

LA ESTEREOTOMÍA DE LAS CLAVES EN EL GÓTICO PRIMITIVO EUROPEO: DIFERENTES DISEÑOS GEOMÉTRICOS Y SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

THE STEREOTOMY OF KEYSTONES IN EUROPEAN EARLY GOTHIC: DIFFERENT GEOMETRIC DESIGNS AND CONSTRUCTION SOLUTIONS

Rocío Maira Vidal

doi: 10.4995/ega.2017.7847

La bóveda sexpartita es la gran protagonista del gótico primitivo europeo y con ella se llevaron a cabo importantes abovedamientos en las catedrales y monasterios de mayor relevancia, como Notre Dame de París o Canterbury. El estudio comparativo de sus principales ejemplos nos ha permitido poner de manifiesto los conocimientos geométricos y constructivos en el gótico primitivo y su evolución hasta alcanzar el enorme desarrollo estereotómico del gótico clásico.

La clave es una de las piezas más complicadas en su talla ya que recibe los distintos nervios de la bóveda con inclinaciones y ángulos diferentes en planta y alzado, lo que requiere importantes conocimientos geométricos. La evolución de la estereotomía gótica

quedó reflejada en este elemento donde encontramos tres soluciones que muestran diferentes grados de desarrollo con distintas técnicas para facilitar su diseño geométrico y el trabajo de la labra.

**PALABRAS CLAVE: GEOMETRÍA.
ESTEREOTOMÍA. CLAVE.
BÓVEDAS SEXPARTITAS. GÓTICO.
LEVANTAMIENTO**

The sexpartite vault was the great protagonist of the beginnings of Gothic architecture in Europe and outstanding vaulting was built using this system in Europe's important cathedrals and monasteries, such as Notre Dame de Paris or Canterbury. By making a comparative study of the principal examples we have been able to bring to light

the knowledge of geometry and construction present in Early Gothic architecture and show how it evolved to the remarkable level of stereotomic development achieved in the High Gothic.

The carving of the keystone was one of the most complicated challenges of the vault as it received the different tilted ribs at varying angles on plan and in elevation, which entailed considerable knowledge of geometry. The evolution of Gothic stereotomy is reflected in this element and we found three different solutions that show development using diverse techniques to facilitate geometric design and the carving process.

**KEYWORDS: GEOMETRY. STEREOTOMY.
KEYSTONE. SEXPARTITE VAULTS.
GOTHIC. SURVEYING**



1. Nube de puntos realizada con estación total.
Colegiata de Roncesvalles

1. Point cloud elaborated with total station.
Monastery of Roncesvalles

La importancia de la bóveda sexpartita. Metodología de estudio

La bóveda sexpartita surge en Francia en la segunda mitad del siglo XII, utilizándose en las principales catedrales francesas, como Notre Dame de París, Bourges o Laon. A comienzos del siglo XIII cae en desuso en Francia y comienza su expansión por el resto de Europa, donde se abandona medio siglo después, desapareciendo definitivamente del gótico europeo.

Para abordar el estudio de su construcción se realizó la detección y catalogación de los ejemplos existentes en cada país. Posteriormente se seleccionaron los casos de mayor relevancia para llevar a cabo su medición y estudio comparativo pormenorizado (Maira 2016). Se han estudiado un total de 59 bóvedas repartidas en distintos países de Europa Occidental: Francia (Catedrales de Notre Dame de París, Bourges, Laon, Sens y Lyon; iglesias de Notre Dame de Dijon, Sainte Madeleine de Troyes y Saint Julien le Pauvre en París), España (Catedrales de Ávila, Cuenca y Sigüenza; monasterios de Santa María de Huerta, Las Huelgas Reales de Burgos y Roncesvalles; Iglesia de San Saturnino en Pamplona), Inglaterra (Catedrales de Canterbury, Rochester y Lincoln), Alemania (Catedrales de Limburg y Bremen; Monasterio de Maulbronn), Italia (Catedral de Piacenza; Basílica de San Antonino de Piacenza; Monasterio de Certosa di Pavia) y Suiza (Catedral de Lausanne).

En la toma de datos se han utilizado nuevas tecnologías de medición, estación total láser, escáner láser y fotogrametría, para poder definir el despiece de las bóvedas

