa Maria de Cap d’Aran. *En Miscellanèa en aumenatge a Melquiades Calzado de Castro “Damb eth cor Aranès”*. Arros: Institut d’Estudis Aranès Casa deth Senhor, pp. 324.

²⁷⁷ PUIG I CADAVALCH, J.; FALGUERA, A.; GODAY I CASALS, J. (1983). *L’Arquitectura romànica a Catalunya*. Barcelona: Institut d’Estudis Catalans: Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya. pp. 81

²⁷⁸ GARLAND, E., ROS E. (2010). *A prepaus dera Gleisa de Santa Maria de Cap d’Aran de Tredòs dera antica diocèsi de Comenge. Miscellanèa en aumenatge a Melquiades Calzado de Castro “Damb eth cor Aranès”*. Arros: Institut d’Estudis Aranès Casa deth Senhor, pp.337-342.

²⁷⁹ ROS BARBOSA, E. (2007). *Er Art Romanic dera Val d’Aran*. Vielha: Conselh, pp. 81.

²⁸⁰ PUIG I CADAVALCH, J. (1907). Les esglésies romàniques ab cobertes de fusta de les Valls de Bohí i d’Aran. *Anuari de l’Institut d’Estudis Catalans*. Barcelona: Institut d’Estudis Catalans, pp.119-136; PUIG I CADAVALCH, J. (1918). *L’arquitectura romànica a Catalunya*, Barcelona: Institut d’Estudis Catalans, Vol. 64, pp.119-136.

²⁸¹ ROS BARBOSA, E. (2011). Coneixement del patrimoni artístic aranès a través de fotografies i documents dels primers turistes. *Annals del Centre d’Estudis del Ripollès*. Ripoll: Centre d’Estudis del Ripollès. IBIX 7. pp. 247.

5.2.4.SANT ROC DE BEGÒS



Imagen 18 Planimería de la Iglesia de Sant Roc de Begòs. e.:1/200.

La iglesia de Sant Roc de Begòs (Imagen 18) consta de una sola nave con un primer ábside semicircular, conservándose solamente un fragmento de decoración en la fachada norte. Se trata de una construcción de origen románico pero reformada considerablemente, con una serie de modificaciones que complican la simplicidad de la estructura primitiva²⁸².

En la actualidad, el presbiterio es cuadrangular. Del original románico solo se conserva parte del paramento longitudinal, al estilo de Sant Miguel de Cuxà, siendo recurrente el pequeño óculo dispuesto en la fachada sur, actualmente oculto dentro de la cubierta. El fragmento de decoración compuesto por cuatro arcuaciones de piedra toba con friso dentado y cornisa, señala el límite de

²⁸² A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Vall d'Aran. *En Catalunya Romanica*. Barcelona: Fundacio Enciclopedia Catalana Vol. XIII. Pp. 353

la nave original, asemejandose esta iglesia a la iglesia de *Sant Estève de Tredòs*, este precepto está acompañado de una junta de trabajo y de los frescos interiores, que respetan esta alineación.

Tiene una nave dividida por un arco fajón y está cubierto por una bóveda claramente apuntada al estilo de la abadía cisterciense destruida de Fontenay (s. XII). Estas bóvedas estan construidas a partir de un encofrado previo, sin nervios.

En el siglo XIV se le añadieron dos capillas laterales, y así obtuvo la forma de cruz griega²⁸³. Los muros originales (Tabla 65) son paralelos, con mampuestos de distinta procedencia y careados (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica).

Los muros correspondientes a las ampliaciones son de mampuestos de pizarra irregulares, sin carear. La puerta de acceso se encuentra situada en la fachada oeste de la iglesia, de pequeño tamaño, con las siguientes dimensiones: 1 m por 1.94 m de alto, y con dovelas de piedra toba. Hay en las fachadas más restos de elementos del primer románico.

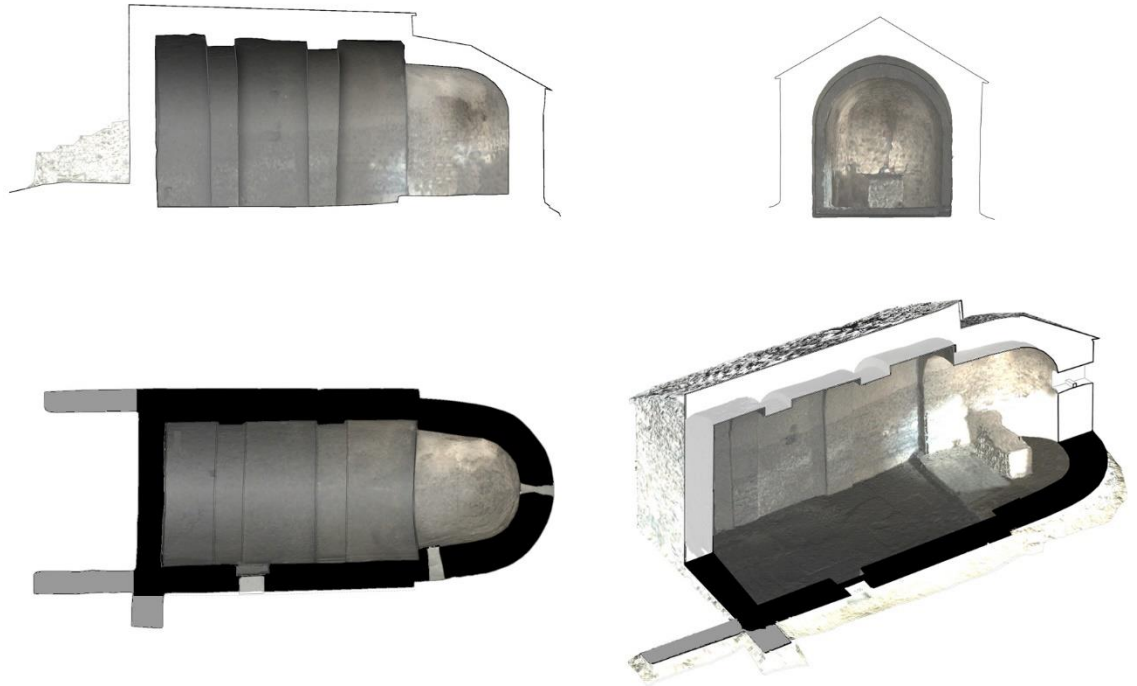
El campanario se sitúa sobre la puerta principal y se construye con piezas seguramente reaprovechadas de gran tamaño de 91 cm de largo por 40 de grosor. A partir de los 2 m se reduce su tamaño a 40 cm de largo por 15 de grosor y son de pizarra mayoritariamente.

Geometría interna (Alto x Ancho x Largo)	Volumen	Grosos de los muros
Nave (5.50 x 3.95 x 7.61) m	M3 útiles: 195.40	Nave: 0.62 m
Ángulo entre muros de la nave: 1.318 °	M3 construidos: 117.341	Ábside: 0.53 m
Ábside (4.04 x 3.58 x 2.87) m	Útil/constru: 1.665	Bóveda: 0.39 m

Tabla 65 Mediciones de la Iglesia de Sant Roc de Begòs.

²⁸³ 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. pp. 87.

5.2.5.SANT MIQUÈU DE VILAMÒS

Imagen19: Planimetría de la Iglesia de *Sant Miquèu de Vilamòs*. e.:1/200

La iglesia de *Sant Miquèu de Vilamòs* (Imagen 19) es una pequeña edificación situada en un montículo a 500 metros de la población de Vilamòs. Presenta unas dimensiones de unos 10 m de largo por 4 de ancho.

La nave está cubierta con vuelta de cañón, que al igual que la iglesia de *Sant Fabian d'Arres de Jos*, termina con un ábside de muros convergentes. Termina con ábside circular y un cuarto de ábside. Este es iluminado por dos ventanas: una a este (original, realizada con piedra toba), y la otra a sur (barroca).

El arco del presbiterio también es de muros no verticales. El aparejo usado para el exterior de los muros es de piezas de diferente procedencia talladas en hiladas bastante horizontales (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica). Uno de los principales intereses radica en la decoración del ábside exterior, conformado por unas arcuaciones de 11 más uno en el eje más 11, coronados por un friso dentado²⁸⁴, y todo ello enlucido.

En su interior la nave está configurada (Tabla 66) de muros paralelos de 75 cm de largo por 25 de grosor y una cubierta con una bóveda de cañón con dos arcos fajones que acaban en dos pilastras. Los arcos fajones están realizados con piedra toba, y podrían ser posteriores a la construcción de la bóveda²⁸⁵. Las bóvedas están realizadas con mampuestos de pizarra y mortero, al igual que el ábside.

La puerta está ubicada al sur, también de pequeño tamaño, de dimensiones de 0.67 de ancho por 1.9 m de alto. Esta iglesia mantiene el suelo original de grandes losas de pizarra de 1 m de largo por 1 m de ancho.

²⁸⁴ 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. pp. 94-95.

²⁸⁵ SARRATE FORGA, J. (1976). *El arte románico en el Baix Aran*. Lérida : José Sarrate Forga, pp. 13.

Sarrate Forga atribuye a esta iglesia el ser una de las más antiguas, aunque por sus características no es anterior al siglo XI²⁸⁶ y con un escaso conocimiento de los motivos lombardos²⁸⁷.

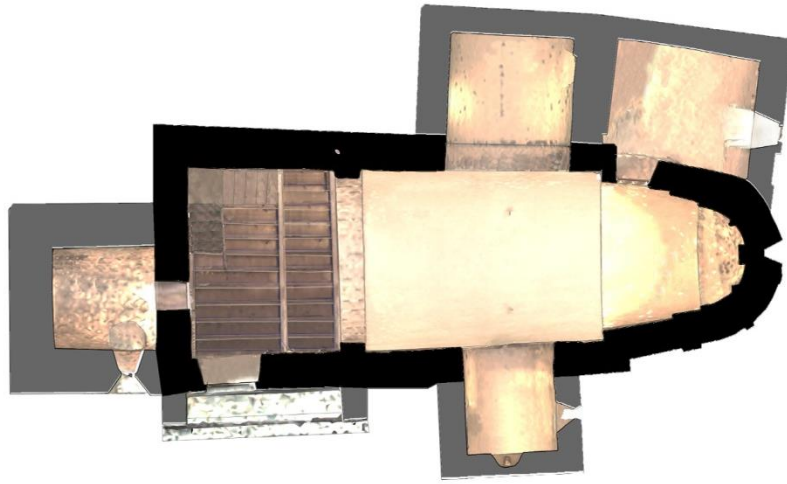
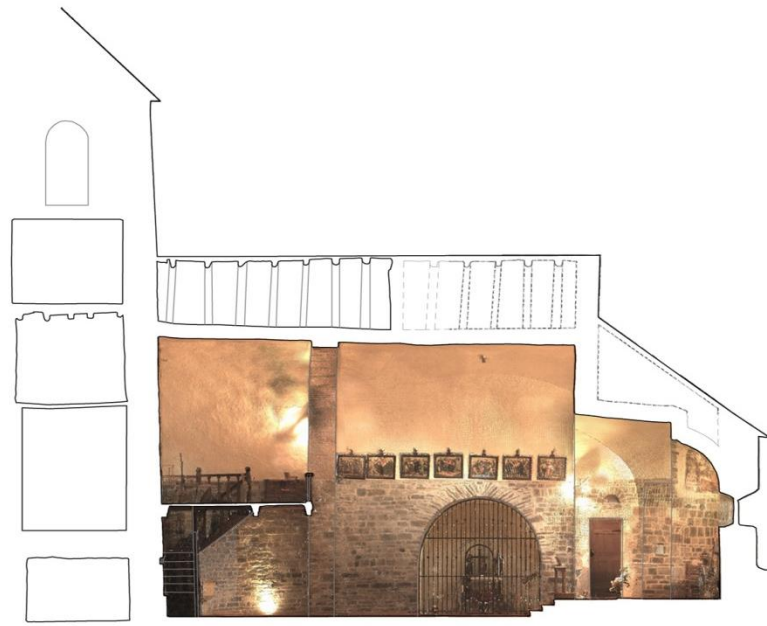
Geometría interna (Alto x Ancho x Largo)	Volumen	Grosos de los muros
Nave (4.46 x 3.94 x 6.83) m	M3 útiles: 134.064	Nave:
Ángulo entre muros de la nave: 0,896 °	M3 contruidos: 117.195	-sur 0.74 m
Ábside (3.50x 3.26x2.91) m	Útil/constru: 1.144	-norte 0.87 m
		Ábside: 0.917 m
		Bóveda: 0.39 m

Tabla 66 Mediciones de la Iglesia de Sant Miquèu de Vilamòs. e.:1/200

²⁸⁶ ROS BARBOSA, E. (2007). *Er Art Romanic dera Val d'Aran*. Vielha: Conselh, pp. 58.

²⁸⁷ A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Vall d'Aran. *En Catalunya Romanica*. Barcelona: Fundacio Enciclopedia Catalana Vol. XIII, pp. 453

5.2.6.SANT PÈIR DE BETLAN



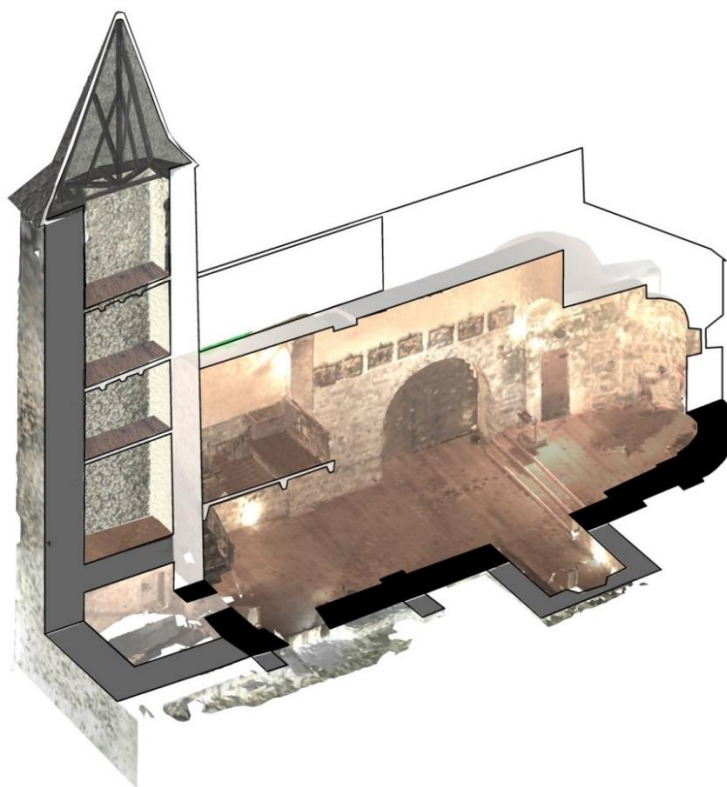


Imagen 20 Planimetría de la Iglesia de Sant Pèir de Betlan. e.:1/200.

La iglesia parroquial de *Sant Pèir de Betlan* (Imagen 20) es una de las más antiguas construcciones religiosas del valle, con estructura característica del primer románico. Probablemente de principios del siglo XI²⁸⁸, o de finales del XI y principios de XII²⁸⁹. Está muy desfigurada por adiciones y reformas posteriores, aunque conserva interiormente la antigua estructura de ábside, presbiterio y buena parte de los muros de la nave. Del siglo XVI son las construcciones del campanario, la casa rectoral y capillas.

Su interior cuenta con una nave de muros convergentes hacia el altar, estando la nave cubierta por una bóveda de cañón en la actualidad, entre la nave y el ábside existe un ancho espacio presbiterial (Tabla 67) de muros convergentes. Este está delimitado por dos resaltes coronados con arcos de medio punto. La nave está cubierta por una bóveda de cañón, reforzada con un arco toral intermedio.

Donde se ve el aparejo, deja ver una mampostería de tamaño mediano, con piezas bien careadas y dispuestas en hiladas horizontales juntadas con mortero de cal (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica).

Geometría interna (Alto x Ancho x Largo)	Volumen	Grosos de los muros
Nave (7.37 x 4.94 x 10.92) m	M3 útiles: 402.115	Nave: 0.88 m
Ángulo entre muros de la nave: 2.755 °	M3 construidos: 365.242	Ábside: 0.78 m
Ábside (4.93x 3.88 x3.58) m	Útil/constru: 1.101	Bóveda: 0.49 m

Tabla 67 Mediciones de la Iglesia de *Sant Pèir de Betlan*.

²⁸⁸ SARRATE FORGA, J. (1975). *El arte románico en el Mig Aran*, Lérida: José Sarrate Forga. Pp. 72-74

²⁸⁹ A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Vall d’Aran. *En Catalunya Romanica*. Barcelona: Fundacio Enciclopedia Catalana Vol. XIII. Pp. 442

5.2.7.SANT ESTÈUE DE TREDÒS

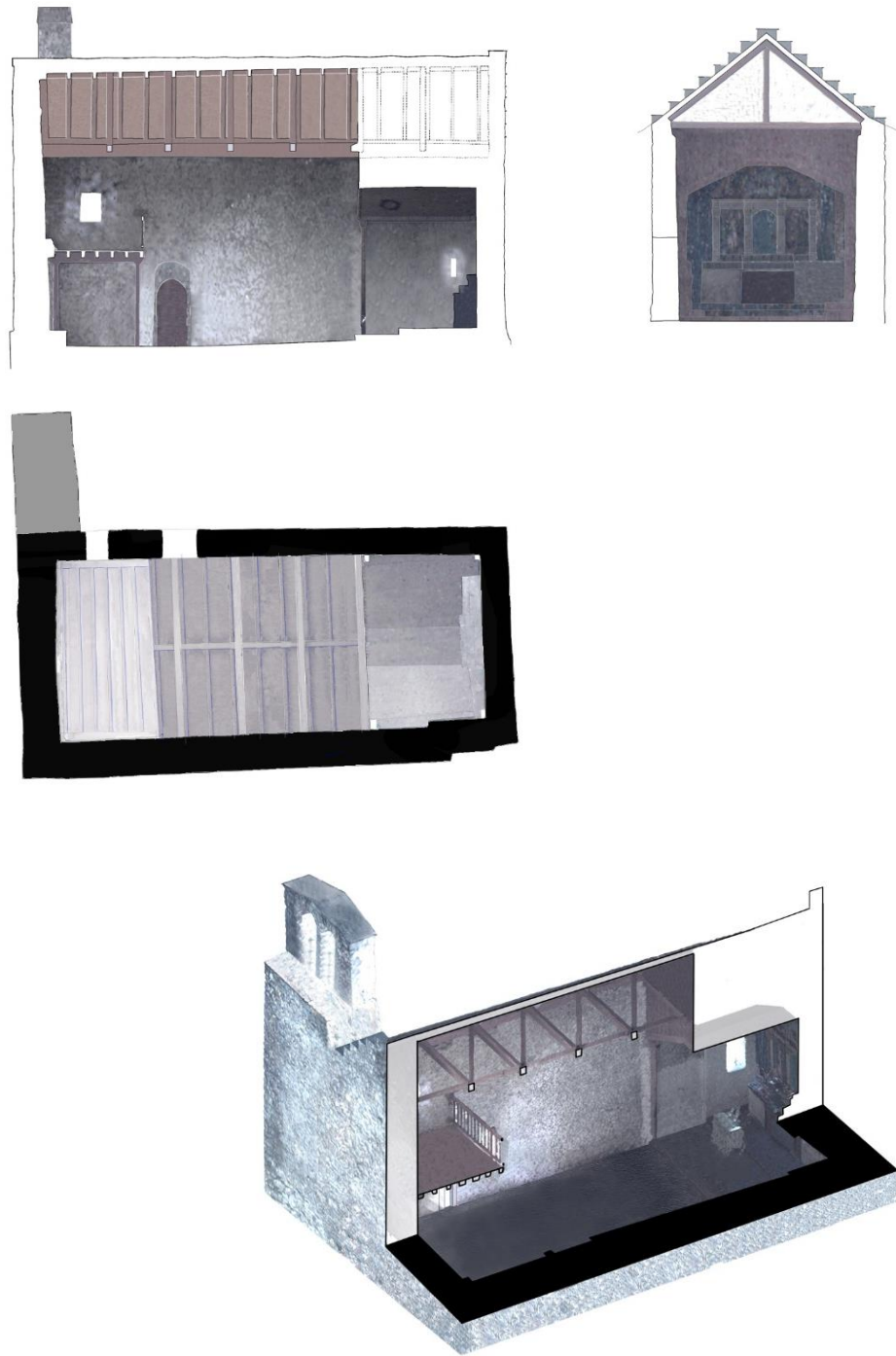


Imagen 21 Planimetría de la Iglesia de Sant Estèue de Tredòs. e.:1/200.

La iglesia de Sant Estèue de Tredòs (Imagen 21) está muy transformada. El edificio original debía ser muy semejante a la iglesia de Sant Roc de Begòs y tiene también la orientación este-oeste tradicional. En la actualidad el presbiterio es cuadrangular, de dimensiones más reducidas que el resto de la nave (Tabla 68).

Toda la nave está cubierta con cerchas de madera, y no parece existir ningún arranque de bóveda. En su exterior se ubican dos arcuaciones con dientes de sierra realizadas con piedra toba. Sarrate Forga data el edificio de mediados del siglo XI. El campanario y gran parte de los muros parecen

ser del siglo XII y la puerta y la transformación del ábside del siglo XV²⁹⁰. Las arcuaciones y el aparejo usado son modelo de la arquitectura del siglo XI aunque posiblemente se ejecutase en el siglo siguiente²⁹¹.

La esterotomía general de la iglesia es irregular, mayoritariamente de granito y con alguna pieza de pizarra (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica). El mortero es inexistente. La puerta esta orientada al norte, manteniendo el pequeño tamaño con unas dimensiones de 93 cm de ancho por 2 m de alto.

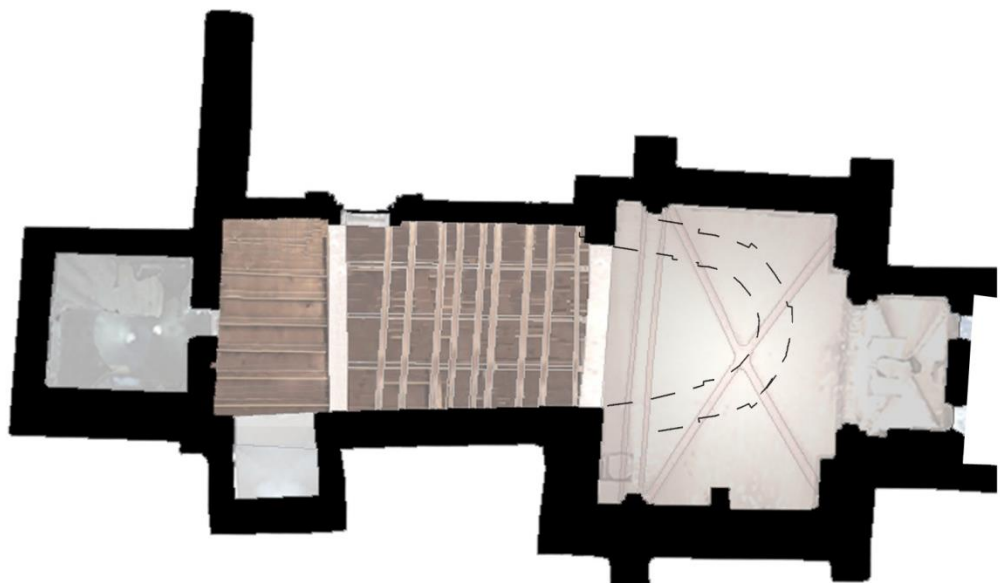
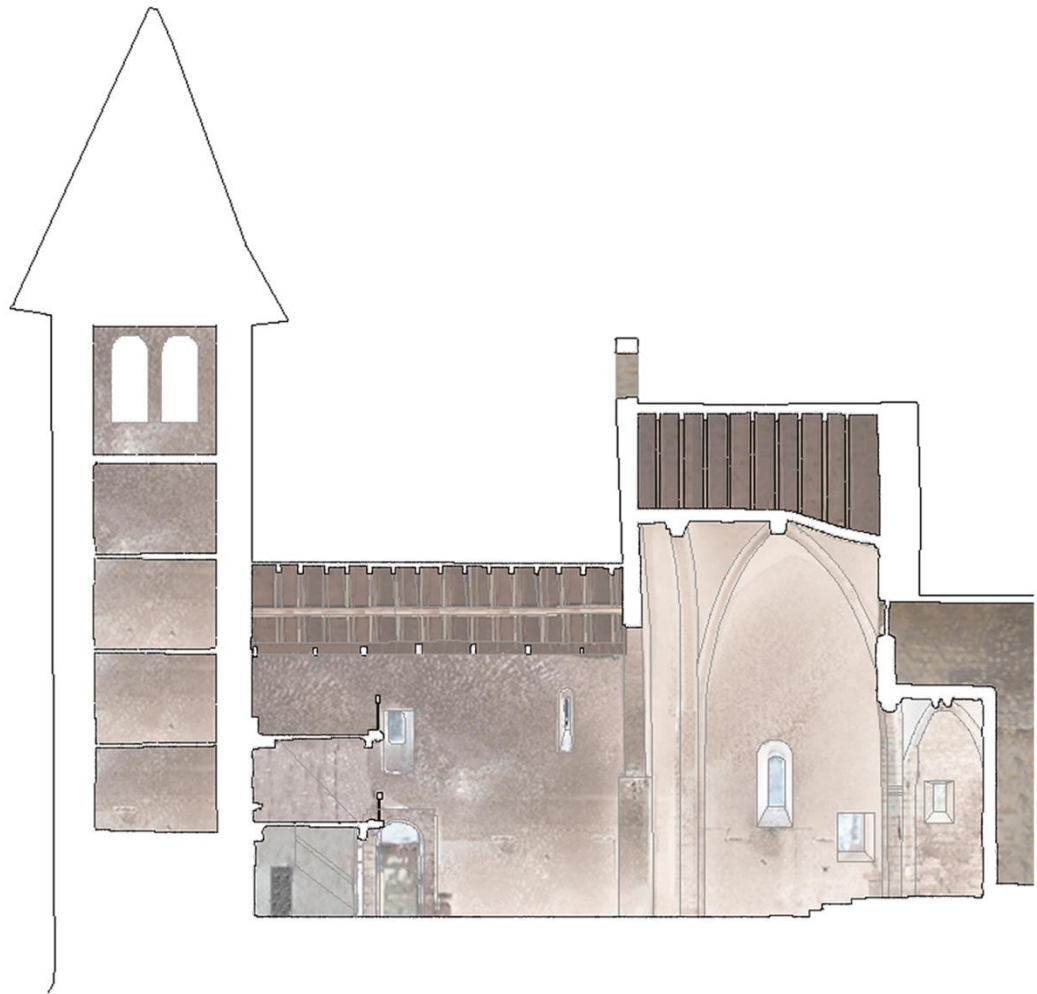
Geometría interna (Alto x Ancho x Largo)	Volumen:	Grosos de los muros
Nave (5.80 x 5.24 x 9.23) m	M3 útiles: 373.283	Nave: 0.85 m
Ángulo entre muros de la nave: 1.202 °	M3 construidos: 348.409	Ábside: 0.81 m
Ábside (4.16 x 4.78 x 3.49) m	Útil/constru: 1.071	Bóveda: -

Tabla 68 Mediciones de la Iglesia de Sant Estève de Tredòs. e.:1/200.

