

Las bóvedas góticas en *Lehrbuch der gotischen Constructionen* de Georg Gottlob Ungewitter

Elena Pliego de Andrés

Georg Gottlob Ungewitter publicó en 1859 *Lehrbuch der Gothischen Constructionen*, un manual sobre la construcción gótica destinado a promover el empleo del gótico en la arquitectura, gestado en plena discusión acerca del estilo arquitectónico que tuvo lugar a

mediados del siglo XIX en Europa. Se trata de uno de los tratados sobre construcción gótica más importantes en el contexto centroeuropeo. En 1875 se publicó una segunda edición, once años después del fallecimiento de su autor, y en 1890 Mohrmann publicó una tercera edición en la que procedió a revisar todo el texto, reorganizarlo, incorporar las figuras, que en las ediciones anteriores aparecían como láminas en un volumen aparte, pero, sobre todo, hizo una importante aportación incorporando los métodos de la estática gráfica al análisis de las estructuras góticas. Finalmente se publicó una cuarta edición en 1900-03. A pesar de la trascendencia que tuvo esta publicación en el ámbito germánico, apenas tuvo difusión fuera de él. El objetivo de la presente comunicación es el de dar a conocer el capítulo del manual dedicado a la construcción de bóvedas, en el que Ungewitter trata aspectos como el perfil de los nervios, su curvatura y disposición en alzado, la disposición de la plementería o el trazado de los enjarjes.



Figura 1
Lehrbuch der gotischen Constructionen. Láminas

LA CONSTRUCCIÓN DE BÓVEDAS

Ungewitter comienza el capítulo dedicado a las bóvedas comparando la bóveda romana con la gótica a través de las condiciones de apoyo de la plementería. Mientras que en la primera, de cañón, de aristas o baida, el casco queda delimitado por la sección del cuerpo de la bóveda con los planos laterales de la planta, en la bóveda gótica un esqueleto soporta la plementería.

La bóveda romana

La bóveda romana de cantería o de ladrillo está constituida generalmente por piezas con forma de cuña o bien, en el caso del ladrillo, por paralelepípedos entre los cuales se dispone una junta en forma de cuña de mortero, a cuya capacidad aglomerante se confía la estabilidad de la fábrica. En este tipo de bóveda, la retirada del encofrado se produce tras la completa colocación.

Cuando la bóveda está constituida por hormigón, la estabilidad de la fábrica se basa en la irregularidad de los materiales que lo componen, y la retirada del encofrado no se puede llevar a cabo antes del endurecimiento del hormigón.

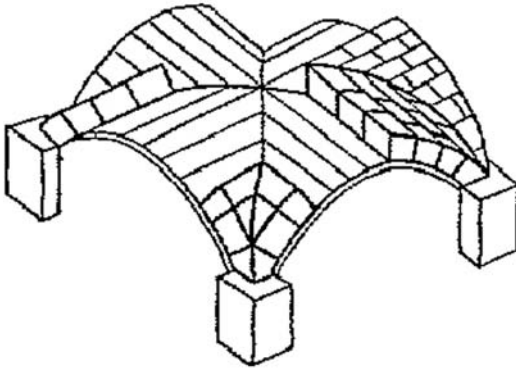


Figura 2
La bóveda romana de arista (Ungewitter 1875)

La cúpula

Ungewitter analiza la diferencia que se deriva de la forma en la ejecución de una cúpula de cantería con respecto a la bóveda de cañón. Esta última, cuya construcción tiene lugar por hiladas horizontales rectas volteadas según un semicírculo, no es estable hasta su completa ejecución. Por el contrario, la cúpula se construye por hiladas horizontales circulares, que son estables por sí mismas, y, por lo tanto, no necesita encofrado.

En una cúpula de ladrillo, las hiladas del tercio inferior se pueden colocar casi horizontales sin mortero. Más arriba, la capacidad aglomerante del mortero es necesaria. Por último, Ungewitter menciona las di-

ficultades que existen para cerrar el último tramo y hace referencia explícita al método descrito por Lassaulx.¹

En cuanto a la ejecución de cúpulas sobre planta cuadrada, las hiladas serán circunferencias completas si quedan por encima del nivel en que la sección horizontal de la bóveda tiene un diámetro inferior al de la circunferencia que queda inscrita en el cuadrado. Las hiladas que quedan por debajo de este nivel serán segmentos de circunferencia y, por tanto, ejercerán presiones sobre los arcos torales situados en los lados del cuadrado.

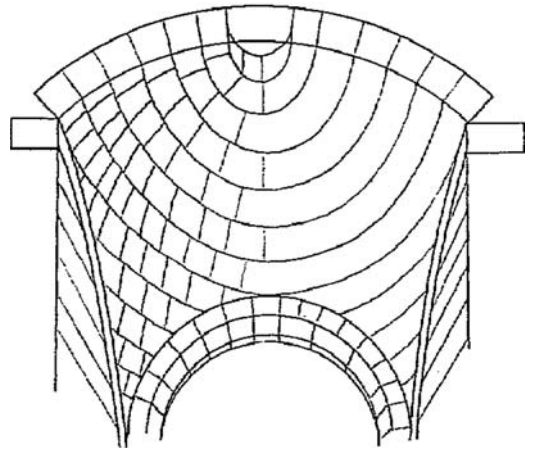


Figura 3
Cúpula sobre planta cuadrada (Ungewitter 1875)

Constitución del nervio diagonal en la bóveda de arista

En la bóveda romana, las dovelas de la arista ejecutadas en piedra pueden tallarse a bisel o con forma acodalada. Sin embargo, es mejor constituir los arcos diagonales con dovelas independientes colocadas radialmente.

La bóveda gótica

La bóveda gótica deriva de la combinación de los procedimientos constructivos de la bóveda de arista y de la cúpula, buscando una mayor facilidad de ejecución, dando estabilidad a cada una de las hiladas in-

dividualmente y dividiendo la superficie del casco en paños más pequeños.

Acerca del origen del arco apuntado, Ungewitter dice expresamente que no quiere hacer nuevas hipótesis, y que una bóveda gótica puede imaginarse sin un único arco apuntado, si bien estos permitían alcanzar cualquier altura independientemente de su luz y, por tanto, determinar el nivel de la clave a voluntad.

Para terminar este apartado, Ungewitter señala las características de la bóveda gótica:

1. Disposición de las hiladas de la plementería según arcos de circunferencia, es decir, en forma de cúpula.
2. Determinación de las alturas de cada arco.
3. Ejecución y disposición independiente de cada arco.

DENOMINACIÓN DE LAS PARTES QUE COMPONEN LA BÓVEDA DE CRUCERÍA GÓTICA

En este apartado, Ungewitter hace una breve descripción de las diferentes partes que componen una bóveda de crucería:

Tramos.

Arcos formeros, arcos fajones, arcos diagonales o cruceros.

Aristas y nervios.

Clave.

Luz; altura o flecha.

Paños o casquetes.

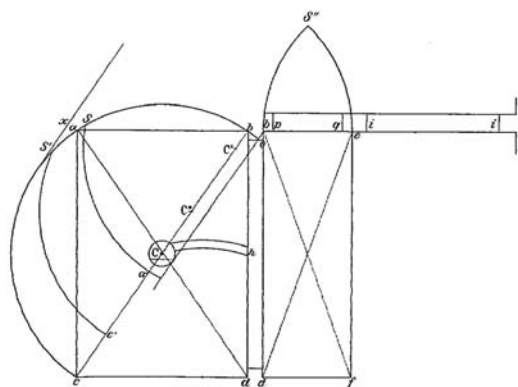


Figura 4
La bóveda de crucería gótica (Ungewitter 1875)

LA DISPOSICIÓN DE LOS ARCOS EN ALZADO

En la disposición del alzado de los arcos de una bóveda de crucería se pueden seguir dos procedimientos diferentes. Según el primero, si se determina previamente la forma del arco, la altura de la clave es consecuencia de la misma. En el segundo procedimiento, se determina la altura para obtener, a partir de ella, la forma del arco.

Determinación previa de la forma de los arcos

Ungewitter propone el empleo del mismo radio para todos los arcos, el correspondiente a un arco diagonal semicircular (figura 4). Consecuentemente, los arcos formero y perpiaño serán apuntados, y sus claves se situarán a diferentes alturas, suponiendo que los centros estén siempre situados en la línea de imposta, variable a la que no hace referencia en esta parte del texto.

Cuanto más rectangular sea el tramo, más diferencia de alturas habrá y más apuntado será el arco perpiaño. Una carga vertical sobre los lados del arco provocaría el desplazamiento de su clave hacia arriba, lo que hace necesaria en ocasiones la sobrecarga del vértice. Si los tramos consecutivos son muy desiguales, es necesario el refuerzo del pilar.

Determinación previa de la altura

De acuerdo con el segundo procedimiento, la forma del arco es consecuencia de la determinación previa de las alturas de las claves, que pueden ser coincidentes o no. Ungewitter hace referencia al procedimiento planteado por Hoffstadt en el *Gothisches ABC*,² en que todos los arcos tienen la misma flecha y el mismo radio, lo que da lugar a que el perpiaño, dependiendo de la proporción del tramo, pueda llegar a adoptar una forma de herradura. Como soluciones alternativas, se plantea la opción de peraltarlo, de situar su centro por debajo de la imposta o bien de modificar su radio.

Ungewitter considera que el establecimiento del mismo radio para todos los arcos, dando lugar a arcos apuntados, no aporta ventajas en cuanto a la estabilidad ni para la ejecución. Por tanto, propone deter-

minar previamente la forma de los arcos y alcanzar la altura deseada mediante su peraltado.

Disposición del alzado de tramos colindantes

Para evitar problemas con la plementería y el arco que divide ambos tramos, los dos arcos diagonales han de alcanzar el mismo nivel en su clave, de manera que el del tramo menor habrá de estar peraltado o apuntado.

Disposición de los arcos en tramos de planta trapezoidal

Ungewitter plantea el problema derivado en este tipo de bóveda de la disposición asimétrica del arco diagonal, que, en el caso de situar su clave en la intersección de los dos arcos, queda con dos ramas muy desiguales, lo que afecta a su estabilidad por la diferencia de empujes. Como posible solución se propone el desplazamiento de la clave a una posición más ventajosa. También se mencionan otras disposiciones como la de Viollet-le-Duc en la catedral de Langres, donde el cruce de los arcos diagonales, de trazado

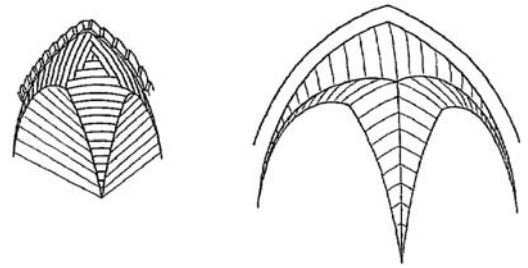


Figura 6
Disposición de la plementería en tramos de planta triangular (Ungewitter 1875)

circular, no se produce en el punto más alto sino por debajo del mismo.

La figura 6 muestra la disposición de la plementería en tramos triangulares. En el primer caso, que se puede ver en la girola de la catedral de París y en Notre Dame de Chalons, las hiladas se disponen contra los arcos volteados sobre los lados del triángulo. En el segundo caso, la planta triangular se subdivide en tres arcos que hacen la función de arcos diagonales, mientras que los arcos situados sobre los lados funcionan como perpiñones. Encontramos una bóveda de este tipo en los Romanos en Frankfurt am Main. Ambos sistemas se pueden combinar simultáneamente.

Este apartado termina con una descripción del trazado de los arcos rebajados.

LAS CIMBRAS

Ungewitter define la cimbra como el elemento de carpintería cuyo dorso está constituido según la curva que da lugar a la geometría de una bóveda. Para explicar la construcción de las cimbras, Ungewitter emplea el dibujo de la figura 7. La colocación de la cimbra tiene lugar cuando se va a acometer la ejecución de la bóveda y los arcos que están en relación directa exclusivamente con la bóveda, como son los arcos cruceros. La cimbra se coloca sobre los durmientes *d*, arriostrados lateralmente según el ancho de la bóveda, mediante vigas transversales.

Con objeto de facilitar el descimbrado, los montantes que sirven de apoyo a las cimbras se colocan sobre las cuñas *i*.

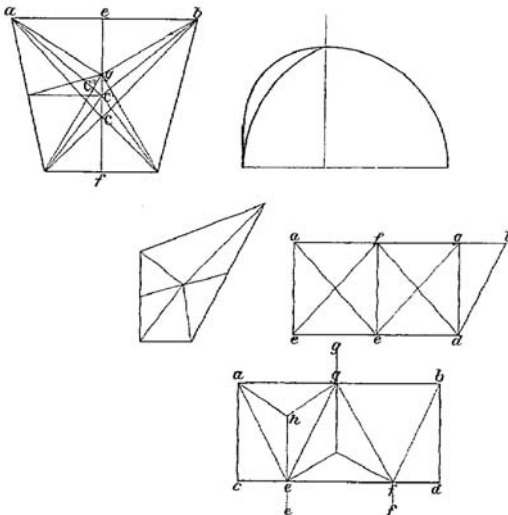


Figura 5
Tramos de planta trapezoidal (Ungewitter 1875)

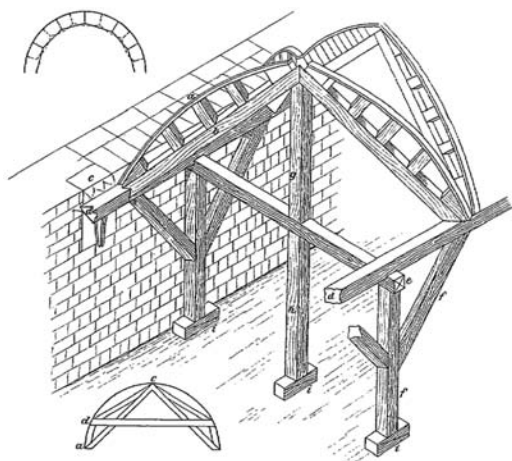


Figura 7
Colocación de las cimbras (Ungewitter 1875)

LA SECCIÓN DE LOS NERVIOS

La sección de los nervios debe cumplir dos funciones: servir de apoyo a la plementería y garantizar su posición. Por ello está compuesta de dos partes, una por debajo del casco o bien contenida en su espesor, cuya forma responde a su función de apoyo de la plementería, y otra que descuelga de la superficie del casco y que es decorativa.

La estabilidad del nervio depende, en primer lugar, de su altura y, en segundo lugar, de su anchura, que sirve además para facilitar la ejecución y para evitar desplazamientos laterales. Mientras la anchura del nervio influye en la estabilidad del arco en términos sencillos, la altura lo hace al cuadrado. Esto ha de quedar reflejado en las dimensiones de la sección del nervio, que habrá de ser, en la medida de lo posible, más alto que ancho, según aproximadamente la proporción $h = \sqrt{2} \cdot a$

La figura 8 muestra la evolución de la forma de la sección de los nervios a partir de ejemplos reales como la catedral de Fritzlar (218), la iglesia de Wetter (220) o el monasterio de Haina (225), entre otros. A través de ellos, explica cómo en los primeros ejemplos el perfil del nervio estaba constituido por una parte constructiva y otra decorativa que, con el paso del tiempo, se va diferenciando y separando de la anterior por medio de la introducción de gargantas y baquetones.

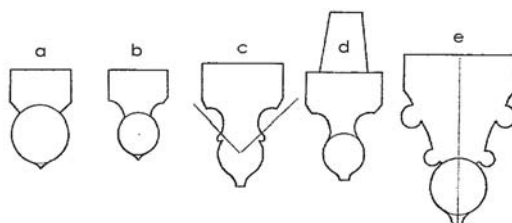


Figura 8
Evolución de la sección de los nervios (Ungewitter 1875)

En el caso de nervios de ladrillo, es habitual la forma del perfil 222 con vistas a evitar el desplazamiento lateral del nervio.

En el caso de la ejecución de los nervios mediante dovelas de piedra, estas se colocan sobre la cimbra y se rellenan sus juntas con mortero o, en ocasiones, cuando el nervio es pequeño, con una lámina de plomo. En ambos casos se trata de regularizar la superficie de la junta y permitir la transmisión de empujes entre las dovelas.

También menciona la posibilidad de unir las dovelas mediante una espiga de hierro de aproximadamente 2» de longitud, recibida con yeso o con plomo, pero considera esta solución menos conveniente por la oxidación del hierro.

En el caso de emplear ladrillo, la unión se efectuará siempre con mortero, y la ejecución de nervios y plementería debe ser preferentemente simultánea, mientras que con nervios de piedra, estos pueden ejecutarse previamente al casco.

Dimensionado de los nervios

El dimensionado de los nervios depende de las características del material y de la carga que ha de soportar y, por tanto, de la luz del arco y de la anchura del tramo.

En este apartado, Ungewitter plantea un procedimiento de cálculo a compresión para la sección del nervio crucero a partir del análisis de una bóveda de ladrillo de 20 pies de luz. En ella, la mitad del nervio crucero ha de soportar un total de 461 ladrillos de $3'' \times 6'' \times 12''$, de los cuales 88 corresponden al peso propio del nervio crucero y 373 a 2/3 del peso propio de la plementería. Si un ladrillo soporta a compresión el peso de 1000, bastará con 1/2 ladrillo para dimen-

sionar el nervio crucero. Utilizando el mismo procedimiento para una bóveda cuyas dimensiones fueran el doble que la anterior, se obtiene una sección de 2 ladrillos, lo que implica que la sección no crece proporcionalmente a la luz del arco. Hay que hacer notar que, si bien la conclusión a la que llega es correcta, Ungewitter comete aparentemente un error de cálculo en el análisis de este segundo caso. Por último, el mismo procedimiento se puede emplear para un nervio construido en piedra arenisca, teniendo en cuenta que su resistencia a compresión duplica a la del ladrillo, arrojando una sección de 18 pulgadas² y de 61 respectivamente.

Sin embargo, el dimensionado de la sección transversal también depende del desplazamiento lateral y de los problemas derivados de la ejecución. Ungewitter no establece aquí un procedimiento de cálculo concreto, sino que se remite al estudio de obras antiguas para determinar unas dimensiones mínimas, que, en el caso de la piedra serían de 6" x 9" para una

luz de 27 pies. Además, recomienda utilizar un coeficiente de seguridad de 1,5 sobre las dimensiones obtenidas.

EL CASCO

En la ejecución de los paños del casco de la bóveda se puede emplear piedra o ladrillo, si bien en Alemania el ladrillo es de uso más generalizado en combinación con nervios de piedra, pues permite un espesor menor y una ejecución más sencilla por su menor peso.

Para la disposición de las hiladas con respecto a los nervios, Ungewitter describe dos procedimientos. Según el primero, más habitual en Alemania, las hiladas se disponen en continuidad sobre el arco diagonal. En el segundo caso, las hiladas se discurren en continuidad sobre perpiaños y formeros, de manera que se cruzan sobre los nervios diagonales. En am-

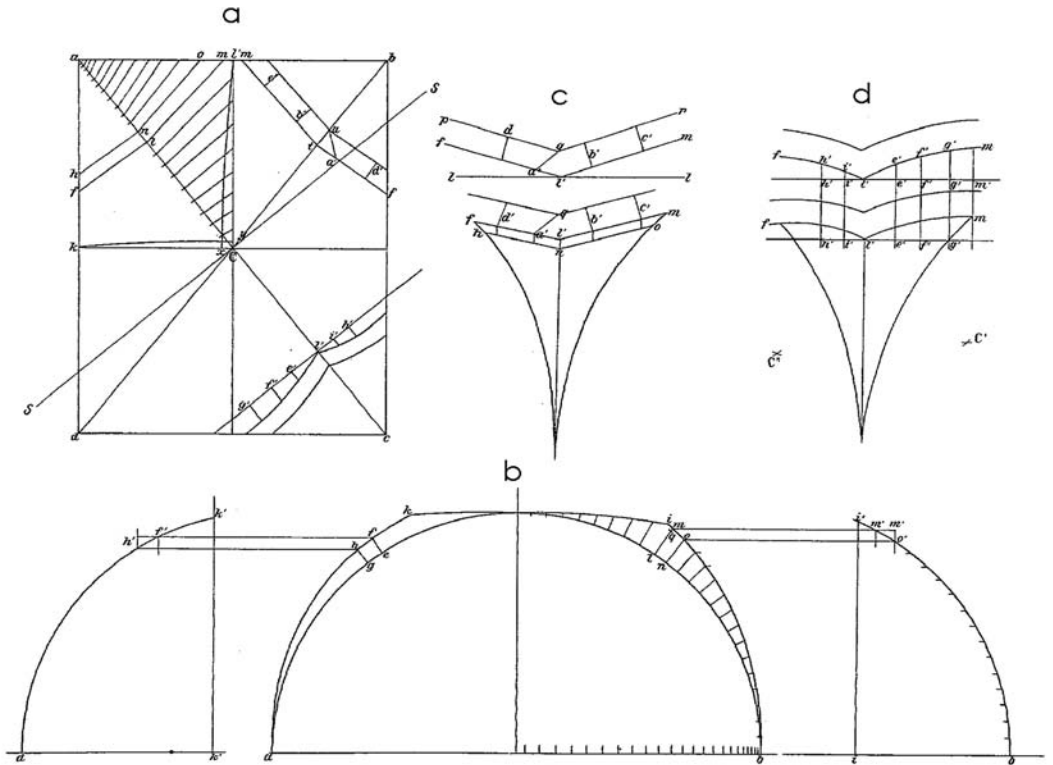


Figura 9 Disposición de la plementería con hiladas en continuidad sobre el nervio diagonal (Ungewitter 1875)

bos casos los lechos están contenidos en planos perpendiculares al nervio.

La figura 9 explica la construcción geométrica que corresponde al trazado de la plementería en el caso en que se dispone en continuidad sobre los arcos cruceros, si bien Ungewitter advierte de que el procedimiento habitual no era este, sino que un buen maestro de obras ejecutaba la plementería «a buena vista». En cualquier caso, esta descripción va más allá que cualquier publicación anterior, pero además es interesante porque explica la construcción y la forma de la bóveda bajo el punto de vista de la propia ejecución.³

En ambos casos, y a diferencia de otros autores como Lassaulx o Viollet-le-Duc, Ungewitter plantea la continuidad de la fábrica de la plementería sobre el nervio, posiblemente influenciado por Gilly,⁴ al que menciona como fuente y que además propone el refuerzo del nervio en su extradós, detalle que Ungewitter desarrolla en la figura 10 (234d).⁵

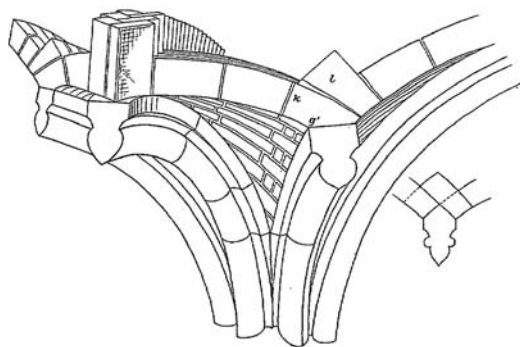


Figura 10
Detalle del refuerzo del nervio formero (Ungewitter 1875)

En cuanto a la línea de claves que se forma entre los paños de la plementería, Ungewitter no desarrolla construcción geométrica alguna para definir su forma, pues, explica, no se determina a priori, como ocurre con el resto de los arcos, sino que su forma se deriva de la forma de los paños y, consecuentemente, de cada hilada. Sin embargo, después utiliza directamente un arco de circunferencia (*ix* e *ik* en la planta de la figura 9), aunque esta no es exactamente la cur-

va que resultaría de la disposición propuesta para las hiladas.

Las figuras 9–233c y d ilustran la disposición de las juntas entre ladrillos de un mismo lecho, tanto para el caso de lechos rectos (c) como curvos (d). En este segundo caso se sitúan los centros de curvatura, aunque no se justifican.

Otro aspecto a destacar relacionado con la disposición de la plementería en continuidad sobre los arcos cruceros es la divergencia que presentan los lechos hacia los lados de la bóveda. Como soluciones se propone la selección de los ladrillos en función de su espesor, para bóvedas pequeñas, o bien se puede asumir esa divergencia mediante la junta de mortero. También se plantea como solución la disposición de las juntas paralelas, perpendiculares al arco diagonal, cuya construcción geométrica se desarrolla en la figura 11. En ella, los lechos se disponen paralelamente en planta y en planos verticales, aunque los ladrillos se colocan radialmente al nervio diagonal. El procedimiento consiste en dividir el arco diagonal según las hiladas verticales y trasladar estas divisiones a la planta, trazando la línea de proyección de las hiladas perpendicularmente al nervio diagonal.

A continuación, Ungewitter describe la disposición de la plementería en que las hiladas discurren en continuidad sobre los nervios perpieños y se cortan sobre los cruceros, es decir, que son paralelas a los ejes del paño.

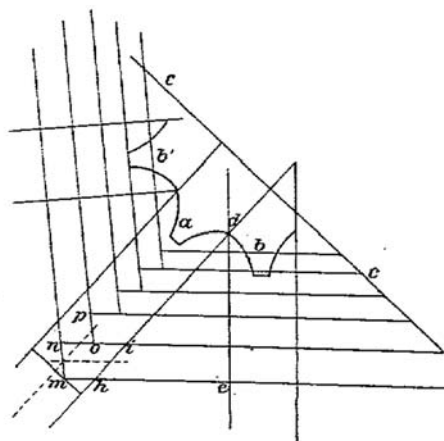


Figura 11
Disposición de los lechos de la plementería en planos paralelos

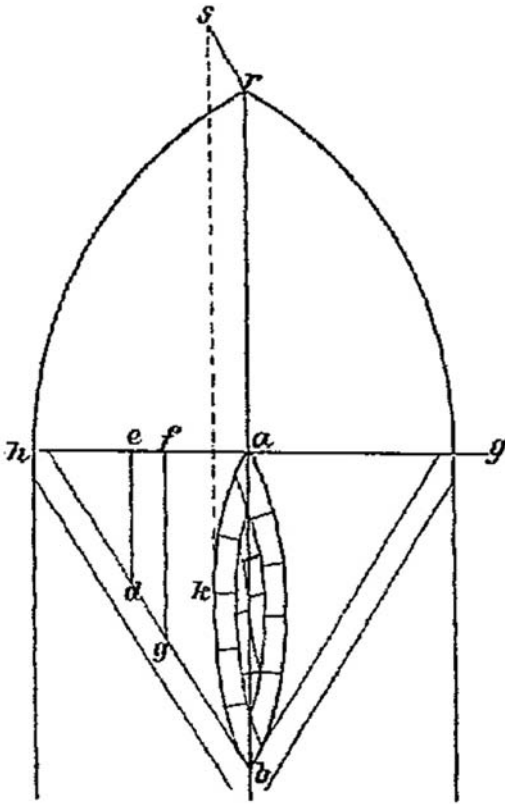


Figura 12
Disposición de las hiladas en continuidad sobre el arco peripiaño

Por último, se describe la disposición de la plemertería en bóvedas aristadas (Zellengewölbe), figura 13.

LOS ARRANQUES DE LA BÓVEDA

Ungewitter comienza este apartado definiendo el arranque como la parte inferior de la bóveda que está en conexión con el muro y se ejecuta al mismo tiempo que este, mientras que la ejecución del resto de la bóveda no tiene lugar hasta que no se ha cubierto el conjunto.

Tras una breve explicación del arranque de la arista diagonal en una bóveda sin nervios y del arranque en bóvedas nervadas, la parte principal de este apar-

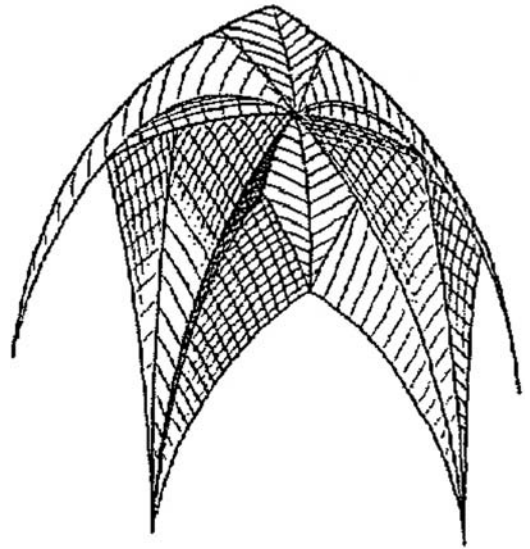


Figura 13
Bóveda aristada

tado está dedicada a la ejecución práctica del enjarje en piedra, para acabar refiriéndose a algunos casos particulares en la resolución de los enjarjes.

Arranque de la arista diagonal en una bóveda sin nervios

Determinado el espesor del arco que refuerza la arista, que Ungewitter toma como la diagonal de un conjunto de dos ladrillos, se representa el arco en alzado en verdadera magnitud (figura 14). La intersección de la vertical que pasa por el pie del intradós con el trasdós del arco determina el nivel a partir del cual la bóveda es independiente del muro, por lo tanto la cimbra habrá de ser común hasta esa altura.

Cuando se suceden varios tramos de este tipo separados por arcos fajones, se pueden dar dos situaciones:

1. Si los arcos fajones soportan un muro, han de ejecutarse a la vez.
2. Si los arcos fajones solo soportan la bóveda, se elevan junto con el muro solo hasta el correspondiente nivel de arranque.

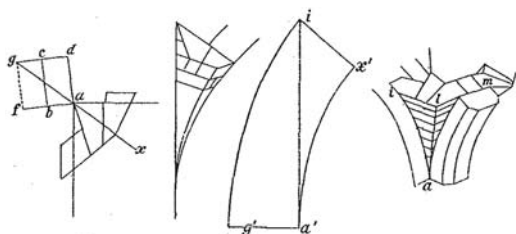


Figura 14
Arranque de la arista diagonal en una bóveda sin nervios
(Ungewitter-Mohrmann 1890)

El arranque en las bóvedas nervadas

En este caso, los nervios, independientes desde su nacimiento, se apoyan sobre un ábaco o ménsula, colocada al ejecutar el muro, junto con los arcos formeros, que están vinculados con el mismo. Esta solución requiere, para los distintos nervios, una amplia superficie de apoyo sobre pilastras o en ménsula, lo que produce en ocasiones un estrechamiento del espacio de la nave. Además, especialmente en el caso de grandes luces, la estabilidad de la bóveda puede verse afectada. Por ambos motivos, en el arranque de las bóvedas góticas los nervios permanecen unidos desde el nivel de imposta hasta que han recorrido horizontalmente la distancia necesaria.

En la ejecución del enjarje hay que considerar dos puntos principales:

1. Plano inferior del arranque: tanto si hay un ábaco por nervio como un ábaco para el conjunto de 3, 5 ó 7 nervios, estos han de inscribirse en la superficie de apoyo, que será poligonal o circular.
2. Plano superior del arranque: desde el punto de vista de la disposición del casco, es ventajoso si los nervios se separan a la misma altura en su trasdós. Esto depende de la planta inferior del arranque, y es posible en todos los casos, aunque implica cierta dificultad en el caso de tramos irregulares.

Mohrmann, en la tercera edición del manual, sostiene que la regularidad en cuanto a la disposición de los nervios da lugar a una simplificación en la ejecu-

ción al mismo tiempo que el conjunto gana en belleza, y plantea cuatro requisitos, que solo se pueden llegar a cumplir simultáneamente en el caso tramos cuadrados:

- Que los ejes de todos los nervios se corten en planta en el mismo punto
- Que los ángulos entre las direcciones de los nervios sean iguales entre sí
- Que los nervios tengan la misma sección
- Que todos los nervios, al menos en su parte inferior, tengan el mismo radio

En este aspecto, Ungewitter da en sus explicaciones muchas de estas condiciones por supuestas, y se echa en falta en el texto original una justificación como la que incorpora Mohrmann. Por ejemplo, parte de radios iguales para todos los nervios y no define claramente el punto de intersección en planta de sus ejes, que Mohrmann sitúa en la alineación del muro.

Ejecución práctica de los arranques en piedra

El arranque está compuesto por dovelas superpuestas en lechos horizontales. El plano superior puede ser también horizontal o bien radial, con el objeto de evitar ángulos demasiado agudos para la naturaleza de la piedra. Ungewitter resalta la importancia de realizar un trazado preciso para evitar quiebras e irregularidades en la ejecución, aunque Mohrmann señala que en muchas obras antiguas se puede reconocer este quiebro, producido por una ejecución inadecuada o en ocasiones por un asentamiento posterior.

Trazado de las dovelas del arranque - determinación de la sección y de la altura del nervio en el lecho superior (horizontal o radial). Estudio de diferentes casos:

1. Enjarje de tres nervios: dos diagonales y un fajón sobre un ábaco octogonal. Se suponen tramos iguales, radios iguales para los tres nervios y sus centros situados al mismo nivel.

La construcción geométrica de la figura 15, muy similar a la desarrollada por Viollet-le-Duc en el ar-

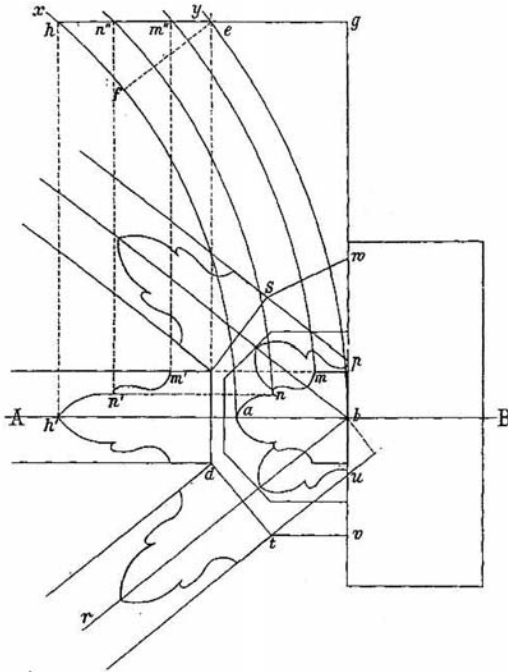


Figura 15
Trazado del enjarje (Ungewitter-Mohrmann 1890)

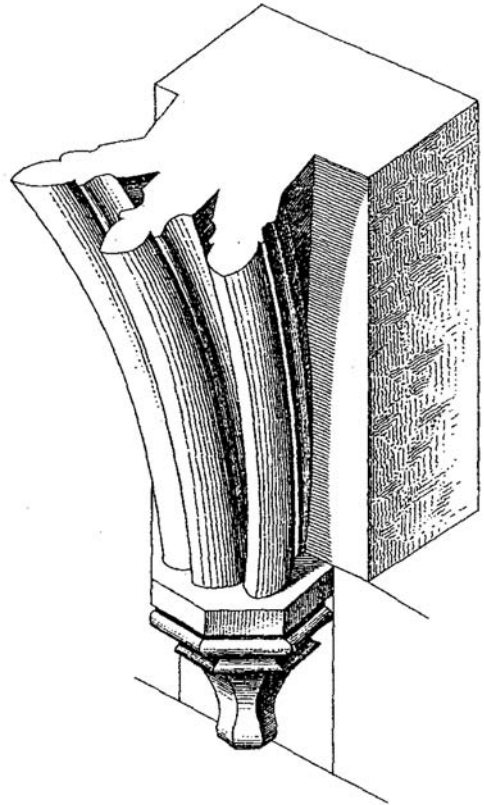


Figura 16
Enjarje de tres nervios (Ungewitter-Mohrmann 1890)

título «Construcción» del *Dictionnaire*, conduce a la obtención, a partir del perfil de los nervios en el plano inferior del enjarje situado sobre el ábaco de apoyo, del perfil de los mismos en el plano superior, con los siguientes pasos: determinación del plano superior a partir del punto de intersección entre el arco que describe el trasdós y la vertical desde el encuentro en planta de dos nervios adyacentes; determinación del contorno del perfil del nervio en el plano superior del arranque, proyectando hacia abajo los puntos de intersección entre el plano superior y los arcos descritos por los distintos puntos que definen el perfil; finalmente, se estudia el encuentro con el arco formero en diferentes casos según esté peraltado, o tenga un radio igual o diferente a los otros nervios.

2. Enjarje de cinco nervios: dos diagonales, un nervio fajón y dos formeros. Se suponen tramos consecutivos de distinta anchura, lo que

conlleva que los nervios se independizan a distinto nivel, con sus claves al mismo nivel, lo que implica que el radio de los nervios de tramo menor es mucho mayor. El arranque de los nervios se produce sobre un ábaco hexagonal.

El trazado de los arcos es el siguiente:

- El arco crucero del tramo mayor es semicircular
- El arco formero del tramo mayor tiene el mismo radio que el diagonal y por tanto la altura de la clave es inferior
- El arco formero del tramo menor tiene la clave a la misma altura, y su radio es igual a su luz, por tanto estará peraltado

- El arco diagonal del tramo menor tiene la clave a la misma altura y su radio habrá de ser mayor que el del crucero mayor, por tanto será un arco apuntado.

La ejecución práctica de este arranque será la siguiente: determinación de la altura del lecho superior del enjarje (horiz. o radial); determinación de la planta de los distintos nervios en el lecho superior del enjarje; determinación del resto de dimensiones de la pieza del enjarje.

A partir de la intersección del nervio diagonal del tramo menor, cuyo radio es mayor que el del otro diagonal, y el nervio fajón, se determina primero la máxima altura del lecho superior. A continuación se obtiene la sección horizontal de los distintos nervios en el lecho superior del enjarje; primero el diagonal del tramo más estrecho, después el fajón y por último el otro diagonal. Si el lecho superior es horizontal, el perfil es más alargado, si es radial, el perfil es menos alargado. Como resultado de esta construcción, queda un trozo de paño perpendicular, vertical, entre el nervio fajón y el diagonal me-

nor. Con esto quedarían definidas las dimensiones en planta del enjarje. Sin embargo, Ungewitter observa que la incorporación del arranque del arco formero del tramo mayor obliga a utilizar un bloque de piedra de una anchura excesiva, con las consiguientes pérdidas de material. Para evitarlo propone la solución de la figura 17, en la que este arco queda cortado por debajo del plano superior del enjarje con una junta radial sobre la cual se colocarán después las correspondientes dovelas. El nervio del arco formero del otro tramo, al estar peraltado por su menor luz, no influye en este nivel del enjarje. Ungewitter explica a continuación el procedimiento geométrico de ejecución de la dovela de arranque de este nervio, que irá colocada sobre el lecho superior del enjarje común.

Si el enjarje fuera demasiado alto, podría dividirse en dos piezas con una junta horizontal entre ellas. El perfil de este lecho horizontal se hallaría del mismo modo que el superior. Este procedimiento geométrico

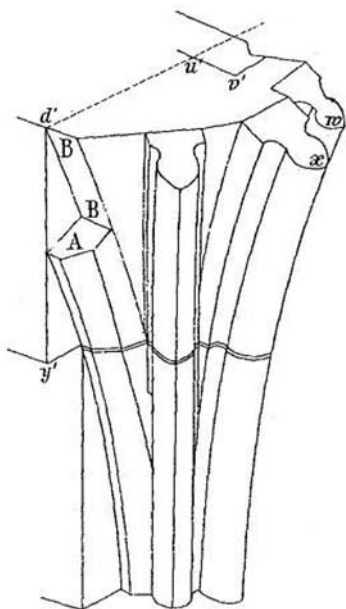


Figura 17
Enjarje de cinco nervios (Ungewitter-Mohrmann 1890)

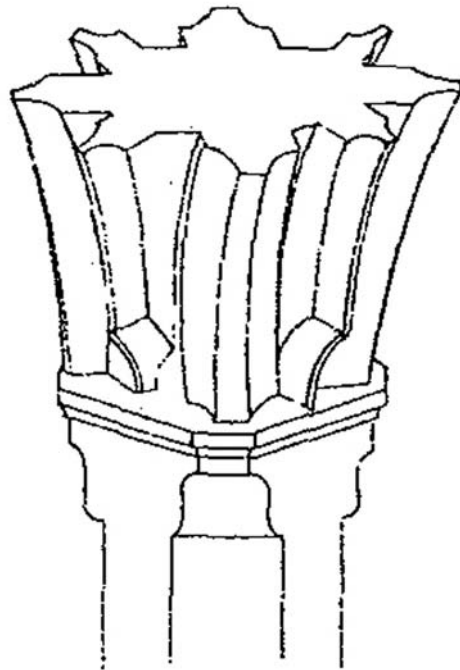


Figura 18
Disposición especial del arranque sobre pilar exento

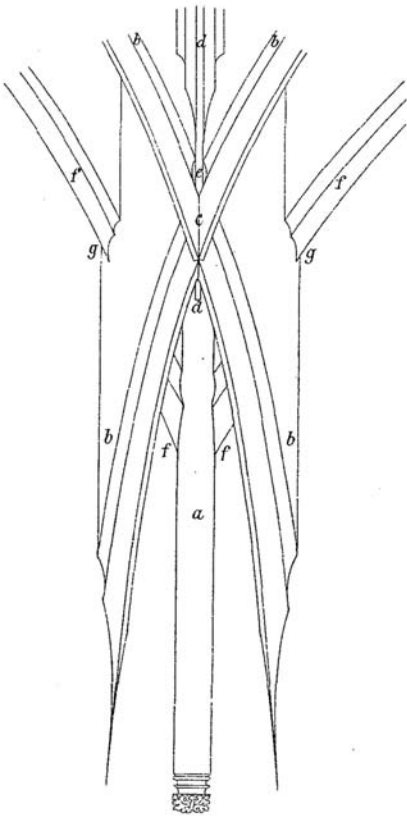


Figura 19
Enjarje con nervios entrecruzados, Ungewitter-Mohrmann 1890

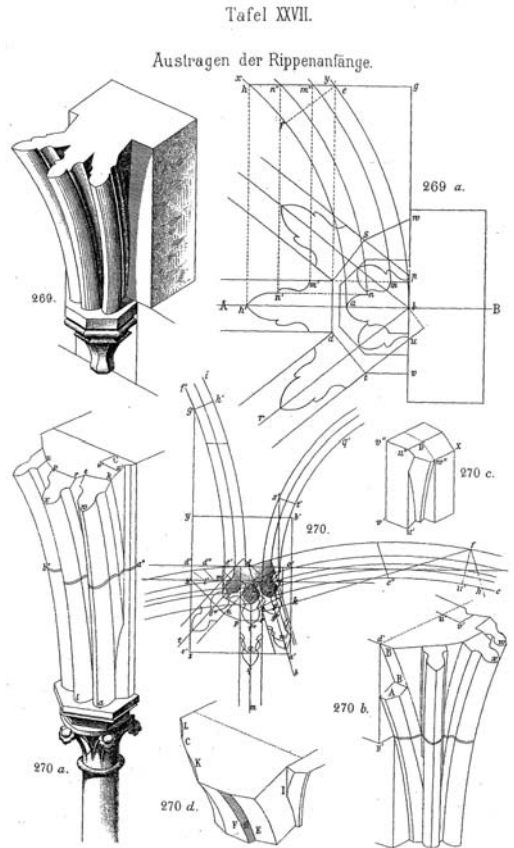


Figura 20
Trazado del enjarje de nervios en las bóvedas góticas, Ungewitter-Mohrmann 1890, lámina 27

co da lugar a una deformación del perfil en el sentido longitudinal de su sección, respecto de la cual Willis (1842) afirma que es tan poco significativa que en la ejecución real de los enjarjes no se tenía en cuenta, mientras que Viollet-le-Duc⁶ sí considera necesario determinarla.

Otras soluciones planteadas para dar apoyo independiente a los nervios formeros son la incorporación de columnillas o su arranque en ménsula o directamente desde el muro.

Por último, Ungewitter describe algunas disposiciones del enjarje en que el espacio disponible es insuficiente para dar cabida a todos los nervios, como

las de la figura 18, así como la resolución del enjarje con el entrecruzamiento de los nervios cruceros (figura 19).

BÓVEDAS NERVADAS COMPUESTAS

En este apartado, Ungewitter analiza el desarrollo de la bóveda sexpartita a partir de la bóveda de crucería común, como solución a determinadas situaciones concretas como el crucero o el encuentro de las bóvedas de la cabecera con las de la nave central, y de la bóveda octopartita, habitual en torres

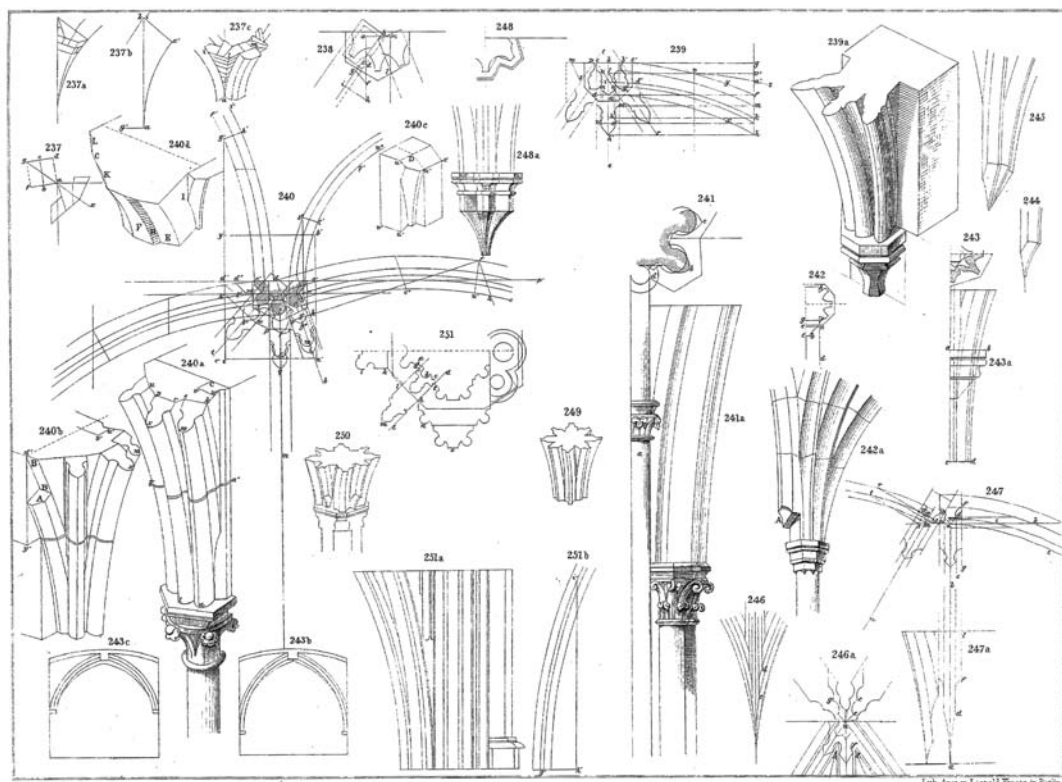


Figura 21
Trazado del enjarje de nervios en las bóvedas góticas, Ungewitter 1875, lámina 9

cuya anchura coincide con la de dos naves laterales. A partir de la bóveda sexpartita, especialmente cuando se busca una reducción en el tamaño de los paños, surgen las bóvedas estrelladas, en las que la construcción decorativa se convierte en decoración constructiva. Las disposiciones más complejas de este tipo de bóvedas tienen lugar cuando los arcos cruceros, inicialmente completos, quedan interrumpidos y los paños divididos a su vez en un número mayor de partes. En cuanto a la disposición en alzado de los arcos de una bóveda estrellada, Ungewitter plantea de nuevo dos procedimientos diferentes, que dan lugar a una pieza de encuentro de los mismos en la clave diferente. En el primer procedimiento, cuya fuente es el *Gothisches ABC* de Hoffstadt (1840), todos los cruces de los nervios se sitúan en una superficie esférica y los arcos son de radio

igual a la mitad de la diagonal del tramo. Según el segundo procedimiento, cada nervio forma un único arco, y estos son de menor curvatura. Ambos procedimientos geométricos se desarrollan extensamente en el manual.

Por otra parte, Ungewitter habla del espesor de los nervios de los arcos fajones, que inicialmente era mayor que el de los nervios cruceros, práctica que se abandonó en el siglo XIII.

En las bóvedas reticuladas, los nervios cruceros y fajones desaparecen y todos los arcos pasan a desempeñar la misma función, arrancando desde los pilares u otros puntos de apoyo situados en el muro y entretejiéndose en las disposiciones más diversas (figura 22).

Después de explicarnos la disposición más sencilla en planta de este tipo de bóvedas, Ungewitter analiza su composición espacial, señalando algunas coinci-

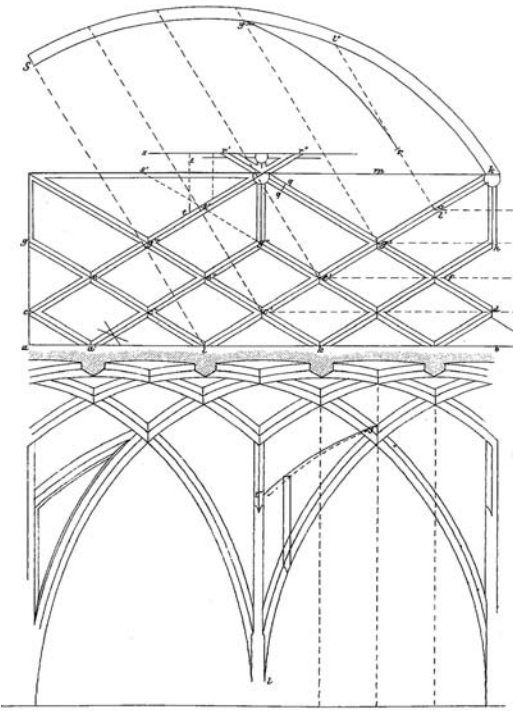


Figura 22
Bóveda reticulada, Ungewitter 1875

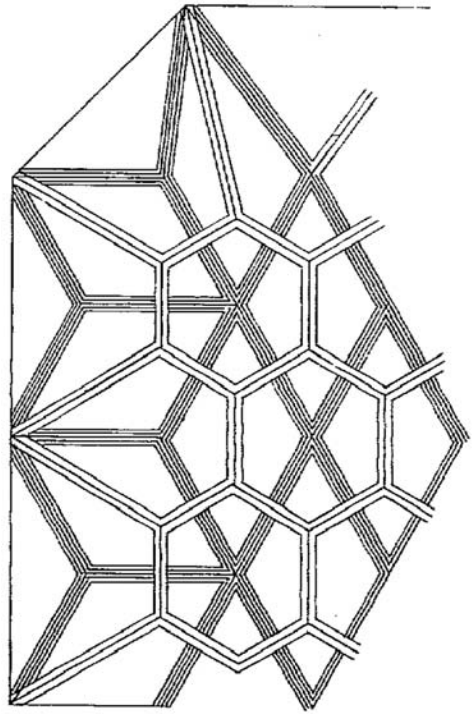


Figura 23
Bóveda con doble sistema de nervios, iglesia de Langenstein, Ungewitter 1875

dencias con la bóveda de cañón, aunque el arco generador que da lugar a la forma de la bóveda, el llamado arco principal, es uno de los nervios que va desde el pilar hasta la línea de claves. A partir del alzado de este arco, que es un cuarto de circunferencia, obtenemos las alturas de los cruces con los distintos nervios.

Por último, Ungewitter menciona otras disposiciones de bóvedas a partir de la bóveda de crucería, como las que tienen lugar en ocasiones en las naves laterales, producto de dividir los tramos en paños triangulares, o cuando los pilares de los lados opuestos están desplazados entre sí.

Otro tipo de bóveda singular que recibe especial atención en este apartado es la bóveda con doble sistema de nervios en dos planos paralelos, de finales del siglo XV, como la de la iglesia de Langenstein en Marburg y la de St. Willibrord en Oberwesel (figura 23).

Finalmente, hace una brevísima mención de la disposición de las juntas de la plementería y de la ejecución de los nervios en ladrillo.

CLAVES

El último apartado del capítulo de bóvedas está dedicado a las claves, su trazado, constitución y diversas disposiciones y formas de decoración, con especial atención al caso de las claves en las bóvedas reticuladas (Netzgewölbe).

CONCLUSIONES

Lehrbuch der gothischen Constructionen es uno de los textos en lengua alemana sobre la construcción

gótica más importantes de la segunda mitad del siglo XIX. La influencia en el *Lehrbuch* de otros autores extranjeros como Viollet-le-Duc o Willis, cuyos textos sin duda eran conocidos por Ungewitter, es patente. En cuanto a las fuentes alemanas mencionadas por el autor en el capítulo sobre la construcción de bóvedas, podemos destacar, entre otros, a Lassaulx (1829, 1846) y Hoffstadt (1840), así como a Wolfram (1838) y Gilly (1797), a los que hace referencia explícita y de los que toma prestados algunos de los procedimientos geométricos descritos e incluso dibujos.

Georg Gottlob Ungewitter desarrolló un papel fundamental en la difusión del gótico también a través de otras publicaciones como *Vorlegblätter für Ziegel- und Steinarbeiten* (1849), *Vorlegblätter für Holzarbeiten* (1849) o *Gothisches Musterbuch* (1856), que fue incluso traducida al inglés en 1858, y su influencia como teórico del neogótico alemán ha sido ampliamente reconocida. Asimismo, ejerció una importante labor docente en la Escuela de Artes y Oficios de Kassel, aunque también desarrolló su profesión como arquitecto tanto en el campo de la restauración de las obras de nueva planta. El *Lehrbuch*, resultado de ambas actividades y gestado en pleno debate acerca de los estilos arquitectónicos, pretendía ser de utilidad práctica en el ejercicio profesional de los arquitectos y fomentar el empleo del gótico.

NOTAS

1. Lassaulx 1846.
2. Hoffstadt 1840.
3. Wendland 2008, 175.
4. Gilly 1797.
5. Wendland 2008, 174.
6. Viollet-le-Duc 1859. «Construction». *Dictionnaire raisonné de l'architecture française*.

LISTA DE REFERENCIAS

- David-Sirocko, K. 1997. *Georg Gottlob Ungewitter und die Malerische Neugotik in Hessen, Hamburg, Hannover und Leipzig*. Petersberg: Michael Imhof Verlag.
- Gilly. 1797. *Handbuch der Landbaukunst, vorzüglich in Rücksicht auf die Construction der Wohn- und Wirthschafts-Gebäude für angehende Cameral-Baumeister und Oeconomen*. 2 Bände. Berlín.
- Hoffstadt, F. 1840–63. *Gothisches ABC Buch: das ist Grundregeln des gothischen Styls für Künstler und Werkleute*. Frankfurt: Schmerber.
- Lassaulx, J. C. v. 1829. «Beschreibung des Verfahrens bei Anfertigung leichter Gewölbe über Kirchen und ähnlichen Räumen» in *Journal für die Baukunst*, 1.4: 317–330.
- Lassaulx, J. C. v. 1846. «Über Gewölbeformen» in *Zeitschrift für praktische Baukunst*, 6: 457–462.
- Reichensperger, A. 1866. *Georg Gottlob Ungewitter und sein Wirken als Baumeister zumeist aus Briefen desselben vorgestellt*. Leipzig: Weigel.
- Ungewitter, G. G. 1859–1864. *Lehrbuch der gotischen Constructionen*. Leipzig: Weigel.
- Ungewitter, G. G. 1875. *Lehrbuch der gotischen Constructionen*. Leipzig: Weigel.
- Ungewitter, G. G., Mohrmann, K. 1890. *Lehrbuch der gotischen Constructionen*. Leipzig: Weigel.
- Viollet-le-Duc, E. 1859. «Construction». *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*. París: Morel.
- Wendland, David. 2008. *Lassaulx und der Gewölbebau mit selbsttragenden Mauerschichten*. Petersberg: Michael Imhof Verlag.
- Willis, R. 1842a. «On the construction of the vaults in the middle ages». *Transactions of the Royal Institute of British Architects*, 1: 1–69.
- Willis, R. 1842b. «Über die Construction der Gewölbe im Mittelalter». *Zeitschrift für praktische Baukunst*, 192–222, laminas 37–40.
- Wolfram, L. F. 1838. *Vollständiges Lehrbuch der gesammten Baukunst, Bd. 3, Lehre von den Hochgebäuden*. Stuttgart: Hoffmann; Viena: Gerold.