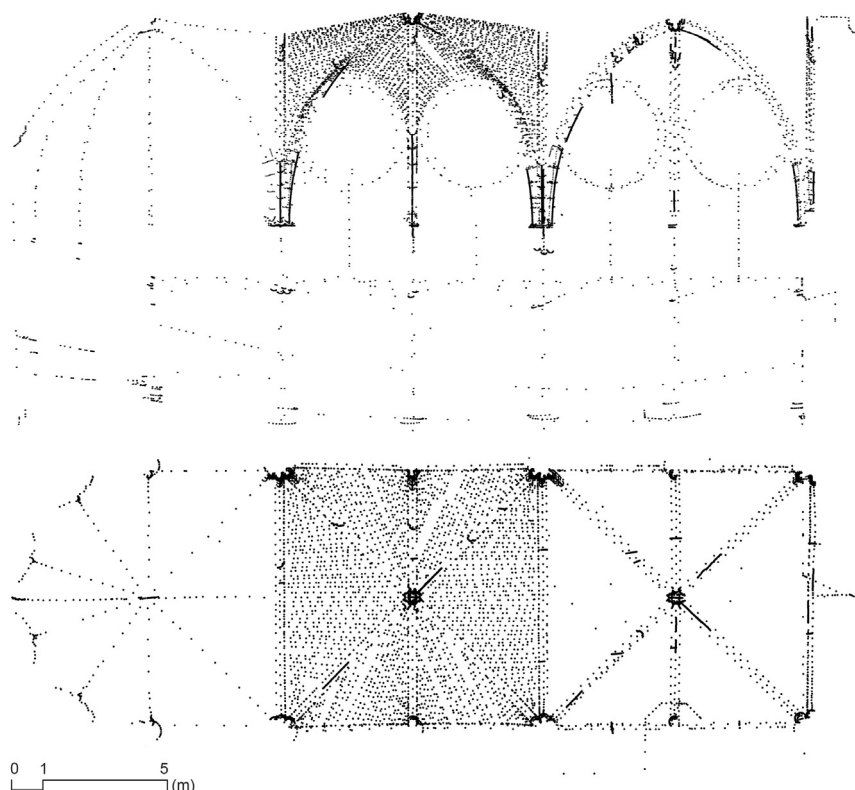
(Figs. 1 y 2). A partir del estudio comparativo realizado se han podido establecer interesantes conclusiones sobre la evolución de la geometría y estereotomía en el gótico primitivo, definiendo las características constructivas comunes y aquellos aspectos propios de cada país así como los canales de comunicación que permitieron la expansión de esta arquitectura.

La importancia de las claves en las bóvedas góticas

Las claves de las bóvedas son piezas complejas por tener que resolver la unión de todas las nervaduras de la bóveda que confluyen en ese punto. Cada nervio alcanza la clave con distintas inclinaciones, formando también entre ellos di-

The importance of the sexpartite vault. Research methodology

The sexpartite vault appeared in France in the second half of the twelfth century, being used in the main French cathedrals, such as Notre Dame de Paris, Bourges or Laon. At the beginning of the thirteenth century it fell into disuse in France and began to expand throughout the rest of Europe, where it was abandoned half a century later, disappearing from European Gothic for good. In order to study the construction techniques used for sexpartite vaults, examples existing in the different countries were first located and catalogued. Subsequently, the most relevant cases were selected for survey and detailed comparative study (Maira 2016). A total of 59 vaults in different countries of Western Europe have been studied: France (Notre Dame de Paris, Bourges, Laon, Sens and Lyon Cathedrals; the Churches of Notre Dame de Dijon, Sainte Madeleine in Troyes and Saint Julien le Pauvre in Paris), Spain (Ávila, Cuenca and Sigüenza Cathedrals; the Monasteries of Santa María de Huerta, Las Huelgas Reales in Burgos and Roncesvalles; the Church of San Saturnino in





Pamplona), England (Canterbury, Rochester and Lincoln Cathedrals), Germany (Limburg an der Lahn and Bremen Cathedrals; Maulbronn Monastery), Italy (Piacenza Cathedral; Basilica of San Antonino in Piacenza; Certosa di Pavia Monastery) and Switzerland (Lausanne Cathedral).

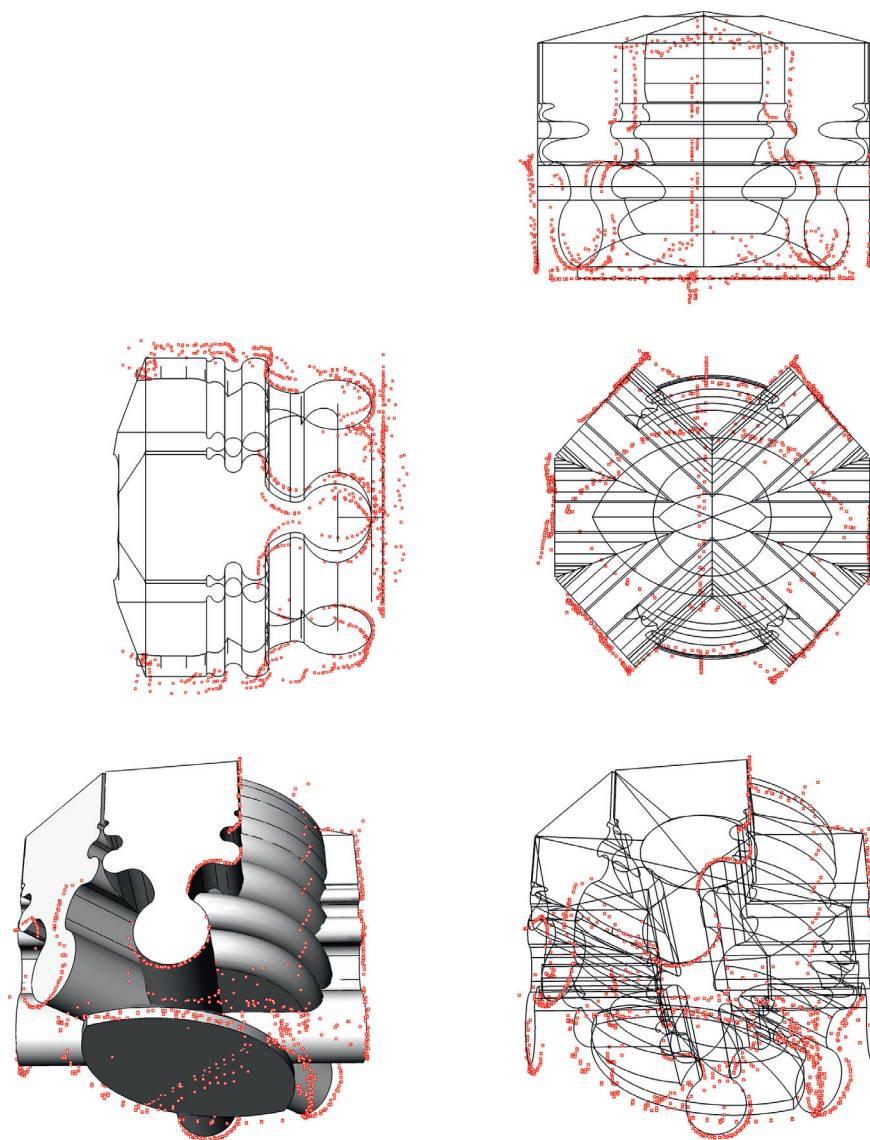
New survey technologies were used to collect data, total station, laser scanner and photogrammetry, which enabled us to generate an exploded view (Figs. 1 and 2). By making a comparative study we have been able to reveal interesting conclusions concerning the evolution of the geometry and stereotomy in the Early Gothic, defining the common construction features and those that are specific to each country, as well as some of the channels of communication that enabled this architecture to spread.