²⁹⁰ SARRATE FORGA, J. (1974). *El arte románico en el Cap d'aran*. Lérida: José Sarrate Forga. pp. 28-29

²⁹¹ A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Vall d'Aran. *En Catalunya Romanica*. Barcelona: Fundacio Enciclopedia Catalana Vol. XIII, pp. 441

5.2.8.SANT PÈIR D'ESCUNHAU



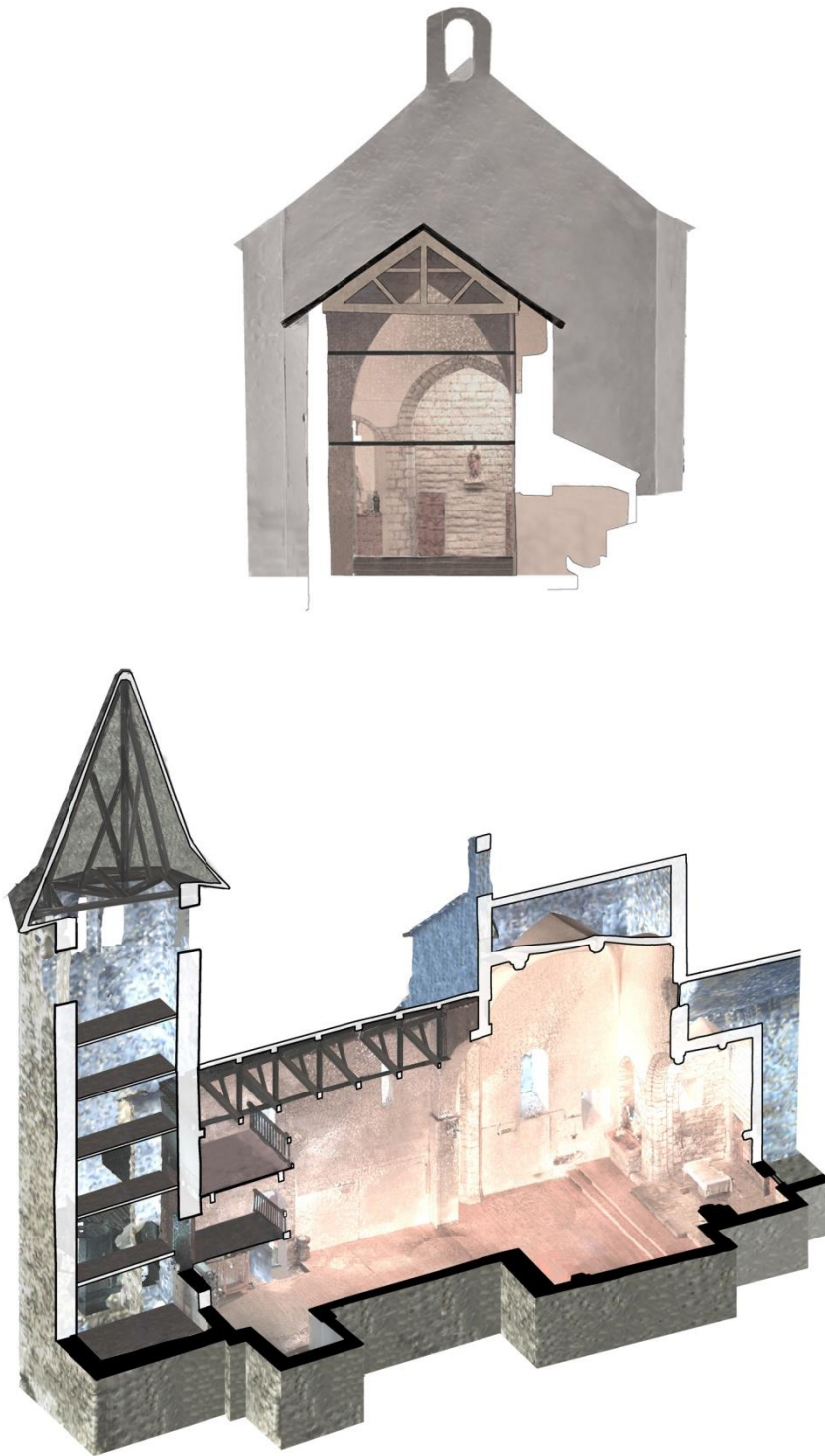


Imagen 22 Planimetría de la Iglesia de Sant Pèir d'Escunhau. e.:1/200.

La iglesia de Sant Pèir d'Escunhau (Imagen 22) es un edificio compuesto de elementos de diferentes épocas. Originariamente del siglo XI, abalado por los muros formeros y por las ventanas de piedra toba²⁹². La famosa portalada del segundo románico está sobre un muro más antiguo

²⁹² SARRATE FORGA, J. (1975). *El arte románico en el Mig Aran*, Lérida: José Sarrate Forga. Pp. 18-26; A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Vall d'Aran. *En Catalunya Romanica*. Barcelona: Fundacio Enciclopedia Catalana Vol. XIII. Pp. 412

(ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica), vestigio de la iglesia primitiva. Construidos con un aparejo de diversa procedencia.

La nave (Tabla 69) de unos 5 m de ancho por un 10 m de largo cuenta con dos aperturas en la fachada sur de doble chaflán y sin decoración ornamental. Están construidas con piedra toba. Hay dos ventanas tapiadas en la fachada norte, simétricas a las de la fachada sur también construidas con piedra toba. La nave románica esta cubierta con cerchas de madera sobre unos muros ligeramente convergentes hacia el altar.

Geometría interna (Alto x Ancho x Largo)	Volumen	Grosos de los muros
Nave (7.32 x 5.15 x 10.05) m	M3 útiles: 461.157	Nave: 0.59 m
Ángulo entre muros de la nave: 2.344 °	M3 construidos: 382.674	Ábside: -
Ábside -	Útil/constru: 1.205	Bóveda: -

Tabla 69 Mediciones de la Iglesia de Sant Pèir d'Escunhau.

5.2.9.SANTA EULÀRIA D'UNHA

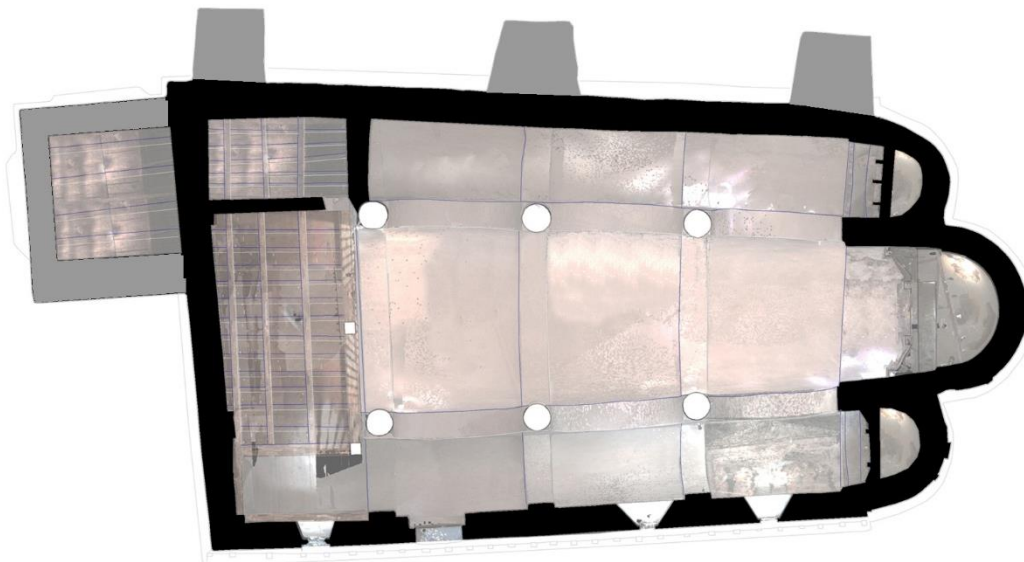
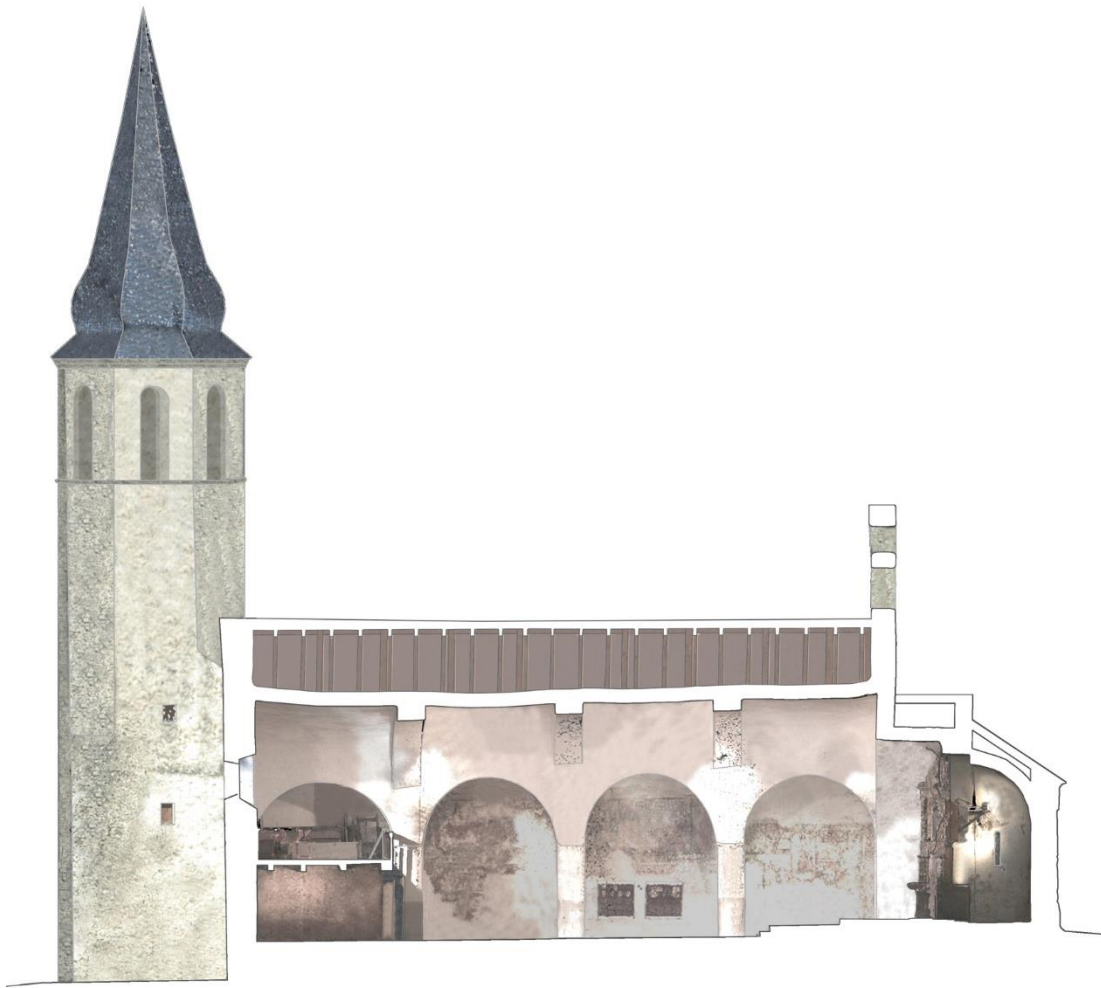




Imagen 23 Planimetría de la Iglesia de Santa Eulària d'Unha. e.:1/200.

La iglesia de Santa Eulària d' Unha (Imagen 23) es un edificio de planta basilical donde la nave central se separa de las laterales con pilares circulares. Sobre estos descansa una bóveda semicircular central y de cuarto de círculo las laterales²⁹³.

Las bóvedas, aunque dispongan de arcos fajones, estos se diluyen tal como llegan al plano vertical, pasando casi inadvertidos. El uso de pilares circulares ayuda a entender el espacio como un todo,

²⁹³ A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Vall d'Aran. *En Catalunya Romanica*. Barcelona: Fundacio Enciclopedia Catalana Vol. XIII. pp. 378.

y nos recuerda a las columnas de San Apolinar en Classe (S. VI) en Ravena, donde estas aparecen debajo de un pesado muro.

Los pilares no tienen ni bases ni capiteles y recuerdan a construcciones prerománicas (muros convergentes, escasa altura del edificio, arcos torales sin arranque visible, formas que nos recuerdan a edificios visigóticos y mozárabes prerrománicos.

Otra característica prerománica es la falta de verticalidad de los paramentos interiores, en especial los formeros por debajo del arranque de la bóveda²⁹⁴.

La nave está constituida a partir de muros convergentes hacia el altar, la mampostaría de los cuales está constituida en la fachada sur por piedras calcáreas careadas (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica; tipo B).

Se observa un primer aparejo hasta un metro i medio de altura, posteriormente un segundo hasta dos metros de altura, y por encima un aparejo más regular con una cornisa con pequeñas ménsulas²⁹⁵, claramente posteriores.

En la fachada Norte hay una esterotomía irregular (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica; tipo A), con tres contrafuertes claramente posteriores, no estando alineados con el esquema interior de pilares.

La entrada actual y original está orientada al sur, esta es pequeña, con arco de cañón de 125 cm de ancho por 214 cm de alto. Su composición consiste en un primer arco de dovelas graníticas de 21 cm de grossor, seguido de un segundo arco de piedra toba de 8 cm de grosor, sobre el que hay un crismón muy rudimentario. La fachada sur cuenta con un remate de canecillos al estilo de la catedral de Jaca (s. XI).

La fachada norte cuenta con una ventana sobre el eje de la iglesia, muy transformada, en la que se observa que está labrada sobre piedra toba. En esta fachada se encuentra el campanario de base cuadrada y desarrollo octogonal típico del barroco.

El ábside central está precedido de un arco presbiterial, de ancho ligeramente convergente²⁹⁶ (Tabla 70), y con dovelas graníticas. Este arco convergente nos recuerda al arco que precede el ábside de la reforma del siglo IX de San Ambrosio de Milàn (s.IX). El ábside central y las dos absidiolas estan escondidas por retablos barrocos.

En el exterior, los ábsides tienen diferentes aparejos de pequeños bloques de diferente procedencia (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica; tipo C). La parte circular del ábside está ornamentada con arcaturas formadas de triples arcos separados por lesenas ensambladas con piedra toba. La decoración se prolonga por las partes rectas del ábside y por las absidiolas laterales.

Los tímpanos son esculpidos de un mismo bloque.

Los arcos estan coronados por un friso denteado de piedra toba, según Sarrate Forga estos fueron empleados en obras Merovingias, como en la cripta de Saint-Denis, en Jouarre y el baptisterio de San Juan de Potiers. También fue usado en la escuela románica aragonesa y leridana como en Vera Cruz de Segovia²⁹⁷.

El ábside tiene tres ventanas de doble chaflán de piedra toba. La ventana axial está coronada por un dintel donde hay esculpido un arco²⁹⁸. En la fachada sur hay una serie de ménsulas que seguramente soportaban una cornisa.

²⁹⁴ SARRATE FORGA, J. (1974). *El arte románico en el Cap d'aran*. Lérida: José Sarrate Forga. pp. 56-59

²⁹⁵ PUIG I CADAVALCH, J.; FALGUERA, A.; GODAY I CASALS, J. (1983). *L'Arquitectura romànica a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans: Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya. pp. 83

²⁹⁶ GARLAND, E. (2012). Les débuts de l'art roman dans le Val d'Aran. *Mémoires de la Societé archeologique du midi de la France*. Toulouse: Societé archéologique du Midi de la France. Tome LXXII. pp. 91-92.

²⁹⁷ SARRATE FORGA, J. (1974). *El arte románico en el Cap d'aran*. Lérida: José Sarrate Forga. pp. 56-59

²⁹⁸ GARLAND, E. (2012). Les débuts de l'art roman dans le Val d'Aran. *Mémoires de la Societé archeologique du midi de la France*. Toulouse: Societé archéologique du Midi de la France. Tome LXXII. pp. 91-92.

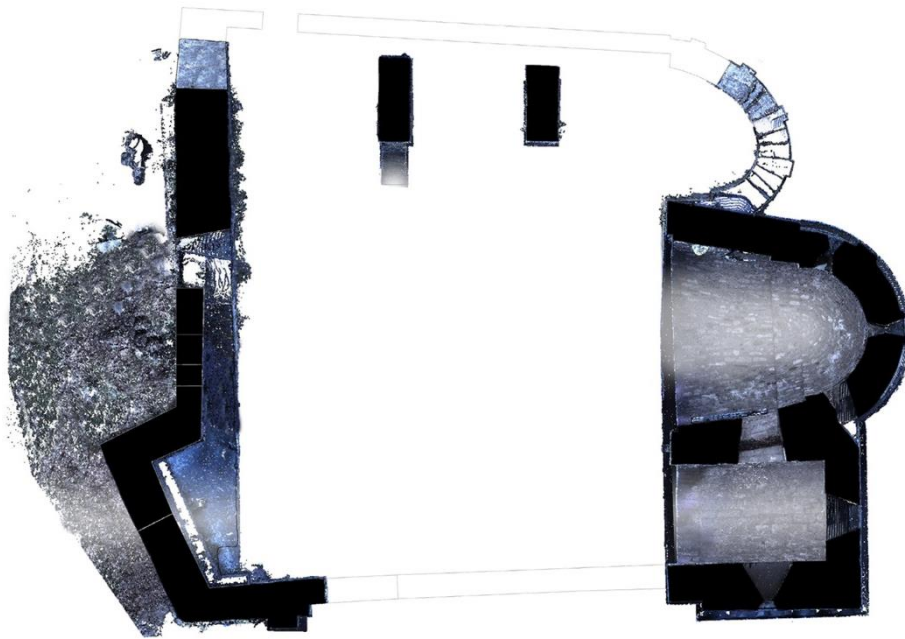
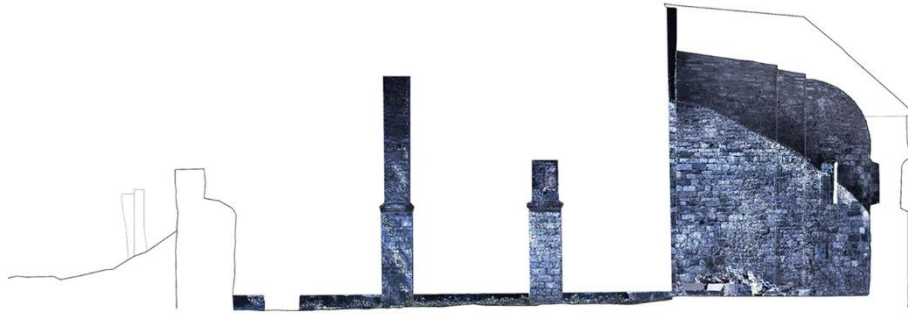
La iglesia cuenta con un campanario y una espadaña. El primero es octogonal. La iglesia es datada normalmente en el siglo XII²⁹⁹.

Geometría interna (Alto x Ancho x Largo)	Volumen	Grosos de los muros
Nave (6.58 x 9.69 x 16.98) m	M3 útiles: 956.57	Nave:
Ángulo entre muros de la nave: 5.957 °	M3 contruidos: 587.138	- muro norte: 0.93 m
Ábside (4.93 x 3.69 x 4.24) m	Útil/constru: 1.629	- muro sur: 0.74 m
		- pilastras del muro este: 0.91
		Ábside: 0.78 m
		Bóveda: 0.50m

Tabla 70 Mediciones de la Iglesia de Santa Eulària d'Unha.

²⁹⁹ ROS BARBOSA, E. (2007). *Er Art Romanic dera Val d'Aran*. Vielha: Conselh, pp. 54.

5.2.10.SANTA MARIA DE MIJARAN



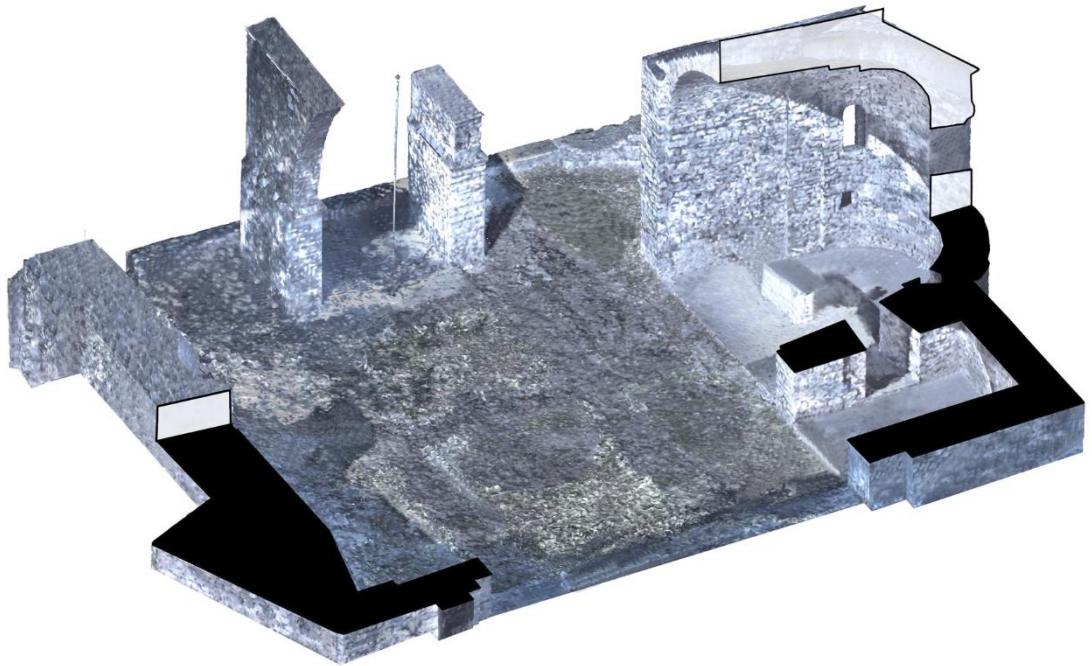


Imagen 24 Planimetría de la Iglesia de Santa Maria de Mijaran. e.:1/200.

Los orígenes de la iglesia de Mijaran (Imagen 24) pueden remontarse hasta el siglo VIII (leyenda favorecida por los monjes agustinianos que residían en 1314)³⁰⁰. Podría haber sido fundada por Carlomagno, pero no será hasta 1175 que es documentada por primera vez. Parece ser que, en este lugar se reunían para decidir los asuntos comunales. Sin embargo se considera que la iglesia es de principios del siglo XII.

La iglesia de Santa Maria de Mijaran es una transformación de la iglesia de tres ábsides, a principios del siglo XIX contaba con una sola nave con arcos apuntados que sostenían una cubierta de madera. En los contrafuertes interiores existían escudos que indicaba la fecha de construcción (s. XV o XVI)³⁰¹. Esta fue destruida a lo largo de las guerras de la Generalitat contra Juan II (siglo XV). Posteriormente fue reconstruida por Ferran II a finales del siglo XV o principios del XVI³⁰².

Las fotografías realizadas por Gourdon, Laurière y Soler muestran un edificio románico con importantes reformas góticas y posteriores en la cabecera y a las bóvedas, y también en la portalada, donde el antiguo tímpano con un crismón fue encastado entre los arcos³⁰³.

El convento se disolvió en el siglo XVII y en tiempos de Zamora ya estaba abandonado, posteriormente con las desamortizaciones se vendieron los terrenos³⁰⁴.

Durante la Guerra Civil Española fue casi completamente destruido, solo quedan originales algunas partes de los ábsides, el muro de oeste y los dos inicios de los arcos de la nave.

Se pueden constatar las reformas acaecidas. La absidiola de la epístola fue sustituida por una capilla cuadrangular con bóveda apuntada. En el muro sur existía el acceso, construido con arco

³⁰⁰ A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Vall d'Aran. *En Catalunya Romanica*. Barcelona: Fundacio Enciclopedia Catalana Vol. XIII. Pp. 409.

³⁰¹ PUIG I CADAVALCH, J.; FALGUERA, A.; GODAY I CASALS, J. (1983). *L'Arquitectura romànica a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans: Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya. pp. 83

³⁰² ROS BARBOSA, E. (2007). *Er Art Romanic dera Val d'Aran*. Vielha: Conselh. pp. 55

³⁰³ ROS BARBOSA, E. (2011). Coneixement del patrimoni artístic aranès a través de fotografies i documents dels primers turistes. *Annals del Centre d'Estudis del Ripollès*. Ripoll: Centre d'Estudis del Ripollès. IBIX 7. pp. 257.

³⁰⁴ ROS BARBOSA E. (2012). Ua uelhada ath passat des nostres glèises , *Terra Aranesa*, nº11, pp. 58

de medio punto, y ensalzado por dos arquivoltas de degradación. Al lado del portal existía la espadaña. Por su aparejo se trataría de una construcción del siglo XII³⁰⁵.

En la actualidad es una ruina consolidada, de la construcción romànica queda parte del ábside central, la absidiola cuadrangular de sur y la parte baja de la absidiola norte. La consolidación responde a un Restauo Histórico postulado por Luca Beltrami, quien defendía la posibilidad de reconstruir con criterio histórico, en este caso debido a la información recopilada por Puig i Cadafalch i a las fotografías existentes.

La construcción de obra de fábrica fue realizada con mampuestos de diferentes procedencias (graníticas y metamórficas), careadas y bastante regulares (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica). El ábside, que en planta se asemeja a la de la iglesia de San Pere de Rodes, con una primera parte en forma conoidal seguido de una medianaranja, existen tres ventanas con doble chaflan. La ventana central está sobre una lecena, sobre ellas descansaba una banda de arcaturas, de la que solo quedan tres. Estos, son más sofisticados³⁰⁶ sobre los que hay un friso dentado. La bóveda esta construida a partir mampuestos unidos con cemento portland. El ábside de la epistola, es de planta cuadrada con bóveda de cañón construida con dovelas de piedra toba (siguiendo los principios de construcción vitruvianos) ligeramente peraltada.

La nave (inexistente) conserva las trazas de la antigua iglesia ya descrita por Puig i Cadafalch, los muros sur y norte son convergentes hacia el ábside (Tabla 71). También se reconstruyeron los dos arcos torales con dovelas de piedra toba.

En un levantamiento arqueológico realizado el año 2014 se descubrieron las losas de pizarra del pavimento existente en la nave.

