

BÓVEDAS RENACENTISTAS DEL CASTILLO-PALACIO DE MAGALIA



Andrea de la Herrán Velasco
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Trabajo Fin de Grado

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA



TRABAJO FIN DE GRADO

Andrea de la Herrán Velasco

Bóvedas renacentistas del Castillo-Palacio de Magalia

BÓVEDAS RENACENTISTAS DEL CASTILLO-PALACIO DE MAGALIA

Estudiante

Andrea de la Herrán Velasco

Expediente 20098

Tutora

Licinia Aliberti

Departamento de Ideación Gráfica Arquitectónica

Aula TFG 4

Daniel Díez Martínez, *coordinador*

Ángel Martínez Díaz, *adjunto*

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

Universidad Politécnica de Madrid

Índice

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

- Objeto de estudio
- Estado de la cuestión
- Objetivos y metodología

1. CONTEXTUALIZACIÓN

- 1.1 Historia del Castillo-palacio de Magalia
- 1.2 Descripción y terminología
- 1.3 Fases constructivas

2. BÓVEDAS DE PIEDRA

- 2.1 Bóvedas renacentistas y el tratado de Vandelvira
- 2.2 Bóveda de cañón y bóveda de media naranja

3. ANÁLISIS DE LAS BÓVEDAS

- 3.1 Selección de bóvedas
- 3.2 Levantamiento por fotogrametría
- 3.3 Análisis constructivo y geométrico de las bóvedas

CONCLUSIONES

FUENTES

- Bibliografía
- Procedencia de las ilustraciones

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo el estudio de las bóvedas renacentistas del castillo-palacio de Magalia, localizado en la provincia de Ávila, en la localidad de Las Navas del Marqués, una construcción renacentista del siglo XVI. Mediante el análisis geométrico, la revisión de documentación histórica y el uso de tecnología de restitución gráfica avanzada, se realiza un análisis detallado de la forma de las bóvedas.

Para la realización del trabajo, se seleccionan una serie de bóvedas significativas de la época renacentista dentro del castillo-palacio, para posteriormente documentarlas mediante técnicas de levantamiento fotogramétrico apoyadas por el escaneo láser 3D. Esto permite generar modelos tridimensionales de alta precisión, para analizar los aspectos formales, constructivos y geométricos.

Una parte del trabajo se ha apoyado en el tratado de Alonso de Vandelvira, documento clave en cuanto a estereotomía del siglo XVI. Partiendo de esta referencia, se analizan los trazados, el intradós y la disposición de las dovelas con respecto a las bóvedas.

Los resultados muestran que, a pesar de la diversidad de soluciones de las bóvedas presentes en el castillo, se pueden identificar patrones geométricos y relaciones formales.

A modo de síntesis, se realiza una hipótesis de modelos ideales para cada tipo de bóveda estudiada, basándose en los datos y mediciones obtenidos. Estos modelos permiten observar y entender con mayor facilidad el diseño original, además de comprender el proceso de ejecución y el conocimiento técnico del Renacimiento.

PALABRAS CLAVE

Bóvedas de piedra · Castillo Magalia · Forma y construcción · Análisis geométrico · Bóveda semi-plana · Bóveda de cañón

Introducción

Objeto de estudio

Este trabajo se centra en estudiar las bóvedas renacentistas conservadas en el castillo-palacio de Magalia, analizando aspectos relativos a su forma y construcción. El castillo-palacio se encuentra en la provincia de Ávila, concretamente en la localidad de Las Navas del Marqués. Se trata de un castillo renacentista del siglo XVI, que se empezó a construir en el año 1524 y no se terminó hasta 1540. Debido a diferentes acontecimientos, el edificio ha sido objeto de múltiples intervenciones a lo largo de los años.

La reforma más significativa fue la que tuvo lugar alrededor de 1950, a cargo de Luis Martínez Feduchi, motivada por el grave estado en el que había quedado el edificio, después de los daños provocados durante la Guerra Civil. Sin embargo, se conservan partes relevantes de la fase renacentista del edificio.

El castillo se organiza en torno a un patio central, donde destacan, el torreón principal en la zona norte y dos torreones de menor tamaño en el ala oeste que marcan la entrada. La estructura actual del edificio comprende cinco niveles: tres plantas sobre rasante, un semisótano y una planta completamente bajo rasante.

Cuenta con varias bóvedas originales de piedra, las cuales constituyen el objeto principal del análisis de este trabajo. Estas bóvedas se distribuyen en distintos espacios del castillo-palacio. Concretamente, se van a estudiar dos bóvedas semi-planas y una de cañón. Cabe destacar que las bóvedas semi-planas son poco frecuentes en el contexto arquitectónico español, puesto que, de esta época, solamente se conservan otras dos similares en el Monasterio de El Escorial y una de época posterior en la cripta de la Catedral de Cádiz. Este hecho hace que pueda ser útil realizar un estudio exhaustivo de las diferentes bóvedas conservadas en el castillo-palacio de Magalia, y las posibles relaciones geométricas y constructivas existentes entre ellas.

Estado de la cuestión

El castillo-palacio de Magalia ha sido objeto de diversas investigaciones a lo largo del tiempo, algunas relativas a la historia y conformación del edificio, y otras más específicas sobre las dos bóvedas semi-planas.

En lo que respecta al castillo en su conjunto, su historia y sus fases constructivas, ha sido objeto de estudio por parte de múltiples autores, tales como Fernando Cobos, Edward Cooper y Luis Martínez Feduchi. En cuanto a planimetría, el Instituto del Patrimonio y Cultura de España (IPCE) ha realizado algún seguimiento de su evolución, proporcionando documentación sobre algunas de las intervenciones llevadas a cabo posterior a la reforma realizada por Feduchi. De esta última, se conserva un artículo de la Revista Nacional de Arquitectura, donde se muestra la planimetría de la reforma que se realizó, tanto plantas como secciones.

En cuanto a las bóvedas renacentistas y su estereotomía, existen también investigaciones relevantes que abordan estos aspectos y se han tenido en cuenta en el desarrollo del trabajo. Algunos de sus principales autores son: Palacios, Rabasa, Calvo López y López Mozo. Uno de los estudios más relevantes atendiendo a aspectos de geometría y construcción específicamente de las dos bóvedas semi-planas del castillo-palacio de Magalia, es el realizado por Perelló y Rabasa. Sin embargo, podemos afirmar que todavía falta un estudio orgánico de todas las bóvedas renacentistas del castillo-palacio.

Respecto a la bóveda cañón presente y destacable en este castillo, hasta el momento no se ha documentado de manera específica ni llevado a cabo un análisis exhaustivo sobre su conformación y relaciones geométricas.

Por lo tanto, este trabajo enlaza a una serie de estudios anteriores y pretende aportar un análisis detallado de las bóvedas renacentistas conservadas en el castillo-palacio de Magalia.

Objetivos y metodología

El objetivo del trabajo es estudiar geométrica y constructivamente las bóvedas renacentistas del castillo-palacio Magalia, entendiendo tanto la relación entre ellas como con el conjunto del castillo. El trabajo se centra en analizar la forma general de las bóvedas y formula una hipótesis sobre su estereotomía mediante la información obtenida del levantamiento de su intradós.

La metodología del trabajo combina el análisis bibliográfico con el estudio directo del edificio. Se seleccionan y estudian por un lado las publicaciones científicas relativas al castillo-palacio y los estudios sobre las bóvedas renacentistas de piedra. Además, se tienen en cuenta tratados de la época que abordan temas de estereotomía de la piedra, específicamente el tratado de Vandelvira. Para la reconstrucción gráfica de las fases constructivas del castillo-palacio y su configuración actual, se consulta información de archivo.

En cuanto al estudio directo del edificio, en primer lugar, se realizan visitas al castillo para recoger la información necesaria y documentar in situ las bóvedas objeto de estudio en el trabajo. Esto ha sido posible gracias a la disponibilidad del personal responsable del castillo. A partir de estas visitas,

se procede a una toma de datos exhaustiva y a la elaboración de un modelo tridimensional mediante la técnica de la fotogrametría digital automatizada. Cabe destacar que los datos obtenidos ofrecen una restitución detallada y precisa del estado actual de las bóvedas. Este modelo fotogramétrico sirve como base para el análisis geométrico y constructivo, que se realiza mediante operaciones gráficas en programas de dibujo vectorial. A partir de los resultados obtenidos se plantean colusiones correspondientes a la forma de las bóvedas y a las hipótesis sobre su estereotomía.



Figura 0.1. Bóveda de cañón del castillo-palacio de Magalia.



Figura 0.2. Bóveda semi-plana de la planta semisótano del castillo-palacio de Magalia.



Figura 0.3. Bóveda semi-plana de la planta baja del castillo-palacio de Magalia.

1 Contextualización

1.1 Historia del Castillo-Palacio de Magalia

La historia del castillo-palacio de Magalia se desarrolla en diferentes fases. Según los estudios realizados hasta el momento, se conoce en la Torre del Homenaje la primera estructura construida en el siglo XV. Esta edificación constituye la parte más antigua del castillo-palacio, y más adelante se integra con el proyecto completo del edificio¹.

La construcción del castillo-palacio en su totalidad se remonta a la primera mitad del siglo XVI. Fue el primer marqués de las Navas, don Pedro Dávila, junto con su esposa, doña María de Córdoba, quien impulsó su construcción, que comenzó en 1524 (año que además fue de matrimonio para los marqueses) y perduró hasta en 1540, configurando un destacado ejemplo de arquitectura renacentista en la provincia de Ávila².

Paralelamente, los marqueses promovieron la construcción del convento de Santo Domingo y San Pablo (también llamado convento dominico de San Pablo), en la misma localidad de las Navas del Marqués, situándose al norte del castillo-palacio de Magalia (fig. 1.1). Las obras de construcción del convento se iniciaron posteriores al castillo, concretamente en el año 1546³.

El castillo-palacio de Magalia sirvió como residencia habitual de los marqueses y sus descendientes, que lo habitaron aproximadamente tres siglos, aunque ya desde el siglo XVIII, el edificio fue progresivamente abandonado, entrando en un estado de deterioro que se agravó durante los años de la Guerra Civil. Además, a principios del siglo XX, en 1906, el castillo y los terrenos que le corresponden fueron adquiridos por la Unión Resinera Española⁴.