The importance of the keystones in Gothic vaults

The keystones in vaults are complex pieces since they have to provide the point of union for all the ribs in the vault, which all converge on this one point. Each rib reaches the keystone at a different angle of inclination, forming different angles on plan, which made carving enormously complex creating a challenge for the master builder.

Normally, keystones have several arms joined to a central cylinder so that the point of union does not have to be carved on the keystone itself. This cylinder is often decorated with sculpted motifs. Some examples do not have a central cylinder and the arms are designed to converge through crossed mouldings, indicating great carving skill.

The keystones of sexpartite vaults are especially complex due to the extremely steep inclination of the central ribs, which complicates the task of joining the voussoirs to the keystone. Different construction solutions were developed to address this issue, some more difficult to carry out than others and always depending on the stone cutter's knowledge of geometry. Continuity in construction is essential here since the first voussoir of each rib is the last to be placed during assembly and must be seated under pressure, exerting a sideways force on the keystone and on the rest of the rib. In this way, the rib acquires the stress even before the falsework is removed, which will help it to be more stable when it takes the load (Palacios 2015).



2

ferentes ángulos en planta, lo que complica enormemente la talla de la pieza y desafía los conocimientos de los maestros de obra.

Normalmente constan de varios brazos unidos por un cilindro central que evita tener que resolver la talla de este encuentro, donde se tallan motivos escultóricos decorativos. Algunos ejemplos carecen de cilindro central y resuelven la confluencia de los brazos con un diseño de molduras cruzadas que indican grandes conocimientos de talla.

Las claves de las bóvedas sexpartitas son especialmente complejas por la enorme pendiente con la que llegan a ella los nervios centrales, lo

que dificulta la unión entre las dovelas y la clave. Para resolver esta cuestión se desarrollaron distintas soluciones constructivas, unas más difíciles en su ejecución que otras, dependiendo de los conocimientos geométricos del maestro cantero. La continuidad constructiva en este punto es fundamental ya que la primera dovela de cada nervio es la última en colocarse durante el montaje y debe entrar a presión, imprimiendo una tensión lateral a la clave y al resto del nervio, de tal forma que éste adquiera tensión antes incluso del descimbrado, lo que le ayudará en su estabilidad al entrar en carga (Palacios 2015).



- 2. Toma de datos de una clave con estación total
- 3. Diferentes técnicas de talla para una clave gótica

- 2. Surveying the keystones using total station
- 3. Different carving techniques for gothic keystones

Estado de la cuestión: clasificación de las claves según la metodología de talla

Los estudios estereotómicos recientes hacen referencia a dos tipologías de clave distintas dependiendo del proceso que se ha utilizado en su talla: las claves de molde revirado y las de molde cuadrado (Rabasa 2000; Palacios 2009). Mientras que las primeras se caracterizan por tener el eje de su cilindro central vertical, las segundas son aquellas claves orientadas hacia el centro de la bóveda, esto es, su eje central es perpendicular a la superficie de plementería. El proceso de talla para cada tipo es distinto (Fig. 3). Las de molde revirado se tallan desde su trasdós mientras que las de molde cuadrado se tallan desde su cara de intradós. Ambos tipos están presentes en las bóvedas tardogóticas.

Las bóvedas del gótico primitivo solo disponen de una única clave, situada en el centro del vano, lo que

obliga a que su eje sea siempre vertical (siendo también perpendicular a la superficie de plementería como consecuencia de su posición central). Son piezas que se tallan desde el trasdós, como atestiguan las trazas conservadas en algunas de ellas (Willis 1910), por tanto se trata de claves de molde revirado. Como el proceso de talla es el mismo para todas ellas podríamos pensar que se trata de un elemento de características geométricas y constructivas invariables, sin embargo el estudio que hemos realizado nos ha permitido detectar diferentes tipologías en función de su diseño y construcción.

