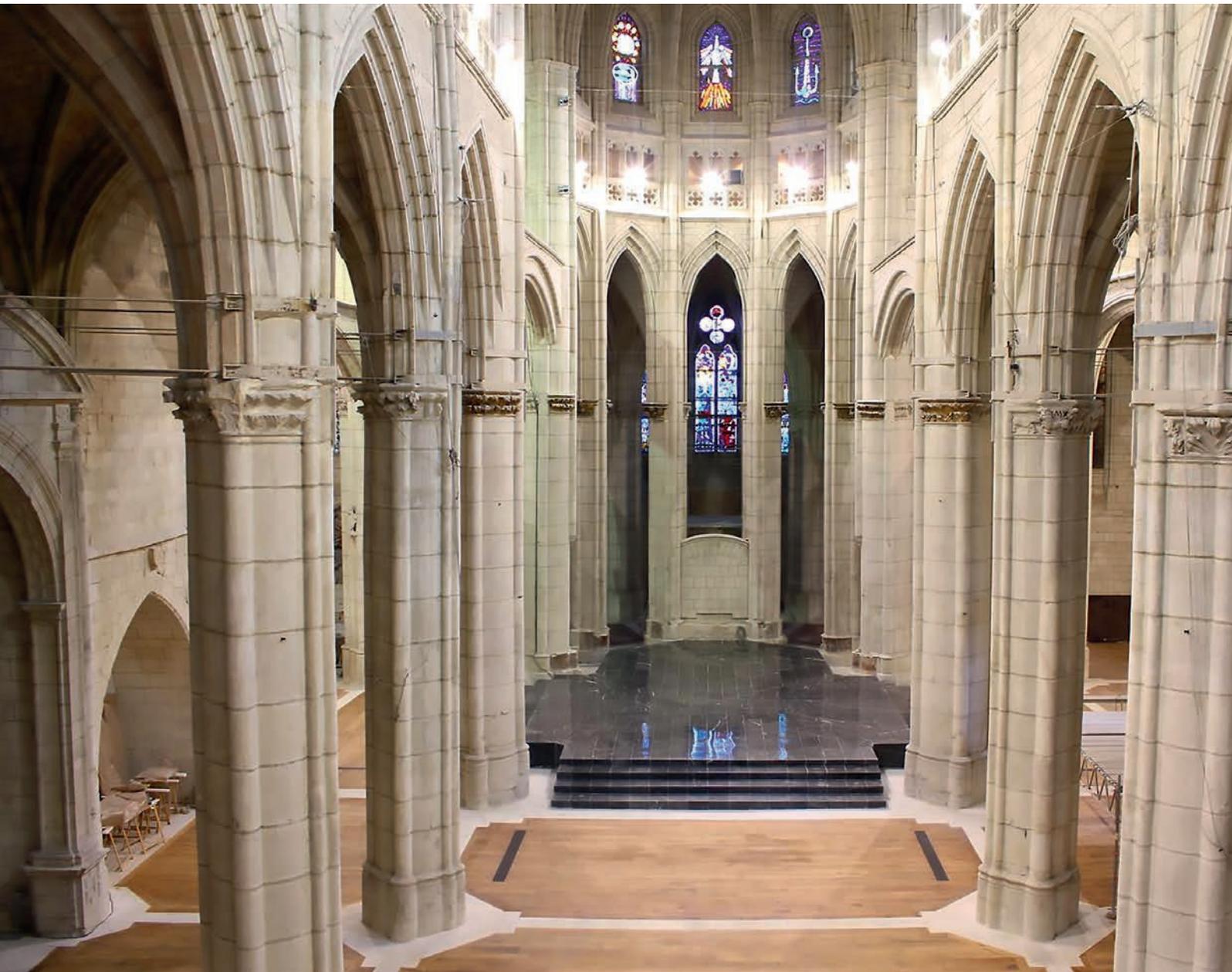


Catedral de Santa María (Vitoria-Gasteiz)