1. Cobos Guerra, F. y De Castro Fernández, J. J., *Castillos y fortalezas: Castilla y León*. (1998)

2, 3 y 4. Parada López, M. y Palacios Méndez, L. M., *Pedro Dávila y Zúñiga, I marqués de Las Navas: patrocinio artístico y coleccionismo anticuario en las cortes de Carlos V y Felipe II*. 2020

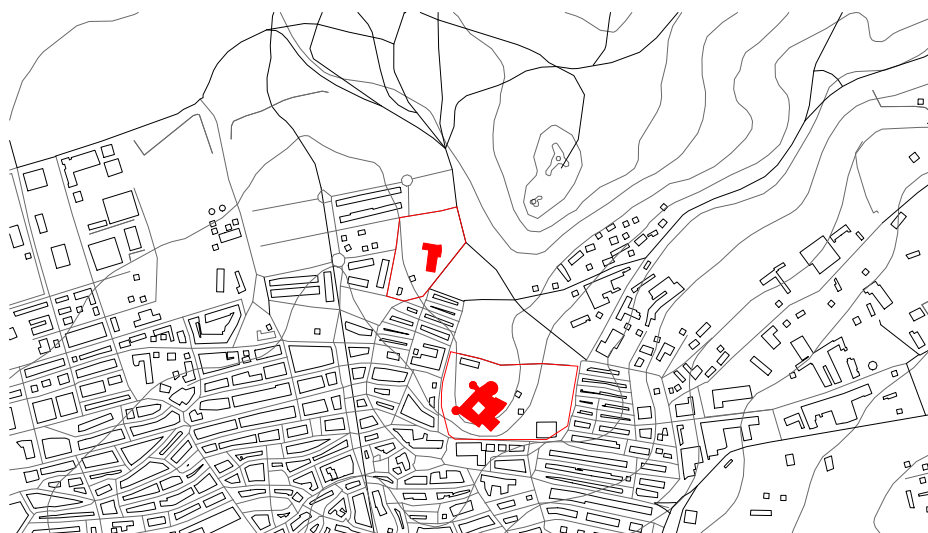


Figura 1.1 Plano de situación de Las Navas del Marqués, Ávila, marcando el Castillo-palacio de Magalia y el Convento de Santo Domingo y San Pablo.

Más adelante, en 1946, el edificio se donó a la Falange Española, con destino a la Sección Femenina; y como consecuencia de su mal estado de conservación, en 1947 se iniciaron las obras de una importante reforma a cargo de Luis Martínez Feduchi, cuyo objetivo fue restaurar y reconstruir las partes más dañadas del edificio; así como adaptar el castillo-palacio a las nuevas necesidades funcionales. En estas obras, se respetaron los elementos del conjunto que aún seguían intactos, desde elementos de menor tamaño (parte del dintel del piso superior, la escalera completa o muchas de las puertas del piso superior entorno al patio) a estructuras como las bóvedas renacentistas y los torreones. Además, se restauraron, entre muchos otros elementos, la capilla, que se sitúa en la Torre del Homenaje, algunos muros y las cubiertas de pizarra⁵.

Actualmente, el castillo está gestionado por el Ministerio de Educación y Cultura y se utiliza como sede para congresos, eventos culturales y reuniones, además de ofrecer servicio de hotel. Gracias a su funcionamiento actual, el castillo-palacio ha logrado mantenerse en buen estado de conservación y continúa formando parte del patrimonio histórico de la región.

5. Martínez Feduchi, L. y González Valcárcel, J. M. G., "Escuela nacional de instructoras 'Isabel la Católica' en el castillo de Las Navas", 7-13.



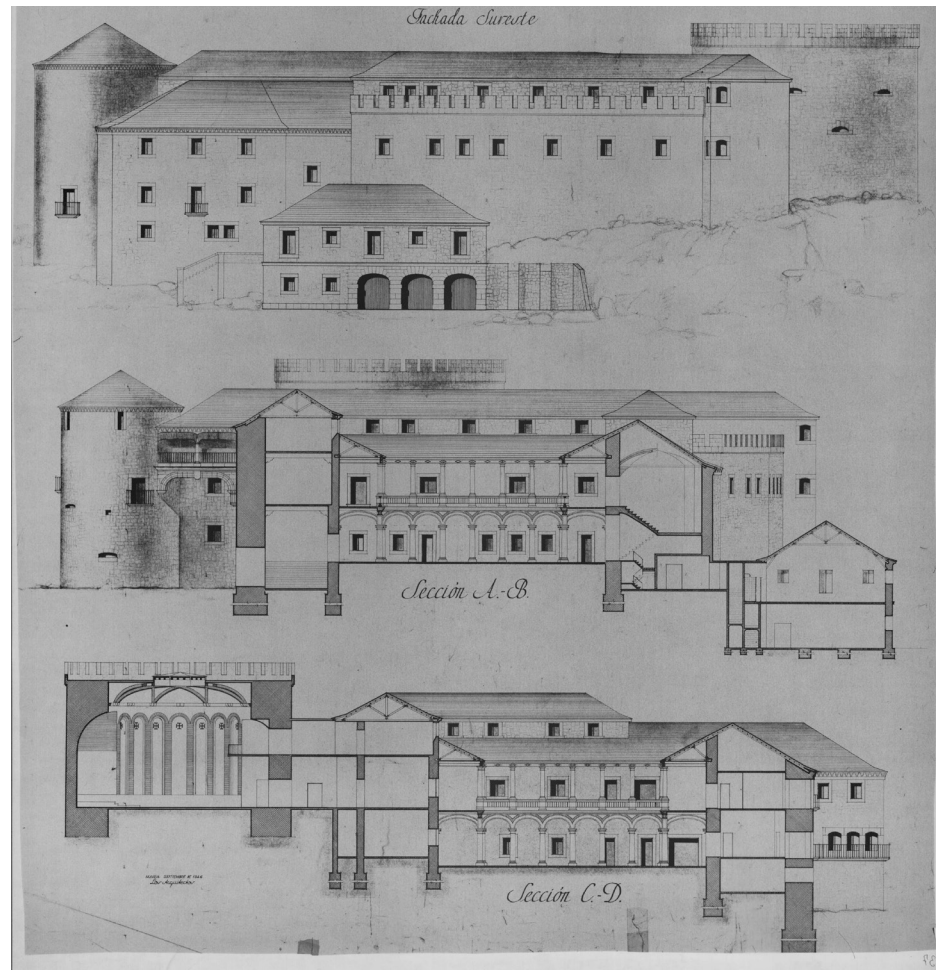
Figura 1.2 Vista del castillo-palacio de Magalia y el convento de Santo Domingo y San Pablo en las Navas del Marqués

1.2 Descripción y terminología

El castillo-palacio de Magalia se configura en torno a un patio central cuadrado mediante el cual se organizan todas las estancias. El patio está compuesto por dos niveles, con arcos de medio punto sostenidos por columnas jónicas en la planta baja, al contrario que la primera planta, donde se utilizan dinteles apoyados sobre columnas dóricas. Desde este patio se tiene acceso a distintas estancias, destacando el salón de honor, cuyo acceso se ubica en la primera planta y con ventana a la fachada principal. Además, la escalera, de tipo claustral, se ubica en uno de los ángulos del patio, al igual que la entrada a este espacio de patio, creando un recorrido diferente y una vista oblicua como primera imagen del patio (fig. 1.4).

En el castillo-palacio también encontramos elementos fortificados propios de un castillo, como pueden ser la torre del homenaje, los dos torreones secundarios, o troneras a lo largo de los muros exteriores, permitiendo el uso de armas para la defensa del castillo-palacio.

A



B

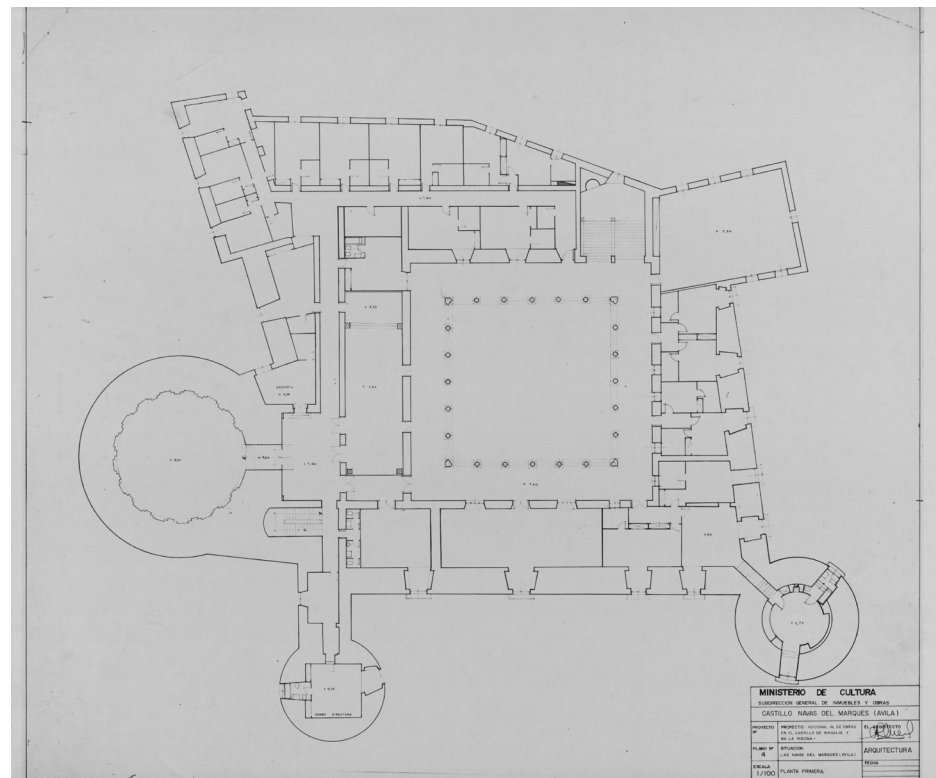


Figura 1.3 Planos de rehabilitación y reformas del castillo-palacio de Magalia, IPCE (1979-1989). A: Plano de alzado y secciones del castillo-palacio de Magalia, s.f. B: Planta primera de una de las reformas del castillo-palacio de Magalia, entre 1979 y 1989.



Figura 1.4 Vista aérea del Castillo-palacio de Magalia.

El edificio en su totalidad constituye un ejemplo de transición entre la arquitectura defensiva medieval y la arquitectura propia de los palacios renacentistas. A diferencia de las fortalezas tradicionales, su construcción no responde a un uso estrictamente defensivo, sino que combina estos dos usos de castillo y de palacio.

Edward Cooper lo compara con el castillo de La Calahorra, en Granada (1500), por su hibridación de aspectos defensivos en el exterior y elementos clásicos de inspiración italiana en el interior (fig. 1.5). Este mismo autor, además, compara los elementos defensivos del edificio con los que encontramos en el castillo de Berlanga de Duero, Soria (1522), principalmente los puestos de tiro entre almenas (fig. 1.6)⁶.

A pesar de no contar con documentación oficial sobre la autoría del edificio original, se pueden deducir algunos hechos. El patio cuenta con varios elementos sobre los que se podrían sacar conclusiones sobre su arquitecto, como las soluciones de esquina, el cajeadado interior de los arcos, la tipología de capiteles jónicos y dóricos, la arquitectura de madera en el piso superior, el pilar de esquina y los arcos carpaneles para el encuentro de la esquina.

Estos recursos son propios de Alonso de Covarrubias, que también utiliza en otros edificios como el hospital de Tavera, Toledo (1541), en el cual los encuentros entre galerías y los pilares de esquina están resueltos de la misma manera en ambos edificios (fig. 1.7). Además, la combinación arbitraria de los órdenes es algo poco frecuente, y que también se utiliza en el patio del convento de la Asunción de Calatrava, Ciudad Real (fig. 1.8), obra en la que trabajó Enrique Egas el Mozo, discípulo de Covarrubias⁷.