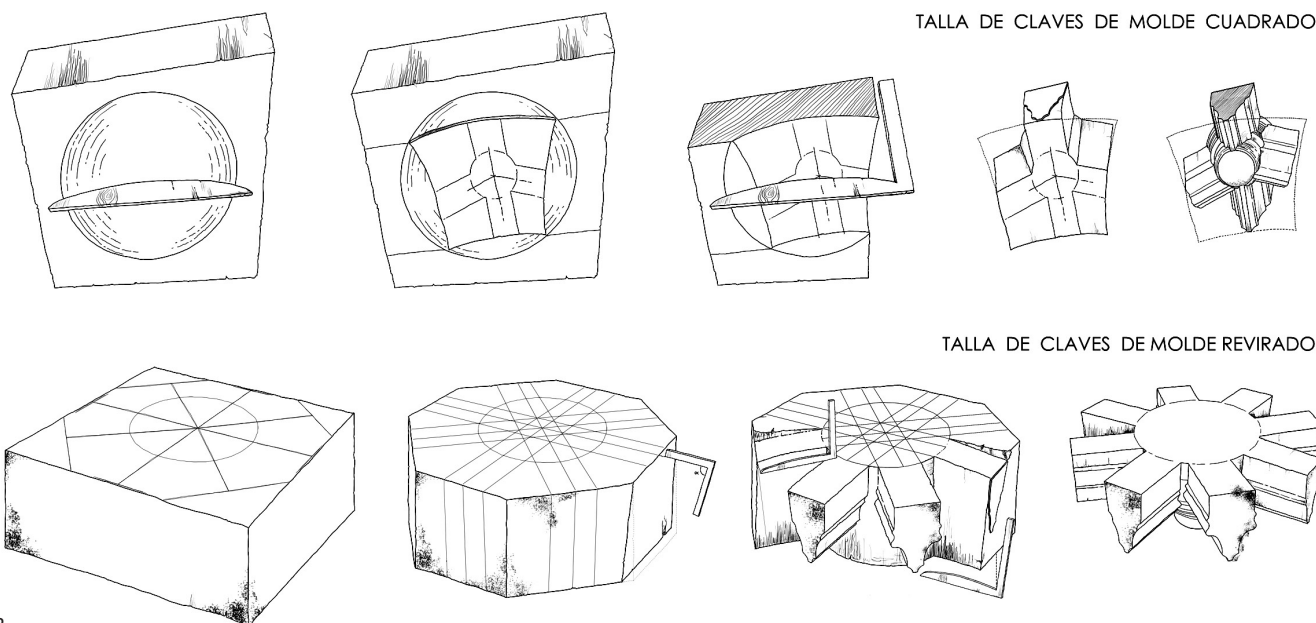
Diferentes tipologías de claves en el gótico primitivo: evolución del elemento

En esta investigación hemos podido constatar que dentro de las claves de molde revirado o de eje vertical podemos hablar de una subdivisión en tres tipos distintos.

The matter in hand: classification of keystones according to carving methodology

Recent stereotomic studies make reference to two different keystone typologies depending on the carving process used, namely, twisted mould keystones and square mould keystones (Rabasa 2000; Palacios 2009). While the former characteristically have a cylinder with a vertical central axis, the latter face the centre of the vault, that is, their central axis is perpendicular to the severy surface. The carving process for each type is different (Fig. 3). Those with a twisted mould are carved from the extrados while those from a square mould are carved from the intrados. Both types are present in Late Gothic vaults.

Early Gothic vaults only have one keystone, located in the centre of the span: the axis is therefore always vertical (and also perpendicular to the severy surface as it is in the centre). They were carved from the extrados, as shown by the marks that some of them still bear (Willis 1910), therefore they are twisted mould keystones. As the carving process is the same for all of them, we might think that the geometric and construction characteristics do not vary, however further study has enabled us to detect different typologies depending on design and construction.



TALLA DE CLAVES DE MOLDE CUADRADO

TALLA DE CLAVES DE MOLDE REVIRADO



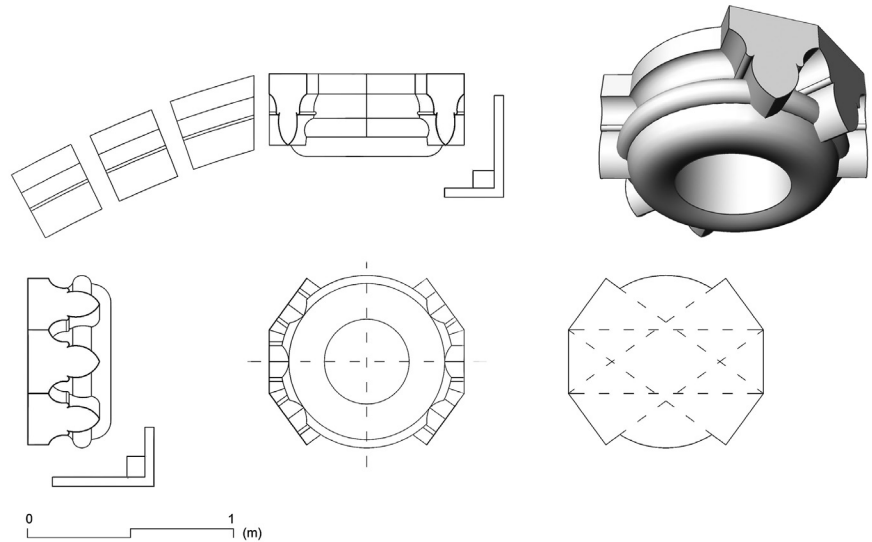
4. Clave del tipo 1. Catedral de Laon
5. Clave del tipo 2. Catedral de Limburg an der Lahn
6. Clave del tipo 3. Catedral de Rochester
7. Comparación de las diferentes tipologías de claves