LA BÓVEDA DEL MILENIO

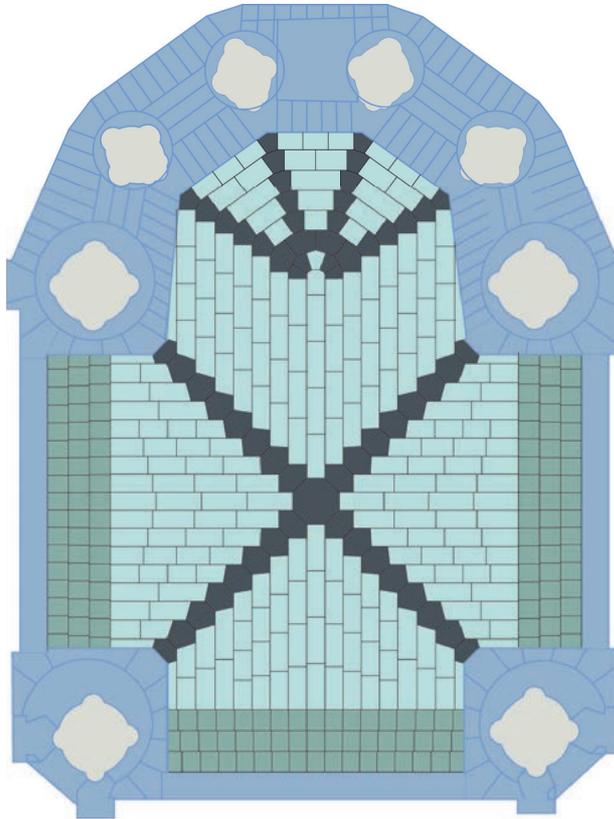
Un total de 348 bloques de piedra caliza forman la bóveda plana, en la zona del altar de la catedral vitoriana. Una estructura que ha recuperado antiguos sistemas de construcción ya olvidados.

texto y fotos_Juan Carlos Mogarra (Arquitecto Técnico. Jefe de Obra en ArquiRest)



PLANTA

La bóveda cuenta con escalinatas o arcos perpiños, diagonales o arcos formeros, plementos y encadenados de sillería caliza blanca.



Dentro del proceso de restauración integral de la catedral de Santa María de Vitoria-Gasteiz, emprendido por la Diputación Foral de Álava en 1994, se contempla la recuperación para uso público de la mayor parte de los espacios del edificio de la catedral, tanto en su vertiente religiosa, en el nivel principal del edificio, como en su vertiente cultural. Con la construcción de la bóveda de cantería en el crucero de la catedral se finaliza la recuperación del suelo o nivel principal de la iglesia y se completa la construcción de los forjados de las naves (2007-2008), obra en la que se dispuso un sistema de estructuras de madera de roble, en secciones aserradas de distintas esquadras, apoyadas en arcos de cantería de piedra sustentados en una serie de encadenados que abrazan las basas de los pilares, apoyando sobre sus cimentaciones reforzadas

anteriormente. Este sistema constructivo -forjados de madera, arcos de piedra entre columnas y bóveda del crucero- realizado al nivel del piso de la catedral tiene, además de servir como solado o pavimento del nivel principal, la función estructural de atado y arriostramiento de todas las basas o cimentaciones de las columnas interiores de la iglesia, aisladas e independientes originariamente en su construcción, obteniendo así un sistema más solidario en el reparto de cargas, que limita cualquier posible desplazamiento lateral de los tambores de cimentación de las esbeltas columnas que se pudiese producir por un posible fallo o asentamiento diferencial de cualquier basa. La solución adoptada para resolver y cubrir el gran volumen descubierto tras las excavaciones arqueológicas en el crucero -mediante la construcción de la bautizada como *bóveda del milenio*, de cantería de piedra >



La obra, paso a paso



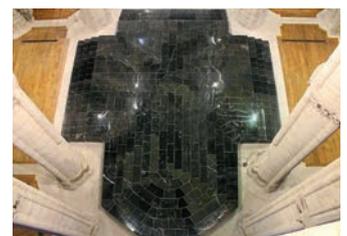
1 Para la extracción de los bloques de piedra, en la cantera se emplean máquinas de corte con sierra, entre otras.



2 Montaje de la estructura principal de madera que sustenta la cúpula durante su construcción y posterior fraguado.



3 La bóveda se construye desde los extremos hacia el centro, dejando siempre la dovela central para comprobar las medidas.



4 Aspecto final que presenta la bóveda, una vez pulida y abrigantada la piedra caliza utilizada en su construcción.

➤ caliza negra-, tiene igualmente una doble misión: primero, estructural; y segundo -y no menos importante-, estética, dado que se trata del punto litúrgico más importante del templo.