6. Cooper, E., *Castillos señoriales de la corona de Castilla* (1991)

7. Parada López, M. y Palacios Méndez, L. M., Pedro Dávila y Zúñiga, I marqués de Las Navas: patrocinio artístico y coleccionismo anticuario en las cortes de Carlos V y Felipe II. 2020

Figura 1.5 Castillo de La Calahorra, Granada.



Figura 1.6 Castillo de Berlanga de Duero, Soria.



Figura 1.7 Hospital de Tavera, Toledo.



Figura 1.8 Patio del convento de la Asunción de Calatrava, Ciudad Real.



1.3 Fases constructivas

Como ya se ha mencionado anteriormente, el castillo-palacio de Magalia ha sido objeto de diversas reformas a lo largo de su historia, en parte debido a los daños sufridos durante la Guerra civil y otros acontecimientos que provocaron la degradación del edificio. Estos procesos de deterioro hicieron necesarias distintas intervenciones de conservación y restauración.

Dentro de las fuentes bibliográficas consultadas, destacan los planos elaborados por el Instituto del Patrimonio y Cultura de España (IPCE) que muestran varias de las intervenciones secundarias que se realizaron de forma posterior a 1950. Esta planimetría resulta ser la más cercana a la configuración espacial actual del castillo y ha servido como base para redibujar la planimetría actual que se utiliza en este trabajo, ya que no se tiene constancia de ninguna otra intervención de gran magnitud entre dichas reformas y la actualidad⁸.

En cuanto a la reconstrucción de las fases constructivas, se han considerado los estudios realizados por: Edward Cooper, Luis Martínez Feduchi y Manuel Parada López; además de los propios planos del IPCE.

S XV

Anterior a la construcción del castillo en su conjunto, ya existía el torreón principal, levantado en el siglo XV. Se ha podido determinar la anterioridad de esta estructura gracias a varios indicios constructivos⁹. En primer lugar, la unión visible en el exterior revela que no fue concebida de manera conjunta con el resto del edificio. Además, existen huecos que actualmente se abren hacia el interior del castillo, lo cual confirma que el torreón era originalmente una estructura aislada (fig. 1.9).

La puerta de entrada principal al edificio tiene restos de una inscripción que se encuentra prácticamente desaparecida en la que ponía 'Petrus Avila et [Maria Cordubensis uxor] a fundacentis' lo que en otras palabras significa, que los marqueses edificaron el castillo-palacio desde los cimientos.

S XVI

Durante el siglo XVI, se procedió a la construcción del castillo-palacio de Magalia en su totalidad, por orden de don Pedro Dávila. El proyecto contaba con una planta baja, una primera planta y un semisótano, esta última planta surge debido al gran desnivel que existe en el terreno.

El proceso de construcción se divide en dos fases. Una primera fase que recoge los años de 1524-1538, cuyo objetivo es hacer un castillo habitable para los marqueses promotores de la obra, principalmente las estancias hacia la fachada principal del edificio. En los siguientes años hasta 1540, se trabajó en las habitaciones del patio (fig. 1.10 y fig. 1.11).

El edificio cuenta con tres torreones, todos conservados actualmente: la torre del Homenaje y dos torreones secundarios que tradicionalmente se asocian a los marqueses, considerando el torreón del sur el del marqués y el norte a la marquesa. Los usos se dividen de la siguiente manera. En la planta semisótano se encuentra lo que podría haber sido un establo o salón de guardia (actual cafetería), donde además se encuentra una de las dos bóve-

8. Planos de rehabilitación y reformas del castillo-palacio de Magalia. Madrid: Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE), 1979-1989

9. Cobos Guerra, F. y De Castro Fernández, J. J., Castillos y fortalezas: Castilla y León. (1998)

das semi-planas que tiene el castillo-palacio. En la planta baja, nos encontramos con una biblioteca en el torreón del marqués, lugar de la segunda bóveda semi-plana del edificio. Finalmente, en la planta primera, denominada como ‘planta noble’, nos encontramos con el salón de honor, dando a la fachada principal, al igual que la sala dedicada a la actual capilla, espacio del cual se desconoce su uso en estas fechas.

S XX - 1946

En la reforma dirigida por Luis Martínez Feduchi que comenzó en 1946, se acometió una restauración integral de varias zonas del castillo, atendiendo a su situación de ruina parcial que se muestra claramente en las imágenes históricas posteriores a la Guerra Civil. La intervención se centró en la zona noroeste, tanto en la planta baja como en la primera planta, que habían quedado especialmente dañadas.

Además, durante esta reforma se construyó una segunda planta destinada a alojar habitaciones para las jóvenes que pertenecían a la Sección Femenina de la Falange Española. De igual manera se habilitó una planta sótano que albergaba espacios destinados a usos secundarios al castillo (fig. 1.12 y fig. 1.13).

S XX

Se conocen varias intervenciones posteriores gracias a los planos conservados por el Instituto del Patrimonio y Cultura de España (IPCE). Los dos planos fechados en 1979 se denominan como ‘proyecto de reforma interior en el Palacio de Magalia’, y muestran la planta sótano y la planta segunda. Se entiende que, como es un proyecto de reforma interior y no se construyó, dichas plantas se construyeron en la reforma de 1946 de Feduchi (fig 1.14 y fig 1.15).

Los planos del IPCE proporcionan, además, otros planos de diferentes reformas, cuya fecha se desconoce. Sin embargo, la firma en todos estos planos es la misma que la firma encontrada en los planos de la reforma de 1979, por lo que se refiere al mismo arquitecto. En estos planos se muestran las siguientes reformas: ‘restauración de fachadas’, ‘reparación de cubiertas’, ‘proyecto de almacén de lencería y plancha y nuevo gimnasio’ y ‘proyecto adicional al de obras en el castillo palacio de Magalia y piscina’.

El conocimiento de intervenciones en el edificio en 1989 se debe también a los planos del IPCE. De esta fecha, se conocen la planta baja y la planta primera, cuyo proyecto denominan ‘proyecto de reformas varias en el castillo de Magalia’. De esta intervención se conoce su autoría, Juan Armino Hernández, cuya firma se sitúa en los dos documentos. Se trata de dos intervenciones que muestran dos zonas de actuación sobre las que se va a actuar en el castillo. Estas zonas de actuación se dibujan sobre el ‘proyecto adicional al de obras en el castillo palacio de Magalia y piscina’, por lo que este último proyecto resulta anterior a 1989. Se entiende que al ser intervenciones tan próximas en el tiempo y en el mismo edificio, la autoría de los proyectos sea la mostrada en estos últimos planos, Juan Armino Hernández.

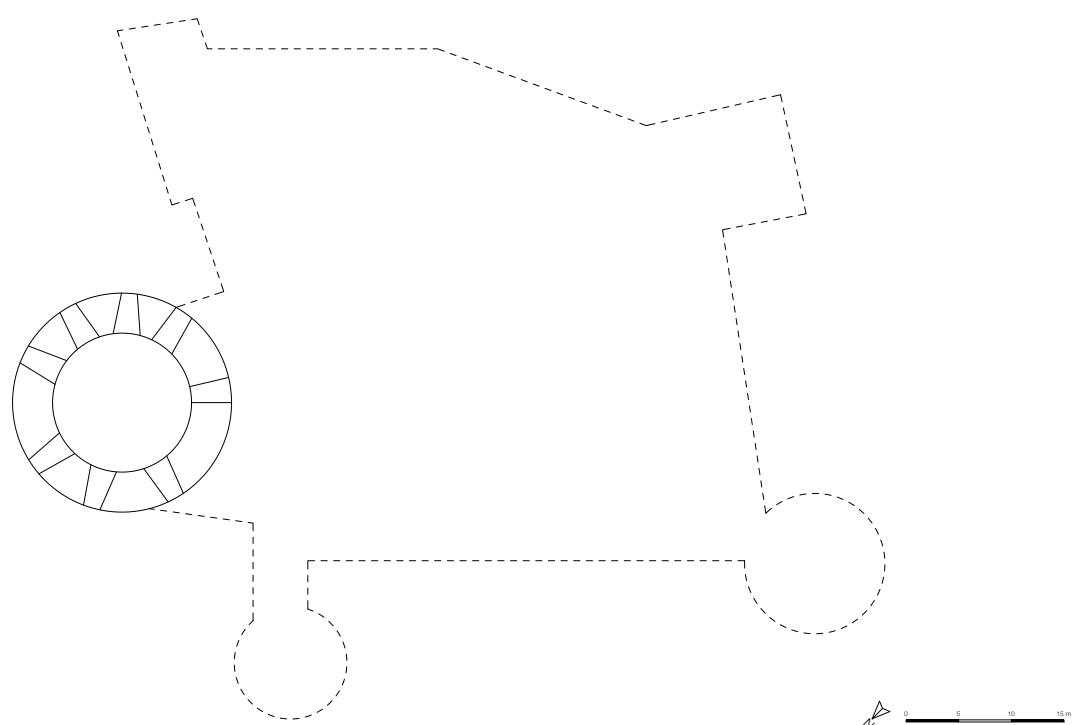


Figura 1.9 Planta del castillo-palacio de Magalia en el SXV.

Figura 1.10 Planta primera del castillo-palacio de Magalia del S XVI. En rojo los elementos conservados del S XVI actualmente, en verde la parte actual reconstruida.