4. Type 1 of keystone. Laon Cathedral
5. Type 2 of keystone. Limburg an der Lahn Cathedral
6. Type 3 of keystone. Rochester Cathedral
7. Different typologies of keystones

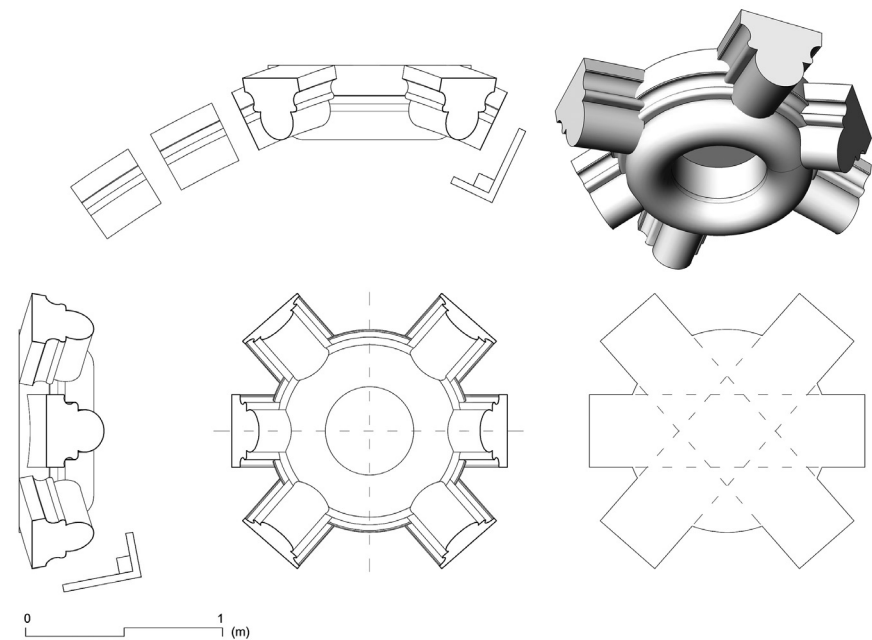
Different keystone typologies in Early Gothic: evolution of the element

During our research we were able to see that there is a subdivision within twisted mould and vertical axis keystones, generating three different types.

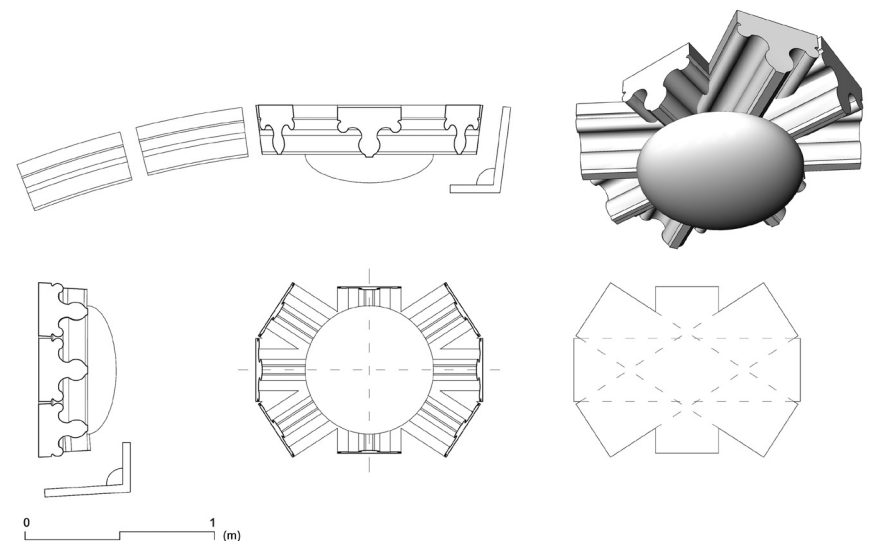
The keystones in the first typology have horizontal arms with vertical ends parallel to the vertical axis of the central cylinder. The stones were cut using a right-angled framing square. A first voussoir had to be wedge-shaped to solve the connection between the keystone and the ribs (Fig. 4). An oblique angle to the main axis created an inclined end which did not form a right angle and called for a change in the size of the cross section of the rib which had to be larger. The cross-section of each rib was therefore different at the point where it joined the corresponding arm of the keystone. The last voussoir therefore had to be adjusted in situ to ensure there were no visible misalignments between the two pieces. These in situ adjustments show that the stereotomy was not yet well developed. Later, a new typology began to emerge as the stereotomy developed (type 2). Arms became inclined and the visible end leaned towards the centre of the ribs. Wedge-shaped voussoirs were no longer necessary and the transition between the keystone and the ribs was smoother. The keystone was difficult to distinguish as the curvature did not change where the rib and keystone joined (Fig. 5). This type of keystone was more difficult to cut and required great stone-cutting skill. The third type of keystone, combined the features of the types already mentioned. It had both horizontal arms and tilted ends and wedge-shaped voussoirs were no longer necessary. The point where the curvature of the ribs changed on joining the horizontal arms of the keystone remained perfectly visible (Fig. 6). The first and second types of keystone share a fundamental feature consisting in the need to use a right-angled framing square to carve the arms. However to cut the third type of keystone, an obtuse angled framing square is



