

# Bóvedas enrejadas por cruceros del Monasterio de San Martín Pinario: rasgos constructivos y estructurales

Manuel J. Freire Tellado

La llegada del Renacimiento provocó un radical cambio de criterio estético, futo del cual las geometrías *romanas* basadas en el cubo, el cilindro y la esfera se imponen a las geometrías de redes en las que se basan las bóvedas góticas y —especialmente— tardogóticas. Junto a esta batalla estética se libra también una lucha en las soluciones constructivas —apreciable ojeando tratados como el de Vandelvira (ca 1650)—, entre la estereotomía continua renacentista y las técnicas derivadas de la cantería gótica, basadas en la labra de elementos lineales como soporte de la forma. El nivel de excelencia que se había alcanzado la difusión de su conocimiento y su menor coste justifican su pervivencia a lo largo del tiempo, adaptándose las técnicas constructivas a los nuevos gustos formales que venían de Roma.

Una de estas adaptaciones se produce en la construcción de bóvedas de cañón mediante un sistema de nervios longitudinales y transversales. Se originan así una malla de elementos rectangulares curvos —una rejilla— que se cierran con plementería, dando lugar a las bóvedas que se han denominado enrejadas por cruceros y que visualmente se encuadran en las de casetones o encasetonadas. Este texto describe y analiza las bóvedas de este tipo que existen en el edificio de San Martín Pinario de Santiago de Compostela.

El trazado y despiece de las bóvedas enrejadas fue pormenorizadamente estudiado en su época por Vandelvira, resolviendo su aplicación para bóvedas semiesféricas, baídas, ovales..., si bien no incluye el despiece de las bóvedas de cañón enrejadas por cru-

ceros, quizás por entender que su solución quedaba englobada en los casos anteriores, mucho más complejos. El profesor Palacios (2003) ilustró con ejemplos construidos los despieces de Vandelvira (ca 1650) y aclaró distintas posibilidades constructivas. Estas líneas analizan las bóvedas de este tipo que existen en San Martín Pinario, completando el estudio emprendido en Freire-Tellado (2017).

## EL EDIFICIO

El Monasterio de San Martín Pinario de Santiago de Compostela, que en fue su origen un gran monasterio benedictino —con unos 20.000 m<sup>2</sup> de superficie construida—, está considerado como el segundo monasterio español por extensión. Situado frente a la fachada norte de la Catedral, la denominada de Azabachería, su apariencia actual se debe a una sucesión de campañas constructivas desarrolladas entre los siglos XVI y XVIII encabezadas por prestigiosos arquitectos y maestros de obras, entre ellos Mateo arquitecto español-portugués<sup>1</sup> quien dio las trazas para la reforma del edificio a finales del siglo XVI.

La lista de arquitectos y maestros de obras al frente de las obras incluye algunas de las personalidades más relevantes del renacimiento y barroco hispánico, entre ellos Mateo López (Portugal, de 1589 a 1603 -RIP 1605-), Ginés Martínez de Aranda (Jaén, de 1606? a 1608 que vuelve a Alcalá), Bartolomé Fernández Lechuga (Baeza, de 1626 a 1638), Peña de

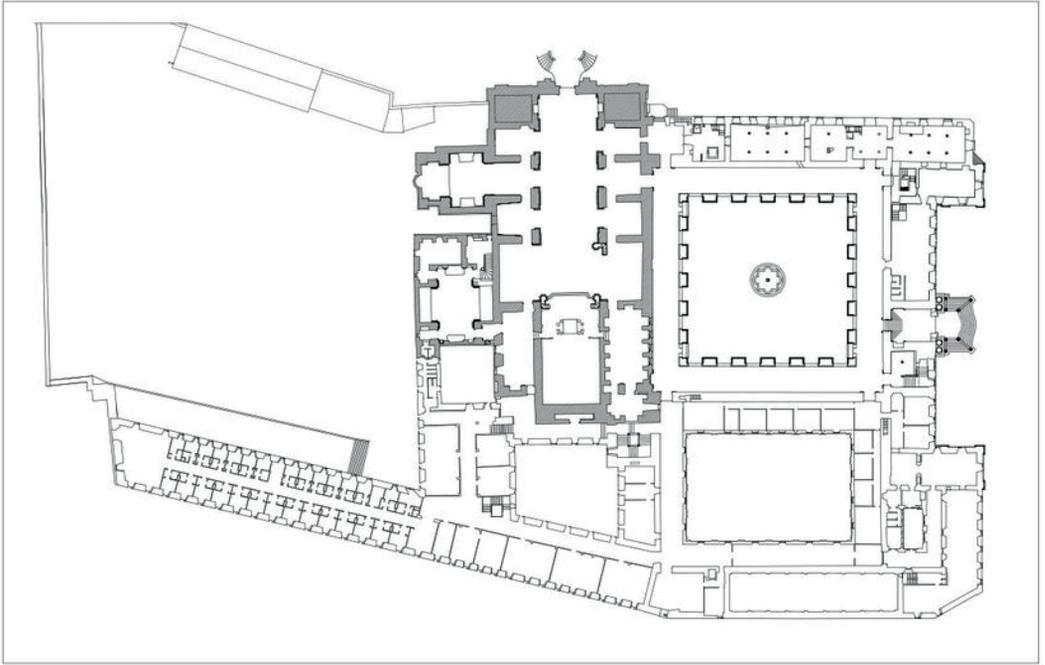


Figura 2  
La iglesia en el conjunto de San Martín Pinario (elaborado a partir de RYTA 2005 y 2017)

Toro (Salamanca, 1652, ausente en 1664), Melchor de Velasco (1664, contratado por la ausencia del anterior), Maestro Micael Arias (director de la fábrica en 1667), Fray Tomás Alonso (1677-1685), Fray Gabriel de Casas (1688-1709 RIP), Fray Francisco Velasco y fray Iñigo Suárez (1709-1730) y Fernando de Casas y Novoa (1730-1749 RIP)<sup>2</sup>.