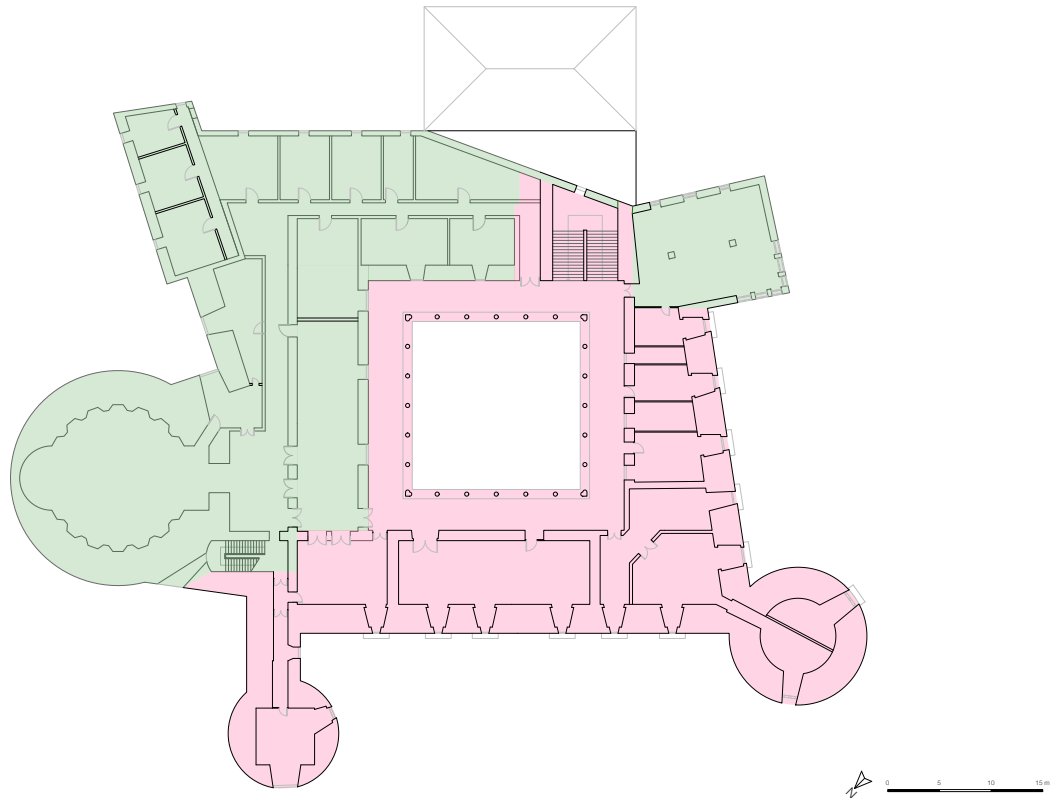
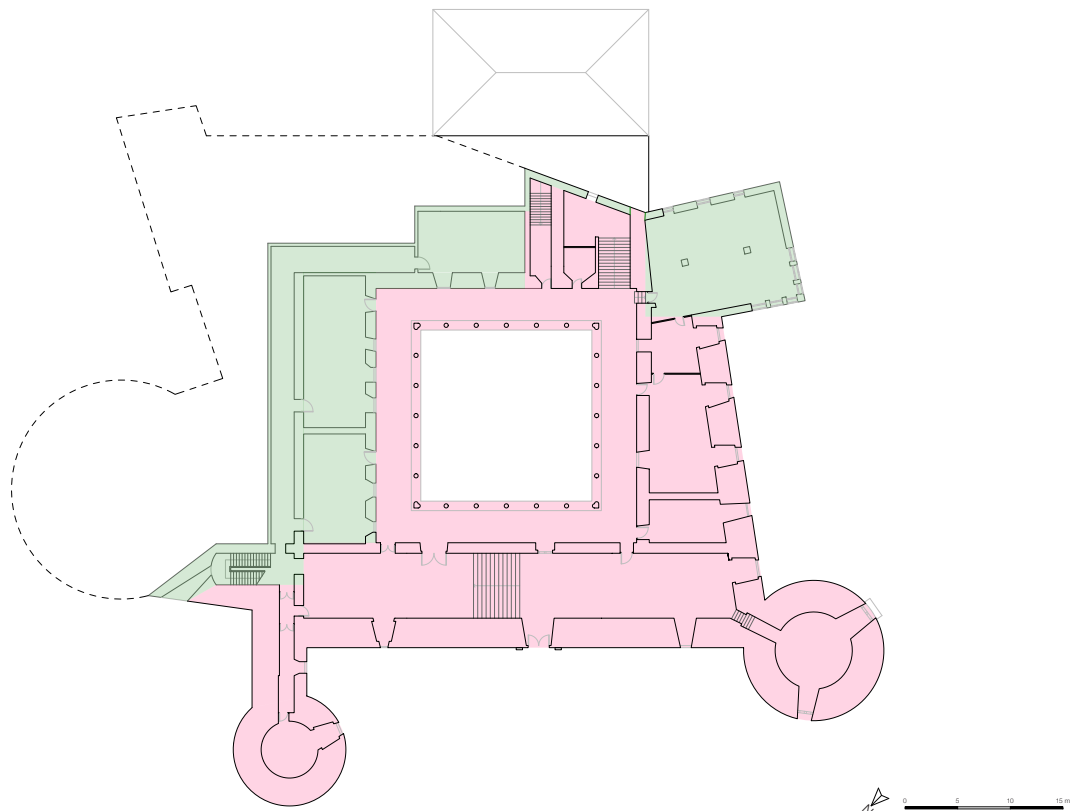


Figura 1.11 Planta baja del castillo-palacio de Magalia del S XVI. En rojo los elementos conservados del S XVI actualmente, en verde la parte actual reconstruida.



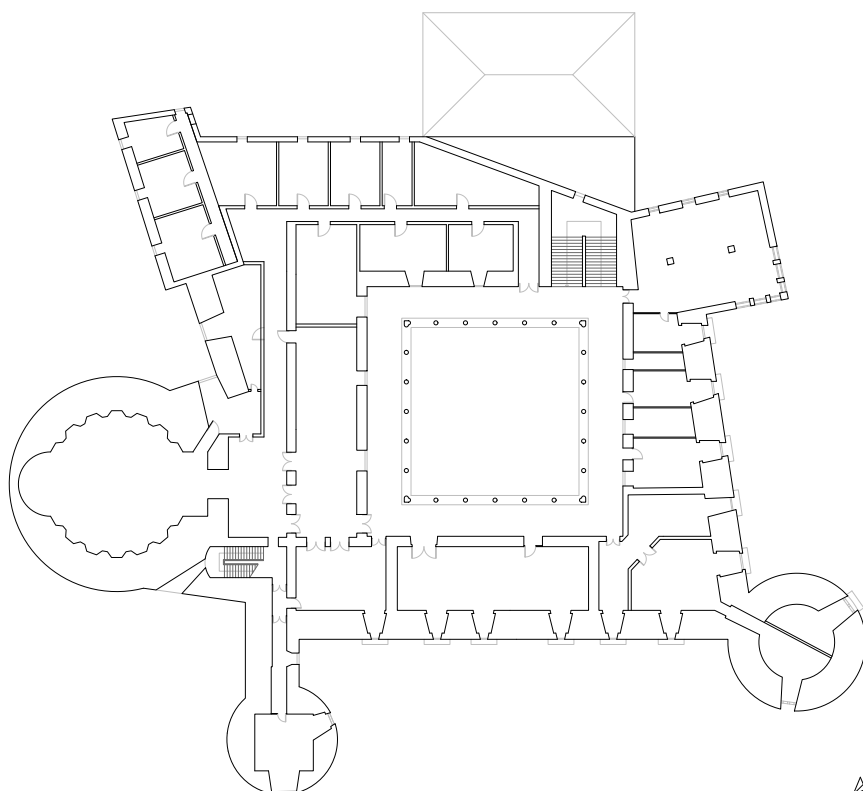


Figura 1.12 Planta primera del castillo-palacio de Magalia en el SXX-1946.

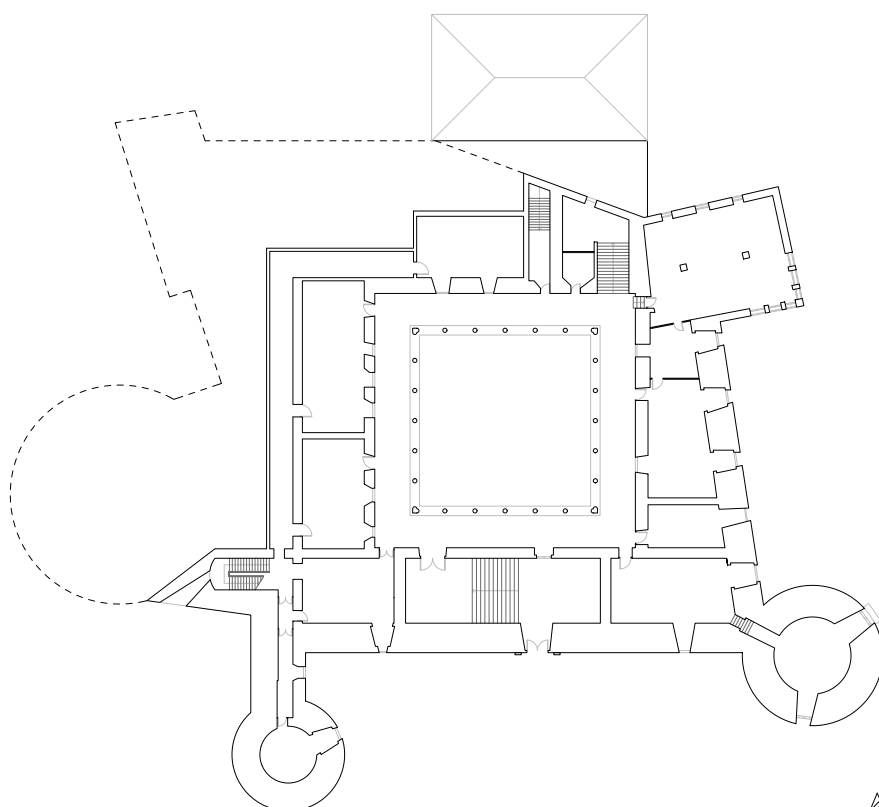
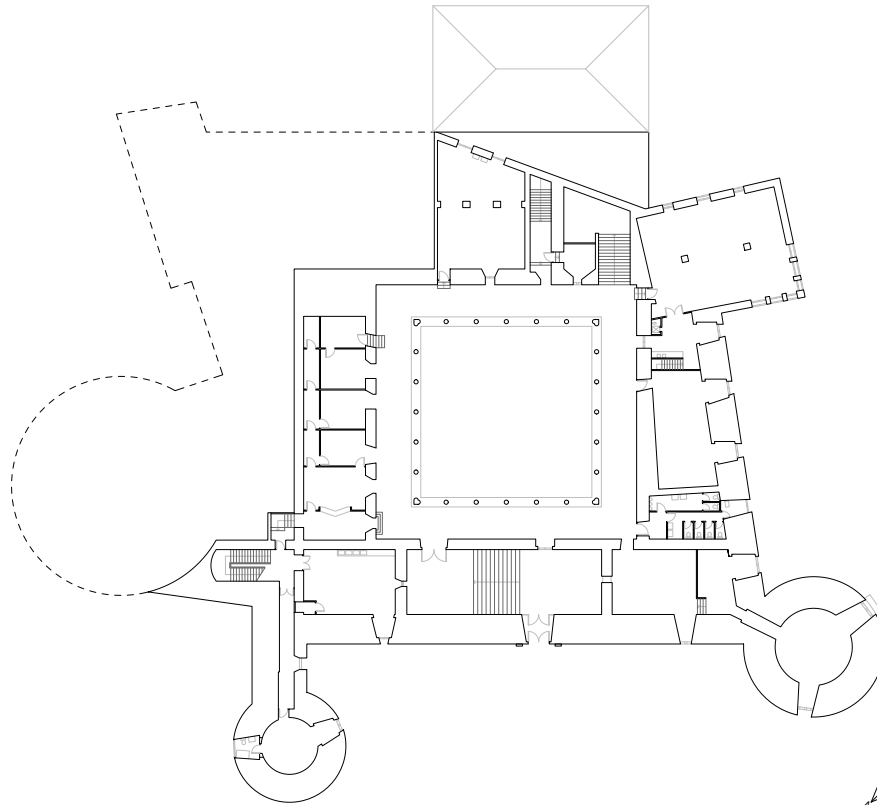
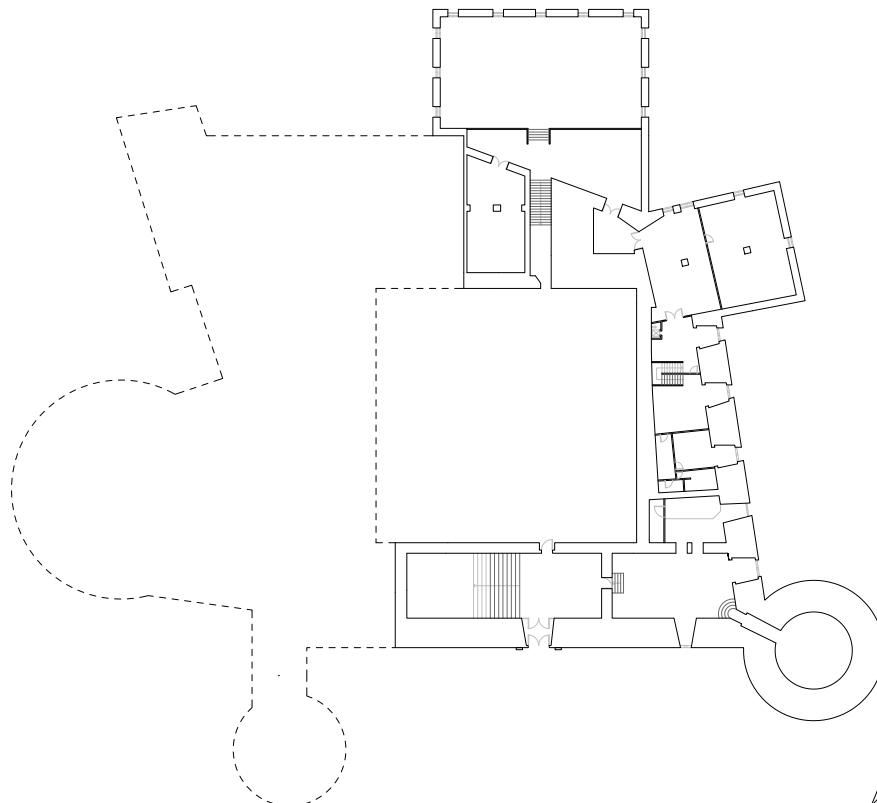