En su misión estructural, con este sistema constructivo se busca dotar a la zona del crucero de una gran masa o robustez que sirva de contención a los posibles movimientos provenientes de esta nave (los cimientos de la nave principal se asientan sobre la cima de la antigua colina de la original ciudad de Gasteiz, mientras que el crucero está cimentado sobre la ladera en pendiente donde la colina empieza a descender de cota). Con este sistema, se libra el gran espacio inferior existente bajo la bóveda sin necesidad de apoyos intermedios, dejando el volumen inferior del crucero totalmente diáfano y transmitiendo las cargas de la bóveda en sentido vertical, a través del conjunto de columnas sobre las que se apoya dicha bóveda, a los niveles inferiores de los cimientos de la girola de la catedral, a los pies de la primitiva ladera.

En su misión estética, el nivel de la catedral en este punto central ha de tener un tratamiento especial y diferente al del resto. El tramo del crucero -intersección de la nave central y la nave del transepto- y el del presbiterio inmediato hacia el Este, donde ha de situarse el centro religioso -altar, sagrario, imágenes- se realiza mediante la construcción de esta bóveda plana de cantería de piedra caliza negra, de planta en forma de cruz latina, rebajada inferiormente en su traza constructiva. La cara superior de la bóveda, totalmente horizontal, queda elevada 60 cm respecto de la cota 0 del edificio -nivel de uso litúrgico-, mediante la disposición de tres escalinatas (a los pies de la nave, en el lado del evangelio y en el lado de la epístola del transepto), que también forman parte del conjunto de la bóveda, para situar en esta zona los elementos principales del culto: el altar para el oficio, el ambón de la palabra, la sillería del coro de canónigos y la sede del Obispo de Vitoria.

CRUCERO

Encadenado perimetral de piedra caliza blanca, dispuesto sobre columnas de granito negro, apoyadas en un nuevo basamento de caliza negra, sobre la roca original en la que se cimenta la catedral.



EN OBRA

El montaje de la cimbra requirió de un trabajo de mucha exactitud en el replanteo in situ de las cotas finales de la bóveda.



Mediante la construcción de esta bóveda plana se cubre el espacio del crucero al nivel de piso 0, o planta baja de la catedral de Santa María, ocupando un espacio de 120 m² en planta.

Nuevo centro cultural. La cara inferior de la bóveda, aunque también plana, es rebajada y está formada por cuatro planos inclinados (simulando una cubierta a cuatro aguas) y viene a cubrir el mismo espacio en planta que en su trasdós superior, pero librando una altura en el centro del crucero de 8 m, quedando un volumen de unos 900 m³ en el intra-

AL TIEMPO QUE EN LA CANTERA SE CORTABAN LOS BLOQUES, EN LA OBRA SE MONTABAN LOS ENCADENADOS DE CALIZA BLANCA SOBRE LAS COLUMNAS NEGRAS DE GRANITO Y SE INSTALABA LA CIMBRA DE MADERA, NECESARIA PARA LA SUJECIÓN DE LA BÓVEDA DURANTE SU CONSTRUCCIÓN

**ENTABLADO**

El entablado final de la cimbra descansa sobre una estructura principal de madera, formada por vigas de tablonos dobles y/o simples.

arcos perpiaños (las tres escalinatas al Norte, Sur y Oeste del crucero), dos arcos formeros o diagonales principales (en el centro del crucero), cuatro arcos diagonales secundarios (en el fondo del presbiterio), y los plementos que macizan el volumen entre los arcos y descansan sobre ellos. El conjunto formado por esta bóveda de caliza negra descansa sobre un encadenado perimetral de piedra caliza blanca, que forma arcos o dinteles planos sobre columnas de granito negro. Estas columnas se apoyan sobre un nuevo basamento, igualmente de cantería caliza negra, dispuesto sobre la roca original en la que se cimienta la catedral.

La nueva bóveda está formada por 348 piezas de altura variable -desde los 130 cm en el perímetro del presbiterio, hasta los 84 cm de la pieza de la clave-, oscilando sus pesos entre los 800 y los 2.600 kg de la clave que, a pesar de ser la piedra de menor altura, es la de mayor volumen de toda la bóveda. El conjunto de la bóveda llega a alcanzar un peso total de 350 toneladas.