Su impresionante iglesia, consagrada en 1648, se cierra con cúpula con linterna (Bartolomé Fernández Lechuga, 1627-1636) y un conjunto de bóvedas enrejadas por cruceros<sup>3</sup> construidas en distintas fases entre finales del siglo XVI y mediados del XVII, resueltas con directriz de medio punto de distintos tamaños y acabados, encontrándose entre ellas las primeras de este tipo construidas en Galicia de acuerdo con la bibliografía (Goy 2005, 147).

Dicho conjunto incluye las bóvedas de las seis (ocho en origen) capillas laterales que se abren a la nave de la iglesia (Mateo López, 1592-1595), las del Oratorio de San Felipe Neri —antigua sacristía— y de la Statio (Mateo López, 1596-98) que flanquean la

cabecera de la iglesia, las de los brazos del crucero y la del presbiterio-retrocoro (Mateo López, 1596-98), la bóveda de la nave (1627-1636), la de la Theca —capilla de las Reliquias— (Fray Gabriel de las Casas, 1694) y la bóveda del coro alto (iniciado en 1685 por Fray Tomás Alonso y finalizado por fray Gabriel de las Casas)<sup>2</sup>.

Se denominan bóvedas enrejadas por cruceros por cuanto se construyen mediante un sistema de nervios resaltados que forman una rejilla sobre la superficie de la bóveda —una reja— que soportan un conjunto de piezas pétreas con un espesor notablemente inferior al ancho llamadas plementos. Los nervios se dividen en dos familias, arcos transversales de medio punto y nervios rectos longitudinales. Las piezas que resuelven los encuentros entre ambas familias de nervios se denominan cruceros. El nombre hace referencia por tanto al aspecto —enrejado— y al soporte constructivo, los cruceros.

Las bóvedas más antiguas del edificio son las de menor luz y sirven de soporte para el nivel interme-

dio de la iglesia. A mayor cota se disponen las de los brazos del crucero y del presbiterio-retrocoro, ésta de mayor luz y acabado policromado. Y por encima de éstas se encuentra la bóveda que cierra la nave de la iglesia, la última en ser construida, la mayor y más alta, cuya coronación se sitúa a casi 28 metros del suelo de la nave. Sobre las bóvedas de estos dos últimos niveles se disponen las cubiertas de la iglesia, por lo que los trasdoses resultan accesibles. Finalmente, la bóveda de la Theca-Capilla de las reliquias, también policromada, se sitúa contigua a la nueva sacristía y cuenta con la plementería de la totalidad de los casetones tallada. Todas estas bóvedas se materializan en sillería de granito de los alrededores de Santiago, con acabado visto salvo las dos policromadas. Con la excepción de la del coro alto, se trata de bóvedas de cañón con un trazado de medio punto.

Los nervios de las bóvedas enrejadas pueden ser todos de igual sección o no, siendo más frecuente la primera opción. Además pueden estar orientados de forma perpendicular a la superficie de la bóveda (rectos) o ser verticales (nervios revirados). En este caso todos los nervios tienen igual sección, orientándose los nervios longitudinales hacia el eje de la nave.

El número de casetones que las componen es de 5x5 (capillas bajo el coro alto), 7x5 (capillas a la nave), 7x9 (Oratorio y Statio) 11x4 (brazos del crucero), 11x11 (cabecera), 9x15 (nave) y 7x7 (Theca), donde la primera cifra indica el número de casetones que construyen la rosca y la segunda el número de ellos que forman el fondo. En todos los casos se trata de un número impar, lo que implica que el punto medio está ocupado por un casetón —que en algunos casos se decora con un pinjante— y que la bóveda carece de ligadura superior —y también de espinazo— dado que la cota más alta está ocupada por la plementería (esta circunstancia la separa de la bóveda del Refectorio de Monfero —quizás algo posterior en el tiempo—, en la cual un nervio ata las claves de los arcos).

La bóveda del Coro Alto actual es la sustituta de la ejecutada por Mateo López en 1614: iniciada por Fray Tomás Alonso en 1685, la finaliza fray Gabriel de las Casas. Es la única que no es de medio punto, ya que tiene un de perfil deprimido-cóncavo. Se organiza como un conjunto de arcos pétreos transversales cuyo intradós se resuelve con un encasetonado en el que las piezas de los nervios dispuestos en el sentido del eje de la nave son de madera (véase Franco et al. 2006).

## Bóvedas enrejadas del edificio

### *Bóvedas de las capillas de la iglesia (Mateo López, 1592-1595)*

Se trata de un conjunto de cuatro capillas que se abren a la doble altura de la nave y otras dos más bajas situadas bajo el coro alto, así como otro par situadas a los pies de la nave que, a mediados del XVII, fueron cegadas por Peña de Toro para reforzar el arranque de las torres de fachada que se ubicarían en su vertical. Por ello en la actualidad permanecen en uso seis capillas (tres a cada lado) de las ocho originarias.

La advocación de las capillas existentes a partir del altar es la siguiente: del lado del Evangelio (sur), Cristo de la Paciencia, Santa Xertrude y San Bernardo; del lado de la Epístola (norte), Santa Escolástica, Nuestra Señora del Socorro y Santa Catarina.

Todas ellas están construidas con la misma solución: bóveda de cañón enrejada por cruceros, con directriz de medio punto, con nervios resueltos en sillería de granito visto y plementería de lajas del mismo material. Todas cuentan con pinjante en el casetón central —¿recuerdo quizás de las claves de bóveda?—, que en el caso de la del Socorro fue dorado —y la cornisa de arranque coloreada— probablemente en época barroca.