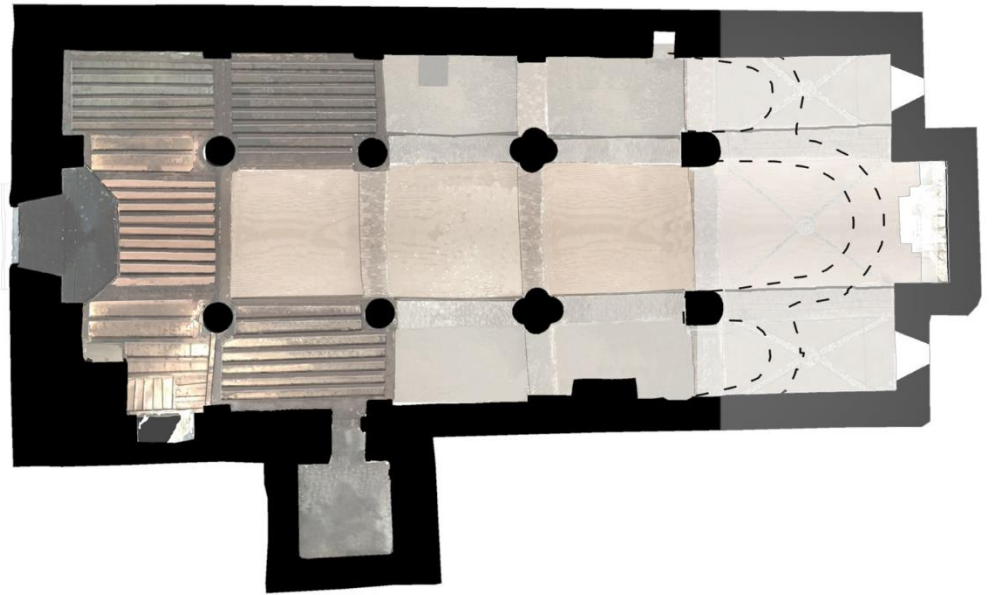
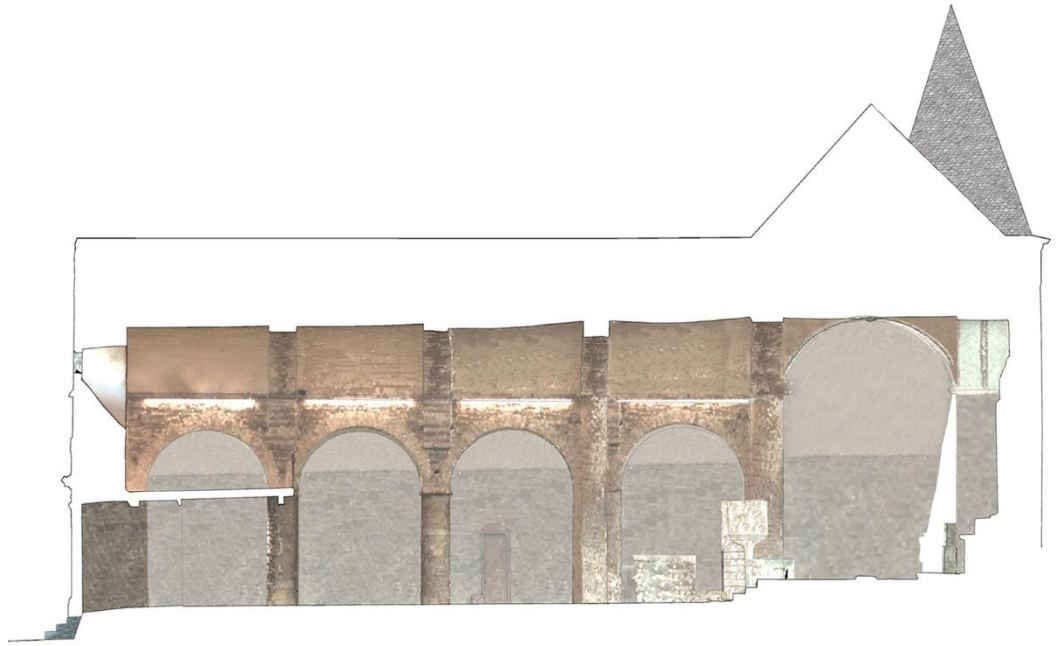
Geometría interna (Alto x Ancho x Largo)	Volumen:	Grosos de los muros
Nave (- x 14.08 x 12.05) m	M3 útiles: -	Nave: -
Ángulo entre muros de la nave: 6.100 °	M3 construidos: -	Ábside: 1.01 m
Ábside(6.69 x 5.12 x 5.35) m	Útil/constru: -	Bóveda: -

Tabla 71 Mediciones de la Iglesia de Santa Maria de Mijaran.

³⁰⁵ A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Vall d’Aran. *En Catalunya Romanica*. Barcelona: Fundacio Enciclopedia Catalana Vol. XIII. pp. 410.

³⁰⁶ GARLAND, E. (2012). Les débuts de l’art roman dans le Val d’Aran. *Mémoires de la Societé archeologique du midi de la France*. Toulouse: Societé archéologique du Midi de la France. Tome LXXII. pp. 89.

5.2.11.SANTA MARIA DE VILAMÒS



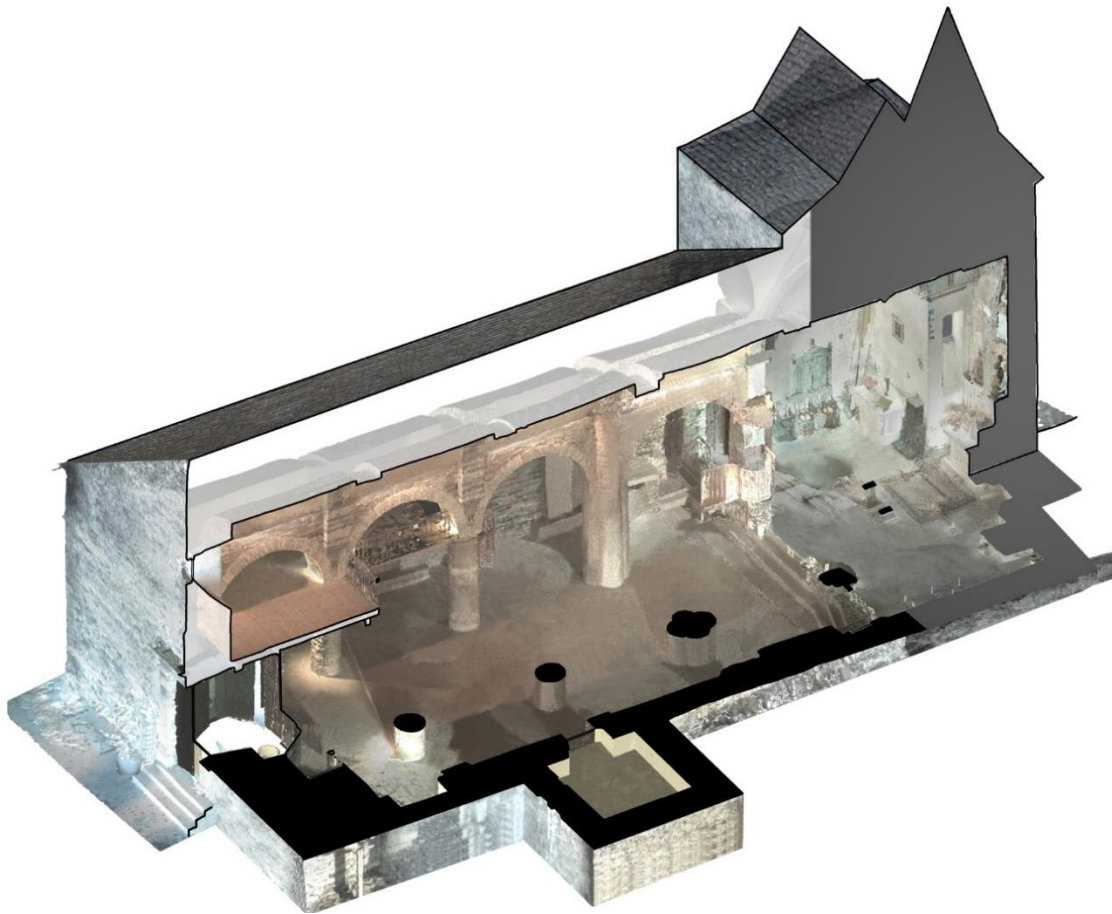


Imagen 25 Planimetría de la Iglesia de Santa Maria de Vilamòs. e.:1/200.

La iglesia de Santa Maria de Vilamòs (Imagen 23) tiene planta basilical.

Consta de dos pares de pilares circulares y un par cuatruvulado que soportan una bóveda central semicircular, una nave lateral con bóveda de cuarto de circunferencia y la nave de la epistola con bóveda de cañón³⁰⁷.

Los ábsides románicos fueron sustituidos por un presbiterio de planta cuadrada en el siglo XVI. La puerta fue trasladada en el siglo XIX a la fachada oeste. En un origen se situaba en la fachada sur. Se dice que esta iglesia es una de las más viejas del valle, no obstante es datada en el siglo XII sin descartar que el campanario sea previo, del siglo XI³⁰⁸. Gourdon fotografió y dibujo la iglesia con la sacristía y el cercado del cementerio³⁰⁹.

En la fachada sur se dispone un campanario, que junto con el de la iglesia de Bossost, son los dos únicos campanarios completos románicos que se conservan en el Val d'Aran (parcialmente el de *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs y Sant Martin d'Aubèrt*).

La disposición de aperturas y elementos decorativos del campanario de Vilamòs son plenamente románicos tal como lo demuestran los ventanales de medio punto adovelados y las lesenas que recorren el cuerpo de la torre.

El estudio de la mampostería concluye que es más antigua que la propia iglesia, tal y como pasa en la iglesia de Bossost, donde el mismo Garland afirma que el campanario sí que es del primer románico pero la iglesia es del segundo románico, estando este hecho en consonancia con los requerimientos de la orden del Cister.

La mampostería está trabajada, pero las piezas son irregulares y las hiladas no son todas horizontales. Está configurada a partir de piezas de pizarra de tamaño irregular (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica; Tipo A). El basamento está realizado con mampostería tosca de pizarra.

Los muros (Tabla 72) de la fachada son ligeramente convergentes hacia el presbiterio y están mejor aparejados al interior que al exterior.

La fachada sur está cimentada sobre una solera de esquistos para posteriormente construir hasta los 4 m con mampuestos de diversa procedencia mínimamente careados (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica; Tipo B). En la fachada norte se pueden contabilizar dos fases constructivas, una con grandes losas de pizarra (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica; Tipo D), y otra fase constructiva de piedras careadas de 44 cm de largo por 17 de grosor con mortero fino (ver apartado 7.5.1 Definición de la obra de fábrica; Tipo E).

En su interior dispone de tres pares de columnas. Los dos pares de columnas más occidentales son circulares, en cambio el par de columnas que separa el presbiterio de la nave tienen forma cuadrifoliada³¹⁰, marcando un discreto transepto previo a los desaparecidos ábsides, siguiendo el esquema de la iglesia mozárabe o visigótica de San Miquel de la Escalada (s. X).

Los arcos que cubren este transepto están contruidos a partir de la alternancia de piedra toba y de pizarra, detalle que se asemeja al utilizado en la Capilla Palatina de Aquisgran (s. X).

El último par de columnas rectangular son los restos de los muros que separaban el ábside central de las absidiolas.

La nave central está cubierta por una bóveda de cañón con arcos fajones. El más cercano al presbiterio es de arenisca alternado con pizarra. La nave lateral del evangelio está cubierta por

³⁰⁷ PUIG I CADAVALCH, J.; FALGUERA, A.; GODAY I CASALS, J. (1983). *L'Arquitectura romànica a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans: Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya. pp.84.

³⁰⁸ A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Vall d'Aran. *En Catalunya Romanica*. Barcelona: Fundacio Enciclopedia Catalana Vol. XIII, pp. 451.

³⁰⁹ ROS BARBOSA, E. (2011). Coneixement del patrimoni artístic aranès a través de fotografies i documents dels primers turistes. *Annals del Centre d'Estudis del Ripollès*. Ripoll: Centre d'Estudis del Ripollès. IBIX 7. pp. 261.

³¹⁰ 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, pp. 93-94.

una semi-bóveda de cañón donde el primer arco fajón está relleno con piedra toba, y la nave de la epístola esta cubierta por una bóveda de cañón, seguramente reconstruida, donde se ha utilizado piedra toba. Las pilastras sobre los muros, alineados con los pilares cutrifoliados son de piedra toba.

La antigua puerta a la fachada sur tiene un arco de piedra tallada. En la misma fachada hay restos de ventanas románicas de doble chaflán construidas con piedra toba. Uno de los detalles del primer románico es la puerta del campanario con dovelas de piedra toba.

<u>Geometría interna</u> (Alto x Ancho x Largo)	<u>Volumen:</u>	<u>Grosos de los muros</u>
Nave (7.62 x 9.31 x 17.10)	M3 útiles: 605,089	Nave: 0.92 m (en la fachada oeste y sur oeste se retira un recrecido de 64 cm)
Ángulo entre muros de la nave: 2.702	M3 construidos: 1058,536	Ábside: -
Ábside -	Útil/constru: 0,572	Bóveda: 0.36 m

Tabla 72 Mediciones la Iglesia de Santa Maria de Vilamòs.

5.3. ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LAS SECCIONES MÁS SIGNIFICATIVAS

El estudio de la estabilidad de las edificaciones parte del estudio de la obra de fábrica, que nos llevará a conocer un peso total. La composición de las bóvedas no ha podido estudiarse con claridad. Por las observaciones realizadas se deduce que la relación entre mortero y piedra de pizarra es del 50%, dando como resultado un peso total de 21.119 KN/m^3 . Estos datos serán usados en los cálculos de las líneas de presiones.

5.3.1. DEFINICIÓN DE LA OBRA DE FÁBRICA

5.3.1.1. SANT FABIAN D'ARRES DE JOS

A



mampostería: 0.794 m^2
 mortero: 0.206 m^2
 Peso Total: 24.144 KN/m^3

B



mampostería: 0.677 m^2
 mortero: 0.323 m^2
 Peso Total: 24.679 KN/m^3

Tabla 73 Mamposterías de la Iglesia de Sant Fabian d'Arrés de Jos e.:1/10.

La Iglesia de San Fabian d'Arres de Jos cuenta con dos tipologías de mampostería (Tabla 114): la tipología A corresponde a las partes más antiguas de la iglesia (fachada sur), teniendo un careado mínimo, una estereotomía media de $10 \times 42.67 \text{ cm}$ y un grosor medio de junta de 1.4 cm , de piedras sedimentarias y metamórficas. Mientras que el tipo B, situado en la remonta y el muro oeste, consiste en un muro de mampostería basta, sin careado, de pequeñas dimensiones $11.25 \times 29.25 \text{ cm}$, con junta horizontal de 1.36 cm con piedras de origen metamórfico y sedimentario.

5.3.1.2. SANT MIQUÈU DE VILAMÒS

La iglesia de San Miquèu de Vilamòs cuenta con una sola tipología de mampostería en los muros (fachada sur) (Tabla 115): tiene un careado mínimo, una estereotomía media de $11.36 \times 25 \text{ cm}$ y un grosor medio de junta de 1.15 cm , de piedras metamórficas.

A



mampostería: 0.788 m²

mortero: 0.212 m²

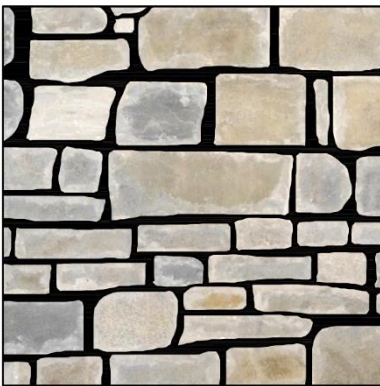
Peso Total: 24.083 KN/m³

Tabla 74 Mamposterías de la Iglesia de Sant Miquèu de Vilamòs e.:1/10.

5.3.1.3.SANT PÈIR DE BETLAN

La Iglesia de San Pèir de Betlan cuenta con una sola tipología de mampostería (muro interior epístola) (Tabla 116) en los muros con mampuestos careados con una estereotomía media de 13.05x27.8 cm de origen sedimentario y un grosor medio de junta de 1.61 cm. La lectura de la mampostería solo puede realizarse en su interior.

A



mampostería: 0.838 m²

mortero: 0.162 m²

Peso Total: 24.351 KN/m³

Tabla 75 Mamposterías de la Iglesia de Sant Pèir de Betlan e.:1/10.

5.3.1.4.SANT ROC DE BEGÒS

La iglesia de Sant Roc de Begòs cuenta con diversas tipologías de mampostería (Tabla 117) de las cuales solo se escoge la perteneciente al primer románico, ubicada en el exterior debajo de las arcuaciones de piedra tova del ábside. Se trata de mampuestos careados con una estereotomía media de 11.87x26 cm de origen metamórficas e ígneas y un grosor medio de junta de 1.34 cm.

A



mampostería: 0.816 m²
 mortero: 0.270 m²
 Peso Total: 23.706 KN/m³

Tabla 76 Mamposterías de la Iglesia de Sant Roc de Begòs e.:1/10.

5.3.1.5.SANT ESTÈUE DE TREDÒS

La Iglesia de Sant Estèue de Tredòs cuenta con hasta dos tipos de mampostería (Tabla 118), sin contar el de la espadaña. El tipo A se sitúa en la parte exterior del ábside cuadrangular. Se trata de una mampostería ligeramente careada de 15x37.75 cm de origen ígneo y sedimentario, con un grosor de junta de 1.2 cm. El tipo B se sitúa al lado de la puerta de acceso en la fachada norte, se trata de una mampostería muy irregular, con una estereotomía de 15.5x44.75 cm y sin junta horizontal continuada de un 1.42 cm de media.

A



mampostería: 0.732 m²
 mortero: 0.268 m²
 Peso Total: 23.291 KN/m³

B



mampostería: 0.778 m²
 mortero: 0.222 m²
 Peso Total: 23.980 KN/m³

Tabla 77 Mamposterías de la Iglesia de Sant Estèue de Tredòs e.:1/10.

5.3.1.6.SANT JOAN D'ARROS E VILA

La iglesia de San Joan d'Arros e Vila cuenta con una tipología de mampostería (Tabla 119) ubicada en el interior de la nave, debajo del arco fajón del oeste. Se trata de mampuestos careados con una estereotomía media de 12.80 x 32.7 cm de origen metamórfico y un grosor medio de junta de 1.97 cm. El exterior de iglesia se ha rejuntado recientemente.

A



mampostería: 0.732 m²

mortero: 0.268 m²

Peso Total: 23.291 KN/m³

Tabla 78 Mamposterías de la Iglesia de Sant Joan d'Arros e Vila e.:1/10.

5.3.1.7.SANT PÈIR D'ESCUNHAU

La Iglesia de San Pèir d'Escunhau cuenta con diversas tipologías de mampostería (Tabla 120), de las cuales solo se escoge la perteneciente al primer románico (fachada sur), ubicada en el exterior la fachada de la epístola. Se trata de mampuestos no careados con una estereotomía media de 14.71x33.17 cm de origen ígneo y metamórfico, y un grosor medio de junta de 3.14 cm.

A



mampostería: 0.677 m²

mortero: 0.323 m²

Peso Total: 22.940 KN/m³

Tabla 79 Mamposterías de la Iglesia de Sant Pèir d'Escunhau e.:1/10.

5.3.1.8.SANTA MARIA DE MIJARAN

La Iglesia de Santa Maria de Mijaran es una de las más modificadas. Solo se escoge la mampostería del ábside (Tabla 121). Se trata de una mampostería careada, de origen metamórfico e ígneo, y con una estereotomía de 12x25.77 cm. Con una junta horizontal de 1.01 cm.

A



mampostería: 0.865 m²
mortero: 0.135 m²

Tabla 80 Mamposterías de la Iglesia de Santa Maria de Mijaran e.:1/10.

5.3.1.9.SANTA EULÀRIA D'UNHA

La iglesia de Santa Eulària d'Unha cuenta con tres tipologías de mampostería (Tabla 122) claramente diferenciadas: la tipología A corresponde al exterior de la fachada del evangelio, con una mampostería bruscamente careada de 11.5 x 19.5 cm de origen sedimentario y metamórfica, con una junta de 1.2 cm. La tipología B pertenece al exterior de la fachada de la epístola, cuenta con un careado más preciso, de origen sedimentario y tiene una estereotomía de 12.5x16.5 cm con una junto de 0.86 cm. La tipología C pertenece al exterior de la fachada del ábside, de origen sedimentario, y tiene una estereotomía más alargada, de 10.5x19 cm con una junto de 0.86 cm. Los pilares de esta iglesia no pueden estudiarse debido a que están revestidos.

A



mampostería: 0.730 m²
grosor medio: 0.91 m
Peso Total: 23.486 KN/m³

B



mampostería: 0.846 m²
mortero: 0.154 m²
Peso Total: 24.431 KN/m³

C



mampostería: 0.870 m²
mortero: 0.130 m²
Peso Total: 24.926 KN/m³

Tabla 81 Mamposterías de la Iglesia de Santa Eulària d'Unha e.:1/10.

5.3.1.10.SANTA MARIA DE CAP D'ARAN DE TREDÒS

En la iglesia de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs se contabilizan hasta tres tipologías diferentes de mampostería (Tabla 123). La tipología A corresponde a la fase constructiva primera del muro del evangelio (hasta 1.6 m desde el suelo) cuenta con una estereotomía careada de 17x 32 cm de

origen ígneo, con una junta horizontal de 2.15 cm. El tipo B corresponde a la mampostería que está por encima, con una estereotomía de 18 x30 cm de origen sedimentaria, con una junta de 0.06 cm. El tercer tipo corresponde a la mampostería del exterior del muro de la epístola con mampuestos careados de pequeño tamaño, 13 x37 cm, de origen sedimentario e ígneo, con una junta de 2.15 cm. El cuarto tipo, D, corresponde a la fachada oeste, con mampostería irregular ligeramente careada, y con una mampostería de 11.33 x 35.33 cm, de origen metamórfico e ígneo con una junta de 1.67 cm.

El estudio de la mampostería de los pilares (Tabla 124) muestra que hay dos pilares muy semejantes, el P1 y el P3 entre si, y el resto pertenecen a otra tipología de estereotomía. Los pilares P1 y P3 cuentan con una mampostería poco careada de 10x42.67 cm de origen ígneo con una junta de 1.5 cm. Los pilares P2, P4, P5 y P6 cuentan con una mampostería careada de 12 x 33 cm, de origen ígneo con una junta de 0.6 cm.

A



mampostería: 0.855 m²
 mortero: 0.145 m²
 Peso Total: 24.940 KN/m³

B



mampostería: 0.830 m²
 mortero: 0.170 m²
 Peso Total: 24.677 KN/m³

C



mampostería: 0.891 m²
 mortero: 0.109 m²
 Peso Total: 24.880 KN/m³

D



mampostería: 0.745 m²
 mortero: 0.255 m²
 Peso Total: 23.640 KN/m³

Tabla 82 Mamposterías de la Iglesia de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs e.:1/10.

P1



mampostería: 0.7358 m²
 mortero: 0.2642 m²
 Peso Total: 23.545 KN/m³

P3



mampostería: 0.7632 m²
 mortero: 0.2368 m²
 Peso Total: 23.603 KN/m³

P2



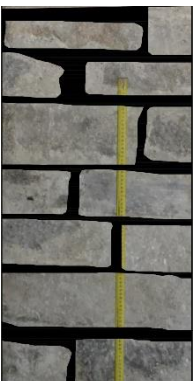
mampostería: 0.8951 m²
 mortero: 0.1049 m²
 Peso Total: 24.921 KN/m³

P4



mampostería: 0.8951 m²
 mortero: 0.1049 m²
 Peso Total: 24.921 KN/m³

P5



mampostería: 0.794 m²
 mortero: 0.206 m²
 Peso Total: 23.911 KN/m³

P6



mampostería: 0.8951 m²
 mortero: 0.1049 m²
 Peso Total: 24.921 KN/m³

Tabla 83 Mamposterías de los pilares P2, P4, P5 y P6 de la Iglesia de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs e.:1/10.

5.3.1.11.SANTA MARIA DE VILAMÒS

La iglesia de Santa Maria de Vilamós cuenta con cinco tipologías de mampostería (Tabla 125). El tipo A corresponde al del campanario, con una mampostería metamórfica irregular de 15.1x51.8 cm de estereotomía con un grosor de junta de 1.75 cm. El tipo B corresponde al muro de la nave de la parte este del campanario, se trata de una mampostería ligeramente careada con una estereotomía de 7.86x32.62 cm de origen metamórfica con una junta de 1.475 cm de grosor. El tipo C corresponde al muro de la nave oeste del campanario, tiene una estereotomía perfectamente careada de origen sedimentario y metamórfica con una estereotomía de 11.7 x 30.9 cm con una junta horizontal de 1.026 cm. El tipo D, corresponde a la parte baja exterior del muro del evangelio con una estereotomía de 9.15 x 36.03 cm con piezas de origen metamórfica e ígneas con una junta de 1.576 cm. Por último, el tipo E, es uno de los más característicos del Val d'Aran, con hiladas ígneas alternadas de metamórficas, con una estereotomía las ígneas de 11.02 x 27.28 cm y las metamórficas con una estereotomía de 5.9 x 71.5 cm, con un grosor de junta de 1.05 cm.

A



mampostería: 0.759 m²
mortero: 0.241 m²
Peso Total: 23.784 KN/m³

B



mampostería: 0.753 m²
mortero: 0.247 m²
Peso Total: 23.722 KN/m³

C



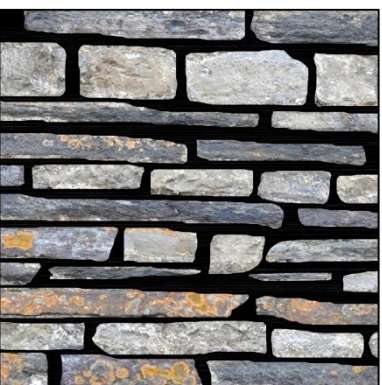
mampostería: 0.855 m²
mortero: 0.145 m²
Peso Total: 24.722 KN/m³

D



mampostería: 0.804 m²
mortero: 0.196 m²
Peso Total: 23.921 KN/m²

E



mampostería: 0.765 m²
mortero: 0.235 m²
Peso Total: 18.023 KN/m²

Tabla 84 Mamposterías de la Iglesia de Santa Maria de Vilamós e.:1/10.

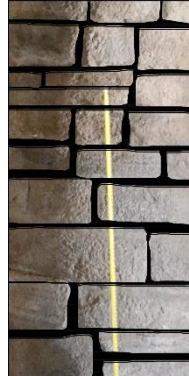
La mampostería de los pilares (Tabla 126) es constante en todos ellos, de origen sedimentario con piezas de 11.02 x 27.28 cm con junta de 1.05 cm

P1



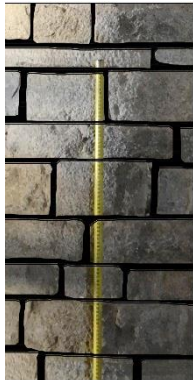
mampostería: 0.8622 m²
 mortero: 0.1378 m²
 Peso Total: 24.593 KN/m³

P2



mampostería: 0.85 m²
 mortero: 0.15 m²
 Peso Total: 24.471 KN/m³

P3



mampostería: 0.8776 m²
 mortero: 0.1224 m²
 Peso Total: 24.746 KN/m³

P4



mampostería: 0.877 m²
 mortero: 0.123 m²
 Peso Total: 24.470 KN/m³

P5



mampostería: 0.8632 m²
 mortero: 0.1368 m²
 Peso Total: 24.740 KN/m³

P6



mampostería: 0.8622 m²
 mortero: 0.1378 m²
 Peso Total: 24.603 KN/m³

Tabla 85 Mamposterías de los pilares de la Iglesia de Santa Maria de Vilamós e.:1/10.

5.3.2. ESTUDIO DE LAS LÍNEAS DE PRESIONES

En este apartado se estudian las iglesias con bóvedas. Se considera que las iglesias sin bóvedas solo presentan patologías relativas al material, pues no tienen que soportar esfuerzos horizontales. La elección de las secciones que se muestran a continuación depende de la localización de los mayores asentamientos de la bóveda. En las iglesias basilicales se realiza un segundo cálculo de las líneas de máxima presión por los pilares en sentido transversal. Por último,

únicamente en la iglesia de Santa Eulària d'Unha se realizará una última comprobación por los planos de máxima deformación de los pilares. Los datos numéricos pueden consultarse en el Anejo 7.

5.3.2.1. ESTUDIO POR LOS PUNTOS DE MÁXIMO ASENTAMIENTO DE LA BÓVEDA

En el estudio de la topografía de las bóvedas se han detectado ciertos puntos que presentaban formas funiculares, se decide estudiar la estabilidad de estas secciones.

