

Acercamiento formal y estudio estructural de la arquitectura románica del Valle de Arán

Formal approach and structural study of the Romanesque architecture of the Aran Valley

Sergio Coll Pla¹

Josep Lluís Ginovart²

Agustí Costa Jover³

Cinta Lluís Teruel⁴

Resumen: El Valle de Arán se caracteriza por su aislamiento, de tal manera que hoy encontramos algunas construcciones románicas poco modificadas. La arquitectura románica pirenaica se caracteriza por el uso de las bóvedas que provocan grandes deformaciones en el resto de la iglesia. En este artículo se estudia la forma actual de las bóvedas mediante estudios topográficos para localizar el punto más deformado y estudiar la estabilidad de la sección transversal en ese punto. El primer estudio desarrollado en la bóveda es una topografía para encontrar el punto de bóveda más deformado. A partir de este punto se desplegará y estudiará una sección vertical a través de la línea de máxima presión. Los resultados concretarán el tipo de bóveda con que se construyeron las iglesias y nos permitirán conocer si estas son estables a la vez que reafirmarán la unidad formal y constructiva del primer románico.

Palabras clave: estabilidad, estática gráfica, románico, topografía.

Abstract: Aranese architecture has been influenced by the isolation of the area, in such a way that today we find some Romanesque buildings that have been little modified. Pyrenean Romanesque architecture is characterized using the vaults causing great deformations in the rest of the church. This article studies the current shape of the vaults through topographic studies, locating the most deformed point and studying the stability of the cross section at that point. The vault has been isolated from the point cloud to individually study. The first study developed into de vault is a topographical compression to find the most deformed point of vault. From this point a vertical section will be layout and studied through the maximum pressure line. The results will specify the type of vault with which the vaults of the churches were built, they will allow us to know if the churches are stable while reaffirming the formal and constructive unity of the first Romanesque.

Keywords: stability, graphic statics, romaneseque, topography.

Artículo. Recibido: 01/02/2021 | **Aprobado:** 14/09/2021 | **Publicado:** 01/01/2022

¹ **Afiliación Institucional:** Escuela Arquitectura de Reus, Universidad Rovira i Virgili, Tarragona, España. **Correo electrónico:** sergio.coll@urv.cat. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4718-5810>. Arquitecto por la Universidad Politécnica de Catalunya, Máster en Tecnologías de Climatización y eficiencia energética en edificios y Doctor en Arquitectura, Urbanismo y Edificación del departamento de Arquitectura de la Universidad Rovira i Virgili. En la actualidad ocupa el cargo de Personal docente investigador de acceso al SECTI en la Universidad Rovira i Virgili.

² **Afiliación Institucional:** Escola d'Arquitectura de la Universitat Internacional de Catalunya, Barcelona, España. **Correo electrónico:** jlluis@uic.es. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5957-762X>. Catedrático de Intervención en el Patrimonio Arquitectónico, decano de la School of Architecture Barcelona de la Universitat Internacional de Catalunya, y director del Grupo Architectural Heritage Research. Ha sido director del Departamento de Arquitectura de la Universitat Rovira i Virgili.

³ **Afiliación Institucional:** Escuela Arquitectura de Reus, Universidad Rovira i Virgili, Tarragona, España. **Correo electrónico:** agusti.costa@urv.cat. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6194-3243>. Arquitecto por la Universidad Politécnica de Cataluña, y Doctor por la Universidad Rovira y Virgili. Actualmente es profesor Lector Serra Hunter en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, donde desarrolla su actividad docente y de investigación en el grupo de investigación PATRIARQ.

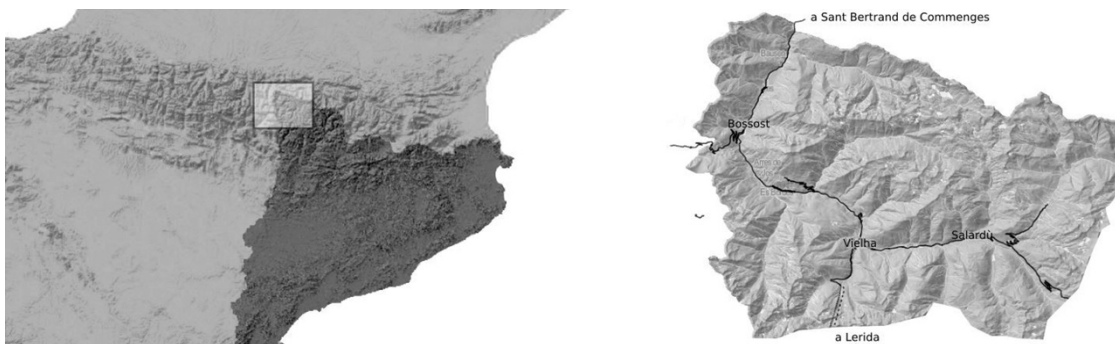
⁴ **Afiliación Institucional:** Escola d'Arquitectura de la Universitat Internacional de Catalunya, Barcelona, España. **Correo electrónico:** cluluis@uic.es. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5280-1147>. Arquitecta por la School of Architecture UIC Barcelona de la Universitat Internacional de Catalunya, (2020). Forma parte del grupo de investigación Architectural Heritage Research realizando el doctorado como investigadora junior.