Las bóvedas arrancan de cornisas quebradas sobre ménsulas coincidentes con el arranque de los arcos transversales rematadas inferiormente por una moldura corrida, y son soportadas por los muros laterales



Figura 2  
Bóveda de la capilla de Santa Escolástica (foto del autor)

revestidos de las capillas. El trasdós no es accesible por servir de soporte al nivel superior, en el que no se ha previsto ningún acceso.

Se organizan en cinco casetones para el fondo y con 5 ó 7 para la rosca (5 en las dos capillas de los pies de unos 20 pies<sup>4</sup> de luz —5,56 m— y 7 en el resto —unos 25 pies, 6,94 m—), aunque en estas últimas sólo resultan visibles 4 1/2 de fondo por el reguesamiento de los arcos de embocadura y sus apoyos, que probablemente fue añadido como obra de aseguramiento ante la construcción de los balcones que prolongan el coro alto por los laterales de la iglesia iniciado por Fray Tomás Alonso en 1685.

Los despieces de bóvedas enrejadas que dibuja Vandelvira se realizan exclusivamente con cruceros, sin otras piezas auxiliares, lo que obliga a que tengan los cuatro brazos de longitudes similares y su labra sea realmente difícil. La construcción se simplifica si en una de las direcciones los brazos del crucero no sobresalen del ancho del nervio —el sólido capaz es mucho menor— y se emplean piezas auxiliares para completar los nervios, solución que dibuja Palacios (2003, 310) para la construcción de los cruceros con nervios *revirados*. En función de las proporciones de los cruceros. Éstos pueden ser *cuadrados* —todos los lados iguales—, *perlongados* —alargados— *disminuidos* —las dimensiones disminuyen hacia la coronación de la bóveda—...

En San Martín las bóvedas se despiezan con cruceros que tienen brazos largos en el sentido de los arcos y cortos (apenas superan en el ancho del nervio) en el perpendicular. Presentan un descuelgue —medido desde el suelo— de unos 210-220 mm —entorno a un palmo—. Las piezas rectas longitudinales se machihembran: en los cruceros se crea una caja para recibirlas, como se aprecia en el nervio de la Capilla de Santa Xertrude que ha perdido el descuelgue. De esta forma se garantiza el apoyo y la estabilidad de la pieza aún en ausencia de compresiones, situación usual de las piezas longitudinales en las bóvedas cilíndricas. Entre cruceros se coloca una única pieza en ambas direcciones, recta en sentido longitudinal y curva, una dovela, para formar el arco en el transversal.

Pese a que la organización general de la bóveda se mantiene, las dimensiones de los cruceros cambian en los distintos arcos, provocando la impresión de que se despiezan de uno en uno y no explotando completamente la seriación que el sistema permite.

Si bien el estado general es bueno, se constatado que al menos una de las piezas rectas de los nervios longitudinales de la capilla de San Bernardo —la situada junto al pinjante— es de madera, fruto quizás de una reparación. Se aprecian además manchas de eflorescencias en las capillas bajo el coro. En toda la fábrica se aprecia la realización de un desafortunado rejuntado a base de mortero de cemento gris.

#### *Bóvedas del Oratorio de S. Felipe Neri y la Statio (Mateo López, 1596-98)*

Se trata de dos estancias simétricas con respecto al eje de la nave, situadas a ambos lados de la cabecera. Sus bóvedas son similares a las de las capillas que abren a la nave anteriores, si bien con mayor profundidad (7x9 casetones), cerrando un espacio de 6,08 m de ancho (unos 22 pies). Como en el caso anterior, arrancan de cornisa quebrada, pero carecen de pinjantes.

Existen algunas diferencias entre ambas estancias: el Oratorio se cierra con sendas arquerías con fondo ciego en los lados largos, mientras que en la Statio se hace con muros; en ésta se abrieron dos huecos a la fachada al patio de las bodegas (o de los Cerdos) que interrumpieron la cornisa, y que permiten comprobar que la plementería de esta fila de casetones de arranque se construye como parte del muro. Existe un tercer hueco que sólo afecta a la plementería y cuya misión podría ser dar ventilación a una de las estancias perdidas que originó la construcción de la nueva sacristía.

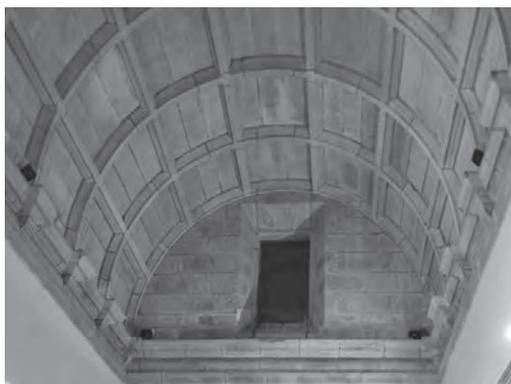


Figura 3  
Bóveda del Oratorio de San Felipe Neri (foto del autor)

En la construcción de los arcos de ambas salas se repite un despiece que resuelve las filas de casetones 1, 4 y 7, intercalando una dovela entre cruceros, mientras en el resto no se emplean piezas auxiliares —longitudinalmente la solución es la misma expuesta anteriormente—, aunque no parece una solución totalmente estandarizada, por cuanto las dimensiones de los brazos de los cruceros se modifican. Se desconoce el porqué de este cambio. Además en el Oratorio se observan algunas desalineaciones en el enrejado longitudinal.