Figura 1.13 Planta baja del castillo-palacio de Magalia en el SXX-1946.



*Figura 1.14 Planta
baja del castillo-
palacio de Magalia
en el S XXI.*



*Figura 1.15 Planta
semisótano del
castillo-palacio de
Magalia en el S XXI.*

2 Bóvedas de piedra

2.1 Bóvedas renacentistas y el tratado de Vandelvira

Durante el Renacimiento en España y Francia, la cantería desempeñaba un papel vital en la arquitectura y la construcción. Esta importancia se acentuó aún más en el caso español, debido a la predominancia de la piedra como material estructural, a diferencia de otros lugares europeos, donde se generaliza el uso de la albañilería y otros sistemas constructivos ¹⁰.

Esta diferencia se debe a una herencia constructiva medieval muy extendida en la península, donde las técnicas góticas se adaptan progresivamente a las nuevas formas clásicas que conlleva el movimiento renacentista.

Por tanto, la arquitectura pétreo del renacimiento español se apoya en un control previo de la forma. Esto implica que, previo a la labra de las piedras, se requiere una definición precisa de la geometría de cada dovela, mediante sistemas gráficos que constituyen lo que se denomina traza de cantería. Estos conocimientos geométricos llevan a una difusión de los tratados técnicos especializados de cantería, donde se estudian formas arquitectónicas como arcos, bóvedas, capialzados, trompas o escaleras, mediante procedimientos de estereotomía. Por lo que estos documentos son imprescindibles para comprender no solo las técnicas constructivas de la época y el control geométrico que exigían las fases constructivas.

Autores como Ginés Martínez de Aranda, cantero y arquitecto, enfatizan el uso de este método de traza como fundamento en la arquitectura, debido a su capacidad para facilitar el diseño y la edificación de elementos como bóvedas vaídas o escaleras imperiales. Más allá de su practicidad, la traza se veía como un medio de expresión intelectual y artística ¹¹.



Figura 2.1 Portada del Tratado de Vandelvira

En este contexto, surgen varios tratados de la época que resultan relevantes a mencionar. La obra de Hernán Ruiz el Joven, arquitecto sevillano, no solo aborda principios generales de la cantería, sino que también incluye indicaciones acerca del despiece de las dovelas, a pesar de ser un tratado con 'contenido más humanista, a la manera de los grandes tratadistas italianos' ¹².

El tratado de cantería más relevante es el 'Libro de trazas de cortes de piedras' de Alonso de Vandelvira, redactado hacia 1567 (fig. 2.1). Se trata de una recopilación sistemática de la geometría aplicada a la estereotomía, el arte del corte de la piedra con el fin de la construcción de estructuras complejas. Se describen procedimientos geométricos, así como sistemas gráficos de representación y ejecución de las soluciones constructivas, apoyados en operaciones como plantas, perfiles y alzados. Vandelvira propone unos métodos de trazado mediante los cuales se definen de forma precisa elementos

10 y 12. Palacios, J. C., *La Estereotomía como Fundamento Constructivo del Renacimiento Español* (1987)

11. Calvo López, J., *Estereotomía de la piedra* (2004)

estructurales como arcos, bóvedas o escaleras, consolidando un ejemplo de técnica singular dentro de la arquitectura renacentista.

La estructura de este tratado se organiza mediante diferentes cortes de piezas, a través de una colección de ejemplos, de los cuales Vandelvira reúne y ordena en un solo documento todos los conocimientos técnicos hasta la época. En el texto se describen no solo conocimientos constructivos y geométricos, sino también un reflejo del pensamiento técnico de la época. Su influencia fue tal en décadas posteriores, que su contenido se mantuvo como referencia para la construcción, y fue utilizado tanto por canteros como por arquitectos. Por lo tanto, el tratado de Vandelvira permite entender de manera clara y concisa la reinterpretación de las tradiciones góticas bajo la nueva lógica técnica y formal del Renacimiento español ¹³.

2.2 Bóveda de cañón y bóveda de media naranja

La bóveda de cañón es una superficie cilíndrica que se ha generado por la traslación de una misma directriz a lo largo de un eje, por lo que puede entenderse como una extensión directa del concepto del arco. Por lo tanto, para comprender el funcionamiento de la bóveda de cañón, se precisa el análisis de la forma y construcción de diferentes tipos de arcos.

Precisamente por este motivo, la bóveda de cañón no parece representada en el tratado de Vandelvira como un elemento específico, como pueden ser arcos, escaleras u otras bóvedas, sino que sus características se deducen de los distintos tipos de arcos que la generan.

Una de las formas para tallar las dovelas que utilizaban los canteros en el Renacimiento es la llamada 'labra por robos' (fig. 2.2), donde se representaba las proyecciones ortogonales de cada dovela en un bloque sólido y se procedía a labrar la piedra con la mayor exactitud posible, mediante herramientas como la escuadra¹⁴.

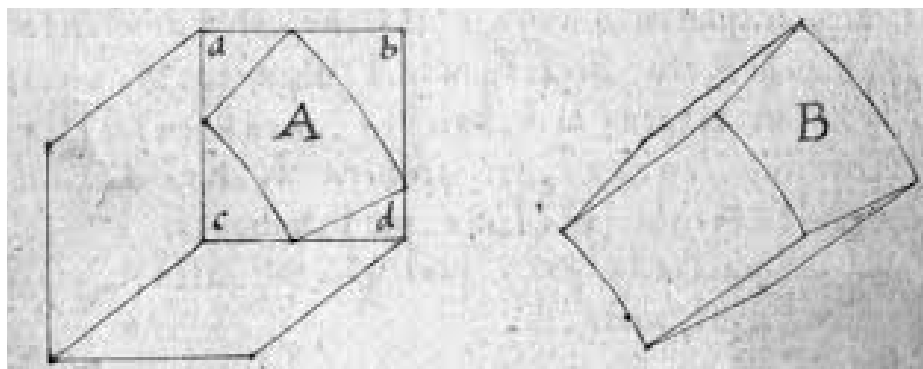


Figura 2.2 Método de labra por robos dibujado por Ginés Martínez de Aranda.

El arco de medio punto constituye la forma más clásica en la arquitectura de piedra del Renacimiento, mediante el cual se genera la bóveda de cañón (fig. 2.3). En este sistema, las dovelas presentan una geometría muy bien definida y su disposición es generalmente simétrica. Los lechos planos se orientan de forma radial hasta el centro del arco.

Además, mientras que el intradós tiene forma cilíndrica continua y las juntas son paralelas a la directriz de la bóveda, el extradós, en cambio, pue-

¹³ y ¹⁵. Palacios, J. C., *La Estereotomía como Fundamento Constructivo del Renacimiento Español* (1987)

¹⁴. Calvo López, J., *Estereotomía de la piedra* (2004)

Figura 2.3 Bóveda de cañón en la galería principal del Monasterio de El Escorial

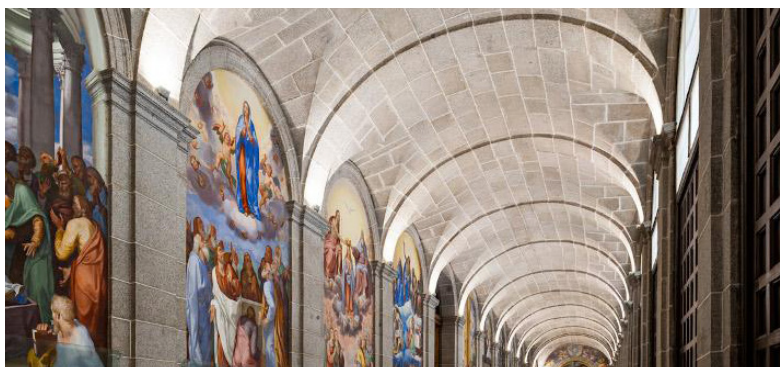


Figura 2.4 Tipos de arcos mostrados en el tratado de Vandelvira

de variar dependiendo de las necesidades estructurales o de cubrición. El tratado de Vandelvira recoge en detalle esta geometría, permitiendo que la forma de las dovelas pueda determinarse con exactitud. Esto facilita la labra de cada elemento, favoreciendo una construcción precisa y eficiente.

En cuanto al tratamiento de los arcos rebajados, frecuentes en espacios limitados por la altura, se abordan como soluciones geométricas cuya traza reduce la flecha sin necesidad de prescindir de su estabilidad. Vandelvira propone métodos de trazado cuyo objetivo es la definición precisa de las dovelas (fig. 2.4), además de prestar especial atención a la continuidad de las juntas en el intradós y la transmisión de cargas ¹⁵.