Introducción

El Valle de Arán está situado en la cara norte de los Pirineos, delimita en el norte con la región Haute-Garonne francés, por el suroeste con la región oscense de la Ribagorza y en el sureste con la región catalana de la Alta Ribagorza y el Pallars Subirá. Tiene una extensión de 634Km² y el 30% de su superficie está por encima de los 2000m. Históricamente, las relaciones comerciales y culturales del Valle de Arán provienen del norte a través del río Garona, siendo muy intensa la relación con la región de Comenges y Courserans (ver figura 1).

Figura 1

Localización del Valle de Arán



En el Valle de Aran hay 35 iglesias que tienen trazas románicas (Ros, 2015). Estas iglesias han sido documentadas por Eugene Viollet le Duc (Viollet le Duc, 1972), por Elies Rogent (Rogent, 1857) en su discurso pronunciado en el acta de *La sessió pública cel·lebrada per l'Academia de Belles Arts de la Provincia de Barcelona* y por Josep Puig i Cadafalch quien consideró que era un estilo en formación. Será Lluís Domenech y Montaner, quien, en 1905, realizará la excursión por los Pirineos que le servirá para dibujar y fotografiar diversos edificios románicos que usará en la publicación *L'arquitectura romànica a Catalunya* (Granell et al, 2006), siendo este uno de los primeros catálogos.

En la segunda mitad del siglo XIX se inicia una segunda corriente de estudio que, basándose en los autores previos, consiguen madurar el estudio de las iglesias románicas. En el año 1941, Walter Muir Whitehill publicó *L'art romànica a Catalunya siglo XI*, quien introduce el concepto de primer románico desde el siglo X después de estudiar edificios de Cataluña, Aragón e Italia. En este texto discute sobre los orígenes del estilo (Muir, 1941).

En el siglo actual, ya en el año 2007, Elisa Ros propone una clasificación que pone de relieve el esquema en planta de las Iglesias (Ros, 2007). En el año 2015 Emmanuel Garland en el texto *Le premier age roman dera Vall d'Aran*, realiza una clasificación exhaustiva de las Iglesias románicas y las diferencia entre primer y segundo románico (Garland, 2012). En el año 2012, Josep Lluís i Ginovart

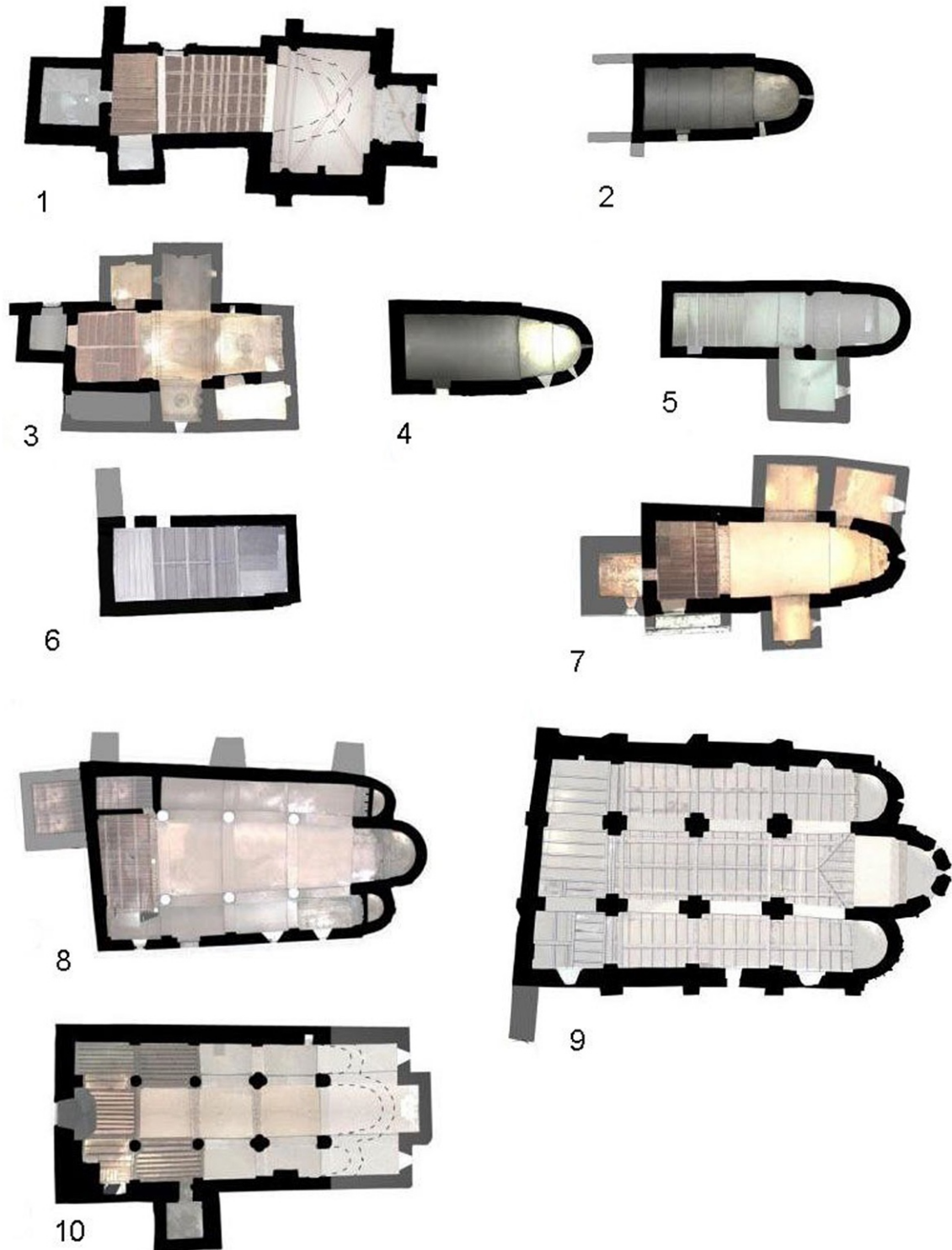
impulsa la realización de campañas de toma de datos topográficas a través del escaneo láser, siendo estos estudios el germen para que Sergio Coll-Pla en 2017 desarrollase y presentase la Tesis Doctoral *Estudi des gleises encournaenclinc de voutes esgarramingades*, donde presenta el análisis de la arquitectura sacra del Valle de Arán (Coll-Pla, 2017).