#### *Bóvedas del crucero (Mateo López, 1596-98)*

Salvan una luz de 12,20 m mediante una rosca compuesta por 11 casetones y por 4 de fondo que arrancan sobre cornisa continua soportada por ménsulas en correspondencia con el nacimiento de los arcos. Sigue los mismos criterios constructivos de las anteriores —si bien con piezas de mayores dimensiones (1,69 m entre arcos y casetón cuadrado) y mayor descuelgue, sobre 251 mm (de 247 a 265)—, pero en este caso los arcos se solucionan con 0, 1 o 2 dovelas entre cruceros. Su trasdós cierra el espacio bajo cubierta, que se manifiesta a la nave mediante sendos pares de huecos de ventilación.

La inspección del trasdós de la bóveda se realiza accediendo al espacio bajo cubierta. El acceso al crucero norte se realiza desde el interior del edificio, pero lamentablemente el trasdós de la bóveda está oculto bajo la capa de hormigón que se colocó en las intervenciones de Pons-Sorolla<sup>5</sup>: sólo se aprecia el trasdós resaltado de lo que parece un arco de refuerzo situado próximo al muro, y que posiblemente se corresponda con el trasdós del arco que define el primer casetón. Se aprecia también que el arranque del muro que define la cúpula se realiza con un arco de refuerzo. También el relleno de senos de la bóveda está cubierto con hormigón.

Para acceder al trasdós del crucero sur hay que entrar desde el exterior, por una claraboya de la cubierta, que lleva al espacio sobre el techo del aula Juan Pablo II, y desde éste se llega al crucero. Lamentablemente la inspección no dio otra información más allá de constatar que el recrecido de hormigón era unos 20 cm más alto en la zona contigua al muro de la cúpula, que correspondería al recrecido de un arco similar al anterior y del espacio hasta el muro.

#### *Bóveda policromada del retrocoro (Mateo López, 1596-98)*

Está resuelta con 11 casetones para la rosca y 11 longitudinales, con las mismas características que las anteriores. Arranca sobre una cornisa continua que remata los revestidos muros laterales. Aparentemente parece la misma solución descrita anteriormente para las bóvedas del transepto, aunque policromada.

La luz libre salvada es de unos 12,20 m (unos 44 pies) medida a nivel del suelo, lo que conduce a un radio aproximado de 6,10. Con esto casetones de 1,74 m entre ejes. La distancia entre arcos es de 1,830 m, lo que da lugar a un casetón ligeramente rectangular

El remate contra el muro oeste está perfectamente resuelto, respetando el espesor de medio nervio (frente a lo que pasa en los brazos del crucero). Sin embargo, es apreciable del desalineamiento de ciertos tramos de los nervios longitudinales.

Si bien existen otras situaciones (de 0, 1 ,3), mayoritariamente los arcos se construyen con dos dovelas curvas entre cruceros. Salvo raras excepciones, los nervios longitudinales sólo con una dovela.

Inspección del trasdós. También recubierta de hormigón, sorprenden unos rollizos de madera que erizan el trasdós. Son *taponés* dispuestos para evitar la caída del hormigón fresco durante el hormigonado por los agujeros que taladran los plementos. Aprovechando que algunos habían sido retirados, se midieron los espesores del recrecido de hormigón (16 cm) y de la plementería (16 cm) en los agujeros, si bien se tienen algunas dudas sobre el límite exacto entre ambos materiales debido a la penetración del hormigón).

En el extremo hacia la cúpula se aprecia un arco resaltado a 1,20 m del muro que la cierra, arco que no se percibe por el intradós. También resulta perfectamente claro que el arranque del muro se realiza sobre un arco que dobla el de la propia bóveda. Si en el crucero norte es un arco de lajas, en este caso se realiza con dovelas con las caras exteriores sin labrar y dispuestas escalonadamente, como para permitir el engarce ante las dudas acerca de su ancho.

En la zona del muro testero que cierra la cabecera por el oeste y hacia la coronación de la bóveda, se encontró un rebajo rectangular de unos 24 cm en el recrecido de hormigón. ¡Resultó sorprendente comprobar que la plementería de la bóveda es en este

punto un tablón de madera! Por el intradós el tablón está pintado como el resto de la bóveda y es prácticamente indistinguible (salvo que las juntas están un poco abiertas), lo que conduce a la pregunta: ¿cómo es la plementería de la bóveda?

En la inspección se constató que dicho rebaje es el único que existe, constatación que introduce la pregunta de si existen más elementos de madera, pero Pons dejó únicamente uno accesible como botón de muestra o de si se trata de un caso único. Ni la inspección ni la revisión de las fuentes documentales derivadas de la intervención de Pons disponibles han permitido despear esta duda <sup>6</sup>.

#### *Bóveda de la nave de la iglesia (1627-1636)*

La iglesia presenta una nave muy alta, con capillas laterales muy bajas, por lo que históricamente el con-

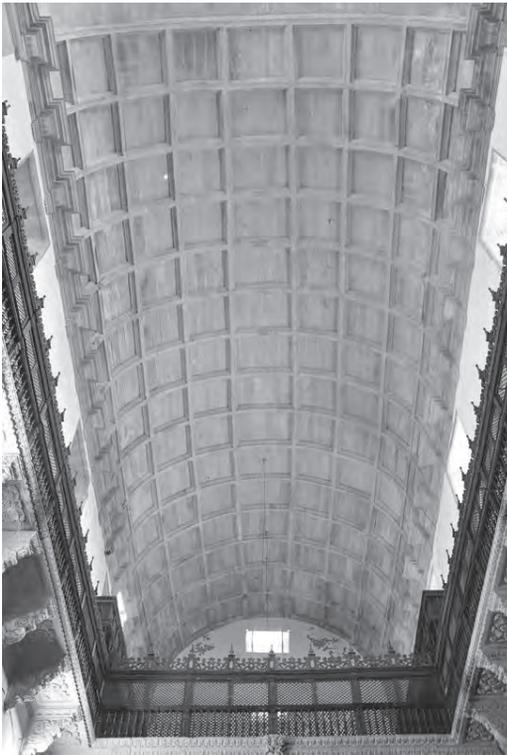


Figura 4  
Bóveda de la nave de la iglesia (foto del autor)

trarreto de los empujes fue problemático: sus muros presentan una inclinación apreciable. Existió inquietud sobre su estado quizás hasta 1652 en que Peña de Toro amplía los contrafuertes de la nave. No obstante, no se tiene constancia de movimientos contemporáneos, quizás motivado también por el recrecido de hormigón de la bóveda y nervios sobre los estribos que le colocó Pons-Sorolla a la bóveda en 1978.