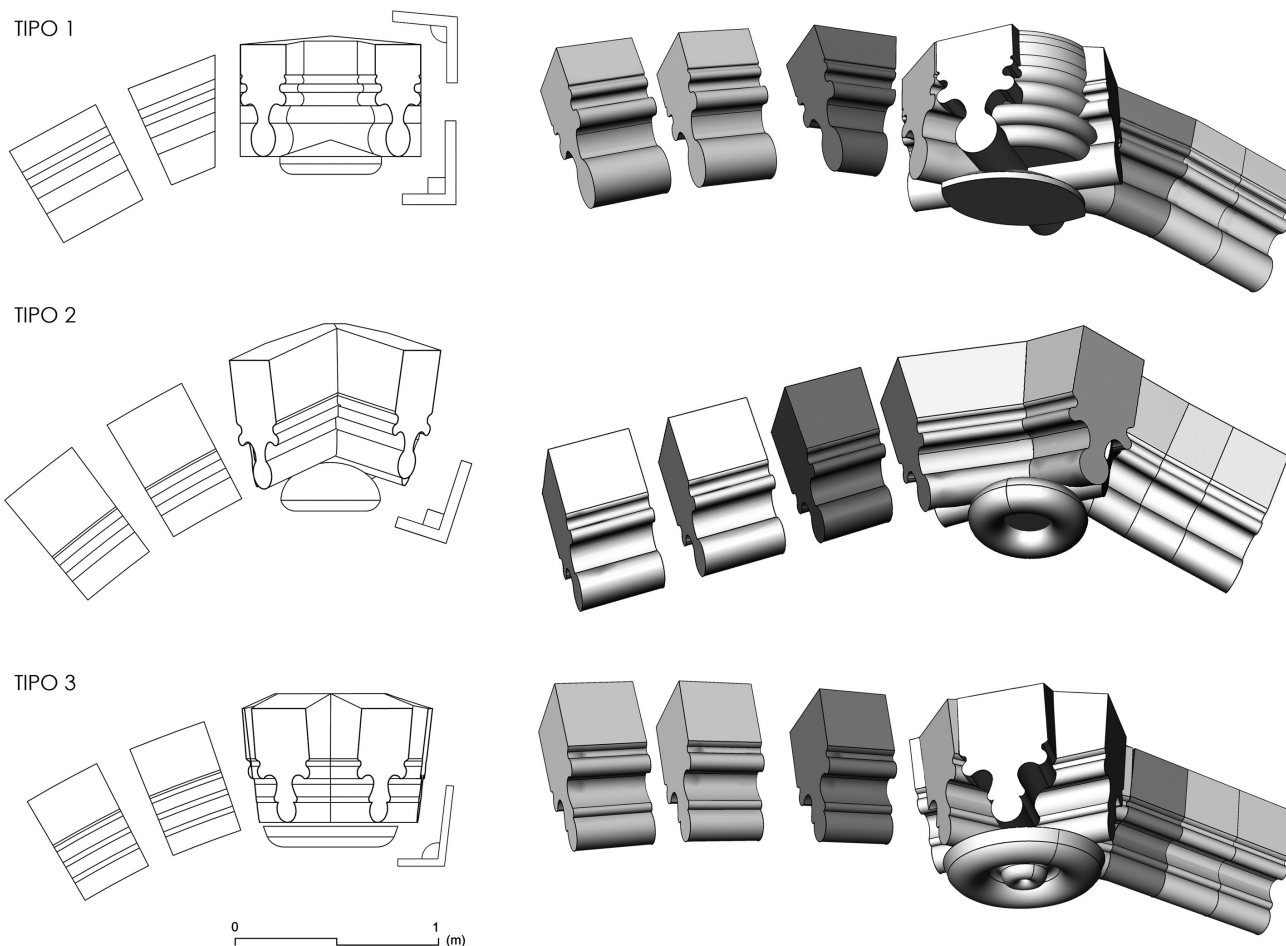
4



5



6



7

Las claves de la primera tipología se caracterizan por tener sus brazos horizontales y sus caras de testa verticales, paralelas al eje vertical del cilindro central. Estas piezas se tallan con una escuadra en ángulo recto. Para realizar la conexión de las claves con los nervios es necesaria la utilización de una primera dovela en forma de cuña (Fig. 4). El lecho superior de estas dovelas se talla oblicuamente respecto de sus ejes principales, lo que provoca que la cara de testa inclinada, al no formar un ángulo recto con la dirección de la pieza, transforme la dimensión de la sección del nervio, aumentando su tamaño. Esta particularidad provoca que en su unión con el brazo correspondiente de la clave, la sección del nervio de ambas piezas tenga distinto tamaño, lo que hace necesario un ajuste in situ de esta última dovela para impedir que queden visibles cejas

entre ambas piezas. Estas primeras soluciones que requieren ajustes in situ indican aún un limitado desarrollo de la estereotomía.

Posteriormente surge una nueva tipología a medida que la estereotomía se va desarrollando (tipo 2), con brazos inclinados y caras de testa inclinadas hacia el centro de los nervios, lo que evita la utilización de las dovelas en forma de cuña y además permite una mejor transición entre la clave y los nervios, donde la clave pasa desapercibida ya que no hay un punto de inflexión en la curvatura de los nervios al llegar a ella (Fig. 5). La talla de este tipo de claves implica una mayor complejidad y por tanto un mayor control sobre la estereotomía.

El tercer tipo de clave, combina las características de los dos anteriores. Presenta los brazos horizontales y sus caras de testa inclinadas, lo que evita la utilización de las

needed. The second and third group were the most difficult to cut (Fig. 7), although the latter is very rare, and we only found three examples among the vaults we studied (in Cuenca and Rochester Cathedrals and in the Church of San Saturnino in Pamplona).