La base planimétrica desarrollada por Josep Lluís i Ginovart y Sergio Coll-Pla posibilitan el estudio minucioso de la arquitectura, estructura, volumetría y procesos de construcción de una serie de edificios románicos, góticos, y renacentistas (ver figura 2). El objetivo principal del artículo es estudiar la estabilidad de las iglesias pertenecientes al primer románico en la sección más deformada de la bóveda. Las iglesias pertenecientes al primer románico son Sant Pèir d'Escunhau, Sant Miquèu de Vilamòs, Sant Ròc de Begòs, Sant Fabián d'Arres de Jos, Sant Joan d'Arròs e Vila, Sant Esteue de Tredós, Sant Pèir de Betlán, Santa Eulàlia d'Unha, Santa María de Cap d'Aran de Tredós, Santa María de Vilamòs.

Edificios estudiados

Figura 2

Plantas de las Iglesias pertenecientes al primer románico; 1: Sant Pèir d'Escunhau; 2: Sant Miquèu de Vilamòs; 3: Sant Ròc de Begòs; 4: Sant Fabián d'Arres de Jos; 5: Sant Joan d'Arròs e Vila; 6: Sant Esteue de Tredós; 7: Sant Pèir de Betlán; 8: Santa Eulàlia d'Unha; 9: Santa María de Cap d'Aran de Tredós; 10: Santa María de Vilamòs



De las 35 iglesias con traza románica se escoge estudiar las iglesias pertenecientes al primer románico por ser los edificios más antiguos del Valle de Aran, por tener muy pocas modificaciones, alteraciones volumétricas y por su sistema constructivo. Las Iglesias pertenecientes al primer románico (Garland, 2012) que tienen en la actualidad bóveda son:

Sant Miquèu de Vilamòs, Sant Ròc de Begòs, Sant Joan d'Arròs e Vila, Sant Pèir de Betlán, Santa Eulàlia d'Unha, Santa María de Vilamòs (ver figura 3).

Figura 3

Imágenes de las iglesias con bóveda estudiadas



Sant Joan d'Arròs e Vila



Sant Miquèu de Vilamòs



Santa Eulàlia d'Unha



Sant Ròc de Begòs



Sant Pèir de Betlán



Santa María de Vilamòs

La iglesia de Sant Miquèu de Vilamòs es un pequeño edificio, de 3,72m de altura y 9,91m de ancho y 17,10m de largo, cuya nave está cubierta con bóveda de cañón terminada con un ábside de muros convergentes con un ábside circular (Garland, 2012).

La iglesia de Sant Ròc de Begòs tiene una sola nave con un ábside semicircular, y sólo se conserva un fragmento de decoración en la fachada norte. Es una construcción de origen románico, pero considerablemente reformada (A.A. V.V., 1984) su bóveda tiene 3,62m de alto, 3,94m de ancho y 7,61m de largo.

La iglesia de Sant Joan d'Arròs e Vila tiene una sola nave cubierta con bóveda de cañón de 1,50m de altura por 3,59m de ancho por 10,90m de largo con dos

arcos fajones que terminan en pilastras semicirculares. La decoración se limita a los arcos del ábside y por encima de ellos un friso dentado y una cornisa. Las arcadas, talladas en un solo bloque, sitúan la iglesia dentro de las formas del siglo XII (A.A. V.V., 1984).

La Iglesia de Sant Pèir de Betlán probablemente data de principios del siglo XI (Serrate, 1975), o desde finales del XI y principios del XII según (A.A. V.V., 1984), su bóveda tiene 2,76m de alto por 4,94m de ancho por 10,92m de largo.

La Iglesia de Santa Eulàlia de Unha es un edificio de planta basilical donde la nave central está separada de las laterales por pilares circulares, sobre los que descansa una bóveda central y dos laterales de cuarto de bóveda (A.A. V.V., 1984). La altura total de las bóvedas es de 3,20m, la anchura es de 9,69m y la longitud es de 16,98m.

La iglesia de Santa María de Vilamòs tiene una planta basilical con bóveda semicircular central, la nave lateral del evangelio con cuarto de bóveda y la nave de la epístola con bóveda de cañón (Puig i Cadafalch et al, 1983), sus dimensiones son de 3,72m de alto, 9,91m de ancho y 17,10m de largo.

Método de estudio

El método se centrará en el estudio de la nave de las iglesias a partir de la comprensión de la tipología de bóveda, del desarrollo de una topografía a partir de un eje y el estudio de la estática gráfica de las secciones verticales coincidentes con el punto más deformado.