Además de estos aspectos, el tratado presenta una descripción detallada de la geometría de las dovelas, distinguiendo entre los lechos -superficies horizontales de apoyo o inclinadas sobre las que se asientan las piezas- y las juntas – el plano perpendicular al intradós que sirve de transición entre una dovela y sus piezas posteriores. Según el arco que se esté estudiando, las dovelas pueden presentar diferentes formas, desde rectangulares y trapezoidales hasta formas más complejas con giros o curvas. Estas piezas se adaptan a la superficie del intradós, y son fundamentales para la correcta construcción de los elementos arquitectónicos, atendiendo a aspectos como la transición de cargas y esfuerzos. (fig 2.5)

Una geometría relevante también con las bóvedas de media naranja, ya que presenta una forma regular que facilita su simetría y estabilidad. Sin embargo, la construcción de estos elementos requiere una precisión de corte muy alta, así como una disposición de dovelas estudiada y trabajada. Las variantes de esta bóveda permiten adaptar su forma a alturas menores, reduciendo la relación entre la flecha y la altura de la propia bóveda. De esta forma surgen las bóvedas semi-planas, presentándose como una variante la bóveda de media naranja y de gran dificultad constructiva. (fig .2.6)

En el Monasterio de El Escorial, se conservan dos bóvedas de estas características, una de ellas proyectada por el arquitecto Juan Bautista de Toledo, y una posterior por Juan Herrera, que recogía los conocimientos de la construcción de la primera. Estas bóvedas son una variante de la bóveda vaída, ambas adaptadas a diferentes condiciones: una de ellas se construye sobre planta cuadrada (fig. 2.7) y la otra se apoya sobre pechinas (fig. 2.8). Se trata de bóvedas de difícil ejecución, ya que su construcción requiere de conocimientos absolutos de la traza y la disposición de las dovelas.

Tal era la dificultad técnica que la primera bóveda de las construidas en El Escorial se reforzó introduciendo un pilar central como elemento de apoyo ¹⁶.

En el castillo-palacio de Magalia, se encuentran dos ejemplos significativos de bóvedas semi-planas desarrolladas sobre planta circular. Esta geometría simplifica ligeramente la ejecución, ya que de esta manera se evitan los encuentros complejos que pueden aparecer en la transición entre formas rectangulares o cuadradas y superficies curvas. Cabe destacar que las bóvedas del castillo-palacio de Magalia tienen interesantes relaciones geométricas entre ellas, y que son anteriores a las presentes en el Monasterio de El Escorial, ambas datadas alrededor de 1576 ¹⁷. Esto plantea la hipótesis de que sirvieran como ensayo para las soluciones aplicadas más elaboradas posteriormente en este edificio.

Existen otros ejemplos aislados de bóvedas planas fuera del contexto renacentista. Un claro ejemplo es la bóveda plana situada en la cripta de la catedral de Cádiz, datada del siglo XVII. Sin embargo, el enfoque de este trabajo son los ejemplos renacentistas, tanto por su relevancia histórica como por su interés constructivo y geométrico.

16. López Mozo, A., *Planar vaults in the Monastery of El Escorial* (2003)

17. Perelló, M. y Rabasa, E., "Stone and brick flat vaults from the 16th century in Spain", en *History of Construction Cultures* Vol. 1, (Londres: CRC Press, 2021), 356-363

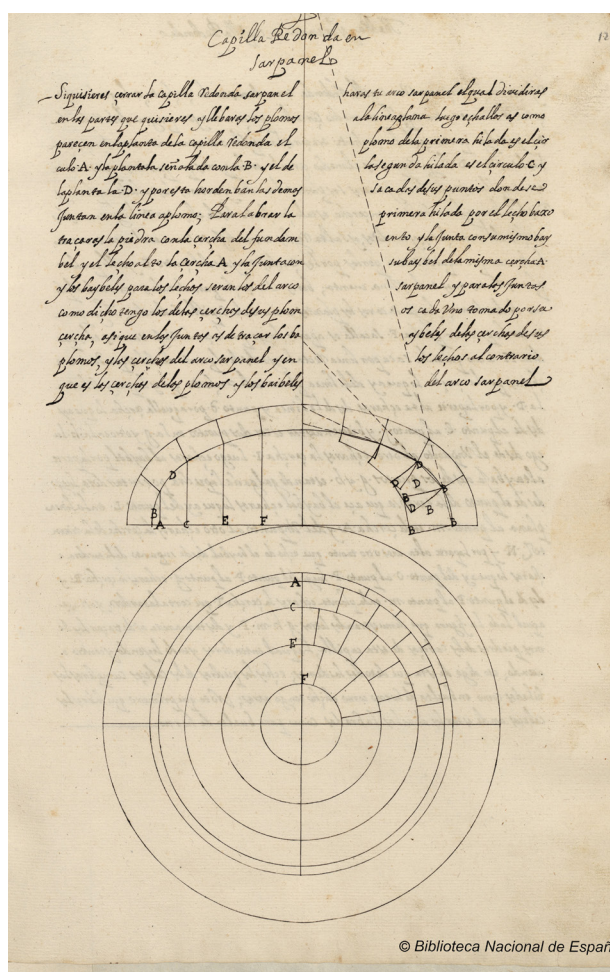


Figura 2.5 Arco rebajado del Tratado de Vandelvira.

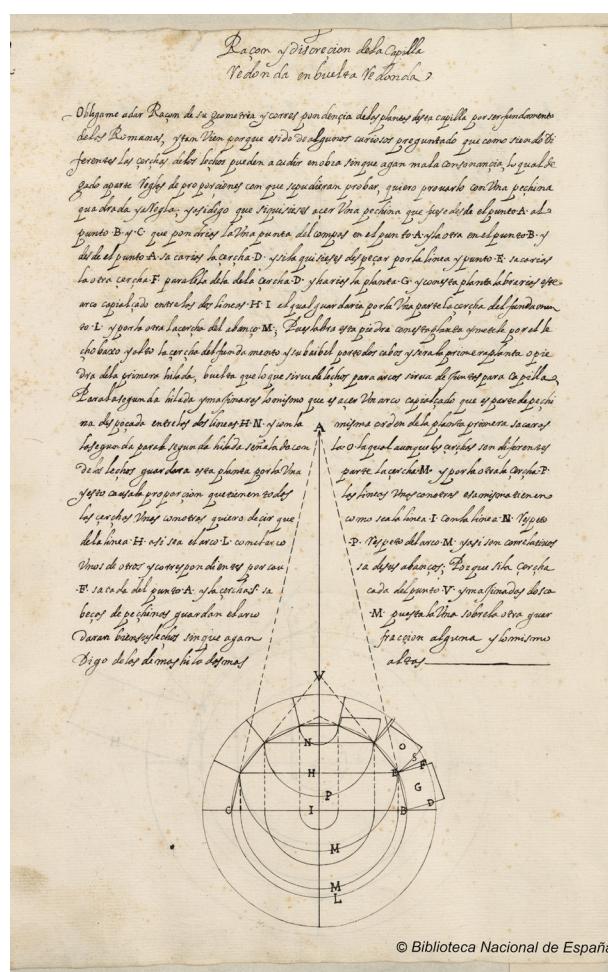


Figura 2.6 Bóveda de media naranja del Tratado de Vandelvira.

En el trabajo se desarrolla un estudio del sistema de la cantería renacentista, aplicado específicamente a estas bóvedas. Para ello, se toma como referencia el tratado de Alonso de Vandelvira, donde se estudia la forma y la estereotomía de las dovelas. Para el caso de las bóvedas semi-planas, se consideran tanto la bóveda de media naranja como otras variantes similares, debido a que la semi-plana es derivada de estas dos. Para la bóveda de cañón, se tienen como base los arcos que se comentan en el tratado, atendiendo tanto a la traza como al despiece. El objetivo del trabajo es conseguir una hipótesis del despiece de las dovelas mediante la información que proporciona el intradós de las bóvedas.



Figura 2.7 Bóveda plana del Monasterio de El Escorial de planta cuadrada.



Figura 2.8 Bóveda plana del Monasterio de El Escorial apoyada sobre pechinas.

3 Análisis de las bóvedas

3.1 Selección de bóvedas

El castillo cuenta con varias bóvedas originales de piedra conservadas del siglo XVI, algunas de ellas situadas en el torreón sur. En la planta semisótano, se encuentran una bóveda semi-plana de planta circular (fig. 3.1) y una bóveda de cañón (fig. 3.2), que actualmente albergan la cafetería. En la planta baja del torreón, se ubica otra bóveda semi-plana de planta circular, donde hoy en día se encuentra la biblioteca (fig. 3.3). En la primera planta de este mismo torreón, se puede identificar otra bóveda rebajada cuyo despiece no es visible debido al revestimiento. Por otro lado, la escalera este cuenta con una bóveda en su parte superior, la cual también esta revestida.

Además de estas, existen otras bóvedas de menor tamaño en la zona sureste del edificio, que se han tomado en consideración en el levantamiento realizado. Se trata de dos pequeñas bóvedas de cañón de ladrillo que comunican las dos bóvedas semi-planas con el resto del castillo-palacio (fig. 3.4 y fig. 3.5), y un capialzado de piedra en la zona de la biblioteca (fig. 3.6). Estas bóvedas de menor importancia no se han incluido en el análisis detallado.

Figura 3.1 Bóveda semi-plana de piedra de la planta baja.



Figura 3.2 Bóveda semi-plana de piedra de la planta semisótano.





Figura 3.3 Bóveda de cañón de piedra de la planta semisótano.



Figura 3.4 Bóveda de cañón de ladrillo de la planta baja.

Figura 3.5 Bóveda de cañón de ladrillo de la planta semi-sótano.



Figura 3.6 Capialzado de la biblioteca.

El trabajo se centra en las dos bóvedas semi-planas situadas en dos niveles del torreón sur y la bóveda de cañón de la planta semisótano (fig. 3.1, fig. 3.2 y fig. 3.3). Estas estructuras ofrecen temas de interés en cuanto a características constrictivas y geométricas. Las bóvedas semi-planas destacan por su forma muy rebajada, lo que las convierte en elementos singulares de la época del Renacimiento y dentro del contexto español, ya que, de esta misma época, solamente se pueden relacionar con dos ejemplos de bóvedas planas conservadas en El Escorial, como se ha visto en el capítulo anterior. Por otro lado, la bóveda de cañón presenta un perfil de arco de medio punto clásico con una estereotomía aparentemente tradicional, cuyo estudio también se abordará en este trabajo.

Algunos estudios mencionan la existencia de una bóveda semi-plana en el convento de Santo Domingo y San Pablo, que se ubicaba en la entrada y servía como base para el coro¹⁸. No obstante, debido a que esta zona del edificio se derrumbó hace varios años, no se dispone de la información necesaria para confirmarlo con certeza. Por ello, este tema no será tratado en este trabajo, quedando reservado para posibles futuras investigaciones (fig. 3.7).

¹⁸ Pérez-Mínguez, F., "El castillo de los Marqueses de las Navas", 745-816

Figura 3.7 Lugar donde se supone la bóveda semi-plana del Convento de Santo Domingo y San Pablo



3.2 Levantamiento por fotogrametría

Método

Con el objetivo de disponer de datos detallados sobre las bóvedas a analizar, se procede a realizar un levantamiento por fotogrametría digital automatizada. La restitución fotogramétrica se lleva a cabo mediante el programa Agisoft Metashape Professional, que utiliza fotografías de un objeto físico para realizar un modelo 3D, identificando puntos de referencia en las imágenes que se le proporcionan (fig. 3.8, fig. 3.9 y fig. 3.10).