The arms of the keystone are not curved in any of the three typologies, that is to say they were carved as straight pieces using a framing square. In the 13th century some examples of keystone typology 2 can be found, which is the most complex, since the arms were tilted and cut following the curvature of the arch, using a bevel. These examples are very rare and appear in late sexpartite vaults, announcing the future appearance of the more highly developed High Gothic stereotomy which used new tools for cutting, such as the aforementioned bevel. We can find them in Maulbronn Monastery and the Church of Notre Dame de Dijon.

However, we found some keystones that cannot be included in this classification as they have their own peculiar characteristics. This is the case of the keystones in the vaults in the Cathedral at Sens, where the arms are carved first horizontally and then at an angle and where the central cylinder is no longer present, the rib mouldings intersecting where the ribs cross.



Use of the different types of keystone in different countries: evolution and expansion of types

A general view of the examples studied reveals an interesting geographic panorama (Fig. 8). The keystones in the first typology, those that display more elementary stereotomy, were used extensively in France, where the geometries and stereotomic solutions of the remaining elements of the vault also indicate limited progress, with structures that resemble the Romanesque more than other European examples. Two different regions can be distinguished depending on how well construction techniques had developed: the Paris region, where stereotomy was still primitive, shows simple keystones of type 1, while the vaults in the eastern half of France, where construction techniques were more advanced, show more complex keystones of type 2.

It is curious to note that English vaults with a more elementary stereotomy but built in the 12th century under French influence, have more complex keystones. This is the case of the cathedrals at Canterbury and Rochester (types 2 and 3). However, the keystones in Lincoln Cathedral, which date back to the 13th century, are more primitive, in spite of being in vaults with enormous *tas de charges* and intelligent geometries that simplify the construction process showing great skill on the part of the master builder.

Most of the keystones in Spain belong to the first group in the classification, and are mainly concentrated in the centre of the Peninsula, clearly under French influence. The most complex examples, of type 2, are grouped in the northern half of the Peninsula, and display English influence. In addition, Spanish vaults developed the third typology, which is not present among French vaults, although it is found among English vaults.

In Germany, in spite of the huge influence of the Romanesque and of the limited development seen in its vaults, keystones display complex cutting techniques, and there are more that fall into the second typology. In Switzerland and Italy the keystones were particularly underdeveloped, most falling within typology 1. Sometimes they were just cone trunks that had hardly even been smoothed down and the ribs joined them directly. These pieces are illustrative of the limited stereotomic development in these vaults.

dovelas en forma de cuña, aunque no evita el punto de inflexión en la curvatura de los nervios en su transición hacia los brazos horizontales de clave, que queda perfectamente visible (Fig. 6).

El primer y segundo tipo de claves comparten una característica fundamental, es necesaria la utilización de escuadras en ángulo recto para realizar la talla de sus brazos, sin embargo para tallar las claves de la tercera tipología se necesita una escuadra con ángulo obtuso. El segundo y tercer grupo presentan mayor dificultad en su talla (Fig. 7), aunque éste último es muy poco habitual, ya que hemos encontrado solo tres ejemplos dentro de las bóvedas estudiadas (en las catedrales de Cuenca y Rochester y en la Iglesia de San Saturnino en Pamplona).

Los brazos de la clave carecen de curvatura en las tres tipologías, es decir, se tallan rectos con escuadra. En el siglo XIII podemos encontrar algunos ejemplos de la tipología 2 de clave, la más compleja, donde los brazos se han tallado inclinados y con la curvatura del arco, utilizando baibel. Estos ejemplos son muy escasos y aparecen en bóvedas sexpartitas tardías, anunciando ya la próxima aparición de la estereotomía propia del gótico clásico, más desarrollada, donde se utilizan nuevas herramientas para la talla, como el mencionado baibel. Las encontramos en el Monasterio de Maulbronn y la Iglesia de Notre Dame de Dijon.

Por otro lado hemos encontrado algunas claves que no pueden enmarcarse en la clasificación referida por presentar características peculiares propias. Es el caso de las claves de las

bóvedas de la Catedral de Sens, donde los brazos se tallan primero horizontales y luego inclinados y donde el cilindro central desaparece, resolviendo el cruce de nervios mediante la intersección de sus molduras.

Utilización de los distintos tipos de claves por países: evolución y expansión de los tipos

Una visión general de los ejemplos estudiados nos muestra un panorama geográfico interesante (Fig. 8). Las claves de la primera tipología, es decir, aquellas con menor desarrollo estereotómico, se desarrollan enormemente en Francia, donde las geometrías y soluciones estereotómicas del resto de elementos de la bóveda también son indicadores de una escasa evolución de estas estructuras, mucho más próximas al románico que otros ejemplos europeos. En todo caso se distinguen dos regiones distintas dependiendo de su desarrollo constructivo; la región de París, con un desarrollo estereotómico menor, muestra claves muy sencillas del tipo 1, mientras que las bóvedas de la mitad oriental del país galo, con mayor desarrollo constructivo, muestran claves más complejas, de la tipología 2.

Curiosamente las bóvedas inglesas con un menor desarrollo estereotómico, construidas en el siglo XII bajo influencia francesa, presentan las claves más complejas, como ocurre en las catedrales de Canterbury y Rochester (del tipo 2 y 3). Sin embargo las claves de la Catedral de Lincoln, que datan del siglo XIII, son las menos desarrolladas, a pesar de encontrarse en unas



bóvedas con enormes jarjamentos e inteligentes geometrías que simplifican el proceso constructivo y delatan enormes conocimientos por parte del maestro de obras.