Para la comprensión del tipo de bóveda se aislarán las bóvedas y se asimilarán a una forma estándar (tronco-cono o cilindro), a partir de ahí, se obtendrá el eje de la figura de revolución. Una vez hecho se comparará la altura de estos con la altura de las impostas. La diferencia de altura de las impostas con respecto al eje del cono/cilindro indicará cómo fueron concebidos: si las impostas están por encima del eje significará que son bóvedas rebajadas; si las impostas están a la misma altura que el eje central significará que son una bóveda de cañón y si las impostas están por debajo del eje central significará que son bóvedas rebajadas.

Para la comprensión de la forma actual y localización del punto más deformado respecto de la forma de referencia se tendrá en consideración los estudios de Josep Lluís i Ginovart quien propuso un estudio topográfico del plano horizontal (Lluís-Ginovart et al, 2015) donde era evidente la necesidad de diseñar un sistema para visualizar toda la bóveda. Se tomará como referencia el eje central de la bóveda para realizarse una topografía desplegada de la bóveda. El

protocolo a seguir será (ver figura 4): determinación del eje central de la nube de puntos con el comando de 3DReshaper, "eje neutro"; determinación de la forma más cercana a la bóveda con el comando de 3DReshaper "Extraer forma" (las opciones factibles son tronco de cilindro o tronco de cono); seccionado de los troncos de cono o cilindros con el comando 3DReshaper, "intersección" y visualización de la topografía en el plano horizontal para su interpretación con el comando 3DReshaper, "desenrollar". En la iglesia de Sant Ròc de Begòs se comenzará con la determinación de los dos ejes de referencia de cada una de las dos partes de la bóveda apuntada. La topografía desarrollada a partir de un eje nos permitirá localizar el punto más lejano de la bóveda a lo largo de su longitud y anchura. La ubicación del punto más alejado respecto la forma de referencia se realizará leyendo la topografía de las bóvedas.

Figura 4

Proceso de realización de la topografía a partir del eje



Para estudiar las condiciones de equilibrio de las Iglesias, se utilizarán líneas de presión en el marco teórico del análisis límite. Con el fin de llevar a cabo el estudio de las líneas de presión se realizará una sección perpendicular al plano del eje de la iglesia a través del programa 3DReshaper. El eje de la iglesia se define como la mediatriz del ángulo formado por las paredes de la nave. Según el teorema del límite inferior, si podemos trazar una línea de empuje dentro del grosor de un arco, sabemos que ese arco tiene al menos una posibilidad de permanecer de pie. Según Heyman (Heyman, 1995) si en una estructura es posible una distribución de fuerzas internas, en equilibrio con las cargas, que no excede un cierto valor de resistencia del material, la estructura estará segura y no colapsará. El Teorema de seguridad de análisis límite resuelve el problema de encontrar la línea de empuje real, ya que es imposible determinarla, pero será suficiente trazar una línea de empuje dentro del arco para demostrar que es segura. Una de las consecuencias más importantes del Teorema de Seguridad es que permite el enfoque de equilibrio en el cálculo y el análisis estructural, de modo que el objetivo del estudio no es buscar el estado real de equilibrio, sino encontrar diferentes estados posibles de equilibrio. Según Huerta (Huerta, 2005) es la herramienta más adecuada para entender y analizar las construcciones de mampostería en la actualidad. También comentar que el análisis límite es un sistema de estudio iterativo, comprobándose diversas hipótesis. Estas diferentes hipótesis no suponen un cambio cualitativo en los resultados.