5.3.2.1.1. Arros e Vila

La Iglesia de Sant Joan d'Arros e Vila presenta una forma funicular (Imagen 74) con un asentamiento de 8.08 cm. El estudio de las líneas de presiones a máximos muestra que la iglesia presenta inestabilidad en el muro de la epístola al intersecar con el paramento exterior a 40 cm del suelo.

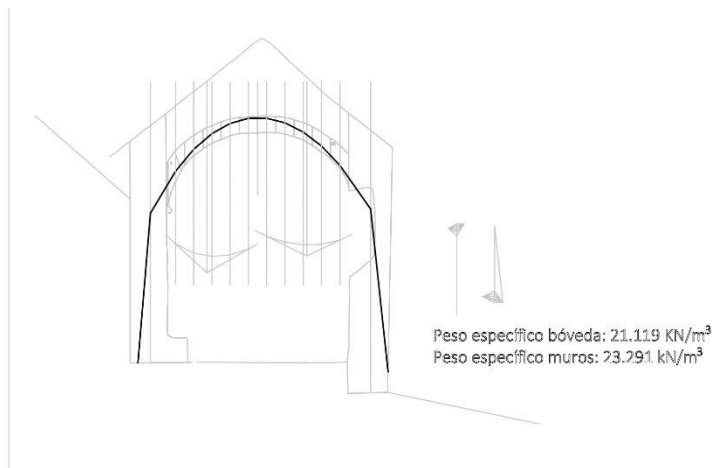


Imagen 26. Línea de presiones de la sección de Sant Joan d'Arros e Vila.

5.3.2.1.2. Sant Miquèu de Vilamòs

La iglesia de Sant Miquèu de Vilamòs presenta unes formas funiculares (Imagen 75) laterales que no se consideran antifuniculares, este acercamiento es de 3.67 cm. El estudio de las líneas de presiones a máximos muestra que la iglesia es estable, en el muro de la epístola interseca con el punto (0,0,0).

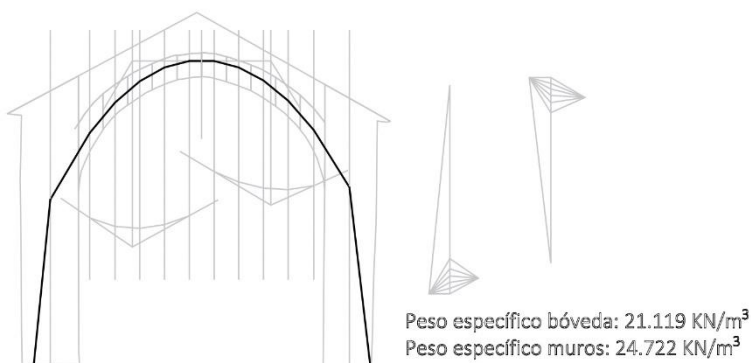


Imagen 27. Línea de presiones de Sant Miquèu de Vilamòs

5.3.2.1.3. Sant Pèir de Betlan

La Iglesia de Sant Pèir de Betlan presenta una forma funicular (Imagen 76) con un asentamiento de 6.43 cm. El estudio de las líneas de presiones a máximos muestra que la iglesia presenta inestabilidad en los dos muros, intersecando con el paramento exterior a 2.37 m del suelo en la epístola y a 1.58 m del paramento del evangelio.

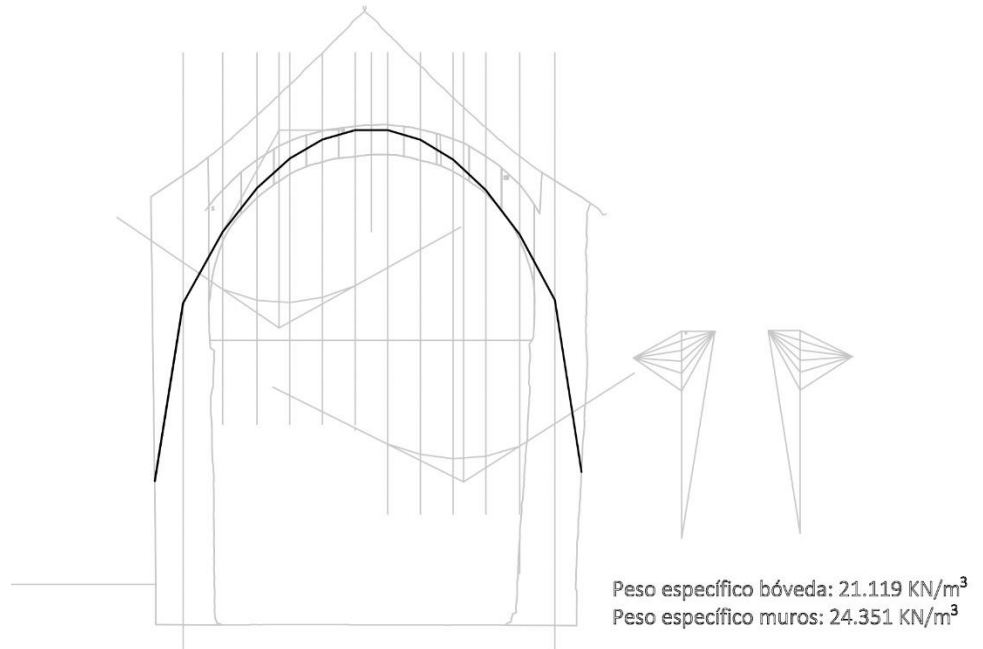


Imagen 28. Línea de presiones de Sant Pèir de Betlan

5.3.2.1.4. Sant Roc de Begòs

La Iglesia de Sant Roc de Begòs presenta una forma funicular (Imagen 77) con un asentamiento en un lateral de 29.36 cm en la bóveda apuntada. El estudio de las líneas de presiones a máximos muestra que la iglesia presenta inestabilidad en el muro de la epístola al intersecar con el paramento exterior a 55 cm del suelo.

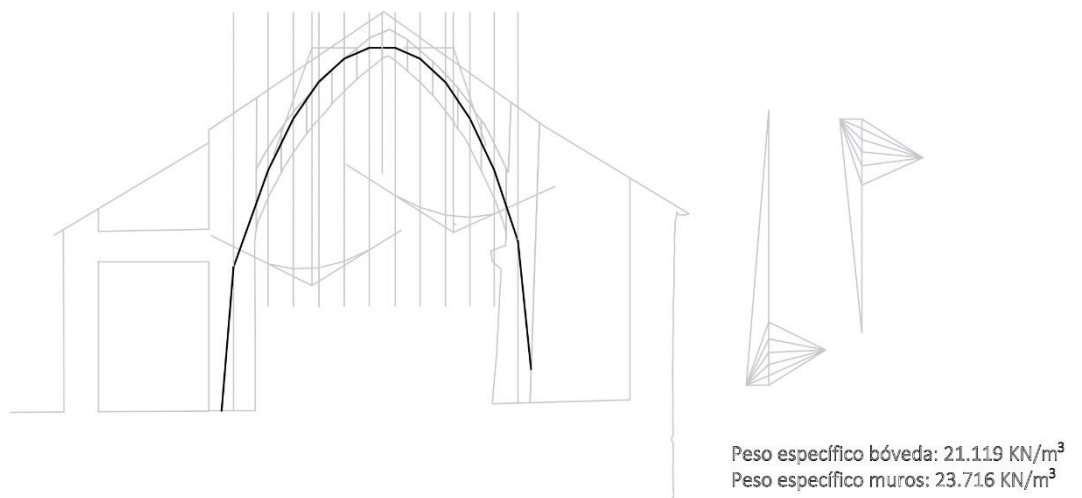


Imagen 29. Línea de presiones de Sant Roc de Begòs

5.3.2.1.5. Santa Eulària d'Unha

La Iglesia de Santa Eulària d'Unha presenta una forma funicular (Imagen 78) con un asentamiento de 15.78 cm en el centro del primer vano. El estudio de las líneas de presiones a máximos muestra que la Iglesia presenta inestabilidad en los dos muros laterales, la línea de presiones interseca a 2.26 m en la epístola y a 1.34 m en el paramento exterior del muro del evangelio. Tampoco sobre los arcos formeros se presenta verticalidad en la línea de presiones.

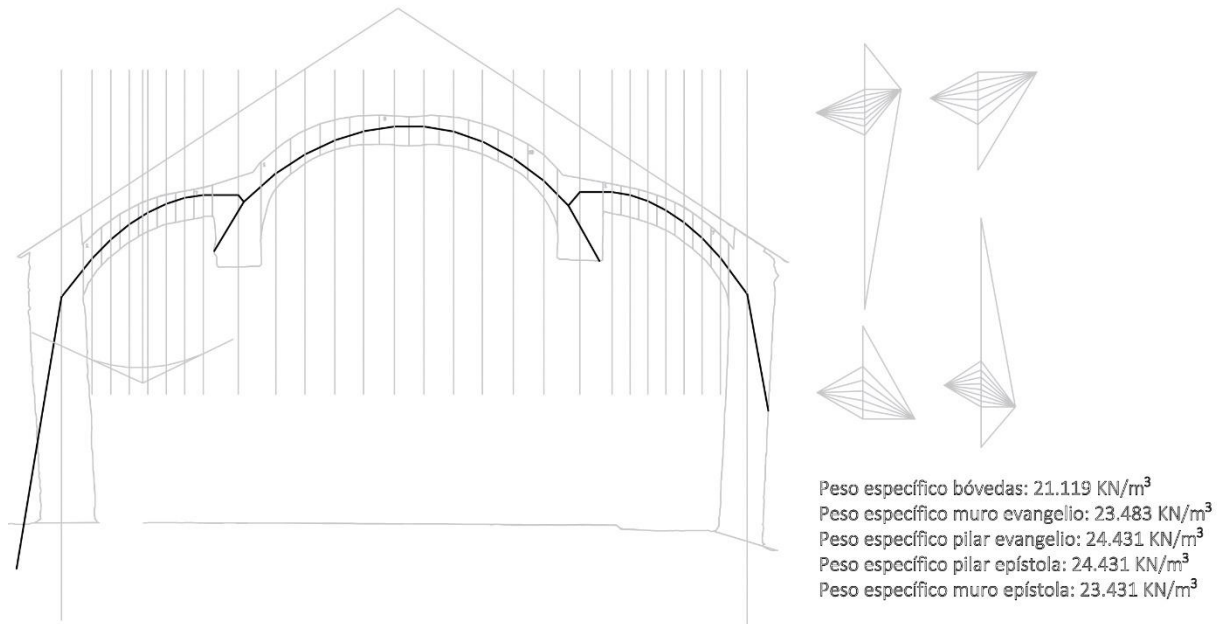


Imagen 30. Línea de presiones de Santa Eulària d'Unha en la sección que pasa por el punto más asentado.

Si se estudia las tres bóvedas como si fuese una única bóveda (Imagen 79), atendiendo a la extravagancia que ello implica, el resultado muestra que la iglesia no es estable, la línea de presiones interseca a 2.64 m en el muro del evangelio, pero esta misma línea de presiones está dentro de los límites volumétricos de los contrafuertes.

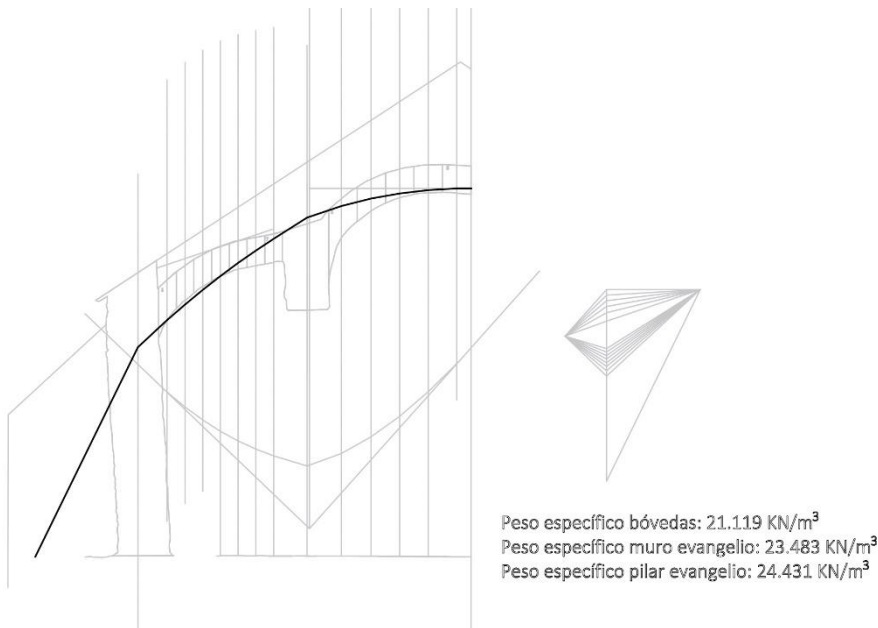
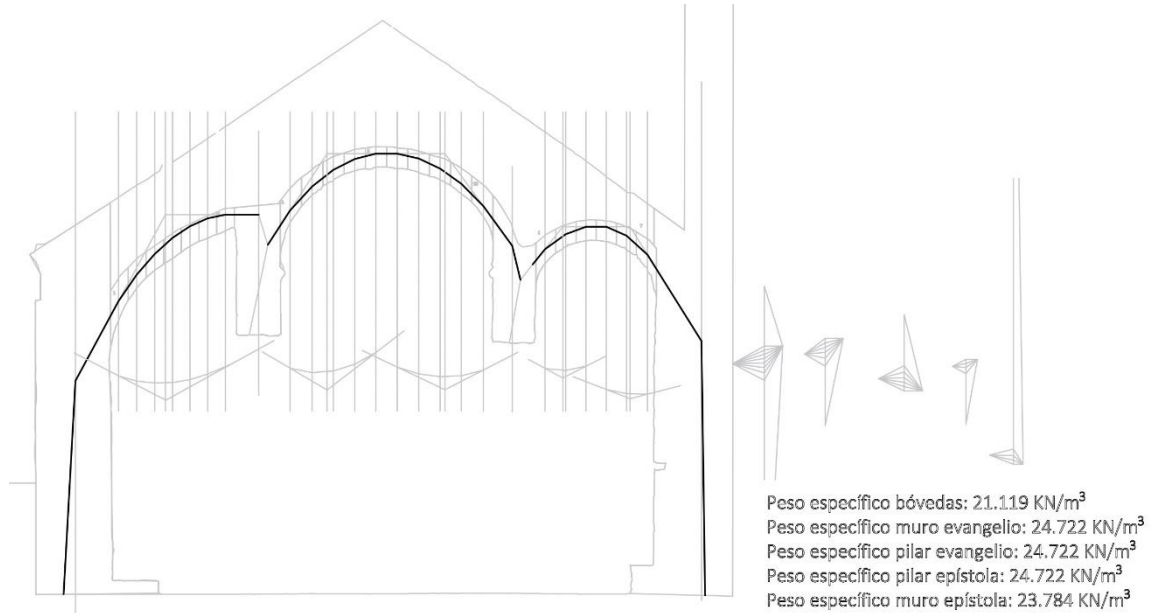


Ilustración 31 Línea de presiones conjunta de Santa Eulària d'Unha

5.3.2.1.6.SANTA MARIA DE VILAMÓS

La iglesia de Santa Maria de Vilamòs presenta una forma funicular (Imagen 80) con un asentamiento de 19.72 cm en el segundo vano. El estudio de las líneas de presiones a máximos



muestra que la Iglesia es estable tanto en los muros como en los arcos formeros, uno de los motivos es la masividad de la construcción.

Imagen 32. Línea de presiones de Santa Maria de Vilamòs

5.3.2.2.ESTUDIO DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES POR LOS PILARES

Se analizan las secciones transversales por los pilares para estudiar la estabilidad de estos en el caso de las iglesias de Santa Eulària d’Unha y Santa Maria de Vilamòs.

5.3.2.2.1.SANTA EULÀRIA UNHA

La sección P1-P2 de la iglesia de Santa Eulària d’Unha (Imagen 81) muestra que en el muro del evangelio interseca con el paramento exterior a 33 cm. En el paramento exterior de la epístola interseca a 12 cm en el P1 interseca a 2.25 m del suelo y el pilar P2 interseca a 2.2649m.

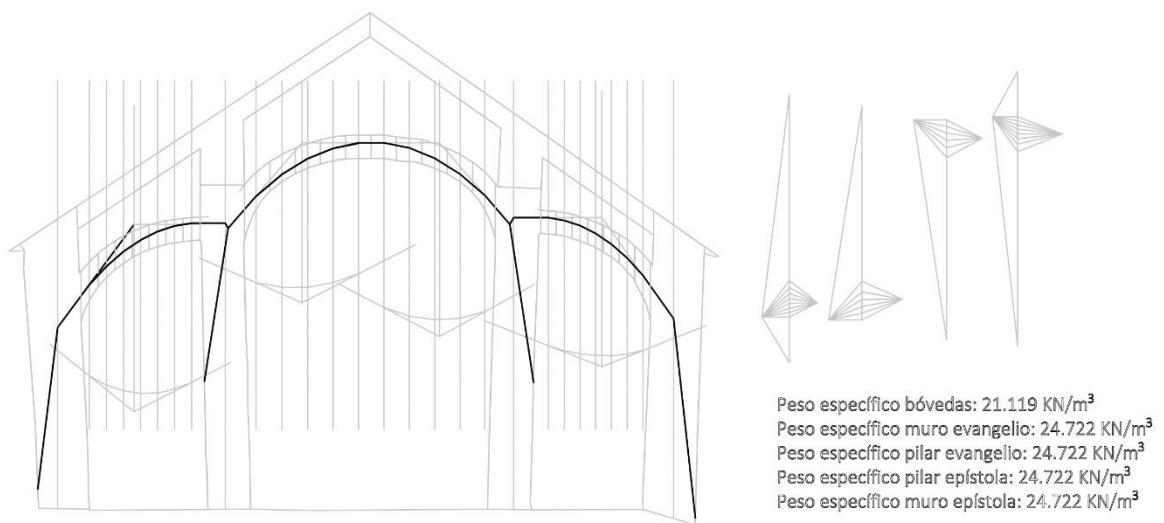


Imagen 33. Estudio de la sección transversal por los pilares P1-P2 de Santa Eulària d’Unha

La sección P3-P4 de la iglesia de Santa Eulària d'Unha (Imagen 82) muestra que en el muro del evangelio interseca con el paramento exterior a 81.44 cm. En el P3 interseca a 2.15 m del suelo y el pilar P4 interseca a 2.0911m.

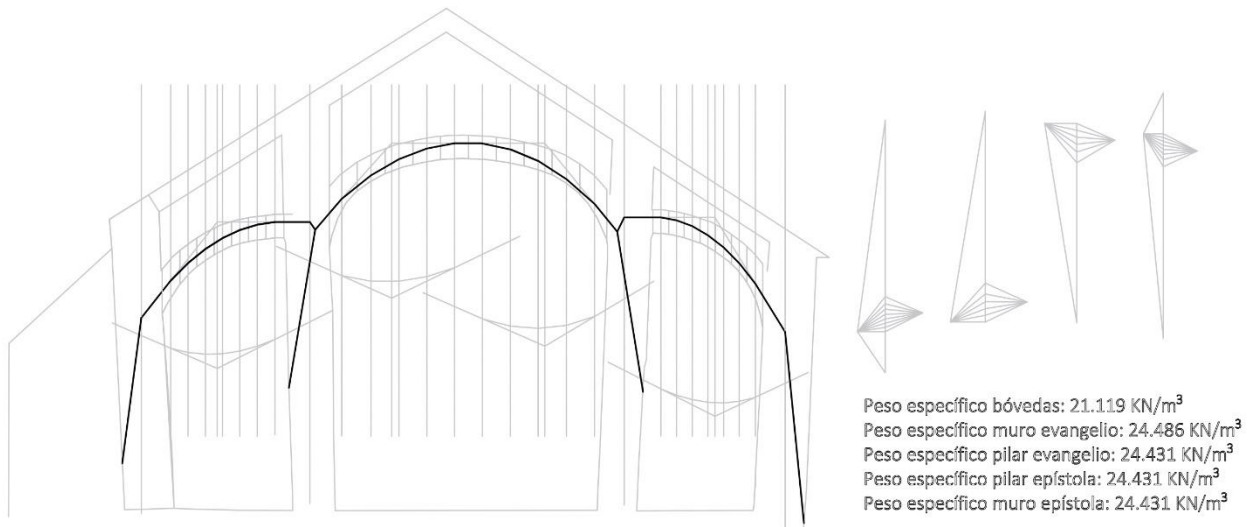


Imagen 34. Estudio de la sección transversal por los pilares P3-P4 de Santa Eulària d'Unha

La sección P5-P6 de la Iglesia de Santa Eulària d'Unha (Imagen 83) muestra que en el muro del evangelio interseca con el paramento exterior a 72.77 cm, en el P5 interseca a 1.30 m del suelo y el pilar P6 interseca a 1.62m.

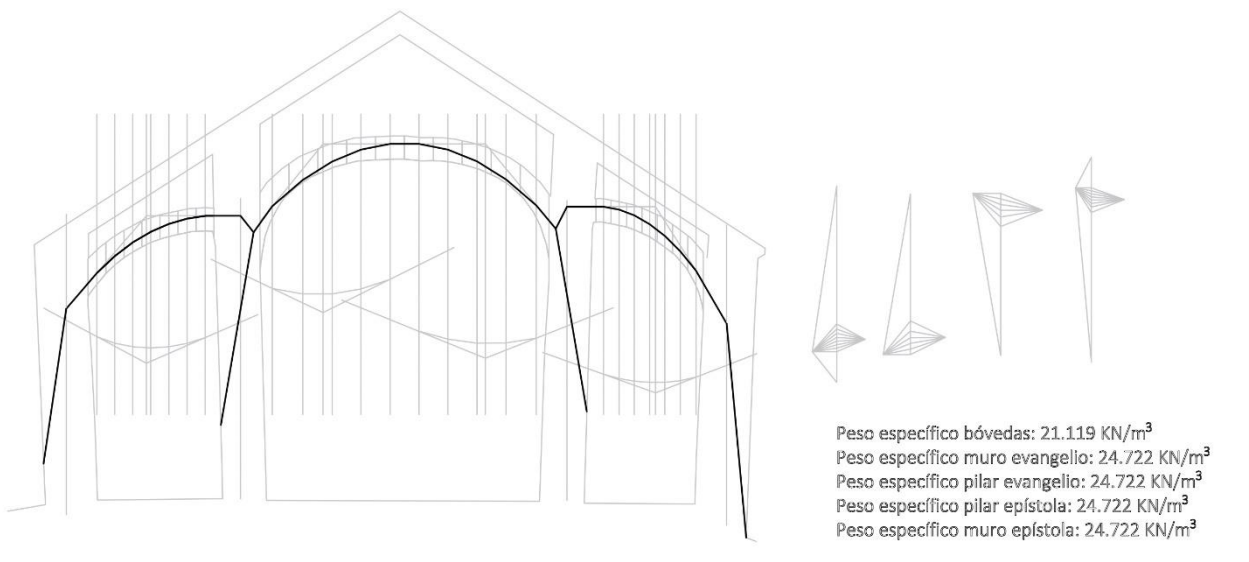
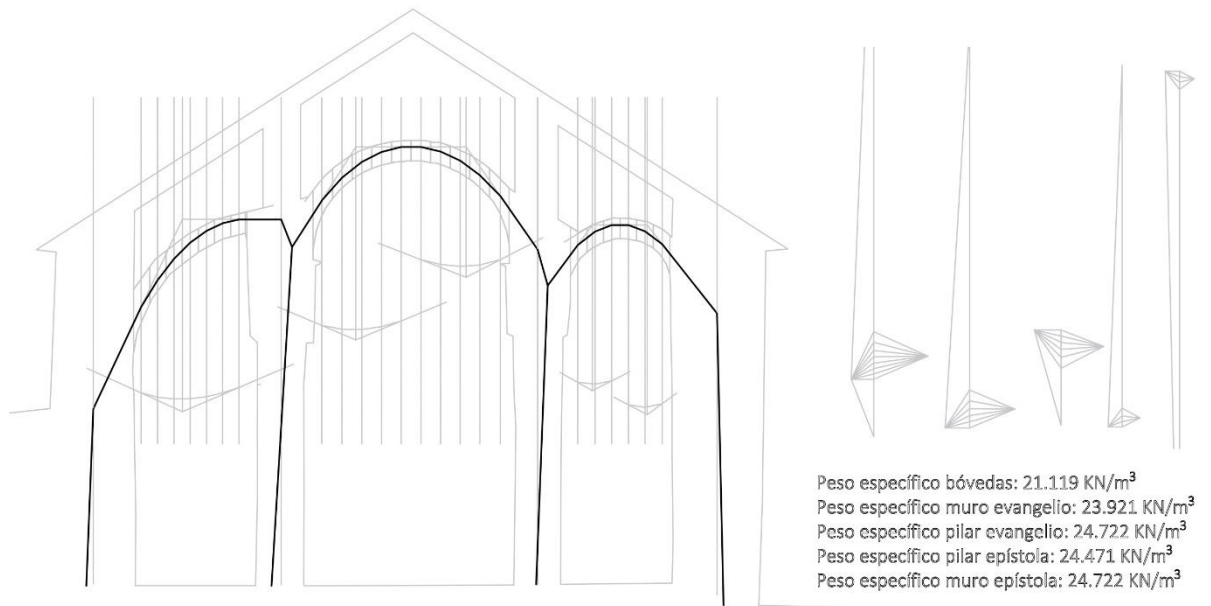


Imagen 35. Estudio de la sección transversal por los pilares P5-P6 de Santa Eulària d'Unha

5.3.2.2.SANTA MARIA DE VILAMÓS

La sección P1-P2 de la Iglesia de Santa Maria de Vilamós muestra que es estable en todos los casos.

Imagen 36. Estudio de la sección transversal por los pilares P1-P2 de Santa Maria de Vilamós.



La sección P3-P4 de la iglesia de Santa Maria de Vilamós (Imagen 85) muestra que es estable en todos los casos.

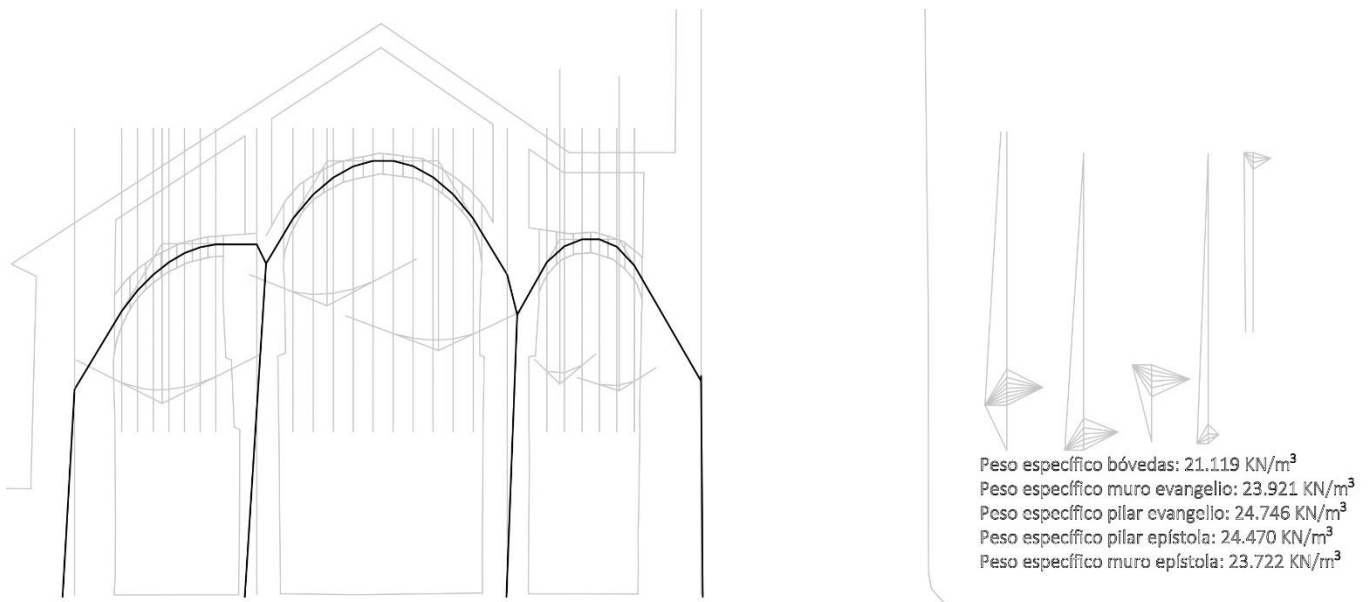


Imagen 37. Estudio de la sección transversal por los pilares P3-P4 de Santa Maria de Vilamós.