Con más de 12 m de luz libre (12,10 medidos en coro alto), la bóveda se alza hasta los 28 m sobre el nivel de pavimento. Arrancan de una cornisa quebrada longitudinal que resigue las ménsulas de apoyo de los arcos transversales.

Se resuelve con 9 casetones transversales para formar la rosca por 15 longitudinales. Con este reparto los casetones son aproximadamente cuadrados (ligeramente rectangulares con los horizontales como lados cortos) y de dimensiones algo mayores (se reduce de 11 a 9 el número de ellos con los que se construye la rosca), aumentando también el descuelgue de los nervios (que son de labra algo más sencilla y esquemática) hasta los 320-331 mm.

En el despiece de los arcos se emplean de 2 a 4 dovelas entre cruceros —quizás de intradós recto— mientras que en los nervios longitudinales se emplea casi exclusivamente una pieza entre cruceros pese a su dimensión (unos 188 cm).

Los arcos transversales arrancan de una cornisa quebrada similar a de las capillas, pero en este caso la moldura inferior de este pseudo entablamento no es recta, sino que se quiebra también bajo las ménsulas de apoyo de los arcos.

Inspección del trasdós. Para realizar la inspección del trasdós fue preciso acceder desde una claraboya exterior próxima a la cumbre que se alcanza subiéndolo por la cubierta desde las torres.

La primera diferencia reseñable es lo apretado del espacio que queda entre extradós y cubierta, no siendo posible ponerse de pie y debiéndose desplazarse agachado. Inmediatamente se aprecian una serie de arcos resaltados que se intuyen coincidentes con los nervios transversales de la bóveda. Las piezas de este conjunto no son uniformes, sino que existe una serie de *dados* pétreos —como si de claves se tratase— que se identifican con los cruceros, entre los que se disponen piezas pétreas superiores, varias de ellas claramente reutilizadas —como se desprende de la labra que presentan— y algunas nítidamente independientes de la superficie de hormigón. Aunque la

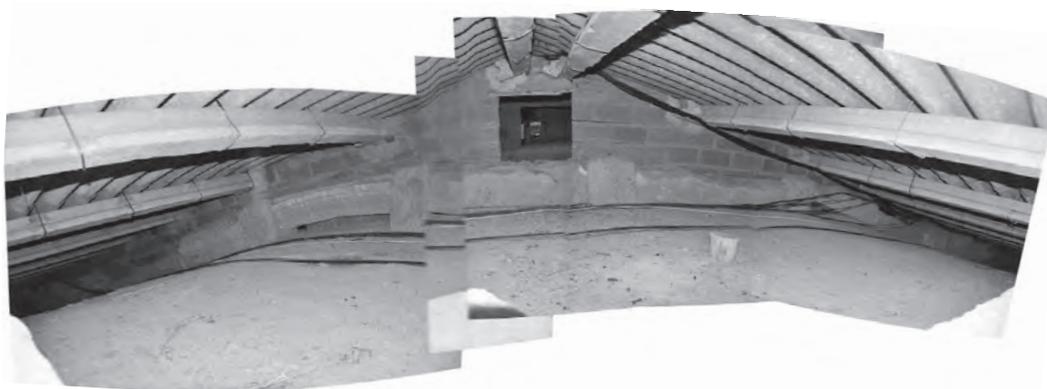


Figura 5  
Arcos resaltados del trasdós de la bóveda de la nave de la iglesia (foto del autor)

capa de hormigón impide asegurarlo sin ningún tipo de dudas, parece un sistema de arcos con dos rosas independientes —en casos separadas— y sólo conectadas en las claves-cruceros.

Los arcos resaltan unos 38 cm sobre el nivel del recrecido de hormigón. Cuentan con un ancho de 22 cm y una distancia libre entre caras de arcos contiguos de 182 cm, lo que significa un intereje de 204 cm. Los dados pétreos resaltados tienen unas dimensiones del orden de 40 x 40 x 80 cm<sup>3</sup>.

Tampoco en este caso la revisión de las fuentes documentales derivadas de la intervención de Pons-Sorolla aportó ninguna referencia a este hecho.

La observación del intradós de la bóveda revela la variación del ancho del casetón central a lo largo de la directriz de la bóveda: si en ambos extremos los casetones que construyen la rosca tienen aproximadamente el mismo ancho, en la zona central se vuelven apreciablemente más anchos —es muy apreciable a partir del sexto casetón desde el este—. Esto provoca una modificación de las alineaciones de los nervios longitudinales especialmente evidente en la segunda rosca de casetones desde el este. En varios de los arcos teóricamente de medio punto se identifican zonas aplanadas que quiebran la directriz. Y también son visibles una serie de eflorescencias y depósitos de sales que afectan a las dos filas de casetones a partir de ambos arranques, que corresponden con la zona de la bóveda rellena o solidaria con el muro. Y en la parte norte de algunos de los arcos centrales, se aprecian grietas

de riñones rellenas de mortero. Exteriormente en el muro aparecen restos de antiguas cornisas, que sugieren que se aumentó la altura del muro... ¿se trata tal vez de una bóveda que fue construida ajustándose a una planta deformada por los movimientos de los muros? Las pequeñas dovelas intercaladas en los arcos ¿son piezas de ajuste para adaptar la directriz teórica del arco a la situación de obra?