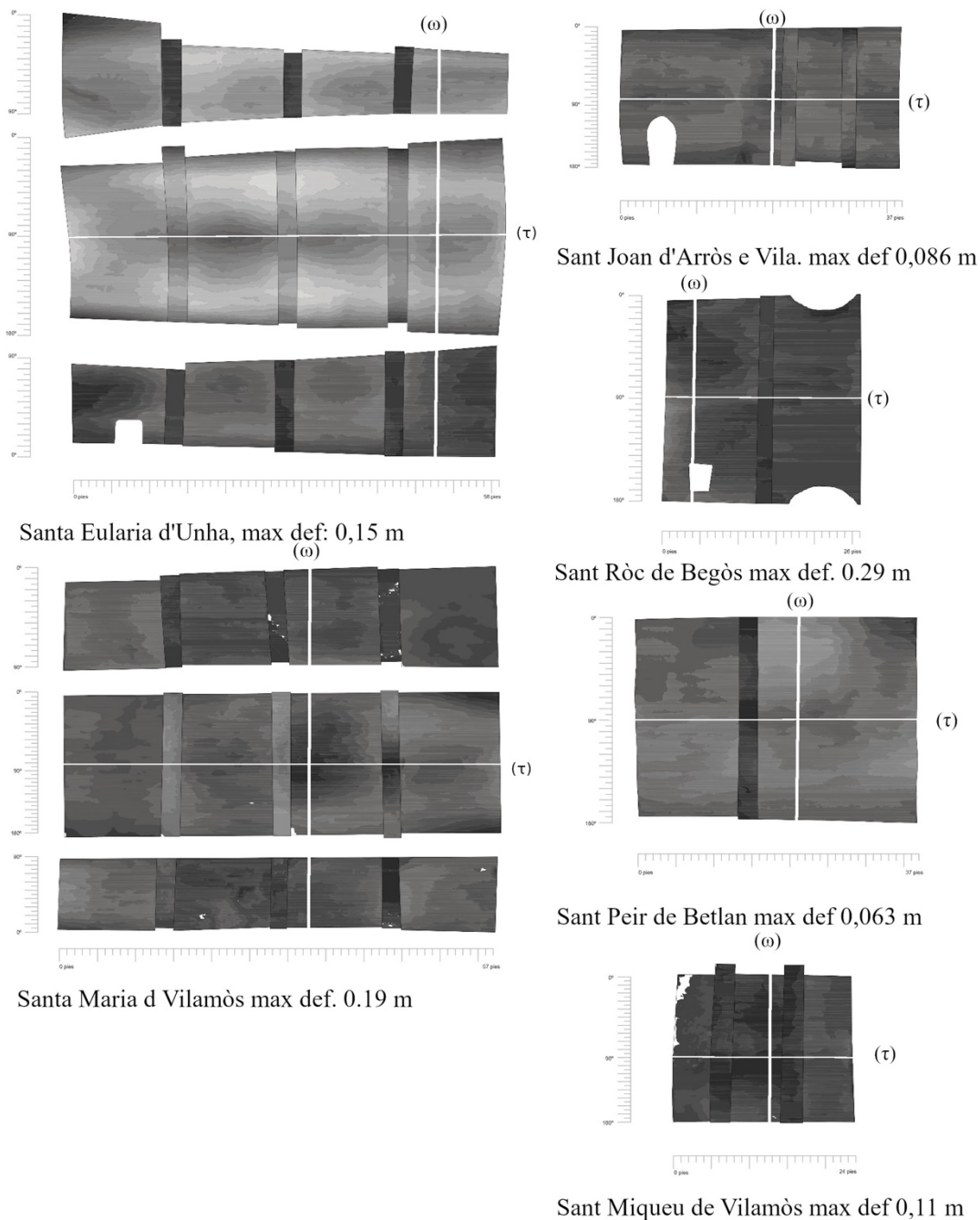
Resultados

Los resultados del estudio de la altura de las impostas son los siguientes: La bóveda de Sant Miquel de Vilamòs se asemeja a un cilindro y tiene el eje central de la bóveda a una altura de 1,43m y la altura de las impostas a 1,57m, siendo la diferencia de 0,14m. La Iglesia de Sant Ròc de Begòs tiene el eje central a 2,04m de altura y las impostas a 1,39m y 1,18m de altura existiendo una diferencia de 0,65 y 0,86m de diferencia. La bóveda se asimila a un cilindro. La bóveda de la iglesia de Sant Joan d'Arròs e Vila tiene el eje central de la bóveda a una altura de 4,62m y las impostas a 4,42m y 4,28m, habiendo una diferencia entre ellos de 0,20 y 0,34m. La bóveda se asemeja a un cilindro. La bóveda de Sant Pèir de Betlàn se asemeja a un tronco de cono, con el eje central a 2,51m de altura y las impostas a 2,80m y 2,31m de altura siendo la diferencia de 0,29 y -0,19m. La bóveda central de Santa Eulàlia d'Unha tiene el eje central a una altura de 3,15m y las líneas de las impostas están a una altura de 3,85 m (epístola) y 3,93m (evangelio), haciendo un total de 0,7 m o 0,78m más alto las impostas. La bóveda de Santa María de Vilamòs tiene un eje a 8,37 m de altura y los ejes de las impostas están a 8,31m (epístola) y 8,54m (evangelio) de altura. Hay una diferencia de altura entre el eje y las impostas de -0,06 y 0,17m de altura. La bóveda tiene una forma similar a la de un cono.

Tal como observamos en la figura 5, si estudiamos la topografía de la bóveda de Sant Miquèu de Vilamòs tiene una deformación máxima de 0,11m. El estudio topográfico de Sant Ròc de Begòs presenta una forma funicular de 0,20m a 30°; El estudio topográfico de Sant Joan d'Arròs e Vila muestra línea funicular en los lados a 35° siendo el más grande 0,08m. La topografía de la bóveda de Sant Pèir de Betlàn presenta un asentamiento en la parte central de la misma de 0,64m en forma de funicular. El estudio topográfico de Santa Eulàlia d'Unha muestra formas funiculares en la bóveda central compuesta de 4 vanos, el más grande de los cuales es de 0,15m. La interpretación topográfica de Santa María de Vilamòs muestra que la bóveda central tiene tres tramos con la presencia de formas funiculares, el asentamiento más grande es de 0,19m. (ver figura 5).