La sección P5-P6 de la Iglesia de Santa Maria de Vilamós (Imagen 86) muestra, también, que es estable en todos los casos.

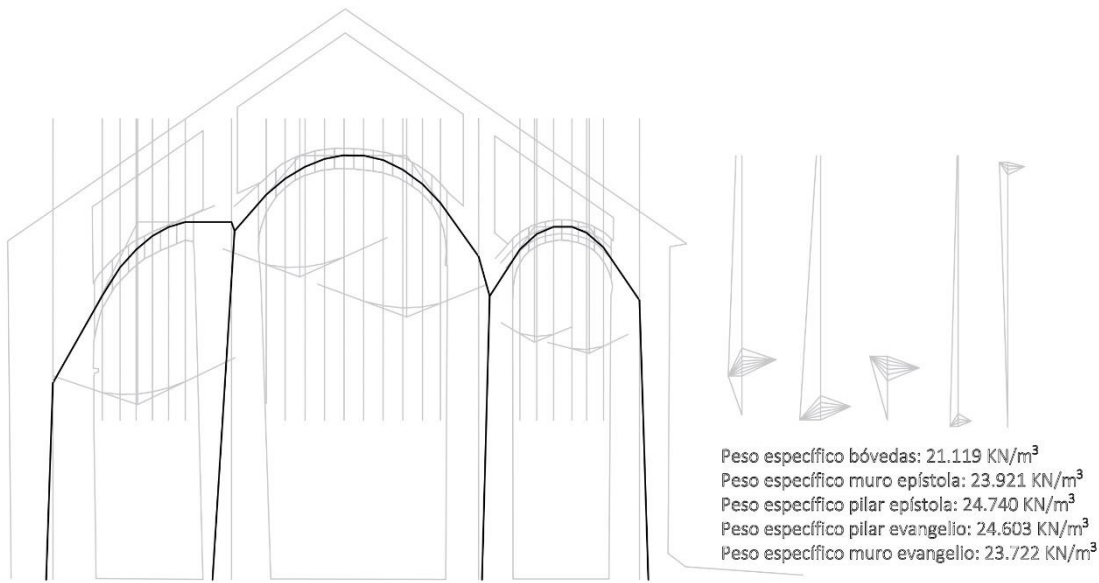


Imagen 38. Estudio de la sección transversal por los pilares P5-P6 de Santa Maria de Vilamós.

5.3.2.3. ESTUDIO DE LAS LÍNEAS DE PRESIÓN POR LOS PLANOS DE MÁXIMA INCLINACIÓN DE LOS PILARES DE SANTA EULÀRIA D'UNHA

Por último, se decide comprobar si en las secciones por los pilares en el sentido de máximo desplome de estos, la línea de máxima presión es estable. Se estudian solamente los pilares del evangelio debido a que estos son paralelos al eje.

El estudio del pilar P2 (Imagen 87) muestra que a 34. 11º de la sección transversal la línea de máxima presión interseca con el pilar a 2.758m de altura.

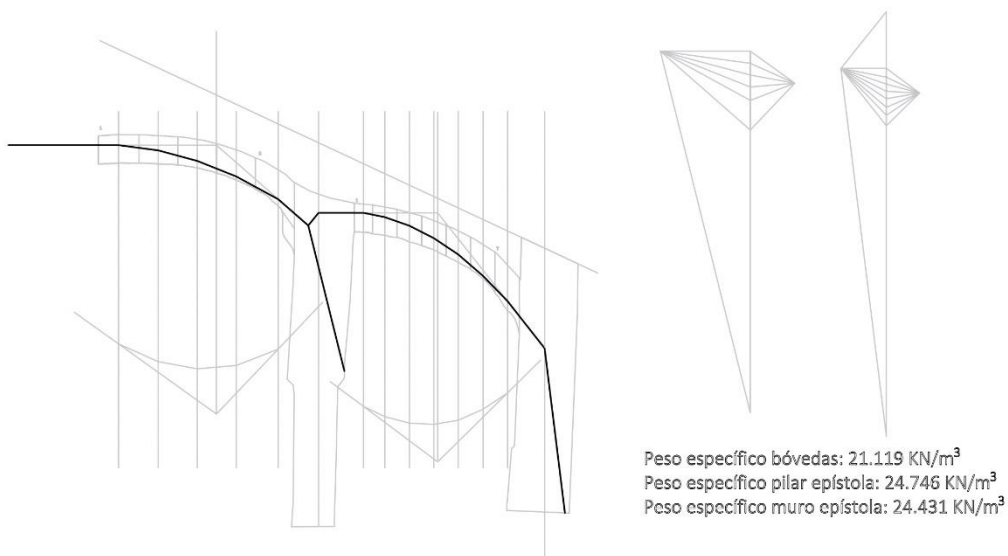


Imagen 39. Estudio de la línea de presión por el plano de máxima inclinación del pilar P2 de Santa Eulària d'Unha

El estudio del pilar P4 (Imagen 88) muestra que a 33. 83º de la sección transversal la línea de máxima presión interseca con el paramento exterior del muro a 65 cm del suelo y con el pilar a 2.619m de altura.

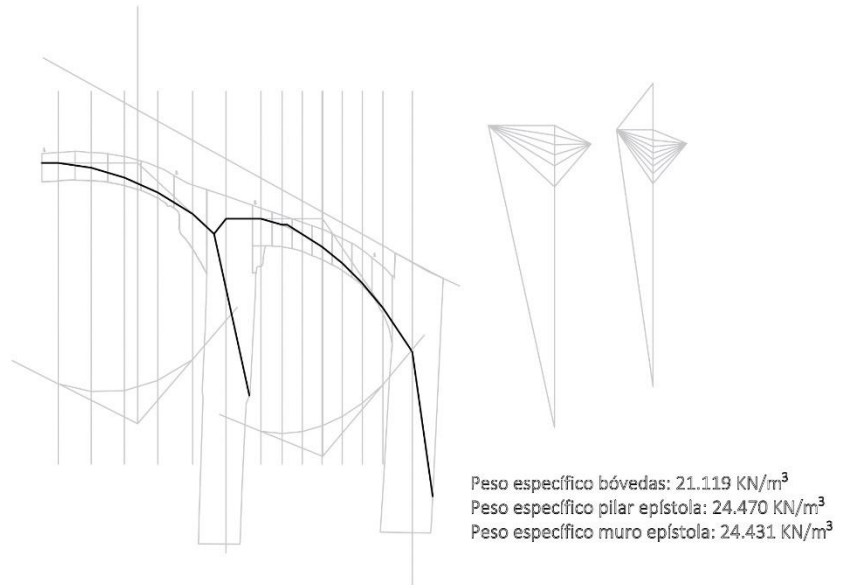


Imagen 40. Estudio de la línea de presión por el plano de máxima inclinación del pilar P4 de Santa Eulària d'Unha

El estudio del pilar P6 (Imagen 89) a 47. 59º de la sección transversal muestra que la línea de máxima presión interseca con el paramento exterior del muro a 1.48 cm del suelo y con el pilar a 3.48m de altura.

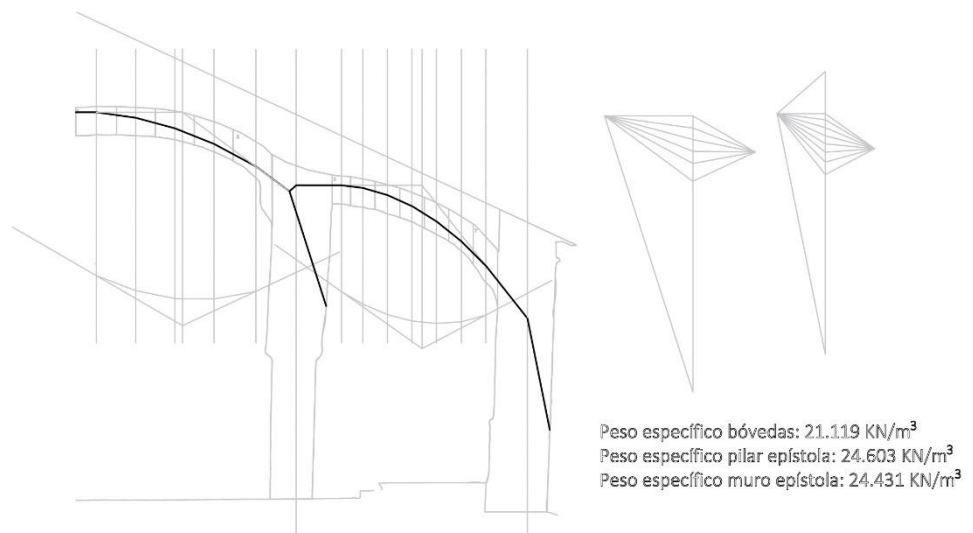


Imagen 41. Estudio de la línea de presión por el plano de máxima inclinación del pilar P6 de Santa Eulària d'Unha

6.DISCUSIÓ

La interpretación de los resultados se realizará de forma conjunta en todas las iglesias, considerando los aspectos más relevantes que se deducen de estos. Primero se evaluarán las campañas realizadas; posteriormente se discutirá sobre el tratamiento gráfico de las iglesias; seguidamente se evaluará el proceso empleado para el estudio de cada una de las partes y los resultados obtenidos; y, por último, hablaremos sobre la estabilidad general.

6.1.CONSIDERACIONES SOBRE LAS CAMPAÑAS DE ESCANEO

La realización de un inventario de iglesias a partir de una campaña de escaneo nos permite establecer una base de datos topográficos muy precisos, sin antecedentes. Siendo de uso común la técnica en la actualidad, nos tenemos que referir a estudios de un solo edificio para encontrar referencias. Son ejemplo de ello algunos estudios realizados en edificios de obra de fábrica medievales^{311, 312}.

Se considera que el escáner láser es adecuado para el estudio de las edificaciones por tener estas un tamaño medio nunca superior a 15 metros, de medida extrema, con lo que el error es de 0.0075m. Las volumetrías propuestas han estado muy alteradas en diversos casos, pero han conservado su estructura primaria intacta. Las modificaciones de la volumetría inicial más recurrentes son: construcción de capillas laterales a la nave, sustitución del ábside por un presbiterio, construcción de contrafuertes y modificación de la inclinación de la cubierta.

Aquellos edificios que han sufrido menos reformas volumétricas nos dan unos resultados más fáciles de interpretar. Es el caso de *Santa Eulària d'Unha*, *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs*, *Santa Maria de Vilamòs*, *Sant Miquèu de Vilamòs* y *Sant Estèue de Tredòs*. En cambio, en las volumetrías más reformadas o en situación semienterradas, nos arrojan unos resultados más difíciles de interpretar. Es el caso de *Sant Roc de Begòs*, *Sant Pèir de Betlan*, *Sant Pèir d'Escunhau*, *Sant Joan d'Arros e Vila* y *Santa Maria de Mijaran*. Todo ello genera unos volúmenes complejos en los que el levantamiento a partir de un escáner láser se ha adaptado muy bien, sin dejar ninguna zona en sombra (a excepción de aquellas salas que han sido inaccesibles). Debe tenerse en cuenta que el 85% del posible error de todo el sistema es relativo a esta fase, por lo que es de vital importancia ejecutarlo con corrección.

³¹¹ ZALAMA, E.; GÓMEZ, J.; LLAMÁS, 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*. ISSN: 1093-9687. Vol 26. pp. 381- 392. Wiley Blackwell.

³¹² CARDACI A., GALLINA D., VERSACI A., (2013). Laser scanner 3D per lo studio e la catalogazione dell'archeologia medievale: La Chiesa di Santa CRoce in Bergamo. *Archeologia e Calcolatori* num 24, pp. 209-229.

El escáner láser nos permite realizar el escaneado de una iglesia en un día de trabajo (según el tamaño). Este hecho implica variaciones lumínicas importantes. Desde el punto de vista volumétrico no implica ninguna variación, en cambio sí que existe una alteración importante en la toma de datos colorimétricos. Este hecho se suplió con el uso de focos lumínicos de gran potencia.

La adaptación a las condiciones climáticas también fue necesaria. En situación anticiclónica no existe problema alguno, en cambio la situación ciclónica o nebulosa implica una nube de puntos con excesivo ruido ambiental. Esta problemática nos obligó a tener en cuenta la climatología, y a realizar los escaneos exteriores lo más cercano posible al crepúsculo vespertino o nocturno. El escaneo del interior, debido oscuras condiciones lumínicas de las iglesias románicas, se resolvió con el uso de focos interiores de poca potencia, que nos ofrecían una iluminación reflejada estable. En ningún caso se optó por el uso de la iluminación existente, ya que esta produce espacios vacíos de color.

Al tratarse de un proceso de toma de datos dilatado a lo largo del tiempo, se tuvieron en cuenta las posibles reparaciones realizadas en los edificios. En ningún caso se ha considerado que las reparaciones realizadas a lo largo de los tres años de redacción de la tesis doctoral hayan dificultado la definición volumétrica. Solo existe un caso de relevancia, el pavimento de la iglesia de *Sant Fèlix de Vilac*, que fue alterando su cota y así como su inclinación. En el mismo edificio, la pila bautismal fue movida por motivos de desarrollo de los trabajos de pavimentación, así que finalmente se optó por realizar un nuevo escaneo del interior. En todo caso, el uso de un escáner láser terrestre ha permitido realizar una toma masiva de datos topográficos de las 43 iglesias del Val d'Aran sin precedentes, y que habría sido imposible de no disponer de éstas técnicas.

6.2. CONSIDERACIONES SOBRE EL REDIBUJADO DE LAS IGLESIAS

Uno de los atractivos del uso del escáner láser es la rápida visualización de los objetos de estudio. Si se atiende al destino de la imagen, pronto se entiende que es obligatoria la interpretación y redibujado de las plantas, secciones y alzados, destacando aquellos elementos más significativos. Las planimetrías extraídas de la nube de puntos nos permiten tener una lectura global del objeto arquitectónico. En cambio, para que se entiendan los elementos característicos, debemos ponerlos en valor, siendo este el principal objetivo del redibujado. Los elementos arquitectónicos que condicionan la edificación se encuentran en el interior, siendo adecuada la representación de las iglesias a partir de las secciones y la perspectiva.

Los planos redibujados nos han ayudado a detectar puntos de inflexión, grosores de muro o geometría de los paramentos. Por ejemplo, en *Sant Roc de Begòs* se ha detectado una ampliación del ábside; en *Sant Joan d'Arros e Vila* se han detectado dos fases constructivas en la bóveda; y en la iglesia de *Santa Maria de Vilamòs* se ha detectado, en la fachada sur al oeste del campanario, un recrecido de los muros.

La mayoría de las reformas se encuentran en los muros, existen pocas reformas que alteren las bóvedas, así que la elección de los objetos en relación a la técnica usada de estudio es la adecuada.

En el estudio de los elementos característicos no se encuentra una proporcionalidad clara que aúne todas las iglesias. Sí que se observa la importancia del pilar para la métrica de

las iglesias basilicales³¹³. En este sentido, resulta de interés el caso de la iglesia de *Santa Eulària d'Unha*, donde el ancho de las naves laterales es 2.5 veces el diámetro de los pilares, el ancho de la nave central es 6 veces el mismo diámetro, el intercolumnio es 4.5 veces el diámetro y la altura de los pilares responde a tres veces su diámetro, en total el ancho interior de la iglesia es de 13 unidades por 26 de largo, de los que 5 son el largo interior del ábside.

En la iglesia de *Santa Maria de Vilamòs*, se observa que el módulo de referencia es la planta del pilar trifoliado (1.31m en sentido este oeste y 1.24 m en sentido norte sur), generando una iglesia de 15.33 unidades de largo a partir del módulo de 1.31 m por 7.5 de ancho a partir del módulo de 1.24 m. En altura es 6 veces el módulo de 1.24 m, la máxima altura de las bóvedas de las naves laterales está a 5 veces el módulo de 1.24 m, la imposta de la nave central está a 4.5 veces el módulo de 1.24m, la imposta de las naves laterales está a 3 unidades, y el fuste de los pilares es de 2.5 veces el módulo de 1.24 m. El ancho de las naves es la nave central de 2.5 unidades de 1.24 m y las naves laterales son de 1.50 veces el módulo de 1.24 m.

En la iglesia de *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs*, en su dirección sur-norte cumple que es 10.5 veces la fachada oeste, el ancho de las naves laterales es de 2 unidades, y la nave central responde a 2.5 veces.

Estos resultados no son concluyentes, haría falta un estudio de todas las iglesias basilicales románicas del Val d'Aran.

De la relación de m³ útiles/m³ construidos se observa que la iglesia más liviana es la de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs (3.027) y la iglesia más masiva es Santa Maria de Vilamòs (0.54). El resto oscilan entre 1-1.66. Para llevar a cabo este estudio se ha tenido que reconstruir los ábsides de Santa Maria de Vilamòs y Sant Peir d'Escunhau. En Santa Maria de Vilamòs se usa, por semejanza de ancho, los ábsides de Santa Eularia d'Unha y en Escunhau la iglesia de Betlan.

6.3. CONSIDERACIONES SOBRE LA DISCRIMINACIÓN DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS.

Para el estudio de los diferentes asentamientos y desplomes se decide dividir las iglesias en diferentes partes: bóvedas, muros y pilares. Esta decisión nos ayuda a realizar una serie de estudios que nos permiten tener una visión conjunta de la forma actual de cada una de las partes, observando y estudiando los valores máximos y mínimos de la diferencia a partir de una forma de referencia. Así se detecta la máxima deformada según el elemento constructivo (bóvedas, pilares y muros). También se ha trabajado en el estudio de las impostas y la estática gráfica que nos permiten obtener una visión de conjunto del edificio. En el primer estudio obtenemos una visión en sentido horizontal de la sección más desplomada y en el segundo estudio obtenemos una visión en sentido vertical de la sección más asentada (este estudio se ha realizado únicamente en las edificaciones que tienen bóvedas).

Estos primeros estudios, basados en transformar la información de 3D a 2D y de carácter superficial, se plantean más interesantes en su aplicación en la serie de volúmenes donde los muros de la nave son concurrentes. En la agrupación de iglesias con muros de las naves paralelos, el estudio propuesto por superficies se demuestra tan útil como el estudio realizado a partir de las secciones transversales. Ha resultado costoso encontrar

³¹³ VITRUVIO, M.L. (2000). Los diez libros de arquitectura. Barcelona: Editorial Iberia. Libro 2. Pp 33-64

un sistema que fuese útil para estudiar dos tipologías constructivas diferentes para posteriormente compararlas.

La arquitectura románica, es heredera de la arquitectura romana (concebida como monolítica). En múltiples ocasiones es comparada con ella, sin embargo, se trata de una evolución de los sistemas constructivos resultante de la adaptación a nuevos materiales, a nuevos requerimientos económicos y sistemas constructivos. El resultado de esta adaptación fue una arquitectura deformable con múltiples probaturas técnicas que, en conjunto, suponen una evolución hacia el románico pleno. La fábrica es cualquier construcción realizada con piedra y argamasa, resultando ser un material de características anisotrópicas y por sus características, las deformaciones elásticas no se consideran normalmente.

Bassegoda Nonell es quien propone una clasificación de los orígenes de todas las deformaciones: errores de replanteo, aprovechamiento de muros anteriores, superposición de edificios, adaptación al terreno, y restauraciones. Las deformaciones en sección son debidas a: asentamientos de los cimientos, desplomes de muros y pilares, grietas de bóvedas y adiciones³¹⁴. Otro motivo que explica los desplomes lo apunta Puig i Cadafalch afirmando que estas iglesias de planta basilical estaban cubiertas originalmente con cerchas de madera i que posteriormente fueron añadiendo las bóvedas³¹⁵.

6.3.1. ESTUDIO TOPOGRÁFICO DE LAS BÓVEDAS

Las bóvedas de cañón de las iglesias del Valle de Aran disponen de unas características especiales. Los resultados de los estudios realizados indican que las bóvedas de las iglesias de *Santa Eulària d'Unha* y *Santa Maria de Vilamòs* se asemejan a un tronco de cono. En cambio, las iglesias de *Sant Miquèu de Vilamòs*, *Sant Pèir de Betlan* i *Sant Joan d'Arros e Vila* se asemeja a un cilindro. Este primer estudio debe matizarse con el estudio de las impostas y de la topografía.

La diferencia de altura de las impostas respecto al eje del cono/cilindro nos indicara como se concibieron: si las impostas están por encima del eje significará que se trata de bóvedas rebajadas; si las impostas están a la misma altura del eje central significara que se trata de una bóveda de cañón; y si las impostas están por debajo del eje central significara que se trata de bóvedas peraltadas. Son bóvedas rebajadas las de las iglesias de *Sant Miquèu de Vilamòs* (0.14 m) y la de *Santa Eulària d'Unha* (0.7 m evangelio-0.78 epístola); se puede considerar que la bóveda de *Santa Maria de Vilamòs* es de cañón (-0.06 m en el evangelio- 0.17 en la epístola) de igual modo la de *Sant Pèir de Betlan* (0.29 m evangelio-0.19 epístola); la iglesia de *Sant Joan d'Arros e Vila* se considera peraltada (0.20 m en el evangelio – 0.85 m en la epístola).

Si estudiamos la topografía realizada de las bóvedas observamos que la bóveda de *Sant Miquèu de Vilamòs* presenta un apuntamiento de 0.11 m con lo que se considera que es

³¹⁴ BASEGODA NONELL, J. (1974). Estètica Expresionista de la arquitectura romana lombarda en Catalunya como consecuencia de las deformaciones formales y estructurales de las iglesias, De Re Restauratoria, Catedra Gaudí UPC, Vol. II, pp. 35-38.

³¹⁵ PUIG I CADAVALCH, J. (1907). Les esglésies romàniques ab cobertes de fusta de les Valls de Bohí i d'Aran. Anuari de l'Institut d'Estudis Catalans. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.

una bóveda rebajada apuntada. La iglesia de *Sant Roc de Begòs* es claramente de medio punto con las impostas y bóveda alineadas.

Se observa en las iglesias de *Sant Miquèu de Vilamòs*, *Sant Pèir de Betlan*, *Santa Eulària d'Unha*, *Santa Maria de Vilamòs* y *Sant Roc de Begòs* que la bóveda está apoyada en la imposta, pero esta trabada en los muros de este y oeste. También se observa el trabajo conjunto que realizan los arcos fajones, considerándose que están contruidos a la vez como evolución del sistema constructivo romano (nunca previo al sistema con plementería) para conferirle mayor rigidez al sistema.

El estudio de los desplomes se realiza a partir del estudio topográfico debido a que nos permite realizar un estudio global de la forma actual de la bóveda (en este estudio no se tiene en cuenta la forma inicial de la bóveda, solo se tiene en cuenta la forma que más se aproxima a la bóveda): Se observa que la iglesia con mayores asientos es la de *Santa Eulària d'Unha* (0.513 m), seguido de *Santa Maria de Vilamòs* y *Sant Pèir de Betlan* (0.33 m), *Sant Roc de Begòs*, *Sant Joan d'Arros e Vila* y *Sant Miquèu de Vilamòs* tienen unos asentamientos menores (0.293; 0.256; 0.183 m). Siendo un resultado no concluyente, se observa que el asentamiento de la bóveda sigue una relación inversamente proporcional con la distancia entre la clave de las bóvedas siendo en *Santa Maria de Vilamòs* de 1.26 m y en *Santa Eulària d'Unha* de 1.20 m (Imagen 90).

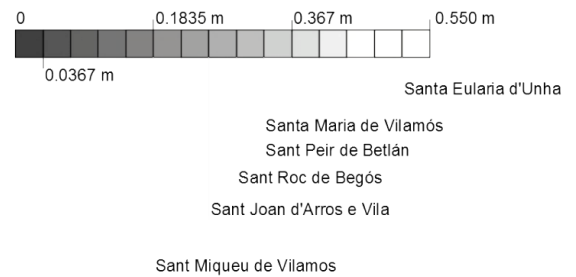


Imagen 42 Ordenación de las bóvedas según su asentamiento.

Los asentamientos son debidos a situaciones constructivas internas como apuntaba Bassegoda Nonell o puede apuntarse a su sistema constructivo: Lancaster afirma que en la Basílica de Maxentius se pueden diferenciar tres partes debido a la deformación de la cimbra, la primera desde la imposta hasta los 30º, parece haberse construido con una curvatura pequeña; la siguiente parte tiene la longitud del radio cercano a la longitud ideal; por último, el radio es bastante más largo³¹⁶. Esta casuística se comprueba en la iglesia de *Santa Eulària d'Unha*, significando que se construyeron a través de una cimbra.

Otra posibilidad de deformación es debido a los terremotos. Lawson indica que las roturas, con un pulso sinusoidal de amplitud y frecuencia acelerada, se encuentran entre 0º-36º-96º-180º; 0º-60º-133º-180º; 0º-58º-122º-180º; y 0º-95º-146º-180º³¹⁷. Con estos resultados se entiende que la rotura se da con una variabilidad extrema.

Una última lectura de los planos topográficos es la detección de formás funiculares. Una primera reflexión debe indicarnos que todas ellas son de pequeño calibre, pero se detectan en las iglesias de *Sant Miquèu de Vilamòs* en los dos laterales del vano central;

³¹⁶LANCASTER, L. (2005). Concrete vaulted construction in Imperial Rome: innovations in context. Cambridge: Cambridge University Press.

³¹⁷ WILLIAMS M. S.; ALBUERNE, A.; LAWSON, V., YIP, F. (2012) Model Scale Shaking Table Test on Masonry Barrel and Cross Vaults. 15 WCEE. Lisboa.

en Santa Eulària d’Unha en los tres vanos centrales más próximos al ábside y en los cuatro vanos de las dos naves laterales (max. 0.1578 m) y en la Iglesia de *Santa Maria de Vilamòs* en los dos vanos más cercanos al ábside de la nave central (max. 0.1972 m). El resto tienen asentamiento, pero son de muy próximos a 0.0367 m. con lo que no se pueden contabilizar por estar dentro del rango de error.

Constructivamente se determina que el grosor de las bóvedas se encuentra en el rango de entre 0.359 y 0.50 m. Siendo las iglesias de *Sant Joan d’Arros e Vila* con 0.359 la de menor grosor y la de *Santa Eulària d’Unha* la de mayor grosor con 0.50 m. La composición de las bóvedas se estima en un 50% de losas de pizarra frente a un 50% de mortero, conformándole una gran deformabilidad.

6.3.2. ESTUDIO DEL EJE DE LOS PILARES

El proceso seguido en los pilares estudiará el desplome en todas las direcciones y a la vez se comparará todos los pilares entre sí. Las iglesias estudiadas con pilares son: *Santa Maria de Vilamòs*, *Santa Eulària d’Unha* y *Santa Maria de Cap d’Aran de Tredòs*.