En España la mayor parte de las claves pertenecen al primer grupo de la clasificación, y se concentran en su mayoría en la zona central de la Península, de clara influencia francesa. Los ejemplos más complejos, de la tipología 2, se concentran en la mitad norte de la Península, de influencia inglesa. Además las bóvedas españolas desarrollan la tercera tipología, que no está presente entre las bóvedas francesas, aunque sí entre las inglesas.

En Alemania, a pesar de la enorme influencia del románico y del escaso desarrollo constructivo de sus bóvedas, las claves presentan una talla compleja, habiendo un mayor número de la segunda tipología. En Suiza e Italia su desarrollo es muy escaso, la mayor parte pertenecen a la tipología 1 o son incluso troncos de cono casi sin desbatar donde acometen los nervios directamente. Estas piezas son el reflejo del escaso desarrollo estereotómico de estas bóvedas.

Conclusiones

Las claves del gótico primitivo, a pesar de su simple apariencia, presentan distintas soluciones estereotómicas para resolver la intersección de los nervios de la bóveda. Las primeras claves muestran un escaso desarrollo geométrico y constructivo, donde incluso son necesarias piezas en forma de cuña para solucionar la transición entre la clave y los nervios de mayor inclinación. Sin embargo poco a poco su estereotomía evoluciona enor-

memente, dando lugar a piezas más complejas capaces de eliminar estos problemas de transición, garantizando la continuidad constructiva entre ambos elementos.

En todo caso las claves no son siempre un indicador fiable del grado de desarrollo estereotómico de las bóvedas. Podemos encontrar muchos ejemplos en el gótico primitivo con impresionantes soluciones constructivas para los enjarjes y dovelas, teniendo por el contrario enormes y toscas claves con una talla muy poco trabajada y evidentes errores en su ejecución, como en la Catedral de Lincoln. En otras ocasiones la situación es la inversa, mientras que las claves muestran una talla y diseño estereotómico complejos, los demás elementos constructivos son propios de las construcciones románicas, con un menor desarrollo técnico, como ocurre en la Catedral de Sens. ■

Referencias

- CHOISY, A., 1996. *Histoire de l'architecture*. France: Bibliothèque de l'Image.
- GÓMEZ MARTÍNEZ, J., 1998. *El gótico español de la Edad Moderna: bóvedas de crucería*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- MAIRA VIDAL, R., 2016. *Bóvedas sexpartitas. Los orígenes del gótico*. Tesis (Doctoral) E.T.S. Arquitectura (UPM).
- PALACIOS GONZALO, J.C., 2009. *La cantería medieval. La construcción de la bóveda gótica española*. Madrid: Munilla-Lería.
- PALACIOS GONZALO, J.C. et al. 2015. *Taller de Construcción Gótica I. Workshop on building gothic methods I*. Madrid: Editorial Munilla-Lería.
- RABASA DÍAZ, E., 2000. *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*. Madrid: Akal ediciones.
- VIOLLET LE DUC, E., 1996. *La construcción medieval*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- WILLIS, R., 1910. *On the Construction of the vaults of the Middle Ages*. London: The Royal Institute of British Architects.

8. Diferentes claves de bóvedas sexpartitas europeas

8. Different keystones in European sexpartite vaults

Conclusions

Early Gothic keystones, in spite of their simple appearance, present different stereotomic solutions to solve the intersection of the ribs of the vault. The early keystones reveal underdeveloped geometry and construction skills. Wedge-shaped pieces even had to be used to solve the transition between the keystone and the more steeply inclined ribs. However, little by little, stereotomy evolved enormously, giving rise to more complex pieces capable of eliminating these transitional problems, guaranteeing construction continuity between each element.

In any case, keystones are not always a reliable indicator of the stereotomic development of the vaults. Many examples can be found in Early Gothic with impressive construction solutions for *tas de charges* and *voussoirs*, but with enormous, rough keystones that have hardly been smoothed down and with evident errors in execution, such as those in Lincoln Cathedral. On other occasions the opposite occurs, and the keystones show complex carving and stereotomic design, while the other construction elements are more similar to the Romanesque and less well-developed technically, such as the case of Sens Cathedral. ■

References

- CHOISY, A., 1996. *Histoire de l'architecture*. France: Bibliothèque de l'Image.
- GÓMEZ MARTÍNEZ, J., 1998. *El gótico español de la Edad Moderna: bóvedas de crucería*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- MAIRA VIDAL, R., 2016. *Bóvedas sexpartitas. Los orígenes del gótico*. Tesis (Doctoral) E.T.S. Arquitectura (UPM).
- PALACIOS GONZALO, J.C., 2009. *La cantería medieval. La construcción de la bóveda gótica española*. Madrid: Munilla-Lería.
- PALACIOS GONZALO, J.C. et al. 2015. *Taller de Construcción Gótica I. Workshop on building gothic methods I*. Madrid: Editorial Munilla-Lería.
- RABASA DÍAZ, E., 2000. *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XX*. Madrid: Akal ediciones.
- VIOLLET LE DUC, E., 1996. *La construcción medieval*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- WILLIS, R., 1910. *On the Construction of the vaults of the Middle Ages*. London: The Royal Institute of British Architects.