Figura 5

Localización de los puntos más alejados de la forma de referencia



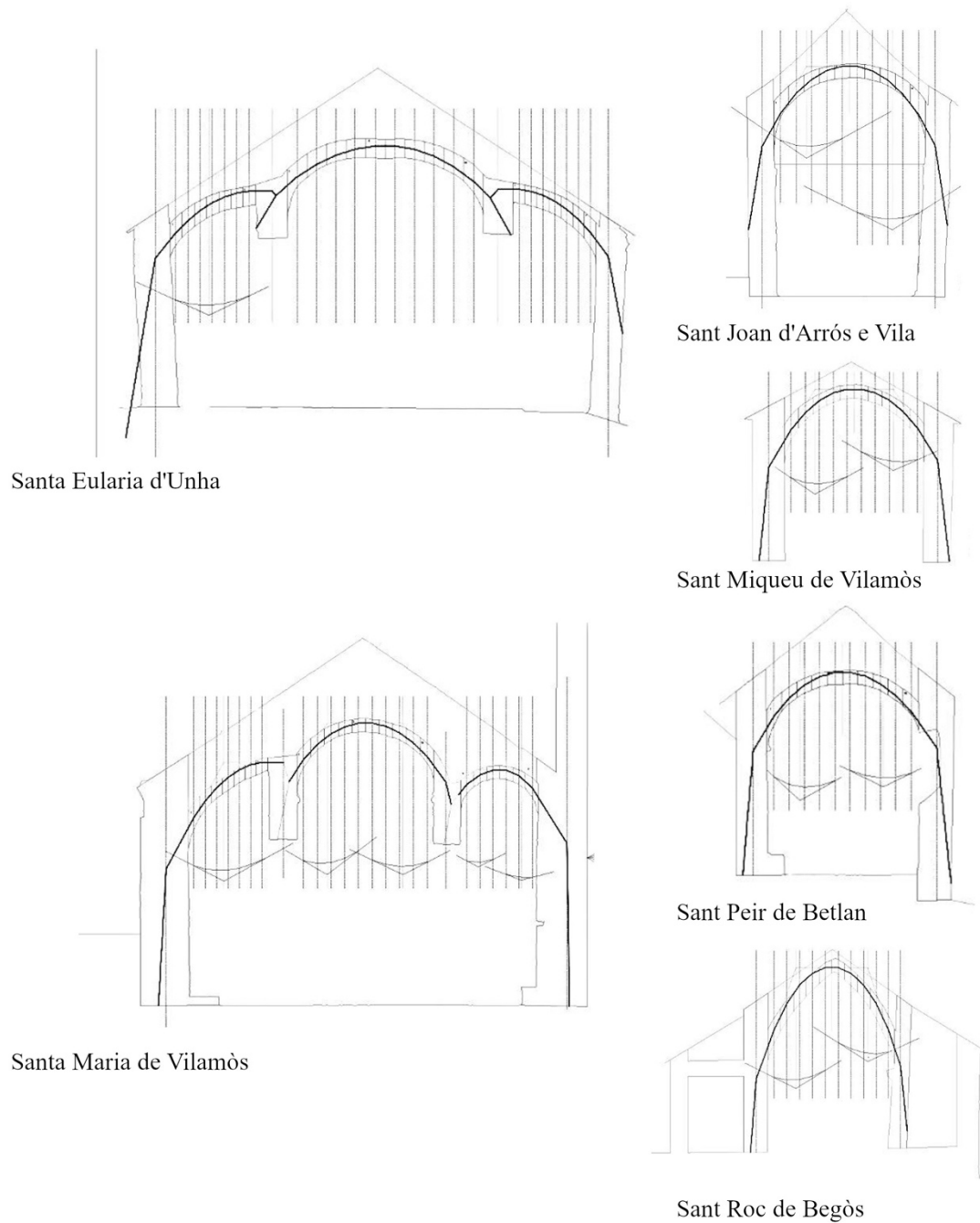
El estudio de la estabilidad de los edificios comienza con el estudio de la albañilería que nos llevará a un peso total determinado a partir del porcentaje de piedra y mortero. Con el cálculo de los pesos por unidad volumétrica, se comprueba la diferencia de rigidez entre los soportes de las bóvedas, paredes exteriores y arcos. El elemento más rígido son las paredes de las iglesias, acumulando un peso estimado en los muros de la Iglesia de Sant Miquèu de Vilamòs de 24.722 KN/m³. En la Iglesia de Sant Ròc de Begòs de 23.716 KN/m³ en la pared del Evangelio y de la epístola. En la Iglesia de Sant Joan d'Arròs e

Vila de 23.291 KN/m³ en la pared del evangelio y de la epístola. En la Iglesia de Sant Péir de Betlán de 24.351 KN/m³ en la pared del evangelio y de la epístola. En los muros de Santa Eulàlia d'Unha de 21.119 KN/m³. En la Iglesia de Santa María de Vilamòs de 24.722 KN/m³ en la pared del evangelio y en la pared de la epístola de 23.784 KN/m³. Los pilares existentes en las iglesias tienen un peso de 23,91 KN/m³. El elemento menos rígido son las bóvedas y tienen un peso de 21.119 KN/m³.

El estudio de las líneas de presión se realizará en las secciones que coinciden con los puntos de máxima deformación de las bóvedas con una sección vertical perpendicular al eje central de la iglesia (ver figura 6), considerando el empuje máximo, en la Iglesia de Sant Miquèu de Vilamòs muestra que la iglesia es estable, en el muro de la epístola que se cruza con el punto (0, 0,0). El estudio de las líneas de presión de Sant Ròc de Begòs muestra que la iglesia presenta inestabilidad en el muro de la epístola cuando se cruza con el exterior a 55cm del suelo. El estudio de las líneas de presión de Sant Joan d'Arròs e Vila muestra que la iglesia presenta inestabilidad en el muro de la epístola cuando se cruza con el exterior orientado a 40cm desde el suelo. El estudio de las líneas de presión, considerando el empuje máximo, de la Iglesia de Sant Péir de Betlán muestra que la iglesia es inestable en los dos muros intersecándose con la cara exterior a 2,37m del suelo en la epístola y a 1,58m del frente del Evangelio. El estudio de las líneas de presión de Santa Eulàlia d'Unha en máximos muestra que la iglesia presenta inestabilidad en las dos paredes laterales, la línea de presión se cruza a 2,26m en la epístola y a 1,34m en el frente externo de la pared del evangelio. La línea de presión tampoco es vertical por encima de los arcos formeros. El estudio de las líneas de presión de la iglesia de Santa María de Vilamòs muestra que la iglesia es estable tanto en los muros como en los arcos, siendo una de las razones la masividad de la construcción.