En la tradición romana, las columnas eran distribuidas a través de patrones visuales por pares axiales. Este esquema de pares fue usado en Roma entre el cuarto y séptimo siglo, posteriormente se volvió a usar entre los siglos noveno y doceavo. Entre estos dos periodos hay una significativa diferencia, en los principios del cristianismo estos eran usados de forma jerárquica, situando las mejores piezas cerca de los ábsides, mientras los de menor valor se situaban al final; En el periodo altomedieval este principio no era importante En el caso de los pilares usados en el Valle de Aran no hay una significación importante ja que los capiteles son unos sencillos ábacos de una pieza iguales en todos los pilares³¹⁸.

Sera Vergnolle quien concrete que las columnas circulares fueron usadas desde el siglo X para cubrir edificios con cerchas de madera. Esta definición se adapta a las iglesias de *Santa Eulària d’Unha* y *Santa Maria de Vilamòs* con la salvedad de que se construyeron con mampostería, seguramente por limitaciones geográficas. La misma Vergnolle afirma que el pilar no se adopta hasta el siglo XII, coincidiendo con la construcción de estas iglesias³¹⁹.

Las dimensiones de los pilares, como ya hemos dicho, se usaron para determinar la proporción del resto de la iglesia, a la vez que, mantienen una relación proporcional con la tensión a soportar (Tabla 127)

Area	0,44	0,45	0,46	0,46	0,5	0,5	0,53	0,53	0,54	0,54	1,11	1,21
tens	456,4	437,7	414,6	420,7	433,2	470,8	588,4	601,8	637,0	602,4	794,4	745

Tabla 86 Relación entre área y tensión de los pilares.

El estudio comparativo de los pilares entre iglesias se realiza solamente entre *Santa Eulària d’Unha* y *Santa Maria de Vilamòs*. Hay una primera diferencia entre las dos iglesias, la máxima deformada de *Santa Eulària d’Unha* es 22.78 cm frente a los 7.79 cm de *Santa Maria de Vilamòs*. Esta diferencia tiene su origen en la bóveda de cada una de

³¹⁸ MALMSTROM, R.E. (1975) *The Colonnades of High Medieval Churches at Rome*. Chicago: [The University of Chicago Press](#) on behalf of the [International Center of Medieval Art](#). Vol. 14, No. 2

³¹⁹ VERGNOLLE, É. (1998). La Colonne À L’époque Romane. Réminiscences et Nouveautés. *Cahiers de Civilization Médiéval*. Vol. 41

las iglesias: *Santa Eulària d'Unha* tiene una bóveda rebajada y *Santa Maria de Vilamòs* tiene bóvedas de cañón.

El estudio de los diagramas de dispersión, más concretamente del coeficiente de regresión cuadrática nos muestra que las iglesias de *Santa Maria de Vilamòs* y *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs* cuentan con valores muy bajos. En valores absolutos las deformadas mínimas son muy próximas a los valores de error de un escaneo, con lo que el coeficiente de dispersión es alto. En cambio, puede afirmarse que los pilares de la epístola de la iglesia de *Santa Eulària d'Unha* tienen un desplome mínimo de 0.18 cm y un desplome máximo de 0.2278 cm; la forma del eje del pilar responde, con un coeficiente de determinación entre 0.97 y 0.99, a una línea de tendencia con una función lineal. Dadas las posibilidades de deformación de los ejes de los pilares y que se trata de pilares se deduce que las hiladas de los pilares se han desplazado horizontalmente.

Del estudio comparativo de la línea de desplome de las epístolas y de los evangelios se deduce que estos no funcionan por pares de columnas, sino que dependen de otros factores.

6.3.3. ESTUDIO TOPOGRÁFICO DE LOS MUROS

El estudio topográfico se realiza desde el plano vertical resultante de la línea que más se aproxima al paramento interior y exterior en la cota cero y una línea vertical que corte esta línea; así se puede reflexionar sobre el paralelismo entre estos dos paramentos pudiendo explicar las secciones constructivas internas de los muros.

Las iglesias de *Sant Roc de Begòs* y *Sant Pèir de Betlan* no se han estudiado por su poco contenido documental.

En el caso de la iglesia de *Sant Estève de Tredòs* debido al paralelismo entre el muro del evangelio y el de la epístola, y que el paramento exterior es casi vertical, se entiende que el paramento interior de los muros se proyectó inclinado, con lo que tampoco se considera en este estudio.

Según los resultados, los paramentos de los muros norte de algunas iglesias son concurrentes entre sí (interior y exterior) con lo que se deduce que existe una fuerte traba entre los dos paramentos. La fachada de la epístola de *Sant Fabian d'Arres de Jos* cuenta con un evidente paralelismo con las líneas topográficas completamente horizontales. De igual forma ocurre en la fachada de la epístola de la iglesia de *Sant Joan d'Arros e Vila* y en la misma fachada de *Sant Miquèu de Vilamòs*. En los tres casos, el muro del evangelio tiene una ligera concurrencia de sus paramentos y un nulo desplome.

La iglesia de *Sant Pèir d'Escunhau* tiene en su fachada del evangelio un fuerte desplome que se refleja en los dos paramentos. Este hecho también ocurre en la iglesia de *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs*. El paralelismo de los paramentos de los muros tanto de la epístola como del evangelio de la iglesia *Santa Eulària d'Unha* es evidente en ambos casos.

En el estudio numérico solo se tienen en consideración los desplomes mayores a 0.15 m y los coeficientes de determinación elevados (> 0.85). Las iglesias que no serán consideradas son: *Sant Miquèu de Vilamòs* (max. despl. 0.077 m) y *Sant Joan d'Arros e Vila* (max. despl. 0.121 m).

Los muros interiores de la epístola de las iglesias de *Sant Fabian d'Arres de Jos*, *Sant Pèir de Betlan* y *Sant Roc de Begòs*, cuentan con un valor de desplome de 0.264 m, 0.316 m,

0.184 m respectivamente, con una línea de tendencia lineal con un coeficiente de determinación de 0.94, 0.99 y 0.82. La iglesia de Escunhau tiene un desplome máximo en el muro de la epístola de 0.365 en su exterior, teniendo una línea de tendencia lineal y un coeficiente de determinación de 0.99.

En la iglesia de *Santa Eulària d'Unha* se consideran los desplomes del evangelio como los de la epístola. El máximo desplome en el evangelio se encuentra en el paramento exterior, y es de 0.248 m con una línea de tendencia lineal y un coeficiente de determinación de 0.97, y en el muro de la epístola el máximo desplome se encuentra en el paramento interior con un valor de 0.209 m, con una línea de tendencia lineal y un coeficiente de determinación de 0.98. El paramento exterior de la iglesia de *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs* cuenta con un desplome de 0.411 m con una aproximación a una línea de tendencia lineal con un coeficiente de determinación de 0.935. En todos estos casos se considera que el desplome se produce por desplazamiento de las hiladas.

Se observa que los máximos desplomes se producen en el lado de la iglesia situadas sobre un terraplén, caso aparte es la iglesia de *Santa Eulària d'Unha* que se encuentra en la cima de la montaña, con lo que se deduce que tiene su origen en los cimientos utilizados.

Se considera el ángulo medido en la sección vertical que pasa por el punto de máxima deformada. Consideramos 0º como no desplomado y un límite máximo de 3º de colapso³²⁰. Encontramos que las iglesias con bóvedas de *Sant Pèir de Betlan* (3.38º) y *Santa Eulària d'Unha* (3.09º) están en el límite o por encima de la inclinación de colapso. Las iglesias de *Sant Joan d'Arros e Vila* (2.66º), *Sant Roc de Begòs* (1.55º), *Santa Maria de Vilamòs* (1.90º), y *Sant Miquèu de Vilamòs* (1.37º) están por debajo de la inclinación de colapso (Imagen 91).

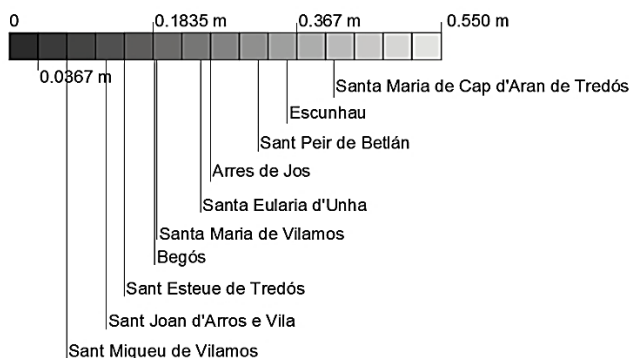


Imagen 43 Ordenación de iglesias por desplome de sus muros

6.3.4. ESTUDIO DEL DESPLOME EN LAS IMPOSTAS DE MUROS Y PILARES

El estudio de las impostas de los muros nos muestra una visión de conjunto de los desplomes de las iglesias. Los resultados nos indican que en la iglesia de *Sant Miquèu de Vilamòs* la máxima deformada se encuentra en el presbiterio (0.141m), sin embargo en las iglesias de *Sant Fabian d'Arres de Jos* (0.264m), *Sant Joan d'Arros e Vila* (0.121m), *Sant Estèue de Tredòs* (0.209m), *Sant Roc de Begòs* (0.184m), *Sant Pèir de Betlan* (0.316m), *Sant Pèir d'Escunhau* (0.365m), *Santa Maria de Vilamòs* (0.186m) y *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs* (0.411m) tienen su máxima deformada en el muro de la epístola de la

³²⁰ BLOCK, P., CIBLAC, T. y OCHSENDORF, J. (2006). Real-time limit analysis of vaulted masonry buildings. *Computers and structures*, vol. 84, pp. 1841-1852.

nave. *Santa Eulària d'Unha* tiene su máxima deformada en el muro exterior del evangelio (0.248m). En las iglesias con bóvedas de *Sant Miquèu de Vilamòs*, *Sant Pèir de Betlan*, *Santa Eulària d'Unha* y *Santa Maria de Vilamòs*, y en la iglesia sin bóveda de *Sant Fabian d'Arres de Jos* existe un abombamiento en las impostas. Cabría pensar por los desplomes de los muros y la forma de la imposta que debió tener una bóveda.

También se observa en los ábsides la existencia de un desplome tipo que se repite en todos los ábsides: en el eje de la iglesia existe un desplome hacia el interior, y en la boca de los ábsides (eje transversal) hacia el exterior.

El estudio de las impostas de los pilares muestra que los planos de máxima deformación de los pilares no son en sentido transversal al eje de la iglesia. Se toma la perpendicular del eje como línea de referencia para medir el ángulo de máxima deformación. Se observa que la iglesia de *Santa Eulària d'Unha* es la que tiene la deformación más paralela al eje longitudinal (64.412º) siendo también quien tiene un mayor ángulo de apertura entre los muros de la nave (5.202º). La iglesia de *Santa Maria de Vilamòs*, tiene un ángulo medio de 47.803º respecto la línea perpendicular al eje longitudinal con un ángulo entre los muros de la nave de (3.976º). Y la iglesia de *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs* tiene un ángulo de (37.295º) y un ángulo entre los muros de la nave de (1.318º). Por lo que se deduce que existe una relación proporcional entre la apertura entre muros de la nave y el plano de deformada.

6.4.SOBRE EL ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD

6.4.1.ESTUDIO DE LA ESTEREOTOMÍA

Se estudia la estereotomía como paso obligatorio para el cálculo de las líneas de presiones, no obstante, nos arroja resultados relevantes. La evolución de la estereotomía en el románico europeo, tuvo un punto de inflexión hacia los años 1020-1030; los mampuestos se alargaron con un mejor corte y el mortero pasó de 7-8 cm a 3-4 cm³²¹. Este cambio solamente se encuentra en los ábsides de la iglesia de *Santa Eulària d'Unha* i la fachada norte de la Iglesia de *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs*. Esta evolución en la estereotomía en los ejemplos estudiados implica pasar de 22.940kn/m³ (*Sant Pèir d'Escunhau*) a 24.880 kN (*Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs*) de peso de las mamposterías.

El estudio realizado es a partir del cálculo de los pesos por unidad volumétrica, así se puede observar la diferencia de rigideces entre las bóvedas, muros y arcos³²². A mayor cantidad de mortero menor peso del elemento, por tanto, menor rigidez. Siendo el elemento más rígido los muros y pilares (23.91 kN/m³) y el elemento menos rígido las bóvedas (21.119 kN/m³).

El grosor de la junta pasa de 3.14 cm de media en Escunhau a 0.6 cm en *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs* por lo que se confirma esta tendencia que diferencia el primer románico del segundo románico. También cabe considerar la distribución irregular de la estereotomía ya observada por Puig i Cadafalch.

³²¹ VERGNOLLE, É. (1996). La pierre de taille dans l'architecture religieuse de la première moitié du XIe siècle. , pp. 229-234.

³²² VILLANUEVA, J.L. (1974). Las Bóvedas de Cañon. *De Re Restauratoria*. Barcelona: Catedra Gaudi. UPB. Vol. 2.

Se detecta que la estereotomía tiene una tendencia creciente (2.13cm/cm-4.27cm/cm) a principio del románico y (3.93cm/cm) en la transición hacia el segundo románico. A excepción de *Santa Eulària d'Unha* con un rango de (1.69 -180) y la primera fase de *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs* (1.88), siendo la proporció n más baja en diferencia (Imagen 92).

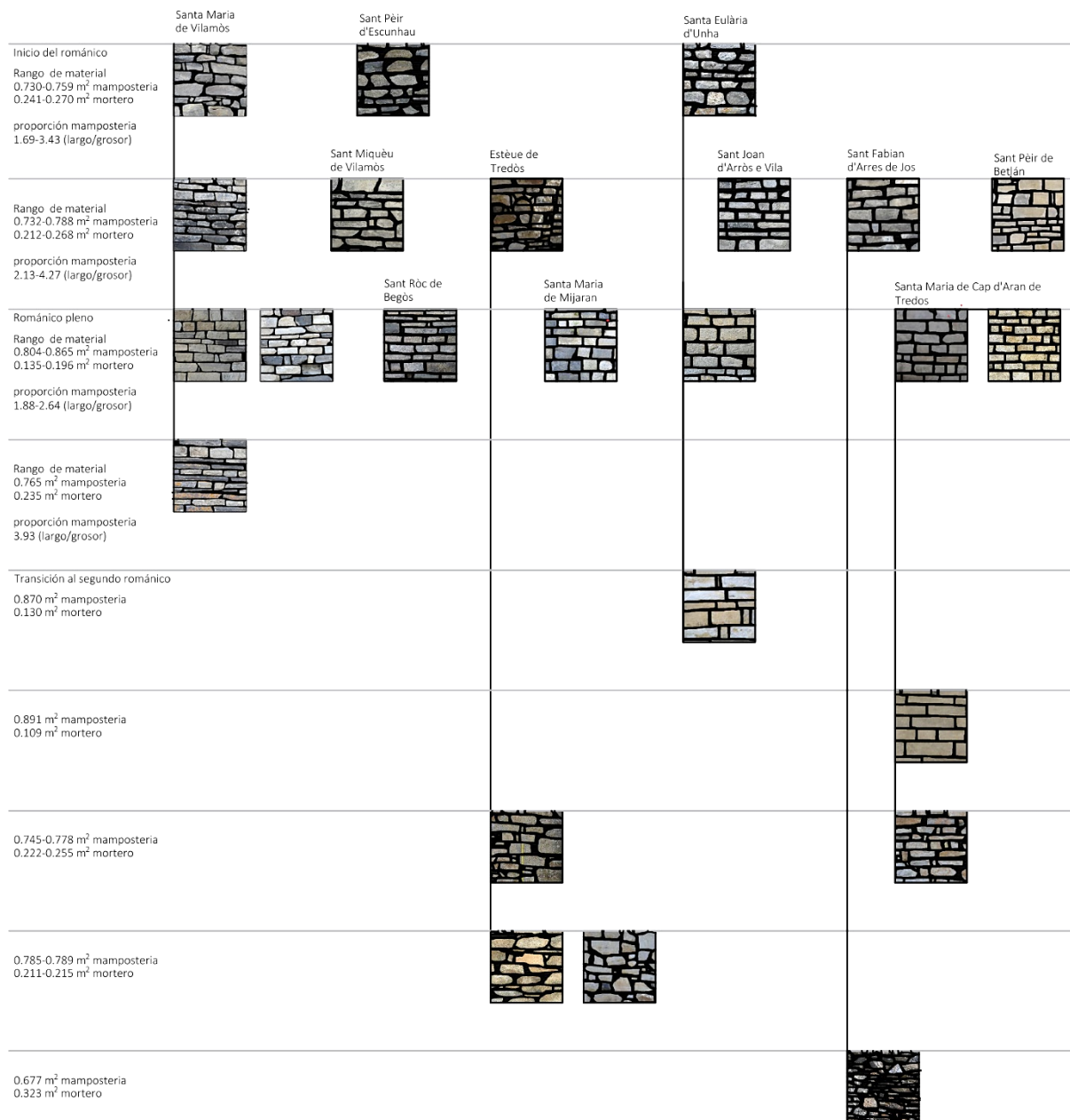


Imagen 44: Ordenación cronológica de la estereotomía.

Si comparamos esta clasificació n cronológica con el paralelismo de los muros de la nave observamos que, las iglesias con muros concurrentes se agrupan al principio de la tabla y las iglesias con muros paralelos se agrupan por debajo. Las iglesias con muros concurrentes son: *Sant Pèir d'Escunhau* tiene un ángulo de 2. 34º, *Santa Maria de Vilamòs* tiene un ángulo de 2. 70º, *Sant Pèir de Betlan* tiene un ángulo de 2. 75º y las mayores son *Santa Eulària d'Unha* y *Santa Maria de Mijaran* con 5. 97º y 6. 10º respectivamente. El resto de las iglesias tiene un ángulo menor: *Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs* de 1.

33º, *Sant Roc de Begòs* de 1. 31º, *Sant Estève de Tredòs* de 1. 20º, *Sant Joan d'Arros e Vila* de 1.09º y *Sant Miquèu de Vilamòs* y *Sant Fabian d'Arres de Jos* inferior a 1º.

6.4.2. ANÁLISIS LÍMITE

La teoría tradicional de la elasticidad está basada en la resistencia, rigidez y estabilidad³²³. Las obras de fábrica de las iglesias están regidas por el criterio de la estabilidad.

Las iglesias que se pueden estudiar a través de la línea de presión son las de *Sant Joan d'Arros e Vila*, *Sant Miquèu de Vilamòs*, *Sant Pèir de Betlan*, *Sant Roc de Begòs*, *Santa Eulària d'Unha* y *Santa Maria de Vilamòs*.

Para la realización de este estudio se ha tenido en cuenta la diferencia de peso de los muros (24. 88 de máxima) y de las bóvedas (21.3 kN). Del estudio de la sección que pasa por el punto de máxima deformación se tiene que las iglesias de una sola nave, *Sant Joan d'Arros e Vila*, *Sant Pèir de Betlan* y *Sant Roc de Begòs*, no podemos explicar la estabilidad a través de las líneas de presiones, ya que según el teorema de la seguridad no es posible encontrar una línea de presiones que quede contenida en la fábrica. La iglesia de *Sant Miquèu de Vilamòs* sí que se explica a través de las líneas de presiones.

El estudio de la iglesia de *Santa Eulària d'Unha* se inicia con el estudio de la sección que pasa por el punto de la bóveda más asentado (imagen 78); de este primer estudio se deduce que la sección no es estable en su muro de la epístola ni en los arcos torales de la epístola ni del evangelio. Se comprueba también a posibilidad de que las tres bóvedas funcionen como un arco (imagen 79), mostrando el resultado que, en la fachada del evangelio es estable si se tiene en cuenta los contrafuertes, pero en la fachada de la epístola es inestable. El estudio de las secciones transversales que pasan por los pilares (Imagen 81, 82, 83), muestran que, ningún pilar tiene una línea de presión estable, en cambio se muestra que las pilastras del muro de la epístola son estables. Por último, se comprueba si la iglesia es estable en los planos de máxima deformación de los pilares de la epístola (Imagen 87, 88, 89); en ningún caso la línea de presión se encuentra dentro de los márgenes de seguridad. Por lo que se entiende que la estabilidad de la iglesia es garantizada por el trabajo en las tres dimensiones del sistema.

Se realiza un estudio análogo en la iglesia de *Santa Maria de Vilamòs* y se comprueba que en todas sus secciones realizadas por el punto de máximo asentamiento de la bóveda y por los tres pares de pilares son claramente estables, con lo que se desestima un estudio por los planos de máxima deformación de los pilares (Imagen 80, 84, 85, 86).

Para entender los mecanismos de estabilización de las iglesias se debe atender al ángulo entre muros de la nave y a la masividad de la construcción (tabla 1). Se observa que existe una relación proporcional entre el ángulo de los muros de la nave y la masividad del volumen construido.; a más inclinación, más masa construida. También se observa que las iglesias con mayor inclinación entre muros (2.76 y 5.96), *Sant Pèir de Betlan* y *Santa Eulària d'Unha* no pueden explicar su estabilidad a partir de las líneas de presiones. Santa Maria de Vilamòs, teniendo un ángulo semejante a *Sant Pèir de Betlan* (2. 70º) garantiza su estabilidad a partir de una exagerada masividad de su construcción.

Se observa que los puntos de inflexión de la sección de *Sant Joan d'Arros e Vila* se sitúan a los 39. 81º de forma simétrica; los de *Sant Miquèu de Vilamòs*, se sitúan a los 38. 25º;

³²³ AROCA (2001). Introducción a la Elasticidad. *Cuadernos del Instituto Juan de Herra*, vol. 1-16-11.

los de *Sant Pèir de Betlan* a los 35. 28º; los de la nave central de *Santa Eulària d'Unha* se sitúa a los 44. 81º y los de la iglesia de *Santa Maria de Vilamòs* se sitúan a los 41.37º. Todos los casos mencionados estan dentro de los márgenes mencionados por Mery³²⁴ (28-59º), o Philippe Block (36-90º)³²⁵. Los de Sant Roc de Begòs se sitúan en las impostas porque es apuntada.

³²⁴ HUERTA, S. (2008). The Analysis of Masonry Architecture: A Historical Approach. *Architectural Science Review*, Vol. 51, Issue 4.

³²⁵ BLOCK, P., THIERRY C., OCHSENDORF, J., (2006). Real-Time Limit Analysis of Vaulted Masonry Buildings. *Computers and Structures* 84: 1841–52.

7. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE FUTURO

La mirada arquitectónica desde la que se han estudiado las edificaciones del primer románico arañés incide tanto en el reconocimiento de una arquitectura característica como en una mirada constructiva.

La técnica del escaner laser permite realizar un levantamiento sin precedentes en un tiempo récord, escaneandose 43 iglesias en menos de 50 días. De hecho la dilatación en el tiempo de una campaña de escaneo se vuelve un problema por las variaciones lumínicas. Se detectan problemás en la colorimetría de los puntos, precisamente por el tiempo de escaneo. No se detectan problemás en el reconocimiento de la nube de puntos.

La lectura de la nube de puntos nos ofrece unas planimetrías muy cercanas a la realidad permitiendo hacer una lectura rápida. Sin embargo es necesario realizar un redibujado para la correcta explicación de sus elementos característicos, en este caso los datos colorimétricos han sido de vital importancia para la texturización de los volúmenes.

La nube de puntos nos permite realizar estudios que de otra forma no podríamos realizar, podemos medir con exactitud las bóvedas y detectar puntos de inflexión a partir de las que se deduce las diferentes fases constructivas como es el caso de Sant Roc de Begòs y Sant Joan d'Arros e Vila (puede observarse en el apartado 5.2 Definición volumétrica de las edificaciones).

El análisis de edificios a partir de la nube de puntos, puede desarrollarse en 2D, pero ofrece más información si el estudio se realiza en 3D, siendo el caso de esta tesis donde se han realizado estudios en base a información 3D, acompañados del 2D. Se comprueba así que, la técnica usada, así como la aplicación en los edificios propuestos, es altamente fructífera. Debe matizarse que aquellos edificios que han sufrido menos reformas volumétricas nos dan unos resultados más fiables. Aquellos edificios más alterados dan buenos resultados pero de un edificio que deberíamos cuestionar su pertenencia al románico.

El estudio realizado a las bóvedas se presenta como óptimo. Se detecta que las iglesias con bóvedas rebajadas son: Sant Miquèu de Betlan y *Santa Eulària d'Unha*; tienen bóveda de cañón las iglesias: *Santa Maria de Vilamòs* y *Sant Pèir de Betlan*; y es peraltada la de *Sant Joan d'Arros e Vila*. Las iglesias de *Sant Roc de Begòs* y *Sant Miquèu de Vilamòs*, fueron construidas apuntadas. Todas las bóvedas fueron construidas de forma continua, al estilo romano con los fajones vistos y en todos los casos presenta una gran deformabilidad al admitir en sus bóvedas formas funiculares y antifuniculares. En este

caso se comprueba que los estudios 3D y 2D son complementarios. El estudio ha permitido identificar formás funiculares en las bóvedas con gran precisión. La falta de rigidez de la fàbrica provoca que principalmente en las zonas centrales de la Iglesia, las bóvedas presenten una geometría similar a la de un cable colgando, debido a la diferencia de rigidez entre los arcos de ressalto y el resto de la bóveda, con un grossor inferior.

El estudio de los pilares nos ayuda a dar una explicación a su tamaño, el area de estos, mantiene una relación proporcional a la tensión que deben soportar y el diametro de su planta es la base para la proporcionalidad de las iglesias. La visión de trabajo por pares de columnas, no se cumple en las iglesias estudiadas ya que existen notables diferencias entre las formás de los desplomes del evangelio y de la epístola. La forma del desplome responde a un movimiento lineal de desplazamiento de hiladas, que indirectamente nos habla de la baja calidad del mortero.

Del estudio de los muros se concluye que, estos, estan contruidos a partir de fabrica muy bien trabada en su interior ya que el movimiento en el paramento exterior es analogo al del paramento interior. Sobre el estudio de la estabilidad de la edificación se observa que las iglesias de Santa Eulària d'Unha y Sant Pèir de Betlan estan en situación de inestabilidad según los principios del analisis límite. Al igual que pasaba en los pilares, la forma del desplome responde a un movimiento lineal de desplazamiento de hiladas. Es necesario observar que los muros y pilares tienen una gran deformabilidad y esto les confiere mayor estabilidad.

Al respecto del estudio de las impostas nos encontramos en que la parte más desplomada son los muros de la nave. En las iglesias con bóvedas el punto más desplomado esta en el vano central. En las iglesias con cercha este punto acostumbra a ubicarse en una esquina. También se detecta que la fachada más desplomada siempre es aquella que se construye sobre un terraplenado, afirmandose los problemás de cimentación que planteaba Bassegoda Nonell. Los ábsides se desploman sistematicamente en la boca hacia su exterior y en el eje hacia el interior. Por último el plano de maxima deformación de los pilares en pocas ocasiones es en sentido longitudinal o transversal, en su mayoría se trata de desplomes en sentido tangencial.

El analisis de la estereotomía permite asociar al principio del primer románico las construcciones con muros de la nave concurrentes y al final del primer románico las iglesias con muros paralelos.

Uno de los estudios que dan apoyo a la clara diferenciación entre estos dos estilos es el de la línea de presión. Se detecta que las iglesias de muros convergentes de *Santa Eulària d'Unha* y *Sant Pèir de Betlan* no pueden ser explicadas bajo los cálculos de estabilidad. Y la iglesia de *Santa Maria de Vilamòs* (de muros convergentes) garantiza su estabilidad con una gran másividad en su construcción.