*Bóveda de la Theca —capilla de las Reliquias—  
(Fray Gabriel de las Casas, 1694)*

Se trata de una estancia de unos 4,65 x 8,50 m<sup>2</sup> cubierta con una bóveda de cañón enrejada por cruceros con directriz de medio punto, muy posterior a las anteriores. Está resuelta en sillería de granito policromada (al fondo se encuentra sin colorear una franja), sobre cornisa quebrada que resigue las ménsulas de apoyo de los nervios transversales de la bóveda, soportada por muros revestidos. Presenta un despiece de 7x7 casetones rectangulares de lado mayor horizontal, pero de dimensiones muy inferiores a los anteriores.

Constructivamente no sigue el patrón de las anteriores: se despiece con cruceros sin brazos —una suerte de claves cuadradas— entre los que se dispone una única pieza en cada dirección. La plementería se resuelve con dos piezas labradas (con un botón central) y coloreadas por cada casetón. En este caso apa-

rentemente se ha estandarizado la construcción de los nervios de la bóveda, si bien hay múltiples soluciones de talla sobre la plementería.

Lamentablemente no se ha tenido acceso a su trasdós, que soporta el solado de una sala de exposición.

### Aproximación al comportamiento mecánico de la bóveda

Se estima que hoy el trasdós levanta en la cabecera 2,97 m sobre el relleno de los riñones, lo que lleva a estimar una apertura sin relleno de  $2 \times 56^\circ$  descontando el espesor de hormigón añadido por Pons Sorolla.

Como se ha señalado, constructivamente los plementos apoyan en los arcos transversales de la bóveda. Si bien en coronación este apoyo es horizontal, se va inclinando al descender hacia los apoyos de la bóveda. La condición de no deslizamiento de estas piezas inclinadas es que

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \mu$$

Donde  $\alpha$  es la inclinación de la sección transversal de los plementos —básicamente rectangular— y  $\mu$  es el coeficiente de rozamiento estático granito-granito. Si se admite que un valor adecuado es  $\mu = 0,5$  —valor tradicional en el cálculo de puentes de fábrica del s XIX que incluye un cierto coeficiente de seguridad (Huerta 2004, 15-17)—, no se produciría deslizamiento hasta una inclinación superior a  $\alpha = 26,56^\circ$  —el valor de 0,65 propuesto por Rennie para el granito aumenta la inclinación a  $33^\circ$ —. Sólo por encima de estos ángulos es necesaria la transmisión anular de esfuerzos para garantizar la estabilidad de la bóveda.

De acuerdo con lo anterior, prácticamente toda la plementería de los cinco casetones centrales de la bóveda —los carentes de relleno en la actualidad— podría estar trabajando exclusivamente en flexión, sin transmisión anular de compresiones entre plementos. Además la presencia de piezas de madera actuando como plementos descubierta avala esta posibilidad al menos en la parte superior de la bóveda. Existen otros ejemplos que confirman esta hipótesis, como por ejemplo la bóveda del Refectorio del Monasterio de Monfero, que presentaba —antes de su rehabilitación— la superficie perforada en varios puntos como consecuencia del desprendimiento de algunas piezas

de los nervios longitudinales, hecho que imposibilitaba la transmisión de compresiones anulares, por lo que un mecanismo resistente posible sería la respuesta en flexión de los plementos y la transmisión de los esfuerzos por los arcos al menos en su parte superior.

La luz libre medida en los brazos del crucero es de 12,20 m. Suponiendo este mismo valor para el retrocero y suponiendo como canto la suma del descuelgue de los nervios y el espesor de la plementería —dado que se ignoran las dimensiones de la cola— se tiene una relación del espesor al radio  $t/R = 6,84\%$ ; para una apertura de  $72^\circ$  —la que resulta de descontar el casetón de arranque—, del gráfico de Heyman (1995, 30 o 40) deriva un espesor mínimo de  $0,04736 \cdot R$ . Esto conduce a un coeficiente geométrico de seguridad 1,444, valor que afortunadamente incrementa la existencia del relleno, que sube otros  $16^\circ$  por encima de este punto.

Para que este mecanismo resistente alternativo al de las bóvedas de cañón sea viable, es necesario comprobar la resistencia mecánica de los plementos funcionando a flexión simple.

Suponiendo para el granito un peso específico de  $\gamma = 28 \text{ kN/m}^3$ , para el espesor medido de  $t = 160 \text{ mm}$  y suponiendo un ancho transversal de 1,00 m, resulta un peso por unidad de longitud de  $p = 4,48 \text{ kN/m}$ . El módulo resistente es

$$W = b \cdot t^2 / 6 = 4,27 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

Suponiendo una distancia entre apoyos de 1,830 m —la correspondiente a la distancia entre arcos de la cabecera, bóveda a la que pertenecen el resto de las medidas adoptadas—, el momento flector isostático resulta ser

$$M = q \cdot l^2 / 8 = 4,48 \cdot 1,83^2 / 8 = 1,8754 \text{ m kN}$$

lo que conduce a una tensión normal de

$$\sigma = M / W = 0,44 \text{ MPa}$$

Que es un valor bajo para un granito (que puede tener una tensión de rotura por flexión próxima a 10 MPa, con valores seguros de 3,33 MPa; es más, con este espesor tampoco tendría problemas la situación de los plementos de la nave).

Las reflexiones anteriores avalan la viabilidad del comportamiento estructural alternativo descrito.

## OTRAS REFERENCIAS

Repartidas por la comunidad existen otras bóvedas enrejadas, lo que pone de manifiesto la difusión de esta solución constructiva. La relación no pretende ser exhaustiva, sino que pretende recoger ejemplos de distintas variantes.