La elección del tipo de piedra

para su construcción fue decidida por los técnicos de la Fundación Catedral Santa María, arquitectos y Arquitectos Técnicos, consensuados por geólogos de la Universidad del País Vasco. Para su elección, se tuvieron en cuenta las características físicas de la piedra (composición mineralógica, dureza, desgaste, densidad y, sobre todo, resistencias mecánicas); aspectos estéticos (conseguidos mediante las tonalidades grises y negras, dado que se pretendía resaltar o dar una mayor importancia a la zona del crucero, por ser el altar el punto religioso más importante del edificio); que fuese una piedra ya empleada en la construcción de la catedral y originaria del País Vasco.

**APOYO**

Las vigas de madera de la cimbra se apoyan sobre una estructura de andamio tubular a través de husillos regulables en forma de U.

dós de la bóveda o sótano, donde se aprecian los restos arqueológicos de construcciones anteriores a la catedral. Estos restos hablan de la historia de la ciudad desde su nacimiento, en la Alta Edad Media, mostrando el antiguo foso de la muralla de la primitiva urbe del siglo XII, descubierto durante las excavaciones desarrolladas en el interior de la catedral en 2008 y 2009, abiertas al público gracias a un sistema de pasarelas de madera, que discurren por debajo de la bóveda, en el nivel del sótano y atraviesan el transepto de norte a sur, comunicando el sótano y las nuevas salas de exposición en las capillas de la girola y los tramos extremos del transepto. Este espacio forma un nuevo centro cultural de la ciudad mediante la exposición pública del monumento (ver CERCHA 92).

El funcionamiento estructural

de esta bóveda plana se basa en el trabajo conjunto y solidario de los

PLEMENTO ESTE

Montaje de las cuatro piezas de arranque y las dos dovelas de las diagonales principales que cierran el plemento Este.



Con la selección en la cantera del frente del que se han de extraer los bloques de piedra comienza la construcción de esta bóveda. Esta selección debe atender diferentes necesidades como tonalidad, ve-teado, uniformidad del color y dimensiones de los bloques a cortar. Una vez decidida la zona donde se obtendrá la piedra, se cortan los grandes bloques necesarios para realizar la bóveda. Las dimensiones de estos bloques han de ser lo más grandes posible para obtener el máximo número de dovelas de cada uno de ellos, reduciendo y optimizando así el número de cortes a realizar en el taller, aunque el tamaño de los bloques se ve limitado por condicionantes de carácter logístico, como los medios de transporte, medios de manipulación en taller, carretillas elevadoras, puentes grúa y, sobre todo, por los pesos admisibles que soportan las bancadas de las máquinas de corte. Hubo que cortar 80 bloques de diversas medidas, con un tamaño máximo de hasta 2,40x1,50x1,35 m, oscilando los pesos de cada uno de ellos entre 5 y 12 toneladas, lo que significó un total de 192 m³ y 518 toneladas de piedra caliza negra. En la cantera se emplearon diversos métodos de corte para la extracción de los bloques: mediante máquinas barrenadoras, con máquinas de corte con sierra o con máquinas de corte con hilo diamantado.