Estos datos, más los ya comentados al respecto del exceso de inclinación de los muros de las naves de *Santa Eulària d'Unha* y *Sant Pèir de Betlan* nos invitan a realizar estudios de Elementos Finitos de estas dos iglesias en futuras investigaciones, con el objetivo de entender mejor la distribución de esfuerzos internos. Unos de los principales problemás de los cálculos de elementos finitos radican en la simplificación del objeto, se considera que la presente tesis da suficientes pautas para ello. Por lo que las propuestas de futuro pasaran por los cálculos en 3D de las iglesias mencionadas. Debe considerarse también, la globalidad del románico donde se sistematice los estudios realizados con el objetivo de

obtener una visión global de la construcción en el románico, así como iniciar estudios de ámbito geométrico de todo el románico.

Debe evaluarse la presente tesis desde la búsqueda de nuevos métodos de estudio a partir de nubes de puntos, mirada que se vuelve necesaria en estas construcciones, erróneamente valoradas como construcciones menores. La detección de dos sistemas arquitectónicos demuestra la importancia de esta región dentro de la evolución del románico. Demuestra también la riqueza de recursos constructivos usados.

8. BIBLIOGRAFIA

8.1. PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO

(1994) CONFERENCIA NARA. Documento de Nara sobre Autenticidad. *UNESCO, ICCROM e ICOMOS Nara*. Japón.

12ª ASAMBLEA GENERAL, (1999). Carta del Patrimonio vernaculo construido. *ICOMOS, International Council on Monuments and sites*. Mexico.

Conferencia Internacional sobre Conservación (2000). *Carta de Cracovia: "Patrimonio Cultural como fundamento del Desarrollo de la Civilización"*

14ª ASAMBLEA GENERAL (2003). Principios para el analisis, conservación y restauración de las estructuras del Patrimonio Arquitectónico. *ICOMOS International Council on Monuments and sites*. Victoria Falls (Zimbabwe).

CONSEJO DE EUROPA (2000). *Convenio europeo del paisaje*. Florencia.

8.2. EL ROMÁNICO

A.A. V.V. (1984-1998). Solsonés, Val d'Aran. *En Catalunya romanica*. Barcelona: Fundació Enciclopedia Catalana Vol. XIII.

ADELL I GISBERT, J. (2005). L'aparició Dels Magistri Comacini a Catalunya, Aspectes Tecnològics i d'organització. *Els Comacini I L'arquitectura Romanica a Catalunya; Simposi Internacional*. Girona-Barcelona: Universitat de Girona- Museu Nacional d'Art de Catalunya.

AINAUD DE LASARTE, J.M. (1994). El romànic en l'àmbit català. L'arquitectura religiosa. *Introducció a l'estudi de l'art romànic Català. Fons d'art romànic Català del Museu Nacional d'Art de Catalunya*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana.

ALCOLEA, S. (2008). *La missió arqueologica del 1907 als Pirineus*, Barcelona: Fundació La Caixa.

ALVAREZ, J.I.; MARTÍN, A.; GARCÍA, P.J. (1995). Historia de los morteros. *Patrimonio Histórico*. Sevilla: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Año 3. Núm 13.

ARMI, E. (1975). Orders and Continuous Orders in Romanesque Architecture. *Journal of the Society of Architectural Historians*. California: University of California Press. Vol. XXXIV. núm 3,

- BASSEGODA MUSTÉ, B. (1944). Racionalismo a ultranza en la arquitectura ojival. *Separata Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*. Barcelona: Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. Tercera época, Núm. 504, Vol. XXVII, Núm. 4.
- 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*. Barcelona: Catedra Gaudí (UPC). Vol. II.
- BASSEGODA NONELL, J. (1977). Bóvedas medievales a la romana. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*. Barcelona: Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. Tercera época, Núm. 782, Vol. XLIII, Núm. 8.
- BOYA E BUSQUETS, J. M. (2008). *Memoria d'Aran: un vol panoramíic suber era istoria aranesa. En Aran Clavis Regni. Era defensa d'un país*. Vielha: Conselh Generau d'Aran.
- CHOISY, A. (1899). *Histoire de L'architecture*. Paris: Gauthier-Villars imprimeur-libraire. Tomo II.
- CONANT, K.J. (2001). *Arquitectura Carolingia Y Románica, 800-1200*. Madrid: Manuales Arte Catedra.
- DE PALOL, P.; LORÉS, I. (1999). L'arquitectura abans del Romànic. *Del Romà al Romànic. Historia, art i cultura de la Tarraconense Mediterrània entre els segles IV i X*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana,
- DOMENECH I MONTANER, L. (1886). *Historia General Del Arte*. Barcelona: Montaner y Simon Editores.
- DURLIAT, M.; ALLÈGRE, V. (1969). Pyrénées Romanes. *Bolletín Monumental* (traducción inglesa de M. De Fontaney). La Pierre-qui-Vire: Zodiaque.
- ERLANDE-BRANDENBURG, A. (1972). Chapelles Pre-romanes à choeur quadrangulaire du département de l'Hérault, *Bolletín Monumental* La Pierre-qui-Vire: Zodiaque.
- ESPAÑOL, F. (2011). El Pirineu desvetllat: Viatges i descoberta del patrimoni medieval. *Annals del Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès*. Ripoll: Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès
- ESTEBAN LORENTE, J. F. (2007). La Metrología y sus consecuencias en los edificios de La Alta Edad Media Española III. El Primer Románico En España. *Artigrama: Revista del Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Zaragoza*. Zaragoza: Departamento de Historia de Arte; Prensas Universitarias de Zaragoza. Vol. 22.
- 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.
- GARLAND, E.; ROS, E. (2003). Eglise romane sainte-marie de cap d'aran dnas l'ancien diocese de cominges. *Mémoires de la Société Archéologique du Midi de la France*. Toulouse: Société Archéologique du Midi de la France. t. LXIII,
- GARLAND, E., ROS E. (2010). *A prepaus dera Gleisa de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs dera antica diocèsi de Comenge. Miscellanèa en aumenatge a Melquíades Calzado de Castro "Damb eth cor Aranés"*. Arros: Institut d'Estudis Aranesi Casa deth Senhor.

- GRANELL, E.; RAMON, A. (2006). *Lluís Domènech i Muntaner: viatges per l'arquitectura romànica*, Barcelona: Col·legi d'Arquitectes de Catalunya.
- GRODECKI, L.; MÜTHERICH, F.; TARALON, J.; WORMALD, F. (1973). *Le siècle de l'an mil*. Paris: Gallimard. Vol. 20, No. 77.
- GRODECKI, L.; MÜTHERICH, F.; TARALON, J.; WORMALD, F. (1973). *Le siècle de l'an mil*. Paris: Gallimard. Vol. 20, No. 77.
- GRODECKI, L. (1986). *Le Moyen Age Retrouvé: de l'an mil a l'an 1200*. Paris: Flammarion.
- GUÉROULT LAVALLÉE, J. (1847). *Espagne. L'Univers. Histoire et Description de Tous Les Peuples*. Paris: Firmin Didot.
- HEREU, P. (1990) *Elies Rogent I Amat, Memories, Viatges I Lliçons*, Barcelona: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona.
- HURTADO-VALDEZ P. A., (2008). *Auguste Choisy: El dibujo de las cimbras románicas y góticas*. Monografías de la Universidad Politécnica de Madrid.
- LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2016). *Glèises en Encurnanclinc de voutes Esgarramingades. Resultats de recerca i treballs dels alumnes de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura Universitat Rovira i Virgili*. Tarragona: Imprenta Virgili. ISSN: 978-84-608-9709-5
- LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2016). *Tranhntem Lapidem MMXVI. Treball dels alumnes de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura Universitat Rovira i Virgili*. Reus: Grupo de Investigación PATRIARCH. ISSN: 978-84-608-6899-6
- MALMSTROM, R.E. (1975) *The Colonnades of High Medieval Churches at Rome*. Chicago: The University of Chicago Press on behalf of the International Center of Medieval Art. Vol. 14, No. 2.
- MANUEL DE MONER, J. (1891) Val d'Aran. *Album Històric, Pintoresch Y Monumental de Lleyda Y Sa Provincia*. Barcelona: Estampa de Joseph Sol Torrens (Impremta).
- MICHEL, A. (1970). Homology of Simplicial Objects. Applications of categorical algebra. *Proceedings of symposia in pure mathematics*. New York: Cornell University. Vol. 17.
- MONTEIRO-GENIN S., (2001). The nave vault of the Hieronymites Monastery Church in Lisbon. *In Historical constructions*. Guimeraes: Lourenço P. B., Roca P. Editores.
- MUIR WHITECHILL, W. (1973). *L'art romanic a Catalunya segle XI* (traducció de Josep Vallverdú). Barcelona: Edicions 62.
- MUSSAT, A.; GRODECKI, L. (1987). Le Moyen Age retrouvé, de l'an mil à 1200. *Bulletin Monumental*. Paris: Flammarion, tome 145, n°1
- PAGÈS I PARETAS, M. (2010). Es pintures romàniques de Santa Maria de Cap d'Aran. *En Miscellanèa en aumenatge a Melquiades Calzado de Castro "Damb eth cor Aranès"*. Arros: Institut d'Estudis Aranesi Casa deth Senhor.
- PLADEVALL, J.; VIGUÉ, F. (1985) *Catalunya romànica*. Barcelona: Grup Enciclopèdia Catalana. Vol. 13.
- 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

arqueològiques, *Cicle de conferències patrimoni arqueològic i arquitectònic a les Terres de Lleida*. Lleida: Departament de Cultura i Mitjans de Comunicació.

PUIG I CADAVALCH, J. (1901). *Historia General del Arte. Escrita y editada en vista de los monumentos y de las mejores obras publicadas hasta el día*, Barcelona: Montaner i Simon Editores, Tomo II.

PUIG I CADAVALCH, J. (1907). Les esglésies romàniques ab cobertes de fusta de les Valls de Bohí i d'Aran. *Anuari de l'Institut d'Estudis Catalans*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.

PUIG I CADAVALCH, J. (1918). *L'arquitectura romànica a Catalunya*, Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, Vol. 64.

PUIG I CADAVALCH, J. (1920). *L'arquitectura Romànica a Catalunya*, Barcelona: Ricard Duran i Alsina. Vol. XXXIII.

PUIG I CADAVALCH, J.; FALGUERA, A.; GODAY I CASALS, J. (1983). *L'Arquitectura romànica a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans: Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya.

ROCAFORT, C. (1918) *Geografia General de Catalunya, Província de Lleyda*. Barcelona: Establiment Editorial de Albert Martin.

ROGENT, E. (1857). *Cuadro de la arquitectura cristiana de nuestro Principado y de la aurora de su renacimiento en la segunda mitad del presente siglo. (Discurs pronunciat a l'acta de la sessió pública cel·lebrada per l'acadèmia de Belles Arts de la Província de Barcelona)*

ROS BARBOSA, E. (2007). *Er Art Romanic dera Val d'Aran*. Vielha: Conselh Generau d'Aran.

ROS BARBOSA, E. (2011). Coneixement del patrimoni artístic aranès a través de fotografies i documents dels primers turistes. *Annals del Centre d'Estudis del Ripollès*. Ripoll: Centre d'Estudis del Ripollès. IBIX 7.

ROS BARBOSA, E. (2012). Ua uelhada ath passat des nostes glèises. *Terra Aranesa*, liau Epoca. Núm. 11.

ROS BARBOSA, E. (2012). Coneixement del patrimoni artístic aranès a través de fotografies i documents dels primers turistes, *Annals del Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès*. Ripoll: Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès.

ROS BARBOSA, E. (2015). The movable and immovable heritage of the Aran Valley and its management. *Proceedings of the Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIV*. Spain: C.A. Brebbia, Wessex Institute of Technology, UK and S. Hernandez, University of A Coruña Vol. 8.

SÀEZ-ARAGONÈS, G., (1976). Primera fase del proyecto de restauración de la Iglesia de Santa Maria de Arties en el Val d'Aran (Lérida), *Cuadernos de Arquitectura y Urbanismo*. Núm. 116.

SARRATE FORGA, J. (1973). *La Provincia de Lerida, Extremo Sur-Occidental Del Area de Expansión Del Arte Lombardo*. Lérida: Editorial Marlana.

SARRATE FORGA, J. (1974). *El arte románico en el Cap d'aran*. Lérida: José Sarrate Forga.

- SARRATE FORGA, J. (1975). *El arte románico en el Mig Aran*, Lérida: José Sarrate Forga.
- SARRATE FORGA, J. (1976). *El arte románico en el Baix Aran*. Lérida : José Sarrate Forga.
- SCHAPIRO, M. (1977). *Estudios Sobre El Románico*. Madrid: Alianza Editorial.
- SERRANO, D., (1991) 'Dos Fatuas Sobre La Expulsión de Mozarabes Al Magreb en 1126'. *Anaquel de Estudios Árabes*, Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Vol. 2.
- SOLER I SANTALÓ J. (1906). *La Val d'Aran*, Barcelona: Centre Excursionista de Catalunya (report. Tremp Garsineu, 1998).
- SPRIGNA, I. (2010) *Los Repertorios Decorativos En La Escultura Medieval: El Ajedrezado Como Instrumento Para La Definición de Una Geografía Artística En El Marco Del Románico Europeo*. (Tesis Doctoral). Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament d'Historia de l'Art.
- TORRES BALBAS, L., (1934). El Arte de La Alta Edad Media y del periodo románico en España. *Arte de la Alta Edad Media*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Madrid.
- TORRES BALBAS, L. (1946). Bóvedas romanas sobre arcos de resalto, *Archivo Español de Arqueología*. Madrid: Centro Superior Investigación Científicas.
- TORROJA MIRET, E. (1960). *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones científicas.
- TRUCHIS, P. (1921). L'architecture de La Bourgogne Française Sous Robert Le Pieux (988-1031) *Bulletin Monumental*. Francia: Société Française d'Archéologie. T.LXXX.
- VERGNOLLE, É. (1998). La Colonne À L'époque Romane. Réminiscences et Nouveautés. *Cahiers de Civilization Médiéval*. Vol. 41.
- VILLANUEVA, J.L. (1974). Las Bóvedas de Cañon. *De Re Restauratoria*. Barcelona: Catedra Gaudi. UPB. Vol. 2.
- VIOLLET LE DUC, E. (1972). *Voyage Aux Pyrénées: 1833*. Lourdes: Les Amis Du Musée Pyrénéen.
- VIOLLET LE DUC, E. (1854-1868). *Dictionnaire de l'architecture française du XI au XVI siècle*. Paris: Published B. Bance
- YARZA, J. (2004). *Arte Y Arquitectura En España (500-1250)*, Madrid: Manuales Arte Catedra.

8.3.MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO

- AGNELLO, F.; LO BRUTTO, M.; LO MEO, G. (2005). DSM and digital Orthophoto in cultural heritage documentation. *Proceedings of CIPA XXth International Symposium*. Torino, Italy: ACTA Conferences and Events.
- AL-KHEDER, S., AL-SHAWABKEH, Y., & HAALA, N. (2009). Developing a documentation system for desert palaces in Jordan using 3D laser scanning and digital photogrammetry. *Journal of Archaeological Science*. Vol. 36(2).
- ARAYICI, Y. (2007). An approach for real world data modelling with the 3d Terrestrial laser Scanner for built environment, *Automation in Construction*. United Kingdom. Vol. 16.

BENOUVILLE, L. (1891-1892). Étude sur la cathédrale de Beauvais. *Encyclopédie d'Architecture*. Vol. 4.

BERNARDINI, F.; RUSHMEIER, H. (2002). *The 3D model acquisition pipeline, Computer Graphics*. The Eurographics Association and John Wiley & Sons Ltd. Vol. 21.

BERTACCHINI, E.; BONI, E.; CAPRA, A.; CASIAGNETTI, C.; DUBBINI, M. (2010). Terrestrial laser scanner for surveying and monitoring middle age towers. *FIG Congress 2010, Facing the Challenges-Building the Capacity*. Sydney Australia.

BONORA, V., COLOMBO, L., MARANA, B., MATTIOLI, V. (2005). Laser technology for cross-section survey in ancient buildings: a study for S.M. Maggiore in Bergamo. *Proceedings of the CIPA 2005*. Torino (Italy).

BRUNO, N.; COÏSSON, E.; COTTI M. (2017). Laser-Scanner survey of structural disorders: an instrument to inspect the history of Parma Cathedral's central nave. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Florence. Volume XLII-5/W1.

BUCKSCH, A.; LINDENBERGH, R. (2008). *Skeletonization method for point cloud processing, Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Núm. 63 Published by Elsevier B.V.

CARDACI A., GALLINA D., VERSACI A., (2013). Laser scanner 3D per lo studio e la catalogazione dell'archeologia medievale: La Chiesa di Santa Croce in Bergamo. *Archeologia e Calcolatori num 24*.

CAROTI G.; DE FALCO A., (2003). Geometric survey for the structural assessment of the architectural heritage: the case of the cupola of the baptistery of S. Giovanni e riparata in Lucca. *The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXIV, Part 5/W12.

GARCIA-GOMEZ I.; FERNANDEZ DE GOROSTIA LÓPEZ DE VIÑASPRE M.; MESANZA MORAZA A. (2011). Laser escaner y nubes de puntos. Un horizonte aplicado al análisis arqueológico de edificios. *Arqueología de la Arquitectura*.

HADDAD, N.A. (2011). From ground surveying to 3D laser scanner: A view of techniques used for spatial documentation of historic sites, *Journal of King Saud University*, Vol. 23.

KADOBAYASHI, R.; KOCHI, N., OTANI, H.; FURUKAWA, R. (2004). Comparison and evaluation of laser scanning and photogrammetry and their combined use for digital recording of cultural heritage. *International Archives of Photogrammetry*.

LERONES, P. M.; FERNANDEZ, J. L.; GIL, A. M.; GÓMEZ-GARCÍA-BERMEJO, J.; CASANOVA, E. Z. (2010). A practical approach to making accurate 3D layouts of interesting cultural heritage sites through digital models, *Journal of Cultural Heritage*. Vol. 11, Issue. 1.

LEVOY, M., PULLI, K., CURLESS, B., RUSINKIEWICZ, S., KOLLER, D., PEREIRA, L., GINZTON, M., ANDERSON, S., DAVIS, J., GINSBERG, J., SHADE, J., AND FULK, D. (2000). The Digital Michelangelo Project: 3-D Scanning of Large Statues. *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. Pp. 131-144.

LEZZERINI, M.; ANTONELLI, F.; COLUMBU, S.; GADDUCCI, R.; MARRADI, A.; MIRIELLO, D.; PARODI, L.; SECCHIARI L.; LAZZERI A. (2016). Cultural Heritage Documentation and

Conservation: Three-Dimensional (3D) Laser Scanning and Geographical Information System (GIS) Techniques for Thematic Mapping of Facade Stonework of St. Nicholas Church (Pisa, Italy), *International Journal of Architectural Heritage*, 10:1, 9-19, DOI: 10.1080/15583058.2014.924605.

MAÑANA-BORRAZAS P.; RODRIGUEZ-PAZ A.; BLANCO-ROTEA R. (2008). Una experiencia en la aplicación del Laser Escaner 3D a los pROcesos de documentación y análisis del Patrimonio Construido: su aplicación a Santa Eulària de Bóveda (Lugo) y San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela). *Arqueologia de la Arquitectura*, 5.

MCCARTHY, J. (2014). Multi-image photogrammetry as a practical tool for cultural heritage survey and community engagement. *Journal of Archaeological Science*. Vol. 43(1). pp. 175–185.

PAVLIDIS, G.; KOUTSOUDIS, A.; FOTIS, A.; VASSIOLIS, T.; CHRISTODOULOS, C., (2007). Methods for 3D digitization of Cultural Heritage, *Journal of Cultural Heritage*. Vol. 8, no. 1. pp. 93-98.

PELLEGRINELLI, A.; FURINI, A.; RUSSO, P.; (2014). Earthquakes and ancient leaning towers: Geodating monitoring of the bell tower of San Benedetto Church in Ferrara (Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 15.

QUAGLIARINI, E.; CLINI, P.; RIPANTI, M. (2016). Fast, low cost and safe methodology for the assessment of the state of conservation of historical buildings from 3D laser scanning: The case study of Santa Maria in Portonovo (Italy). *Journal of Cultural Heritage*.

QUATTRINI, R.; MALINVERNI, E. S.; CLINI, P.; NESPECA, R.; ORLIETTI, E. (2015). From TLS to HBIM. High quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture. *The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Avila Spain. Volume XL-5/W4.

REMONDINO, F. (2003). From point cloud to Surface the modelling and visualization problem, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34.

REMONDINO, F.; EL-HAKIM, S.; GONZO, L.; (2009). 3D-ARCH 2009:3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures. *PROceeding of the 3rd ISPRS International Workshop*.

RIVEIRO, B. (2011). *Terrestrial laser scanning and limit analysis of masonry arch bridges*, *Construction and Buildings Materials*, Vol. 25, pp. 1727-1728.

RIVEIRO, B.; MORER, P.; ARIAS, P.; ARTEAGA, I., (2010). Terrestrial laser scanning and limit analysis of masonry arch bridges, *Construction and buildings materials*. Vol. 25, Issue: 4.

RODRIGO-GONZALEZ, P.; GONZALES-AGUILERA, D.; GÓMEZ-LAHOZ, J. (2007). From cloud to surface: modeling structures in Laser scanner point cloud. *Workshop on Laser Scanning and Silver Laser*. Finland.

RÜTHER, H.; MTALO, G.; MNGUMI, E. (2003). 3D modelling of heritage sites in Africa. A case study in the world heritage site of Kilwa Kisiwani, Tanzania. *PROceedings CIPA XIXth International Symposium*, Antalya, Turkey, pp. 175-180.

SANTANA, M.; VAN GENECHTEN, B.; DE BRUYNE, M.; POELMAN, R.; HANKAR, M.; BARNES, S.; CANER, H.; BUDIÉL, L.; HEINE, E.; REINER, H.; LERMA, J.L.; BIOSCA, J.M. (2008).

3D Risk Mapping. Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning. Training Material Based on Practical Applications. Europe: Flemish Agency of the European Leonardo Da Vinci programme.

SORIA-MEDINA, A.; MARTINEZ, J.; ARIAS, P.; BUFFARA-ANTUNES, A. Z. (2013). Three-dimensional modeling of the Romanesque church of Santa Maria de Castrelos (Vigo-Spain) using terrestrial Laser Scanner. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and spatial information Sciences*. Vol. XL-5/W2,2013 XXIV Straesbourg, France: International CIPA Symposium.

VAN GENECHTEN, B.; SANTANA QUITERO, M.; SCHUEREMANS, L. (2008). The use of 3D-Scanning for the structural analysis of masonry vaults-a case study on the Saint James Church. *Conference on Virtual Systems and Multimedia Dedicated to Digital Heritage*.

ZALAMA, E.; GÓMEZ, J.; LLAMÁS, 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*. ISSN: 1093-9687. Vol 26. pp. 381-392. Wiley Blackwell.

WESTOBY, M. J.; BRASINGTON, J.; GLASSER, N. F.; HAMBREY, M. J.; REYNOLDS, J. M., (2012). Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*. Vol. 179. pp. 300–314.

8.4.OBRA DE FABRICA Y MECANICA DE FABRICA.

AROCA (2001). Introducción a la Elasticidad. Cuadernos del Instituto Juan de Herra, vol. 1.

BENITO, M. A. (2011). *La Catedral de Avila: Evolución constructiva y analisis estructural*. PhD thesis. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.

BLOCK P., (2003). *Equilibrium systems. Studies in Masonry Structure*(Submitted to the Department of Architecture in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Máster of Science in Architecture Studies at the Mássachusetts Institute of Technology). Mássachussetts: Mássachussetts Institute of Technology.

BLOCK P., OCHSENDORF J. (2007). Thrust Network Analysis: A New Methodology for Three-Dimensional Equilibrium. *Journal of the International Association of Shelland Spatial Structures* 48.

BLOCK, P., THIERRY C., OCHSENDORF, J., (2006). Real-Time Limit Analysis of Vaulted Masonry Buildings. *Computers and Structures*. Vol 84.

BONALI, E.; PESCI, A.; CASULA, G.; BOSCHI, E. (2014). Deformation of ancient buildings inferred by terrestrial laser scanning methodology: The cantalovo church case study (Northern Italy). *Archaeometry*. Vol. 56(4).

BOOTHBY, THOMÁS E. (2001). Analysis of Masonry Arches and Vaults. *Progress in Structural Engineering and Materials* 3. 246–56. doi:10.1002/pse.84.

CHARLTON, T.M. (1982). *A History of Theory of Structures on the Nineteenth Century*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

- CHOISY, A. (1873). *L'Art de Batir chez les Romains*. Paris: Ducher et Cie.
- CHOISY, A. (1883). *L'Art de Batir chez les Byzantins*. Paris: Libraries de la Société Anonyme de Publications Périodiques.
- CHOISY, A. (1904). *L'Art de Batir chez les Égyptiens*. Paris: Édouard Rouveyre, Éditeur.
- COLL PLA, S.; LLUIS I GINOVRT, J.; COSTA JOVER, A.; SAMPER SOSA, A. (2016). Large deformations in the Romanesque churches of Val d'Aran (XII-XIII). *Proceedings of 5th International Conference on Heritage and Sustainable Development*. Vol. 2. HERITAGE 2016. pp 1249-1256. ISBN: 978-989-8734-15-0
- COSTA-JOVER, A.; LLUIS I GINOVRT, J; FORTUNY-ANGUERA, G.; COLL-PLA, S. (2014). Large deformations on a XII Century Romanic church at Val d'Aran (Spain). *9th International Masonry Conference 2014 in Guimarães. Book of abstracts*. Page 221. ISBN 978- 972- 8692- 85-8.
- COSTA, A.; FORTUNY, G.; FABREGAT, J.; ROYO, A. (2015). FEM assessments on roofing constructive solutions applied to a twelfth century Romanesque church at Val d'Aran (Spain). *Stremah 2015. Proceedings of the Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIV*. Section 8. Pp. 457-468. ISBN: 978-1-84564-968-5.
- COSTA JOVER, A.; LLUIS I GINOVRT, J.; COLL PLA, S. (2017). Limit Analysis and the Study of Building Stages in Masonry Structures. Experiences with the Gothic Apse of Tortosa Cathedral (1345–1441). *International Journal of Architectural Heritage*, January 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/15583058.2016.1246625>.
- COULOMB, C.A. (1773). Essai sur une application de maximis et minimis a quelques problemes de statique, relatifs a l'Architecture. *Mémoires fe Mathématique et de Physique, Présentés à l'Academie des Sciences par divers Savans*. Tome VII.
- CROCI, G. (1995). *The Colosseum: safety evaluation and preliminary criteria of intervention. Structural Analysis of Historical Constructions*, Barcelona.
- CUNDALL, P. A.; STRECK, O.D. (1979). A discrete numerical model for granular assemblies. *Geotechniques*, Vol. 29, Issue 1.
- CUNDALL, P.A.; HART, R.D. (1992). Numerical modelling of discontinue. *Engineering computations*, Vol. 9, Issue 2.
- DE LA HIRE, P. (1695). *Traite de mecanique de la Hire*. Paris: L'imprimerie royale.
- DE LA HIRE, P. (1712). *Sur la construction de voutes dans les edifices*. Paris: (L'imprimer).
- FASSI, F.; ACHILLE, C.; FREGONESE, L., (2011). Surveying and modelling the main spire of Milan Cathedral using multiple data sources. *The Photogrammetric Record*. Vol 26(136). pp. 462–487.
- FRATERNALI, F. (2010). "A Thrust Network Approach to the Equilibrium Problem of Unreinforced Masonry Vaults via Polyhedral Stress Functions." *Mechanics Research Communications*. Vol. 37.
- FOREST DE BELIDOR, B. (1725). *Nouveau cours de Mathématique à l'usage de l'Artillerie et du Génie, où l'on applique les parties les plus utiles de cette science à la théorie et à la pratique de différents sujets qui peuvent avoir rapport à la guerre*. Paris: Chez Charles-Antoine Jombert.