Figura 6

Estudio de las líneas de presión de las bóvedas



Discusión

Los resultados de los estudios realizados indican que las bóvedas de las iglesias de Santa Eulàlia d'Unha y Santa María de Vilamòs se asemejan a un tronco de cono. Por el contrario, las iglesias de Sant Miquèu de Vilamòs, Sant Pèir de Betlàn y Sant Joan d'Arròs e Vila se asemejan a un cilindro. Las bóvedas rebajadas son las de las iglesias de Sant Miquèu de Vilamòs (0,14m) y Santa Eulàlia d'Unha (0,7m evangelio-0,78 en la epístola); la bóveda de Sant Miquèu

de Vilamòs se puede considerar bóveda de cañón (-0.06 m en el evangelio-0.17 en la epístola), así como la de Sant Pèir de Betlán (0,29m en el evangelio-0,19m en la epístola); y la iglesia de Sant Joan d'Arròs e Vila se considera apuntada (0,20m en el evangelio - 0,85m en la epístola).

El estudio de los planos topográficos nos permite hacer un estudio global de la forma actual de la bóveda. Una lectura final de los planos topográficos es la detección de formas funiculares. Una primera reflexión debe indicar que todas ellas son de pequeño calibre, pero se pueden detectar en las iglesias de Sant Miquèu de Vilamòs en los dos lados del tramo central; en Santa Eulàlia d'Unha en los tres tramos centrales más cercanos al ábside y en los cuatro tramos de las dos naves laterales (máx. 0.1578m) y en la Iglesia de Santa María de Vilamòs en los dos tramos más cercanos al ábside de la nave central (máx. 0.1972m). El resto de las iglesias tienen alteraciones formales, pero están muy cerca de 0.0367m, acercándolo al rango de error.

La teoría tradicional de la teoría elástica se basa en la fuerza, la rigidez y la estabilidad. Las obras de las fábricas de las iglesias del Valle de Arán se rigen por el criterio de estabilidad, por lo que se asumen deformaciones geométricas. Las iglesias de Sant Joan d'Arròs e Vila, Sant Pèir de Betlán y Sant Ròc de Begòs tienen líneas de presión que no garantizan la estabilidad. La iglesia de Sant Miquèu de Vilamòs es claramente estable. El estudio de la iglesia de Santa Eulàlia d'Unha comienza con el estudio de la sección cuyo punto en la bóveda tiene el asentamiento más grande; de este primer estudio se deduce que la sección no es estable en su muro de epístola ni en los arcos torales de la epístola y el evangelio. Un estudio similar se llevó a cabo en la iglesia de Santa María de Vilamòs y se encontró que en todos sus tramos realizados por el punto de asentamiento máximo de la bóveda son claramente estables.

Para entender los mecanismos de estabilización de las iglesias, hay que prestar atención al ángulo de inclinación en horizontal entre las paredes de la nave y la masa construida. Se puede ver que las iglesias con mayor inclinación entre las paredes (2.76° y 5.96°), Sant Pèir de Betlán y Santa Eulàlia d'Unha no pueden explicar su estabilidad desde las líneas de presión. Santa María de Vilamòs, con un ángulo similar al de Sant Pèir de Betlán (2.70°) garantiza su estabilidad a partir de una masa exagerada en su construcción.

Los asentamientos se deben a situaciones constructivas internas como señala Basegoda Nonell (Basegoda, 1974) o se puede señalar a su sistema constructivo (Lancaster, 2005). Otra posibilidad de deformación se debe a terremotos, las roturas con un pulso sinusoidal de amplitud y frecuencia aceleradas están entre 0o-36o-96o-180o; 0o-60o-133o-180o; 0o-58o-122o-180o; y 0o-95o-146o-180o.

Con estos resultados, se entiende que la rotura se produce con una variabilidad extrema (Williams et al, 2012). Se puede ver que la iglesia con una mayor magnitud de asentamientos es Santa Eulàlia d'Unha (0.513m), seguida de Santa María de Vilamòs y Sant Pèir de Betlàn (0,33m), Sant Ròc de Begòs, Sant Joan d'Arròs e Vila y Sant Miquèu de Vilamòs tienen asentamientos más pequeños (0.293m; 0.256m; 0.183m). Se puede ver que los puntos de inflexión de la sección de Sant Joan d'Arròs e Vila se encuentran en 39. 81º simétricamente; las de Sant Miquèu de Vilamòs, están a 38. 25º; los de Betlàn a los 28º; los de la nave central de Santa Eulàlia d'Unha están a 44.81º y los de la iglesia de Santa María de Vilamòs están a 41.37º. En todos los casos mencionados están dentro de los márgenes mencionados por Mery. (28-59º) o Philippe Block (36-90º).