El Monasterio de S. Salvador de Celanova (Celanova, Ourense) cuenta con cuatro bóvedas enrejadas por cruceros<sup>7</sup>, adyacentes dos a dos, correspondientes a la Sacristía (7x7 casetones), y sala aneja, al zaguán (7x7 casetones) y al vestíbulo de la escalera principal (5x5 casetones), datadas antes de 1590. Si bien transversalmente se construyen con un número impar de módulos, todas son de directriz carpanel —oval— similares a las que dibuja Viollet-le-Duc ([1854-1868] 1996, 120 figura 74) y aunque aquéllas de los vestíbulos son de sillería de granito vista (la del vestíbulo tiene labrados los casetones de la tercera fila y tercera columna, con un pinjante en el casetón central) mientras que en el grupo de la Sacristía están policromadas y la piedra no es visible: los descuelgues de los nervios está coloreado en rojo y el resto en blanco (encalado) y la proporción entre nervio y casetón resulta diferente a simple vista.

Refectorio del Monasterio de Santa María de Monfero (Monfero, A Coruña): Construido en entre 1579 y 1619 (Castro Álvarez 2011), está situado al sur del Claustro Reglar. Contó con una bóveda enrejada que se conserva sólo parcialmente. La bóveda, fechada hacia 1611, está compuesta por 8 casetones transversales, conservándose 2 y 4 casetones de fondo en los extremos. Se construye con cruceros cortos, con una única dovela entre ellos. Uno de los cruceros de la coronación cuenta con un pinjante labrado. Los arcos transversales se independizan de los muros a partir del segundo casetón.

El apoyo entre dovelas de los arcos transversales se realiza por contacto sin ninguna solución especial. Transversalmente parece ocurrir lo mismo por cuanto antes de la restauración se apreciaban piezas giradas.

Santa María de Oza (A Coruña) Antigua parroquial, cuya capilla norte (añadida en el s. XVII) cuenta con una bóveda enrejada de medio punto con plementería de losas de granito compuesta por 4x4 casetones.

Capilla de la iglesia parroquial de Santa Mariña de Castro, Antas de Ulla, Lugo. La capilla adosada al norte —quizás anterior a 1648 (García Iglesias 1990, 227)— presenta una bóveda ochavada por cruceros

—según denominación de Vandelvira refrendada por Palacios (2003)—. Cada lado resuelve su ancho con casetones cuyos nervios arrancan de una cornisa quebrada por las ménsulas de apoyo de los nervios. Esta cornisa está fracturada en las zonas de huecos.

Coro alto de San Estevo de Ribas do Sil (Nogueira de Ramuín, Ourense). Extraña solución de sendos grupos —uno por cada nave lateral— de bóvedas *por arista* enrejadas: a unas pequeñas bóvedas por arista se le superpone un enrejado (5x5 casetones) que arranca de una cornisa quebrada y engloba también al arco entre pilares. Hacia la nave mayor se pueden apreciar las cajas previstas en los cortos brazos de las piezas de crucero. Se trata de una solución que no figura entre las de Vandelvira

El profesor Fernández Salas informó de otras tres variantes de la solución:

Capilla del templo parroquial de la Asunción de Brozas (Cáceres). Formada por 8 x 3 casetones, con nervios de granito y plementería de ladrillo. Los arcos transversales se forman exclusivamente con cruceros, sin piezas intermedias, mientras perpendicularmente se emplea una pieza recta por casetón, dado que el crucero apenas avanza en este sentido. La plementería de la foto está resuelta con bóveda de ladrillo de rosca extremeña sin cimbra, tipo bizantino.

Bóveda del nártex del monasterio de O Divino Salvador de Moreira (Maia, Portugal 1588-1622). Sorprendente bóveda plana de 7x3 casetones, realizada toda ella en sillería de granito. En el sentido corto, la pieza central resuelve dos cruceros; longitudinalmente se emplea una pieza complementaria entre cruceros. La nave de la iglesia de este monasterio cuenta con lo que parece ser otro ejemplo: bóveda de cañón enrejada por cruceros, formada por nueve transversales y más de 16 longitudinales, con nervios de granito y plementería revestida quizás de mampostería—. Las fotos del trasdós permiten comprobar que los nervios resaltan ligeramente del resto de la bóveda.

Esta iglesia llevó a pensar en la Iglesia del Monasterio de San Julián de Samos (Samos, Lugo), obra de Fray Julián Vázquez entre 1733-1748 (Franco y Tarrío 2002), con una apariencia similar, si bien en este caso la bóveda —también de cañón y con 9 casetones para la rosca— está punteada cada cuatro casetones por un arco fajón. Cuenta además con sendos ventanales por tramo, que 2x2 casetones de arranque centrales. Los casetones de coronación cuentan con una pieza pétreo resaltada a modo de clave.

## CONCLUSIONES

Pese a ser del mismo tipo —bóvedas de cañón enrejadas por cruceros rectos— las bóvedas de San Martín Pinario presentan diferencias apreciables en el despiece empleado, que en todo caso se separan del planeamiento de Vandelvira.

Las bóvedas se despiezan con un número impar de casetones que tienden al cuadrado. Salvo en la Theca, se construyen con piezas de crucero de brazos curvos largos y apenas los arranques en sentido transversal. Entre estos cruceros se interpone una pieza recta en el sentido longitudinal de la bóveda para formar el caseton y un número variable (0, 1, 2, 3... pero generalmente 1) en el transversal. Las realizaciones no llegan a agotar las posibilidades de estandarización del sistema.

La ausencia de compresiones en el sentido longitudinal de la bóveda ha llevado a emplear un apoyo en caja en esta dirección.