Toma de datos

Previo al proceso del programa, se realiza una toma de datos in situ, que consiste en una serie de fotografías con una cámara CANON EOS R8 y una cámara SONY ILCE 5000, cuya configuración tiene que estar adaptada a las condiciones del entorno. Todas las fotografías deben tener una ilu-



Figura 3.8. Modelo tridimensional de la bóveda semi-plana de la planta baja del castillo-palacio de Magalia.



Figura 3.9. Modelo tridimensional de la bóveda semi-plana de la planta semi-sótano del castillo-palacio de Magalia.



Figura 3.10. Modelo tridimensional de la bóveda de cañón de la planta semisótano del castillo-palacio de Magalia.

minación parecida, para facilitar al programa el procesado de estas. Además, la cámara tiene que configurarse de tal forma que la sensibilidad sea baja, evitando así las fotos con ruido (ISO 100); y una apertura de objetivo lo menor posible, para aumentar la profundidad de campo de las imágenes (F8-F11) (fig. 3.11).

Para las dos bóvedas semi-planas, se realizaron fotografías en perpendicular al suelo siguiendo varios barridos en circular con diferentes radios, para cubrir con imágenes toda la superficie de las bóvedas. Además, se hicieron varias fotos oblicuas para captar el encuentro entre las bóvedas y el muro (fig. 3.12). En cuanto a la bóveda de cañón, al ser un espacio más amplio, los barridos de fotografías realizados fueron tanto en longitudinal como en transversal y en perpendicular al suelo, además de oblicuas.

En la fase de toma de datos además se realizó un escaneo laser con el equipo cedido por el Departamento de Ideación Gráfica de la ETSAM (Leica BLK360), que proporciona los datos necesarios para escalar y orientar el modelo fotogramétrico mediante puntos de referencia y medidas reales.

Figura 3.11 Recopilación de fotografías de la planta baja del castillo-palacio de Magalia.



Fases del procesado

Se realizaron aproximadamente 360 fotografías en total, que se procesan haciendo una selección, para descartar las imágenes borrosas o con problemas de exposición. Una vez procesadas las imágenes, el programa orienta las fotografías identificando desde donde se han realizado y genera primero una nube de puntos y posteriormente una nube de puntos densa (fig. 3.13). Esta nube de puntos densa se transforma en una malla poligonal triangulada (fig. 3.14), un modelo que se ajusta con precisión a la nube de puntos y que al ser una superficie continua es fácilmente exportable a programas de dibujo vectorial. Posteriormente se crea el modelo texturizado, mediante las imágenes aportadas al programa y finalmente el modelo se escala y orienta a través de coordenadas obtenidas gracias a los datos del escáner (fig. 3.15). Estos puntos de referencia el programa los denomina como “marcadores”, que se posicionan en una imagen y que el programa detecta en el resto de las imágenes (fig. 3.16).

Como resultado del modelo creado, se proceden a realizar ortofotos de todas las bóvedas, identificando 3 puntos en un plano, o teniendo el modelo escalado, se obtienen a través de las vistas predefinidas de Metashape. Se utiliza la vista cenital para la ortofoto de las bóvedas y las vistas laterales para los alzados, que nos ayudan a entender la curvatura.

Además, el modelo 3D se exporta a programas de dibujo, en este caso a Rhinoceros 3D, desde el cual se obtienen dibujos de tanto secciones como curvas de nivel, plantas, que nos ayudan a obtener conclusiones de relaciones geométricas.

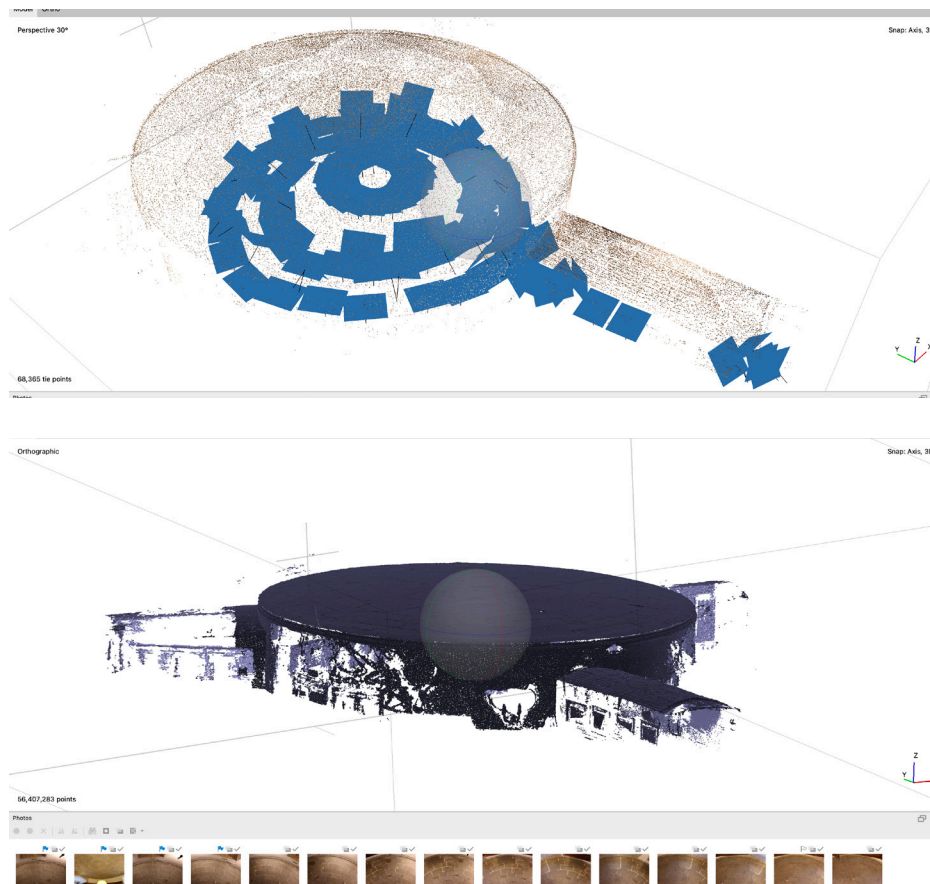


Figura 3.12 Modelo de Metasape, toma de datos. Los planos en azul marcan el origen de cada fotografía.

Figura 3.13 Nube de puntos densa obtenida de Metashape

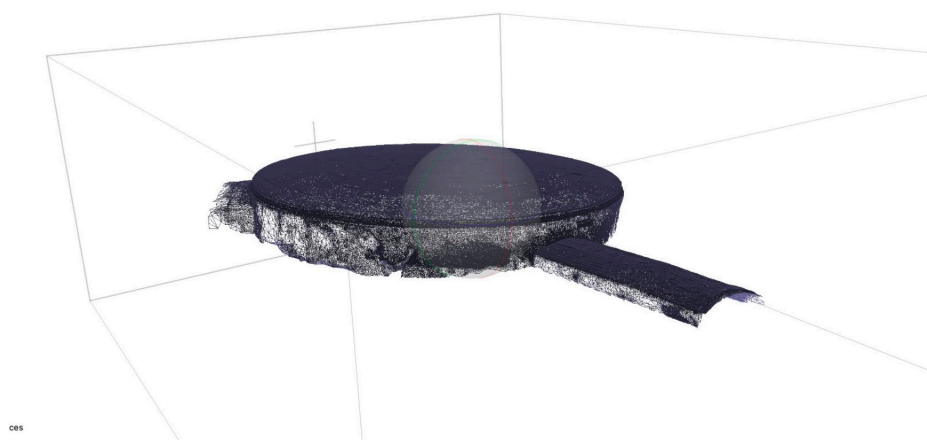


Figura 3.14 Malla poligonal obtenida de Metashape



Figura 3.15 Modelo texturizado orientado y escalado mediante puntos de referencia

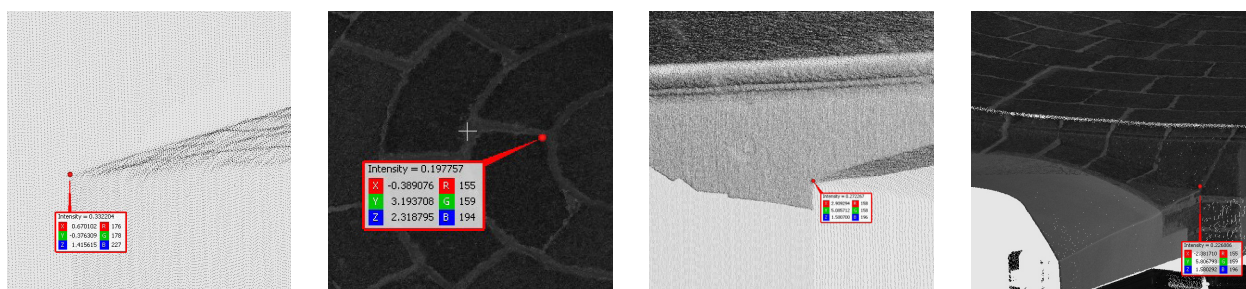


Figura 3.16 Puntos de referencia de la bóveda semi-plana de la planta baja obtenidos del escaner 3D

3.3 Análisis constructivo y geométrico de las bóvedas

Tras realizar el levantamiento por fotogrametría, se procede al análisis constructivo y geométrico de las bóvedas. Para ello se realizan una serie de operaciones gráficas que nos permiten estudiar las bóvedas con más profundidad abordando el análisis de la forma del intradós y del despiece visible del material para poder plantear una hipótesis de la estereotomía en cada caso.

BÓVEDA DE CAÑÓN

Forma

Se procede a analizar la bóveda de cañón mediante diferentes operaciones gráficas como son las secciones y curvas de nivel para determinar su forma. Con el modelo tridimensional generado a partir de la fotogrametría con el programa Agisoft Metashape, se exporta al programa de dibujo Rhinoceros. A partir de este modelo se extraen las curvas de nivel cada 5 cm, así como un total de 23 secciones transversales a un metro de distancia entre ellas a lo largo de toda la bóveda (fig. 3.17). Al superponer estas secciones, se aprecia que las 10 primeras secciones presentan una clave más elevada que el resto, lo que puede indicar de que no se trata de un cilindro de desarrollo uniforme.



Figura 3.17 Modelo tridimensional de la bóveda de cañón, en blanco marcadas las secciones transversales realizadas

Esta idea se ve reforzada al realizar la sección longitudinal, ya que, vemos que la zona correspondiente a las primeras 10 secciones se elevan respecto a dicha línea de referencia aproximadamente a partir de la mitad de la longitud de la bóveda, dando como resultado una sección con una parte más inclinada y una parte más horizontal. Este dato también es notable en el análisis de las curvas de nivel, al presentar más cantidad de curvas en esta zona, corroborando la ligera deformación que se produce en esta parte concreta, que corresponde con el acceso al resto de espacios del castillo (fig. 3.18). Para garantizar la precisión de los resultados y llevar a cabo los análisis constructivos de la bóveda, se ha considerado únicamente la parte más regular de ésta, que no presenta alteraciones significativas en su curvatura (fig. 3.19).