Conclusiones

La perspectiva arquitectónica desde la que se han estudiado los edificios del primer período románico aranés ha influido tanto en el reconocimiento de una arquitectura característica como en una perspectiva constructiva. Se verifica que la técnica utilizada, así como la aplicación en los edificios propuestos es altamente fructífera. Se detecta que las iglesias con bóvedas rebajadas son: Sant Miquèu de Vilamòs y Santa Eulàlia d'Unha; las iglesias de Santa María de Vilamòs y Sant Pèir de Betlàn tienen bóvedas de cañón y las iglesias de Sant Joan d'Arròs e Vila, la iglesia de Sant Ròc de Begòs y Sant Miquèu de Vilamòs fueron construidas de forma apuntada. El estudio de las bóvedas demuestra que el estilo del primer románico es un estilo en evolución tal y como indica Josep Puig i Cadafalch.

De la observación de las plantas se llegó a la conclusión de que existen dos tipologías de planta, una con muros de la nave concurrentes y otra con muros paralelos. Las Iglesias de muros concurrentes son: Sant Pèir d'Escunhau, Santa María de Vilamòs, Sant Pèir de Betlàn y Santa Eulàlia d'Unha. Las Iglesias con muros de la nave paralelos son: San Miquèu de Vilamòs, Sant Fabiàn d'Arres de Jos, Sant Joan d'Arròs e Vila, Sant Esteue de Tredós, Sant Ròc de Begòs y Cap d'Aran de Tredòs. El estudio de máxima presión apoya esta clara diferenciación entre estilos, se encontró que, las iglesias, con muros concurrentes, de Santa Eulàlia d'Unha y Sant Pèir de Betlàn no pueden explicarse por cálculos de estabilidad. Y la iglesia de Santa María de Vilamòs (con paredes concurrentes) garantiza su estabilidad con una gran masa en su construcción. Estos datos, más los ya comentados sobre el excesivo ángulo en los muros de las naves de Santa Eulàlia d'Unha y Sant Pèir de Betlàn, nos invitan a realizar estudios de elementos finitos en estas dos iglesias. Este estudio divide la agrupación de Iglesias del primer románico propuesta por Garland en dos grupos claramente diferenciados, las de muros de la nave paralelos y las de muros de la nave

concurrentes. Ello favorece la reflexión sobre la existencia de diversos maestros de obra, al tratarse el Valle de Arán de una zona tan reducida es de entender que las bóvedas se construyeron por diferentes cuadrillas de canteros deambulantes tal y como defiende Yarza (Yarza, 2004).

Referencias bibliográficas:

- A.A. V.V. (1984). Solsonès, Vall d'Arán. *Catalunya Romànica*, Vol. XIII.
- Basegoda-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, Catedra Gaudí UPC, Vol. II.* 33-64.
- Coll-Pla S., (2017). *Estudi des gleises encournaenclinc de voutes escarramingades*. [Tesis doctoral no publicada], Universitat Rovira i Virgili
- Garland, E. (2012). Les débuts de L'art Roman dans le Val d'Arán. *Mémoires de la Societé Archeologique du Midi De La France. Tome LXXII.*
- Granell E., Ramon A., (2006), *Lluís Domenech I Muntaner: Viatges Per L'arquitectura Romànica*. Barcelona: Col·legi d'Arquitectes de Catalunya.
- Heyman, J. (1995). *El Esqueleto De Piedra*. Madrid: Instituto Juan De Herrera.
- Huerta, S. (2005). Mecánica de las bóvedas de fábrica: *El enfoque del equilibrio. Informes De La Construcción volumen 57, Núm. 496,* 71-89.
- Lancaster, L. C. (2005). *Concrete vaulted construction in imperial Rome: Innovations in context*. Hong Kong: Cambridge University Press.
- Lluís-Ginovart, J.; Coll-Pla, S.; Lopez-Piquer, M. (2015). Masonry strain into Vall d'Aràn Churches. *Structural studies, repairs and maintenance of heritage architecture volume XIV, A Coruña: Wessex Institute of Technology,* 443-455.
- Muir, W. (1941). *L'art Romànic A Catalunya Segle XI*. Barcelona: Edicions 62.
- Puig-Cadafalch, J., Falguera A., Goday-Casals J. (1983). *L'arquitectura romànica a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans: Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya.
- 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. *Acta de La sessió pública cel·lebrada per l'Academia de Belles Arts de la Provincia de Barcelona.*
- Ros, E. (2007). *Er Art Romànic Dera Val D'aran*. Vielha: Conselh Generau D'aran.
- Ros, E. (2015). The movable and immovable heritage of the Aran Valley and Its management. *Pròceedings Of The structural studies, repairs and maintenance of Heritage Architecture, volumen XIV. Sección 8,* 471.

Artículo | Sergio Coll Pla, Josep Lluís Ginovart, Agustí Costa Jover y Cinta Lluís Teruel | Acercamiento formal y estudio estructural de la arquitectura románica del Valle de Arán

Serrate, J., (1975). *El Arte Románico En El Mig Arán*. Lérida (España): José Serrate Forga.

Viollet Le Duc, E. E., (1972). *La Construcción Medieval*. Madrid: Inst. Juan De Herrera.

Williams, M., Albuérne A., Lawson V., Yi F., (2012). Model scale shaking table test on masonry barrel and cross vaults. *Proceeding of 15 World Conference on Earthquake Engineering*. Lisboa (Portugal).

Yarza J. (2004). *Arte y arquitectura en España (500-1250)*. Madrid: Manuales Arte Catedra.