- GREGORY, D. (1676). Catenaria. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Núm. 19.
- HEYMAN, J. (1966). The Stone Skeleton. *International Journal of Solids and Structures*. Great Britain: Pergamon Press Ltd. Vol. 2.
- HEYMAN, J. (1995). *The Stone Skeleton: Structural Engineering of Masonry Architecture*. Cambridge: Cambridge University Press.
- HEYMAN, J. (1999). *El esqueleto de piedra*. Madrid: Instituto Juan de Herrera. (Traducción íntegra de la edición original: Heyman, J. (1995). *The Stone Skeleton*). Cambridge: Cambridge University Press.
- HEYMAN, J. (2003). Wren, Hooke and Partners. *Proceedings of the First International Congress on Construction History*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- HOOKE, R. (1676). A description of helioscopes, and some other instruments, London.
- HUERTA, S. (1996). *Informe sobre la estabilidad de la Iglesia de Guimarei*. Madrid: Departamento de Estructuras de Edificación (Escuela Técnica Superior de Arquitectura).
- HUERTA, S. (2004). Arcos, Bóvedas Y Cúpulas. Geometría Y Equilibrio En El Cálculo Tradicional de Estructuras de Fabrica. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- HUERTA, S. (2005). Mecanica de Las Bóvedas de Fabrica: El Enfoque Del Equilibrio. *Informás de La Construcción* Vol. 56, Núm. 73–89. doi: gcen. 1994.1172.
- HUERTA, S. (2008). The Analysis of Masonry Architecture: A Historical Approach. *Architectural Science Review*, Vol. 51, Issue 4.
- HUERTA S.; LÓPEZ G., (1997). Stability and consolidation of an ashlar barrel vault with great deformations: the church of Guimerei. *Transactions on the Built Environment*. Vol 26. ISSN 1743-3509.
- KURRER, K. E. (2008). *The history of the Theory of Structures: From Arch Analysis to Computational Mechanics*. Berlin: Ernst and Sohn.
- LANCASTER, L. (2005). *Concrete vaulted construction in Imperial Rome: innovations in context*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LOTFI, H.R., SHING, P.B. (1994). Interface model applied to fracture of masonry structures. *Journal of Structural Engineering – ASCE*, Vol. 120, Issue 1.
- LOURENÇO, P.B. (1996) *Computational strategies for masonry structures*. PhD Thesis. Delft: Delft University of Technology.
- LOURENÇO, P.B.; ROTS, J.G. (1997). A multi-surface interface model for the analysis of masonry structures. *Journal of Engineering Mechanics- ASCE*, Vol. 123, Issue 7, pp. 660–668.
- LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; FORTUNY ANGUERA, G.; DE SOLÀ MORALES SERRA, P.; TOLDRÀ DOMINGO, J.M. (2013). PRoceso de rotura de una cúpula oval en la catedral de Tortosa. Analisis el mecanismo de colapso. *Informás de la Construcción*. Vol. 65 532, octubre-diciembre 2013.
- LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2014). La reconstrucción de un palimpsesto románico mediante técnicas no destructivas, *Informás de la construcción*, vol 66, 536, eo45.

LLUIS I GINOVART, J.; COSTA-JOVER, A.; PUCHE, JM.; COLL-PLA, S. (2014). Assessment of the construction pRocess of the Cathedral of Tortosa. *Journal of architectural Conservation*, 20:3, Pp. 156-169.

LLUIS I GINOVART, J.; COSTA-JOVER, A.; TOLDRÀ-DOMINGO, JM.; COLL-PLA, S. (2014). Close Range Photogrammetry and Constructive Characterization of MASONRY Gothic Vaults. *Revista de la construcción*, Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile: Escuela de construcción civil (Facultad de ingeniería). Volumen 13, nº 1, Abril 2014.

LLUIS I GINOVART, J.; COLL PLA, S.; LOPEZ PIQUER, M. (2015). MASONRY strain into Vall d'Aràn churches. *PROceedings of the Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIV*. A Coruña: C.A. Brebbia, Wessex Institute of Technology, UK and S. Hernandez, University of A Coruña. Section 8. Pp. 443-455. ISBN: 978-1-84564-968-5.

LLUIS I GINOVART, J.; COLL PLA, S.; LOPEZ PIQUER, M. (2015) MASONRY strain into Vall d'Aràn churches, Stremah 2015. *PROceedings of the Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIV*. Section 8. Pp. 443-455. ISBN: 978-1-84564-968-5.

LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2015). The legacy of the geometry of Dürer: the Fort of San Jorge (c.1724). *FORT. The international journal of fortification and military architecture*. Vol 43, 2015. Pp. 156- 167. ISSN 0261-586X.

LLUIS I GINOVART, J.; COLL PLA, S.; COSTA JOVER, A. (2016). Layout of the Gothic octagonal dome of Tortosa Cathedral. *International Journal of Heritage Architecture; Studies, Repairs and Maintenance*. Vol 1, No 1. Pp. 99-113. ISSN: 2058-833X

LLUIS I GINOVART, J.; COLL PLA, S.; LÓPEZ PIQUER, M. (2016). Las Iglesias romanicas del Val d'Aran y sus secciones anti funiculares. *PROceedings of 6th Euro-American Congress On Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management*. REHABEND. Pp. 386-393. ISBN: 978-84-608-7940-4

LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2016). Glèises en Encurnanclinc de voutes Esgarramingades. *Resultats de recerca i treballs dels alumnes de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura Universitat Rovira i Virgili*. ISSN: 978-84-608-9709-5

LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2016). La determinación del concepto de homogeneidad versus resistencia en los pilares de una catedral gótica mediante técnicas no invasivas. *Informás de la construcción*, Vol 68, No 543, e 155, julio-septiembre 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.119>

LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2016). *Tranhntem Lapidés MMXVI*. Treball dels alumnes de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura Universitat Rovira i Virgili. ISSN: 978-84-608-6899-6.

LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S.; LÓPEZ PIQUER, M. (2016). Layout of Catenary Arches in the Spanish Enlightenment and Modernism. *Nexus Network Journal: Architecture and Mathematics*, October 2016. DOI 10.1007/s00004-016-0313-9.

LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S.; MIRALLES JORI, R. (2016). Mechanics of Eighteenth Century Spanish Military Engineers. *The Project of Gunpowder Magazines*. Fort: The international journal of fortification and military architecture. Vol 44. Pp. 133-158. ISSN: 0261-586X.

LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S.; PUCHE FONTANILLAS, J.M. (2016). Techniques of massive data capture: A comparative approach for the assessment of complex spaces in architectural heritage. *Revista de la Construcción*. (RDLC). Pontificia Universidad Católica de Chile, Vol 15, No 1. Pp. 42-50. ISSN: 0718-915X

LLUIS I GINOVART, J.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S.; LÓPEZ PIQUER, M. (2017). Hooke's Chain Theory and the Construction of Catenary Arches in Spain. *International Journal of Architectural Heritage*. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/15583058.2017.1290851>.

LLUIS I GINOVART, J.; SAMPER, A.; HERRERA, B.; COSTA, A.; COLL, S. (2016). Geometry of the Icosikaidigon in Orvieto Cathedral. *Nexus Network Journal: Architecture and Mathematics*, February 2016, Pp. 1-20 DOI 10.1007/s00004-016-0289-5.

LLUIS I GINOVART, J.; TOLDRÀ, J. M.; COSTA JOVER, A.; COLL PLA, S. (2016). Quaestiones geometriae in the Amphitheatre of Tarragona. *Journal of Cultural Heritage*. Vol 18 March–April 2016, Pp. 333-341. Doi 10.1016/j.culher.2015.09.002

MACCHI, G.; RUGGERI, M.; EUSEBIO, M.; MONCECCHI, M. (1993). Structural assessment of the leaning tower of Pisa. *Structural preservation of the architectural heritage*. Zürich, Switzerland: IABSE

MALMSTROM, R.E. (1975) *The Colonnades of High Medieval Churches at Rome*. Chicago: The University of Chicago Press on behalf of the International Center of Medieval Art. Vol. 14, No. 2

MARTÍNEZ, G.; ROCA, P.; CASELLES, O.; CLAPÉS, J. (2006). Characterization of the dynamic response for the structure of Mallorca Cathedral. *Structural analysis of historical constructions*. New Delhi, India: Lourenço PB, Roca P, Modena C, Agrawal S (eds).

MARTÍNEZ, S.; ORTIZ, J.; GIL, M. L.; & REGO, M. T., (2013). Recording Complex Structures Using Close Range Photogrammetry: The Cathedral of Santiago De Compostela. *The Photogrammetric Record*.¹ FASSI, F.; ACHILLE, C.; FREGONESE, L., (2011). Surveying and modelling the main spire of Milan Cathedral using multiple data sources. *The Photogrammetric Record*. Vol 26(136). pp. 462–487.

MÉRY, E. (1840). Mémoire sur l'équilibre des voûtes en berceau. *Annales des Ponts et Chaussées*, tams. 133–134.

MOSELEY, H. (1833). On a new principle in statics, called the principle of least pressure. *Philosophical Magazine* 3.

MURCIA-DELISO, J.; DAS, A.K.; ROCA, M.; CERVERA, M. (2009). Seismic safety analysis of historical masonry structures using a damage constitutive model. Thematic conference on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering.

NAVIER, C.L.M.H. (1826). *Resumé des Leçons donnés à l'Ecole des Ponts et Chaussés sur l'Application de la Mécanique à l'Etablissement des Constructions et des Machines*. Paris: Firmin Didot.

NÚÑEZ, M. A.; BUILL, F.; REGOT, J.; DE MESA, A. (2012). Levantamiento arquitectónico de la Puerta de Antioquía (Alepo). *Informás de La Construcción*. Vol. 64(528). pp. 487–496.

O'DWYER, D. (1999). Funicular Analysis of Masonry Vaults. *Computers & Structures* 73 (1-5): 187–97. doi: 10.1016/S0045-7949(98)00279-X.

- OCHSENDORF, J. (2002). *Collapse of Masonry Structures*. (PhD thesis). Cambridge University: Department of Engineering,
- OCHENDORF, J.; HERNANDO, J.; HUERTA, S. (2004). Collapse of Masonry Buttresses. *Journal of Architectural Engineering*. Vol. 10, núm. 3.
- 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*. Vol. 13(2). pp. 215–220.
- PLANAT, P. (1887). *Pratique de la mécanique appliquée a la resistance des matériaux*, Paris.
- POLENI, G. (1748). Memorie storiche della gran cupola del Tempio Vaticano. *Stamperia del Seminario*, Padova.
- PONCELET, J.V. (1835). Solution graphique des principales questions sur la stabilité des voûtes. *Mémorial de l'Officier du Génie*, 12, pp. 151-213.
- RANKINE, W.J.M. (1858). *A Manual of Applied Mechanics*. London: Charles Griffin.
- ROCA, P. (1998). Studies of Gaudi's Cripta de la Colonia Güell. *Structural analysis of historical constructions II*. CIMNE, Barcelona.
- ROCA, P.; CERVERA, M.; GARIUP, G.; PELÀ, L. (2010). Structural Analysis of Masonry Historical Constructions. Classical and Advanced Approaches. *Archives of Computational Methods in Engineering*. Vol. XVII, Núm. 3.
- RUBIÓ Y BELLVER, J. (1912). Conferencia acerca de los conceptos organicos, mecanicos y constructivos de la Catedral de Mallorca. *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*.
- SCHEFFLER, H. (1857). *Theorie der Gewölbe, Futtermauern und eisernen Brücken*. Braunschweig: Verlag der Schullbuchhandlung.
- 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*. Vol. 519(PB). pp. 1914–1927.
- STIRLING, J. (1717). *Lineae Tertii Ordinis Neutoniana*, Oxon: Eduardi Whisler.
- STUMPFEL, J.; TCHOU, C.; HAWKINS, T.; DEBEVEC, P.; COHEN, J.; JONES, A.; EMERSON, B. (2003). Assembling the sculptures of the Parthenon. *PROceedings of the SIGGRAPH 2003 Conference on Sketches & Applications: in conjunction with the 30th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. San Diego, California, USA.
- TEZA, G.; PESCI, A. (2013). Geometric characterization of a cylinder-shaped structure from laser scanner data: Development of an analysis tool and its use on a leaning bell tower. *Journal of Cultural Heritage*. Vol. 14(5). pp. 411–423.
- THEODOSSOPOULOS, D.; SINHA, B. (2013). A Review of Analytical Methods in the Current Design Processes and Assessment of Performance of Masonry Structures. *Construction and Building Materials* 41. Elsevier Ltd: 990–1001. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.07.095.

TIMOSHENKO, S.P. (1953). *History of Strength of Materials: With a Brief Account of the History of Theory of Elasticity and Theory of Structures*. New York: McGraw-Hill.

UNGEWITTER, G.G. (1890). *Lehrbuch Der Gotischen Konstruktionen*. III Auflage Neu Bearbeitet von K. Mohrmann (3rd. Ed, 2 Vols.) Leipzig:Weigel Nachfolger.

VERGNOLLE, É. (1996). La pierre de taille dans l'architecture religieuse de la première moitié du XIe siècle. , pp. 229-234.

VERGNOLLE, É. (1998). La Colonne À L'époque Romane. Réminiscences et Nouveautés. Cahiers de Civilisation Médiéval. Vol. 41

VILLANUEVA, J.L. (1974). Las Bóvedas de Cañon. *De Re Restauratoria*. Barcelona: Catedra Gaudi. UPB. Vol. 2.

VITRUVIO, M.L. (2000). Los diez libros de arquitectura. Barcelona: Editorial Iberia. Libro 2.

VIOLLET LE DUC, E. (1996). *La construcción medieval*. Madrid: Inst. Juan de Herrera.

WILLIAMS M. S.; ALBUERNE, A.; LAWSON, V., YIP, F. (2012). Model Scale Shaking Table Test on Masonry Barrel and Cross Vaults. 15 WCEE. Lisboa.

WILLIS, R. (1842). *On the Construction of the Vaults of the Middle Ages, Transactions of the Royal institute of British Architects*. Vol. 1.

WINKLER, E. (1879-80). Die lage der stützlinie im gewölbe. *Deutsche Bauzeitung*, Berlin: Konradin Medien GmbH.

WITTMANN, W. (1879). Zur Theorie der Gewölbe. *Zeitschrift für Bauwesen*. Berlin: Ernst & Sohn. Vol. 29.

9.ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Costa-Jover A. (2015). Àbside central de Santa Eulària d'Unha	17
Imagen 2. Kennetth J. K. Carolingian and Romanesque Architecture 800-1200,	30
Imagen 3 Chapuy , Nicolas Marie Joseph (1790-1858). Couvent de la Mère de Dieu à Vézilles. Vallée d'Aran.....	36
Imagen 4. Viollet-le-Duc, Eugène (1833). Ministère de la Culture (France), Médiathèque de l'architecture et du patrimoine, dist. RMN	37
Imagen 5 Mapa de localización de las iglesias estudiadas	43
Imagen 6. Convenio de dibujos utilizados.....	70
Imagen 7. Localización de las iglesias escaneadas.	73
Imagen 8. localización de las iglesias de la primera campaña	74
Imagen 9. Localización de las iglesias de la segunda campaña.	80
Imagen 10. Localización de las iglesias de las tercera campaña.....	86
Imagen 11. Localización de las iglesias de la cuarta campaña.....	92
Imagen 12. Localización de las iglesias de la quinta campaña.....	99
Imagen 13. localización de las iglesias de la sexta campaña.....	115
Imagen 14. Localización de las iglesias de la septima campaña	126
Imagen 15 Planimetría de Sant Joan d'Arres de Jos. e.:1/200.....	131
Imagen 16 Planimetría de la iglesia de Sant Joan d'Arros e Vila. e.:1/200.....	132
Imagen 17 Planimetría de la iglesia de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs. e.: 1/200.....	134
Imagen 18 Planimería de la Iglesia de Sant Roc de Begòs. e.:1/200.	137
Imagen19: Planimetría de la Iglesia de <i>Sant Miquèu de Vilamòs</i> . e.:1/200	139
Imagen 20 Planimetría de la Iglesia de Sant Pèir de Betlan. e.:1/200.	142
Imagen 21 Planimetría de la Iglesia de Sant Estèue de Tredòs. e.:1/200.	143
Imagen 22 Planimetría de la Iglesia de Sant Pèir d'Escunhau. e.:1/200.....	146
Imagen 23 Planimetría de la Iglesia de Santa Eulària d'Unha. e.:1/200.	149
Imagen 24 Planimetría de la Iglesia de Santa Maria de Mijaran. e.:1/200.	153
Imagen 25 Planimetría de la Iglesia de Santa Maria de Vilamòs. e.:1/200.	156
Imagen 26. Línea de presiones de la sección de Sant Joan d'Arros e Vila.....	168
Imagen 27. Línea de presiones de Sant Miquèu de Vilamòs	168
Imagen 28. Línea de presiones de Sant Pèir de Betlan	169
Imagen 29. Línea de presiones de Sant Roc de Begòs	169
Imagen 30. Línea de presiones de Santa Eulària d'Unha en la sección que pasa por el punto más asentado.	170
Ilustración 31 Línea de presiones conjunta de Santa Eulària d'Unha.....	170

Imagen 32. Línea de presiones de Santa Maria de Vilamòs.....	171
Imagen 33. Estudio de la sección transversal por los pilares P1-P2 de Santa Eulària d'Unha	171
Imagen 34. Estudio de la sección transversal por los pilares P3-P4 de Santa Eulària d'Unha	172
Imagen 35. Estudio de la sección transversal por los pilares P5-P6 de Santa Eulària d'Unha	172
Imagen 36. Estudio de la sección transversal por los pilares P1-P2 de Santa Maria de Vilamòs.	173
Imagen 37. Estudio de la sección transversal por los pilares P3-P4 de Santa Maria de Vilamòs.	173
Imagen 38. Estudio de la sección transversal por los pilares P5-P6 de Santa Maria de Vilamòs.	174
Imagen 39. Estudio de la línea de presión por el plano de máxima inclinación del pilar P2 de Santa Eulària d'Unha	174
Imagen 40. Estudio de la línea de presión por el plano de máxima inclinación del pilar P4 de Santa Eulària d'Unha	175
Imagen 41. Estudio de la línea de presión por el plano de máxima inclinación del pilar P6 de Santa Eulària d'Unha	175
Imagen 42 Ordenación de las bóvedas según su asentamiento.....	181
Imagen 43 Ordenación de iglesias por desplome de sus muros	184
Imagen 44: Ordenación cronológica de la estereotomía.....	186

10.ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1. Esquema de la Tesis	26
Esquema 2 Esquema cronológico del románico.....	
Esquema 3 Esquema cronológico del primer románico aranés. Hipótesis según diversos autores.	40
Esquema 4 Tipologías de deformación de las diferentes bóvedas.	62
Esquema 5 PRoceso de estudio de las bóvedas	63
Esquema 6 Estudio de la tipología de bóvedas.....	64
Esquema 7 Tipología de deformación de los pilares	64
Esquema 8 PRoceso de estudio de los pilares	65
Esquema 9 PRoceso de estudio de los muros	66
Esquema 10 Tipología de deformación de los muros	66
Esquema 11. PRoceso de estudio de las impostas	67

11.ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen climatico de Vielha de la primera campaña para las iglesias de Arties, Casau, Gausac y Unha.	74
Tabla 2 Resumen climatico de Sasseuva de la primera campaña para la iglesia de Vilamòs.	74
Tabla 3 : Características escaneo de Santa Maria de Vilamós. e.:1/300	75
Tabla 4: Características escaneo de Santa Maria de Arties. e.:1/300	76
Tabla 5: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Martí de Gausac. e.:1/300.....	77
Tabla 6 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Andrèu de Casau. e.:1/300.....	78
Tabla 7 Características del escaneo de la Iglesia de Santa Eulària d’Unha. e.:1/300.....	79
Tabla 8: Climatología de la segunda campaña.....	80
Tabla 9: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Pèir d’Escunhau. e.:1/300.....	81
Tabla 10: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Andrèu de Salardú. e.:1/300.....	82
Tabla 11: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Félix de Vilac. e.:1/300.....	83
Tabla 12: Características del escaneo de la Iglesia de Santa Maria de Cap d’Aràn de Tredòs. e.:1/300	84
Tabla 13 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Estèue de Batrén. e.:1/300.....	85
Tabla 14 Climatología de la estación de Vielha para la tercera campaña para las iglesias de Montcorbau, Vielha y Betlan.....	86
Tabla 15 Climatología de la estación de Sasseuva para la tercera campaña para las iglesias de Bossost y Les.	86
Tabla 16: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Estèue de Montcorbau. e.:1/300.....	87
Tabla 17 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Blas de Les. e.:1/300.....	88
Tabla 18 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Pèir de Betlan. e.:1/300.....	89
Tabla 19: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Miquèu de Vielha. e.:1/300.....	90
Tabla 20: Características del escaneo de la Iglesia de Era Purification de Bossost. e.:1/300	91
Tabla 21 Climatología de Vielha para la cuarta campaña las iglesias de Bagergue, Begòs, Arros e Vila y Arties:	92

Tabla 22 Climatologia de Sasseuva para la quarta campanha para las iglesias de Vilamòs y Arres de Jos.....	92
Tabla 23 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Roc de Begòs. e.:1/300.....	93
Tabla 24: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Miquèu de Vilamòs. e.:1/300.....	94
Tabla 25: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Fabian d'Arres de Jos. e.:1/300.....	95
Tabla 26: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Joan d'Arros e Vila e.:1/300.....	96
Tabla 27: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Joan d'Arties. e.:1/300.....	97
Tabla 28: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Fèlix de Bagergue. e.:1/300.....	98
Tabla 29 Climatología de Vielha para la quinta campaña para las iglesias de Arties, Casau, Gausac y Unha.....	99
Tabla 30 Climatología de Sasseuva para la quinta campaña para las iglesias de Bausen y Toràn.....	100
Tabla 31 Climatología de Lac Redon para la quinta campaña para la iglesia de Portelhs.....	100
Tabla 32: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Pèir de Gessa. e.:1/300.....	101
Tabla 33 Características del escaneo de la Iglesia de Julià de Garos. e.:1/300.....	102
Tabla 34: Características del escaneo de la Iglesia de Sant Martin d'Aubèrt. e.:1/300.....	103
Tabla 35 Características del escaneo de la Iglesia de la Mair de Diu deth Rosèr d'Aubèrt. e.:1/300.....	104
Tabla 36 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Joan de Toràn e.:1/300.....	105
Tabla 37 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Estèue de Tredòs. e.:1/300.....	106
Tabla 38 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Jaime d'Arties. e.:1/300.....	107
Tabla 39 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Tomàs de Casarilh. e.:1/300.....	108
Tabla 40 Características del escaneo de la Iglesia de Santa Maria de Mijaran. e.:1/300.....	109
Tabla 41 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Nicolau des Pontelhs. e.:1/300.....	110
Tabla 42 Características de la Iglesia de Eth Remei d'Arties. e.:1/300.....	111
Tabla 43 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Pèir ad Vincula de Bausen. e.:1/300.....	112
Tabla 44 Características de la Iglesia de Sant Blai de Vilac. e.:1/300.....	113
Tabla 45 Características de la Iglesia de Santa Eulària de Bausen. e.:1/300.....	114
Tabla 46 Climatologia de Vielha para la sexta campaña para las iglesias de Mont, Vila, Arros, Benòs, Arró y Es Bordes.....	116

Tabla 47 Climatolgia de Sasseuva para la sexta campañã para las iglesias de Les y Canejan	116
Tabla 48 Climatologia de La Bonaigua para la sexta campañã para la iglesia de Montgarri	116
Tabla 49 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Joan Baptista de Les. e.:1/300.....	117
Tabla 50 Características del escaneo del Santuario Era Mair de Diu de Montgarri. e.:1/300.....	118
Tabla 51 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Pau o Sant Laurenç de Mont. e.:1/300	119
Tabla 52 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Sernilh de Canejan. e.:1/300	120
Tabla 53 Características del escaneo de la Iglesia de Santa Eulària d'Arros. e.:1/300.....	121
Tabla 54 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Pèir de Vila. e.:1/300.....	122
Tabla 55 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Martí d'Arro. e.:1/300.....	123
Tabla 56 Características del escaneo de la Iglesia de Mair de Diu deth Rosèr d'Es Bordes. e.:1/300.....	124
Tabla 57 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Martí de Benòs. e.:1/300.....	125
Tabla 58 Climatología de Sasseuva para la septima campañã para las iglesias de Arres:.....	126
Tabla 59 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Pèir d'Arres de Sus. e.:1/300	127
Tabla 60 Características del escaneo de la Iglesia de Sant Joan d'Arres de Meid. e.:1/300.....	128
Tabla 61. Agulo entre los muros de la nave y ancho en metros, entre los mismos.	129
Tabla 62 Mediciones de la Iglesias de Arres de Jos.	131
Tabla 63 Mediciones de la iglesia de Sant Joan d'Arros e Vila	132
Tabla 64 Mediciones de la iglesia de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs.	136
Tabla 65 Mediciones de la Iglesia de Sant Roc de Begòs.	138
Tabla 66 Mediciones de la Iglesia de Sant Miquèu de Vilamòs. e.:1/200	140
Tabla 67 Mediciones de la Iglesia de <i>Sant Pèir de Betlan</i>	142
Tabla 68 Mediciones de la Iglesia de Sant Estèue de Tredòs. e.:1/200.	144
Tabla 69 Mediciones de la Iglesia de Sant Pèir d'Escunhau.	147
Tabla 70 Mediciones de la Iglesia de Santa Eulària d'Unha.	151
Tabla 71 Mediciones de la Iglesia de Santa Maria de Mijaran.....	154
Tabla 72 Mediciones la Iglesia de Santa Maria de Vilamòs.....	158
Tabla 73 Mamposterías de la Iglesia de Sant Fabian d'Arrés de Jos e.:1/10.....	159
Tabla 74 Mamposterías de la Iglesia de Sant Miquèu de Vilamòs e.:1/10.....	160

Tabla 75 Mamposterías de la Iglesia de Sant Pèir de Betlan e.:1/10.	160
Tabla 76 Mamposterías de la Iglesia de Sant Roc de Begòs e.:1/10.....	161
Tabla 77 Mamposterías de la Iglesia de Sant Estèue de Tredòs e.:1/10.	161
Tabla 78 Mamposterías de la Iglesia de Sant Joan d'Arros e Vila e.:1/10.....	162
Tabla 79 Mamposterías de la Iglesia de Sant Pèir d'Escunhau e.:1/10.	162
Tabla 80 Mamposterías de la Iglesia de Santa Maria de Mijaran e.:1/10.....	163
Tabla 81 Mamposterías de la Iglesia de Santa Eulària d'Unha e.:1/10.....	163
Tabla 82 Mamposterías de la Iglesia de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs e.:1/10.	164
Tabla 83 Mamposterías de los pilares P2, P4, P5 y P6 de la Iglesia de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs e.:1/10.	165
Tabla 84 Mamposterías de la Iglesia de Santa Maria de Vilamós e.:1/10.....	166
Tabla 85 Mamposterías de los pilares de la Iglesia de Santa Maria de Vilamós e.:1/10.....	167
Tabla 86 Relación entre área y tensión de los pilares.	182



UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI