

Estudio de las bóvedas de la iglesia
de San Martín de Arrieta (Vizcaya)

Javier León González
Florián Guillermo Pariente Carpio



RESUMEN

En diciembre de 2006, la iglesia de San Martín de Arrieta sufrió un incendio que aparentemente no afectó al interior del templo, pero sí a la cubierta del mismo, formada por cerchas de madera sobre las que descansaba la estructura secundaria de apoyo de la cubierta de teja. Las cerchas de madera, separadas de la clave de los arcos sobre los que apoyan de las bóvedas, cayeron cuando hubieron perdido sección, golpeando contra los arcos fajones, de poco espesor y provocando, de manera más o menos sistemática, un descenso de la clave de éstos. Este descenso de los arcos fajones arrastró a las bóvedas, que presentaban una fisuración siguiendo más o menos la dirección de los meridianos aproximadamente. La iglesia, de finales del s. XIX, es un claro ejemplo de una construcción que funciona “por forma”, es decir, formada por elementos que utilizando su propio peso y dimensiones, transmiten los esfuerzos generados por compresión hasta la cimentación. Entendido el funcionamiento de la estructura, se plantea un análisis de la misma que comprenda la comprobación estructural de las bóvedas, arcos y muros como base para la redacción de una propuesta de actuación para la redacción de los elementos dañados de la fábrica, tratando de respetar la configuración estructural que funcionó.

Estudio de las bóvedas de la iglesia de San Martín de Arrieta (Vizcaya)

1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La iglesia de San Martín de Arrieta está formada por una sola nave dividida en cinco tramos cubiertos por bóvedas baídas, es decir, formadas por un hemisferio cortado por cuatro planos verticales, cada dos de ellos paralelos entre sí. Estas bóvedas se apoyan sobre unos arcos de ladrillo (arcos fajones y formeros) que a su vez se apoyan en unos contrafuertes interiores. Al parecer, se trata de bóvedas formadas por dos roscas de ladrillo, ejecutadas en el s. XIX.

La techumbre de la Iglesia estaba formada por unas cerchas de madera, sobre las que descansaba la estructura secundaria de apoyo de la cubierta de teja. Estas cerchas apoyaban en los mismos contrafuertes de arranque de los arcos fajones.



Figura 1 y 2. Vista de la cubierta antes de la retirada de los escombros. Estado del intradós de las bóvedas. Andamiaje y apeo interior.

En diciembre de 2006, la iglesia sufrió un incendio como consecuencia de un cortocircuito en el “txoko” anexo a la fachada norte. El fuego aparentemente no afectó al interior del templo, pero sí a la cubierta del mismo. Las llamas progresaron hasta el alero, que prendió, extendiéndose el fuego por toda la cubierta. Las cerchas de madera, separadas de la clave de los arcos fajones, cayeron cuando hubieron perdido sección, golpeando contra los arcos fajones, de poco espesor y provocando, de manera más o menos sistemática, un descenso de la clave de éstos. Este descenso de los arcos fajones arrastró a las bóvedas, que presentaban una fisuración siguiendo más o menos la dirección de los meridianos aproximadamente.

Como medida provisional, y a la espera de un estudio en profundidad de las posibilidades de reparación, se apearon las

Estudio de las bóvedas de la iglesia de San Martín de Arrieta (Vizcaya)

bóvedas y los arcos y se cubrieron con unas lonas a fin de evitar el encharcamiento de la fábrica, con la consiguiente pérdida de resistencia y el deslavado del mortero de unión.

2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Denominación de elementos

Para la correcta denominación de bóvedas, arcos y muros, se ha utilizado la siguiente denominación de los elementos que conforman la estructura: Las bóvedas se numeran de 1 a 5, siendo la número 1 la más cercana a la cabecera de la iglesia y la número 5 la situada a los pies de la misma. Los arcos fajones se denominan según su situación entre las bóvedas, es decir el Arco 1-2 está situado entre las bóvedas 1 y 2. Los arcos formeros se nombran según su situación en la fachada norte o sur y la bóveda correspondiente, es decir, el arco N-2 está situado en la fachada norte soportando a la bóveda 2.

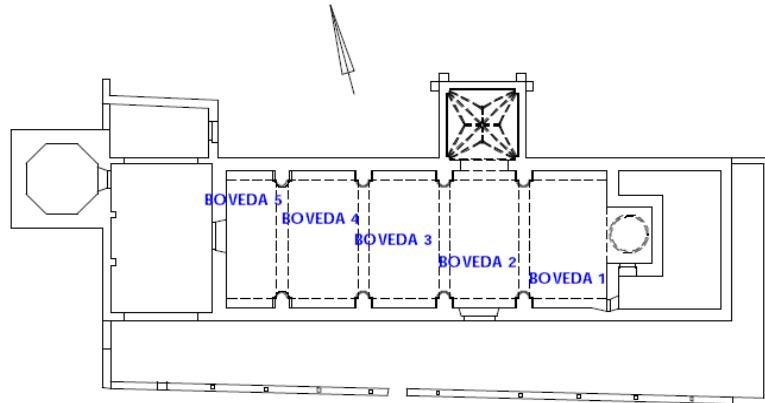


Figura 3. Planta de la Iglesia de San Martín de Arrieta

Caracterización de la fábrica

Las conclusiones de los trabajos de Labein en la caracterización son: son:

- Los valores medios de longitud (soga), anchura (tizón) y altura (grueso) de las muestras de ladrillos extraídas son respectivamente: 266 x 130 x 36 (mm). La altura de mortero dispuesta entre ladrillos (espesor de tendeles) es de 3,5 cm.
- Para la resistencia a compresión se ha tomado el valor mínimo obtenido: 20 N/mm².
- La densidad de los ladrillo se ha tomado igual a 1.610 kg/m³.

La resistencia a compresión de la fábrica se obtiene a partir de la resistencia a compresión de los ladrillos y del tipo y geometría del aparejo. Se ha utilizado la fórmula de Ohler adaptada a fábricas

Estudio de las bóvedas de la iglesia de San Martín de Arrieta (Vizcaya)

antiguas trabadas con morteros de cal pobres o deteriorados, de donde se deduce una resistencia a compresión de la fábrica de bóvedas y arcos de $f_{d, bóvedas} = 1,46 \text{ N/mm}^2$ y $f_{d, arcos} = 0,54 \text{ N/mm}^2$

3 ENFOQUE METODOLÓGICO Y DESARROLLO DEL ESTUDIO

La iglesia de Arrieta, de finales del s. XIX, es un claro ejemplo de una construcción que funciona “por forma”, es decir, formada por elementos que utilizando su propio peso y dimensiones, transmiten los esfuerzos generados por compresión hasta la cimentación. Entendido el funcionamiento de la estructura, se plantea un análisis de la misma que comprenda la comprobación estructural de las bóvedas, arcos y muros como base para la redacción de una propuesta de actuación para la redacción de los elementos dañados de la fábrica, tratando de respetar la configuración estructural que funcionó.

Para la comprobación de los elementos estructurales de la iglesia se ha utilizado el método de la línea de presiones, prefiriéndolo a modelos de elementos finitos, difíciles de alimentar con datos fidedignos.

Se comienza comprobando la seguridad estructural de las bóvedas actuales para la carga de peso propio. Para el análisis de equilibrio de las bóvedas, y ante los indicios (deducidos de las fisuras existentes en la misma) de que la bóveda funciona estructuralmente de forma separada, se han estudiado dos parejas de gajos orientados según los semiejes largo y corto.

La metodología empleada en el cálculo aprovecha este hecho y, por tanto, los teoremas de análisis límite para encontrar sendas líneas de empuje (una en cada gajo) que estén en equilibrio con las cargas solicitantes (peso propio) y respeten el comportamiento del material, cuya resistencia a tracción es prácticamente nula. Estas premisas se traducen fundamentalmente en la necesidad de que la línea de empuje discurra por el interior de la bóveda y que no se sobrepasen los límites de resistencia a compresión de la fábrica.

Estudio de las bóvedas de la iglesia de San Martín de Arrieta (Vizcaya)



Figura 4 y 5. Vista del trasdós de una de las bóvedas durante la reparación. Vista del intradós de una de las bóvedas durante la reparación. Se observa la presencia de dos fisuras según los meridianos.

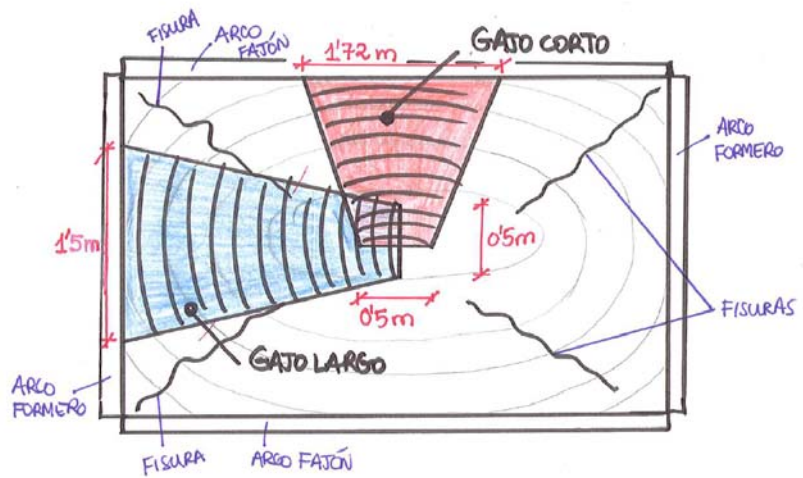


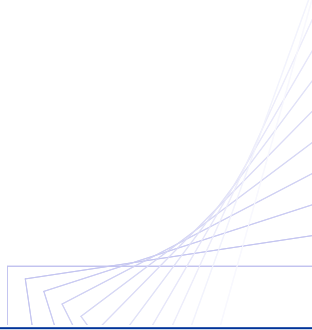
Figura 6. Esquema estructural de la bóveda trabajando por gajos independientes en ambas direcciones

Para tener en cuenta la geometría tridimensional, se ha incorporado al modelo de cálculo un ancho variable de cada dovela ideal, que recoge la variación en planta del gajo considerado, creciente desde la clave de la bóveda hasta los arranques.

Para cada uno de los dos gajos estudiados se encajó una línea de empuje contenida en su totalidad dentro de la bóveda, por lo que se considera válida como solución de equilibrio, pudiéndose afirmar que el gajo es estable. Además, las tensiones resultantes están lejos del valor de la resistencia a compresión de la fábrica.

Una vez comprobada la seguridad de la actual configuración, se planteó la posibilidad de agregar un trasdosado con mortero de cal y cemento bajo en sales. Como resultado se pudo observar que un trasdosado de sólo unos 2 cm mejora la capacidad de las

Estudio de las bóvedas de la iglesia de San Martín de Arrieta (Vizcaya)



bóvedas ante los esfuerzos a los que se las solicita y así reduce las tensiones en la misma aumentando la durabilidad.

A continuación se comprobaron los arcos sobre los que apoyan las bóvedas, tanto los fajones (transversales al eje de la iglesia) como los formeros (paralelos al eje de la iglesia), para las cargas de peso propio y de carga muerta (peso de la fracción de bóveda que soportan) en los casos de situación actual y la del trasdosado de 2 cm de mortero. La metodología utilizada es prácticamente análoga a la utilizada para las bóvedas (encaje de la línea de empuje en el interior de la bóveda y limitación de las tensiones en la fábrica por debajo de los límites de resistencia a compresión de la fábrica).

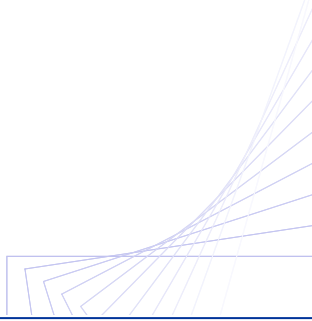
Posteriormente se comprueba la estabilidad de los soportes, ya sean pilas o muros de carga. Los arcos que sostienen las bóvedas transmiten a las pilas y muros unos empujes horizontales. Dichas reacciones pueden estar compensadas, por la existencia de otras en sentido contrario que las anulen, de tal forma que la resultante sea vertical y discurra por el centro de los soportes, o por la disposición de contrafuertes.

Finalmente se estudia la fuerza puntual que, aplicada en las bóvedas (a $\frac{1}{4}$ de la luz) o en arcos fajones y formeros (a $\frac{1}{3}$ de la luz), provocaría el colapso. Este dato es necesario de cara a limitar las sobrecargas que podrán soportar los diferentes elementos estructurales durante las obras de reparación. Las posiciones señaladas de las cargas son las pésimas para desencadenar un mecanismo cinemático de colapso, estado límite último condicionante en este tipo de análisis.

4 CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE REPARACIÓN

Con la evidencia de un correcto comportamiento estructural en el pasado, se decidió la búsqueda de una reparación que no modificara la configuración actual de la estructura, así como el empleo de materiales y métodos tradicionales de construcción de la época, descartándose el empleo de refuerzos metálicos o de fibras de carbono.

Estudio de las bóvedas de la iglesia de San Martín de Arrieta (Vizcaya)



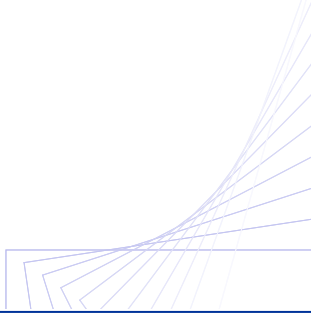
A partir de los aspectos observados en la inspección llevada a cabo y de la evaluación estructural realizada en el presente documento, se formulan las siguientes conclusiones:

- Las bóvedas cupuliformes trabajan separadas en gajos según los ejes longitudinal y transversal de la iglesia, conformando una estructura triarticulada en cada una de las dos direcciones (semieje corto y largo respectivamente).
- Ambos gajos son perfectamente estables, manteniendo un nivel de seguridad adecuado. Los daños que presentan son fruto del reajuste de esfuerzos producido por el descenso de los arcos fajones el día del incendio, al golpear sobre ellos la estructura de madera de la cubierta, en su caída
- El nivel de seguridad de seguridad estimado para los arcos fajones, no teniendo en cuenta las patologías detectadas, es adecuado, por lo que los daños detectados son consecuencia del daño producido por el desplome de la cubierta y no por una inadecuada configuración estructural.
- El nivel de seguridad estimado para los arcos formeros es adecuado.
- El nivel de seguridad estimado para los muros, pilas y contrafuertes interiores es adecuado. No obstante en la inspección llevada a cabo, se observó un pequeño desplome del muro norte de la iglesia. La falta de una explicación puramente estructural que explique dicha deformación, lleva a pensar que es un error de ejecución sin trascendencia estructural en la medida en que el desplome no progrese.
- Una vez analizados los resultados de la evaluación estructural de la iglesia, y habiendo descartado que los daños existentes sean fruto de una mala configuración, se propone a continuación el siguiente procedimiento de actuación para restituir sus condiciones originales o, en el caso particular de las bóvedas, mejorarlas.

Desapeo de la estructura

Se aflojarán los puntales que sostienen la estructura en la actualidad de manera que queden 1 cm por debajo de la estructura y que, llegado el caso de que la estructura se deforme, los puntales limiten el movimiento.

Estudio de las bóvedas de la iglesia de San Martín de Arrieta (Vizcaya)



Se comienza aflojando los puntales que sostienen las bóvedas. Una vez que las mismas hayan reajustado su geometría, se desapean los arcos fajones y los formeros.

Rejuntado profundo de bóvedas y arcos

Se rejuntarán primero las bóvedas y posteriormente los arcos fajones. El rejuntado se efectuará mediante la aplicación de un mortero de cal y cemento bajo en sales con las siguientes características:

- Árido silíceo de 3 mm de tamaño máximo
- Ligante en proporción de 5 partes de cemento blanco bajo en sales por cada parte de cal.
- Ligante : Árido = 1 : 3

Trasdosado de las bóvedas con mortero

Sobre las bóvedas, se ejecutará un trasdosado de una capa de 2 cm de mortero de cal y cemento bajo en sales con las siguientes características:

- Árido silíceo de 3 mm de tamaño máximo
- Ligante en proporción de 5 partes de cemento blanco bajo en sales por cada parte de cal.
- Ligante : Árido = 1 : 3
- Fibras de polipropileno en proporción 1 Kg/m³.
-

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento tanto a D. Félix Agiriano, arquitecto director del proyecto y de la obra, así como a D^a Rosa San Mateos y D. Jesús Díez, de LABEIN, por su colaboración en el desarrollo de los trabajos.