Se ha encontrado una situación en que la plementería está compuesta por un tablón de madera, sospechándose que no es el único caso. Otras situaciones de bóvedas conocidas del mismo tipo han llevado a idear un mecanismo resistente alternativo al comportamiento de bóveda para la parte superior, basado en un sistema de arcos transversales sobre los que apoyan los plementos trabajando a flexión.

Es sorprendente el sistema de construcción de la bóveda de la nave, con una suerte de arcos resaltados de dos roscas trabadas en los cruceros. Quizás este hecho sea debido a los problemas estructurales que tuvieron sus muros.

Se constata el empleo de técnicas derivadas de la construcción gótica a lo largo del territorio gallego con distintas soluciones y variantes.

## AGRADECIMIENTOS:

A D. José Rama Liste, por todo el tiempo pasado en las cubiertas.

## NOTAS

1. Durante 60 años, desde que Felipe II fuese proclamado rey de Portugal en 1581 hasta su independencia el 1.12.1640, todos los reinos hispanos pertenecieron a la misma corona.

2. Atribuciones y cronología de acuerdo a López Alsina (2003).
3. De la bóveda de cañón enrejada de la nave de la iglesia, Palacios señala (2005, 105) que se trata de una bóveda «por cruceros cuadrados».
4. Como referencia se toma para el pie una dimensión de 27,86 cm de acuerdo con la Pragmática promulgada en 1568 por Felipe II.
5. Estas intervenciones están referidas en la tesis doctoral de Castro Fernández (2007)
6. Se han consultado las referencias que aparecen el libro escrito por el aparejador de las obras, Gabriel López Collado (1976), y la documentación de las intervenciones que se conserva en el Archivo Histórico Diocesano de Santiago (Fondo Seminario Conciliar de Santiago, Número 1309 Fecha 1970-1993 s/d.
7. La Dr. Goy (2005) indica que en las bóvedas de San Martín y en la de la sacristía de Celanova, Mateo López introdujo (en Galicia) este sistema de abovedamiento. Sin embargo hay notorias diferencias entre ellas.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Castro Álvarez, Carlos de. 2011. *Monasterio: Santa María de Monfero*. A Coruña: Espino Albar.
- Castro Fernández, Belén M<sup>a</sup>. 2007. *Francisco Pons-Sorolla y Arnau, arquitecto-restaurador*. Universidade de Santiago de Compostela: Servizo de Publicacións e Intercambio Científico.
- Franco, J.A., Tarrío, S.B., directores. 2002. *Monasterios y Conventos de Galicia. Descripción gráfica de los declarados monumentos*. Santiago de Compostela: U.d.C.-Xunta de Galicia.
- Franco J.A.; Valcárcel J.P.; Freire Tellado, M.; Tarrío S. 2006. Vaults and other constructive singularities of the Monastery of San Martiño Pinario. *Proceedings of the Second International Congress on Construction History*. Edited by Malcolm Dunkeld et alli, University of Cambridge, Vol 2, pp. 1155-1169.
- Freire-Tellado, Manuel J. 2017. Descripción y caracterización de los sistemas constructivos y estructurales del Monasterio de San Martín Pinario. Santiago de Compostela. Xunta de Galicia. Dirección Xeral do Patrimonio Cultural.
- Heyman, J. [1966-1969] 1995. *Teoría, historia y Restauración de Estructuras de Fábrica*. Madrid: CEHOPU-Instituto Juan de Herrera-CEDEX.
- Huerta, Santiago. 2004. *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera-CEHOPU.
- García Iglesias, José Manuel. 1990. *Galicia: Tiempos de barroco*. Santiago de Compostela: Caixa Galicia.

- Goy Díaz, Ana. 2005. El resurgir de los monasterios en el Renacimiento. En López Vázquez, J.M. coordinador. 2005. *Opus Monasticorum. Patrimonio, Arte, Historia y Orden*. Xunta de Galicia, pp. 99-166.
- López Collado, Gabriel. [1976] 1985. *Ruinas en Construcciones antiguas. Causas, consolidaciones y traslados (3ª Ed.)*. Madrid: Miján Artes Gráficas, Ávila.
- López Alina, Fernando, director. 2003. *Estudio Histórico Artístico del Plan Director del Monasterio de San Martín Pinario*. Autorías: López Alsina, F. (capítulos 1, 10 y conclusiones), Goy Diz (capítulos 2, 3 y 6-9), Freire, A. (recopilación de las fuentes documentales, capítulo 4) y Pensado, N. (inventario de bienes muebles pertenecientes al monasterio, capítulo 5), complementadas con el documento *Fases Constructivas* del mismo Plan.
- Palacios Gonzalo, José Carlos. 2003. *Trazas y Cortes de Cantería en el Renacimiento español*, Madrid: Munilla-Lería.
- Palacios Gonzalo, José Carlos. 2005. Estereotomía clásica y cantería gótica en Galicia. *Actas II Congreso Internacional Antiguos espacios para nuevos tiempos. El material pétreo y sus fábricas en el patrimonio*, pp. 91-119. Santiago de Compostela: Consorcio de Santiago.
- Vandelvira, Alonso de. [ca 1650] 1977. *Libro de traças de cortes de piedras compuesto por Alonso Van de Elvira, arquitecto maestro de cantería: compónese de todo género de cortes, diferencias de capillas, escaleras, caracoles, templos y otras dificultades muy curiosas*, ca. 1650. en Barbé-Coquelin de Lisle, G. 1977. El tratado de arquitectura de Alonso de Vandelvira. Ed. Facs. Albacete: Caja de Ahorros Provincial.
- Viollet-le-Duc, E. [1854-1868] 1996. *La construcción medieval. El artículo «Construcción» del Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle* (Édition BANCE-MOREL). Editado por E. Rabasa y S. Huerta. Instituto Juan de Herrera-CEHOPU-CEDEX. Madrid.