Un montaje minucioso

- 1. Escalinatas Norte y Sur que hacen de arcos perpiaños.** La construcción de la bóveda comienza por el montaje de las dovelas correspondientes a las escalinatas que dan al transepto Norte y Sur, por ese orden. El montaje se inicia siempre desde los extremos hacia el centro, dejando la dovela central para comprobar las medidas teóricas y poder reajustar o rectificar, en el caso de necesitarlo, con la dovela central.
- 2. Plemento Este o zona del presbiterio con sus diagonales secundarias y principales que hacen de arcos formeros.** Primero se montaron las cuatro piezas de arranque de cada diagonal secundaria de esta zona, y las dos primeras dovelas de las diagonales principales que cierran el plemento Este, para proseguir colocando todo el perímetro del presbiterio y continuar montando correlativamente las dovelas de las diagonales e hilada tras hilada del plemento, avanzando desde fuera hasta la hilada central del plemento Este, donde se ajustaron las dimensiones que debía tener esta última hilada de cierre.
- 3. Plementos Norte y Sur con sus diagonales principales que cierran los arcos formeros.** Igualmente, se comienza con el montaje de las dovelas de las diagonales principales, que cierran estos plementos con el Oeste, a excepción de la clave central que se monta en último lugar, y se continúa exactamente igual, avanzado hilada tras hilada de fuera hacia adentro, hasta cerrar y ajustar con la hilada central.
- 4. Escalinata Oeste que forma el arco perpiaño junto al primer tramo de la nave central de la catedral.** El montaje de esta escalinata sigue el mismo proceso de montaje que las dos anteriores: comenzando la colocación de las dovelas desde los encadenados exteriores de piedra caliza blanca, hasta terminar en el centro con la última piedra de ajuste y cierre.
- 5. Plemento Oeste.** Una vez montadas las dos diagonales principales y la escalinata Oeste, solo resta cerrar este plemento, que se realiza siguiendo los pasos llevados a cabo con las anteriores zonas Norte, Sur y Este: hilada tras hilada de fuera hacia adentro y, en este caso, desde la escalinata Oeste a los pies del crucero, hasta el punto central de la bóveda, cerrando también el plemento con su hilada central ajustada en cuanto a sus dimensiones.
- 6. Clave central.** En principio, esta pieza debería haber sido la última en colocarse, dado que, teóricamente, es la pieza de ajuste y cierre de cualquier bóveda. No obstante, fue la última piedra en fabricarse, una vez estaban prácticamente cerrados los cuatro plementos y se pudo verificar las dimensiones finales que debía tener. Por necesidades técnicas de montaje, se dejaron sin colocar la última dovela en contacto con la clave de las cuatro hiladas centrales de cada plemento, para que los canteros tuvieran espacio y maniobrabilidad en los ajustes finales de la clave central. Una vez colocada y encajada perfectamente la clave, se montaron las cuatro últimas dovelas mencionadas, cerrando así todo el conjunto.



PLEMENTO OESTE

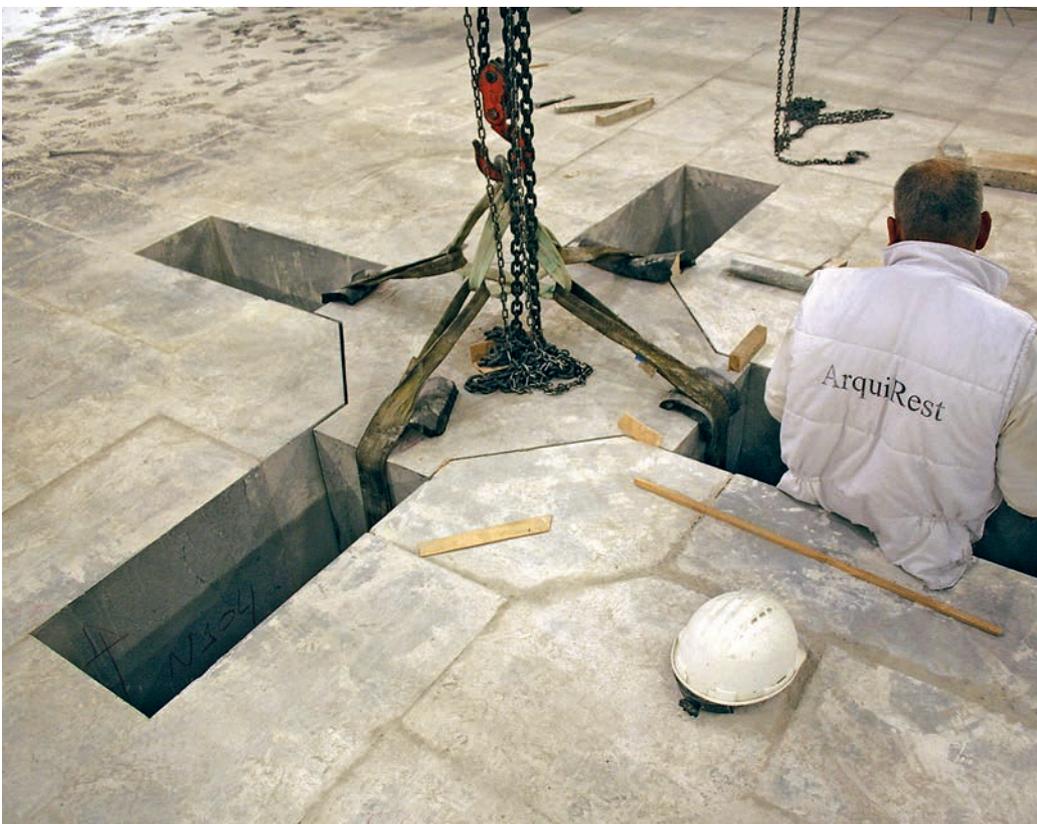
El cierre de esta zona se efectúa desde los pies del crucero hasta el punto central de la bóveda.

La cimbra. Al mismo tiempo que en la cantera se cortaban los bloques, en la obra se avanzaba terminando el montaje de los encadenados de caliza blanca sobre las columnas negras de granito colocadas en una fase previa por los canteros. También se iniciaban los trabajos de instalación y montaje de la cimbra de madera, necesaria para sujetar la bóveda durante su construcción y proceso de fraguado posterior de las lechadas de cal hidráulica, empleadas para rellenar las juntas entre las dovelas, una vez finalizado el

montaje de la bóveda. El montaje de esta cimbra requirió de un trabajo previo muy exacto en el replanteo in situ en obra de las cotas finales, tanto de la cara superior como de la inferior de la bóveda, así como en su construcción para reproducir, con el enablado final de la cimbra, cada uno de los planos rebajados e inclinados con pendiente de la cara inferior de la bóveda, donde apoyan las dovelas de piedra.

El enablado final de la cimbra descansa sobre una estructura principal de madera, formada por vigas de tablonés dobles y/o simples, apoyados sobre una estructura metálica de andamio tubular que cubre el gran volumen del sótano descubierto tras las excavaciones. El apoyo de las vigas de madera de la cimbra sobre la estructura tubular de andamio se realiza a través de husillos metálicos regulables en forma de U, donde se encajan los tablonés de madera, que debían ser regulados y corregidos a medida que se iba montando la bóveda y aumentaba el peso sobre la cimbra.

LA NUEVA BÓVEDA ESTÁ FORMADA POR 348 PIEZAS DE ALTURA VARIABLE, Y TIENE UN PESO TOTAL DE 350 TONELADAS



LA CLAVE

Una vez colocada y encajada perfectamente la clave, se procede a montar las cuatro últimas dovelas y cerrar así el conjunto de la bóveda.

Las dovelas. Para ejecutar el corte de las dovelas en el menor tiempo posible hubo que trabajar simultáneamente con tres máquinas de corte y molduración con hilo diamantado por control numérico, y una cuarta máquina de corte por disco, dispuestas en dos talleres situados en la provincia de Vizcaya. La planificación, coordinación y supervisión de los trabajos realizados en sendos talleres, recayó en el jefe de obra, el cual era, a su vez, el responsable de redibujar -en archivos de formato CAD-, los planos necesarios con la geometría y dimensionado de cada una de las 348 dovelas a cortar, comprobando minuciosamente el desarrollo y avance del montaje de la bóveda y corrigiendo, cuando era necesario, las piezas diseñadas inicialmente, para absorber los pequeños errores que se iban acumulando durante la construcción, consensuando cualquier mínimo cambio en las dimensiones de las piezas con el arquitecto proyectista. ➤

EL MONTAJE DE LA BÓVEDA SIGUE UN ORDEN CONSTRUCTIVO, SIMÉTRICO, DE FUERA HACIA ADENTRO

➤ Cada una de las piedras que forman las dovelas tienen entre seis y ocho caras, según correspondan a escalinatas y plementos o a diagonales de los arcos. Cada piedra ha necesitado el mismo número de cortes -seis u ocho-, todos ellos con diferentes inclinaciones o ángulos de corte. Esto ha obligado a los técnicos a llevar a cabo un minucioso trabajo de comprobación y ajuste de las medidas inicialmente diseñadas durante el montaje, siempre en coordinación con el arquitecto proyectista, para conseguir que la bóveda ajustase como el dibujo informático y diseñado.

Una vez llegadas a la obra, cada una de las 348 dovelas se colocaron en su posición. Para llevar a cabo este trabajo, los canteros se ayudaron de medios semimanuales (polipastos, trácteles y carros puentes grúa) para su elevación y traslado, y de medios manuales (palancas) para el ajuste definitivo en su posición final. Las piedras se introducían en la obra por medio de transpaletas manuales empujadas por los obreros, hasta llevarlas a los pies del crucero, en la nave central.

Para elevar las piedras desde esta zona y aproximarlas hasta su ubicación, nos servíamos de una estructura metálica auxiliar instalada sobre el crucero, abrazada a las cuatro columnas centrales de dicho crucero por medio de collarines de chapones metálicos. La estructura metálica estaba formada por un conjunto de vigas HEB-120 colocadas en paralelo, formando unos carriles, sobre las que se deslizaban tres carros para aproximar las dovelas a las diferentes zonas de la bóveda. En cada uno de estos carros había dispuesto

un polipasto manual de cadenas sobre el que se izaban o colgaban las piedras, para colocarlas en su posición final en la bóveda.

Montaje. Dado que el diseño de la bóveda tiene forma de cruz latina, con tres brazos iguales -Norte, Sur y Oeste- y uno poligonal adaptándose a las columnas del presbiterio al Este; e igualmente estos cuatro brazos son simétricos entre sí, (salvo el contorno del presbiterio), el montaje de la bóveda sigue un orden constructivo, simétrico en cada brazo de la cruz, de fuera hacia adentro, empezando al unísono en cada tramo de cruz desde el exterior, para ir cerrando cada plemento con su hilada central. Esta hilada sirve para ajustar y absorber los pequeños errores o variaciones dimensionales que se van acumulando en la fabricación y montaje de las dovelas. Este orden constructivo fue programado meticulosamente con la doble intención de avanzar y cargar sobre la estructura de la cimbra de la forma más simétrica posible, evitando que esta descendiese de forma diferente en cada uno de los cuatro planos inclinados de apoyo.

En el montaje de las dovelas se dejaban intencionadamente unas peque-



Puzle a gran escala

Si hay algo particular en esta obra es la osadía por parte del arquitecto, Leandro Cámara Muñoz, de diseñar la ejecución de una bóveda plana de grandes dimensiones en planta para cubrir el espacio del crucero o altar de la catedral de Santa María, de Vitoria-Gasteiz, sin utilizar procesos constructivos y materiales actuales. En su ejecución se ha utilizado un material casi olvidado -la piedra como sillería-, así como un método constructivo no empleado desde hace más de dos siglos -las bóvedas planas de cantería- para el que no existen programas informáticos de cálculo de estructuras. Otra particularidad es la valentía por parte de la empresa constructora (ArquiRest, Arquitectura, Restauración, Conservación de Patrimonio Histórico, SL, bajo la dirección de la UTE Santa María, formada por las

empresas SLK Lagunketa, SA y Artyco, SL) de llevar a cabo esta obra, de la que no se tenía ninguna experiencia de ejecuciones similares desde hace cientos de años, utilizando, para la obtención de los sillares o dovelas, las máquinas más novedosas y precisas de corte y molduración por control numérico, combinadas con medios tradicionales como poleas o palancas para mover y colocar las piedras en su posición definitiva. Debido a las grandes dimensiones y pesos de cada piedra, para este trabajo hubo que realizar un meticuloso esfuerzo técnico previo en la toma de medidas. Para ello, se precisaron métodos topográficos en el replanteo y puesta en obra de cada una de las piezas de este modélico y único puzle.

**ACABADOS**

Arriba, acabado de la cara inferior. Abajo, aspecto exterior que presenta esta bóveda.

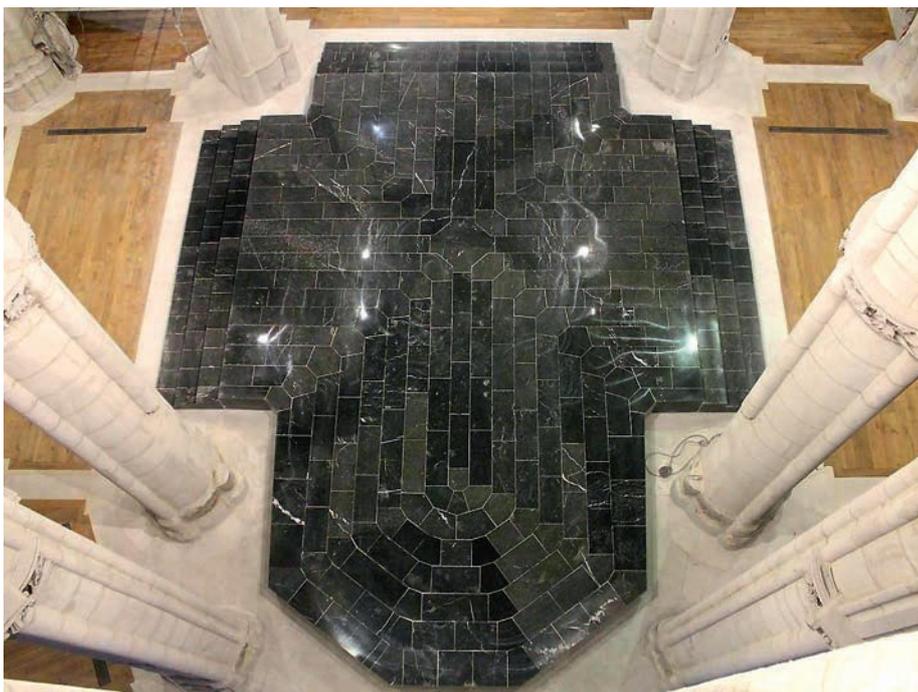
ñas juntas u holguras de 4 mm, en cada una de las cuatro caras de las dovelas de los plementos en contacto con las siguientes piezas, o en las seis caras de las piezas de las diagonales. Estas juntas evitan la construcción de una masa de piedra totalmente rígida -en el supuesto de que su colocación fuese sin junta, “a hueso”-, lo que produciría enormes tensiones en las piedras en caso de producirse un mínimo movimiento o asentamiento del conjunto, lo que podría fracturar cualquier dovela, llegando a causar un serio problema para la estabilidad de la bóveda, en el caso del fallo por rotura de alguna de las piedras. Una vez finalizado el montaje de las dovelas, estas juntas de 4 mm entre las caras de cada pieza se rellenaban con lechada líquida de cal hidráulica NHL-5, vertiéndola en sucesivos días hasta asegurar su relleno y colmatación. De esta forma, tenemos un conjunto menos rígido con capacidad para absorber por sí mismo cualquier posible movimiento lateral o asentamiento de la bóveda. Para el fraguado y endurecido de estas lechadas se mantuvo cimbrada la bóveda durante un tiempo prudencial

de seis meses, transcurrido el cual se procedió al descenso gradual y controlado de los husillos de la cimbra que soportan el conjunto.

Descenso de los husillos. Este proceso meticulosamente estudiado, se realizó de la siguiente forma: se comenzó a aflojar los puntales que soportaban la clave. Pasada una semana, y tras comprobar con el estudio de la monitorización del sistema de sensores establecido en diferentes zonas de la catedral y, en concreto, en las columnas del crucero, que no se habían producido ningún movimiento significativo después de aflojar los primeros husillos de la cimbra, seguía un nuevo paso.

Así, paulatinamente, se procedió a descender y desmontar todos los puntales y estructura de la cimbra, en sentido inverso y siempre simétrico al del montaje de la bóveda; es decir, de dentro hacia afuera.

Una vez finalizados los trabajos, y para dar un mayor esplendor a esta zona del templo, restaba por pulir y abrillantar su cara superior para resaltar el color negro de la piedra caliza utilizada en su construcción. ■



Ficha técnica

CONSTRUCCIÓN DE BÓVEDA PLANA DE CANTERÍA EN EL CRUCERO DE LA CATEDRAL DE SANTA MARÍA, DE VITORIA-GASTEIZ

PROMOTOR

Fundación Catedral Santa María

PROYECTO Y DIRECCIÓN DE OBRA

Leandro Cámara Muñoz (Arquitecto)

DIRECCIÓN DE EJECUCIÓN DE LA OBRA

Esperanza Estívariz (Arquitecta Técnica)

COORDINACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD

En fase de Proyecto: Leandro Cámara Muñoz, Esperanza Estívariz.

En fase de Ejecución: Carolina Orcajo, Sgs Tecnos.

PROJECT MANAGEMENT Y JEFE DE OBRA

Juan Carlos Mogarra Morales (Arquitecto Técnico)

EMPRESA CONSTRUCTORA

UTE Santa María: SLK Lagunketa, SA - Artyco, SL

SUPERFICIE

120,00 m²

PRESUPUESTO

862.044,12 € (IVA Incluido).

INICIO DE LA OBRA

Enero 2013

FIN DE LA OBRA

Junio 2014

PRINCIPALES EMPRESAS COLABORADORAS:

ArquiRest, Arquitectura, Restauración, Conservación de Patrimonio Histórico, SL (Trabajos de cantería)