A partir de este análisis geométrico, se obtienen las trazas de las circunferencias medias correspondientes a cada una de las secciones transversales (fig. 3.20 y fig. 3.21). Mediante el cálculo del promedio de los radios de estas circunferencias se consigue una circunferencia media de 2,73 m, cuyo diámetro horizontal corresponde a la línea de imposta de la bóveda (fig. 3.22). Este resultado, junto con las evidencias obtenidas a partir de las curvas de nivel y las secciones transversales y horizontales, permite concluir que la curva directriz de la bóveda de cañón responde a una media circunferencia que se puede considerar exacta. Esta regularidad geométrica apoya la teoría de que se trata de un diseño planificado cuidadosamente, acorde con los conocimientos técnicos y constructivos de la época.

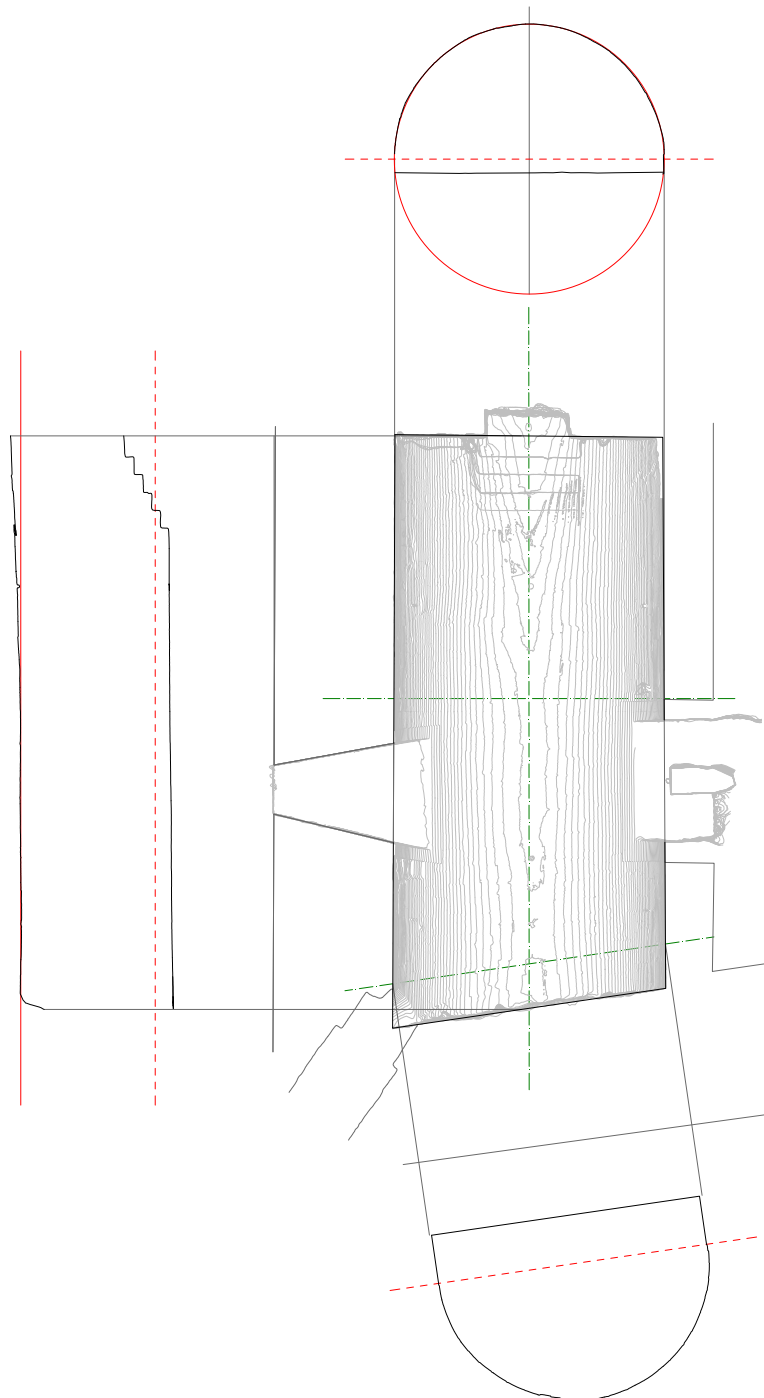


Figura 3.18 Geometría general de la bóveda de cañón, mostrando las curvas de nivel cada 5 cm en planta, sección longitudinal, transversal y oblicua. En rojo la circunferencia media y la línea de imposta.

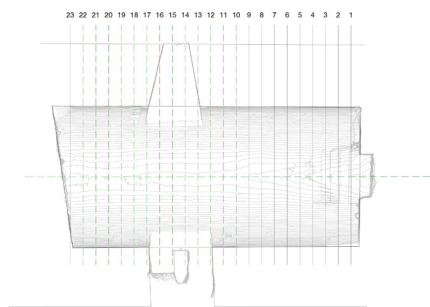
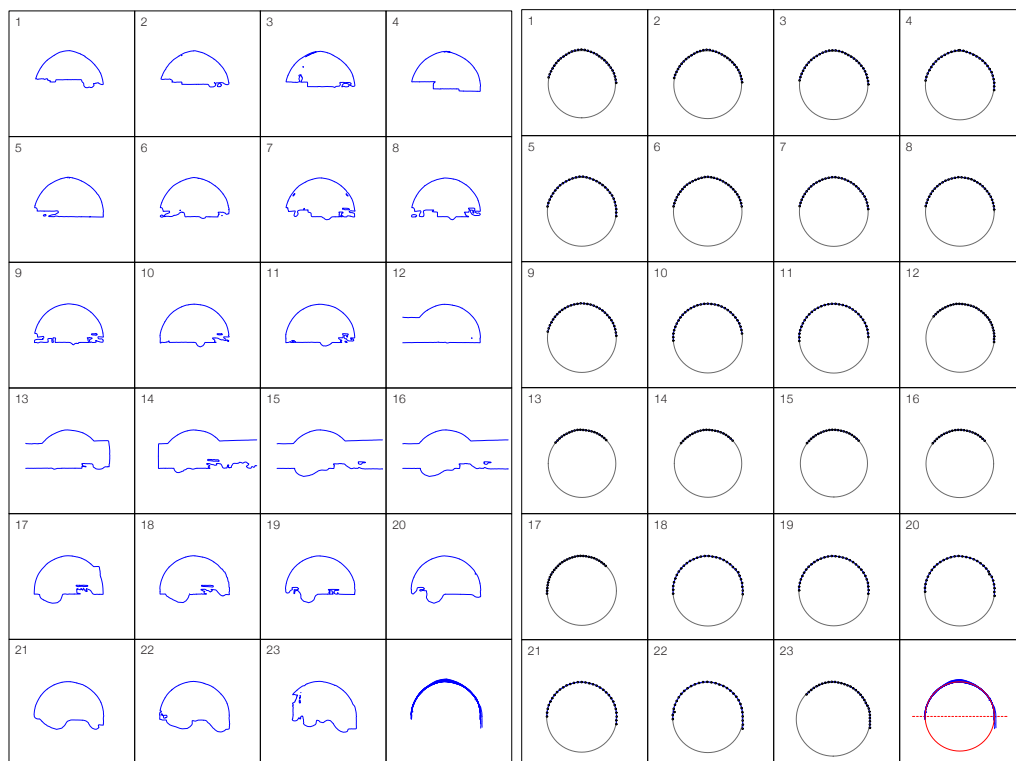


Figura 3.19 Planta con curvas de nivel de la bóveda de cañón, en verde las secciones regulares que se han utilizado para el análisis.



Bóveda cañón		
Sección	Radio circ (m)	Radio promedio (m)
10	2,746	2,734
11	2,747	
12	2,714	
13	2,682	
14	2,676	
15	2,665	
16	2,685	
17	2,750	
18	2,775	
19	2,764	
20	2,767	
21	2,778	
22	2,794	

Figura 3.20 Recopilación de las 23 secciones transversales realizadas partiendo del modelo tridimensional.

Figura 3.21 Recopilación de las trazas de las secciones transversales realizadas.

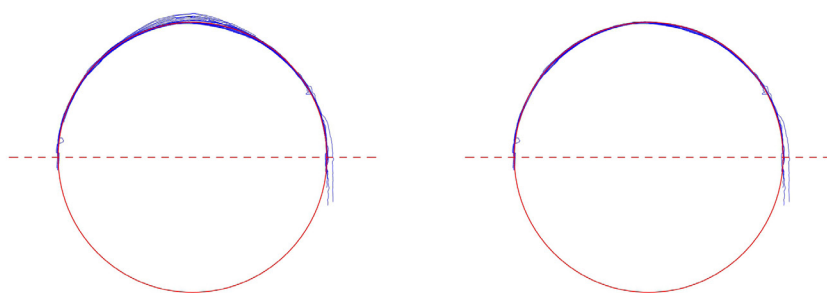


Figura 3.22 Izq: secciones transversales superpuestas, en rojo la circunferencia media y la línea de imposta. Dcha: secciones regulares utilizadas en el análisis, en rojo la circunferencia media y la línea de imposta.

Estereotomía

Para el análisis de la estereotomía de la bóveda, se han dibujado las piedras a partir del modelo tridimensional con una opción de Rhinoceros que permite reconocer vértices y proyectar líneas directamente sobre la superficie, asegurando la correspondencia con el despiece real (fig. 3.23). Una vez dibujadas, se procede a medir las mismas, obteniendo unos valores medios de las dimensiones visibles de las dovelas.

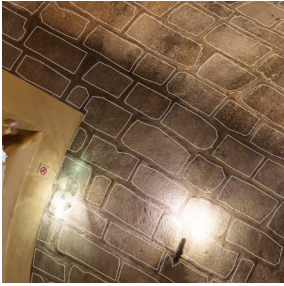


Figura 3.23 Detalle del modelo tridimensional de la bóveda de cañón, en blanco dibujado el despiece.

Las hiladas de la bóveda presentan unas medidas uniformes respecto al ancho, con variaciones mínimas; solo una de ellas muestra una anchura menor que el resto. Se podría suponer que esta hilada más estrecha correspondiera a la clave de la bóveda, ya que, constructivamente, las hiladas se colocan partiendo de la base hasta el eje central, donde el espacio restante obliga a adaptar las dovelas finales, reduciendo por tanto su tamaño. Sin embargo, el análisis en sección indica que la clave se sitúa en el encuentro de dos hiladas centrales, una de ellas de ancho sensiblemente menor (fig. 3.24). Esto sugiere que se priorizó mantener una medida de ancho constante entre las hiladas, insertando una única hilada más estrecha para compensar la diferencia que se había generado en una de las dos partes de la bóveda.

Respecto a la longitud de las piedras, se observa una variación mayor, en comparación con el ancho. Se pueden encontrar piedras de hasta 1 m de ancho y piedras que parecen cumplir una función de relleno de 20 cm. Descartando estos casos, se puede establecer un valor medio aproximado en cuanto a la longitud de las dovelas (fig. 3.25).

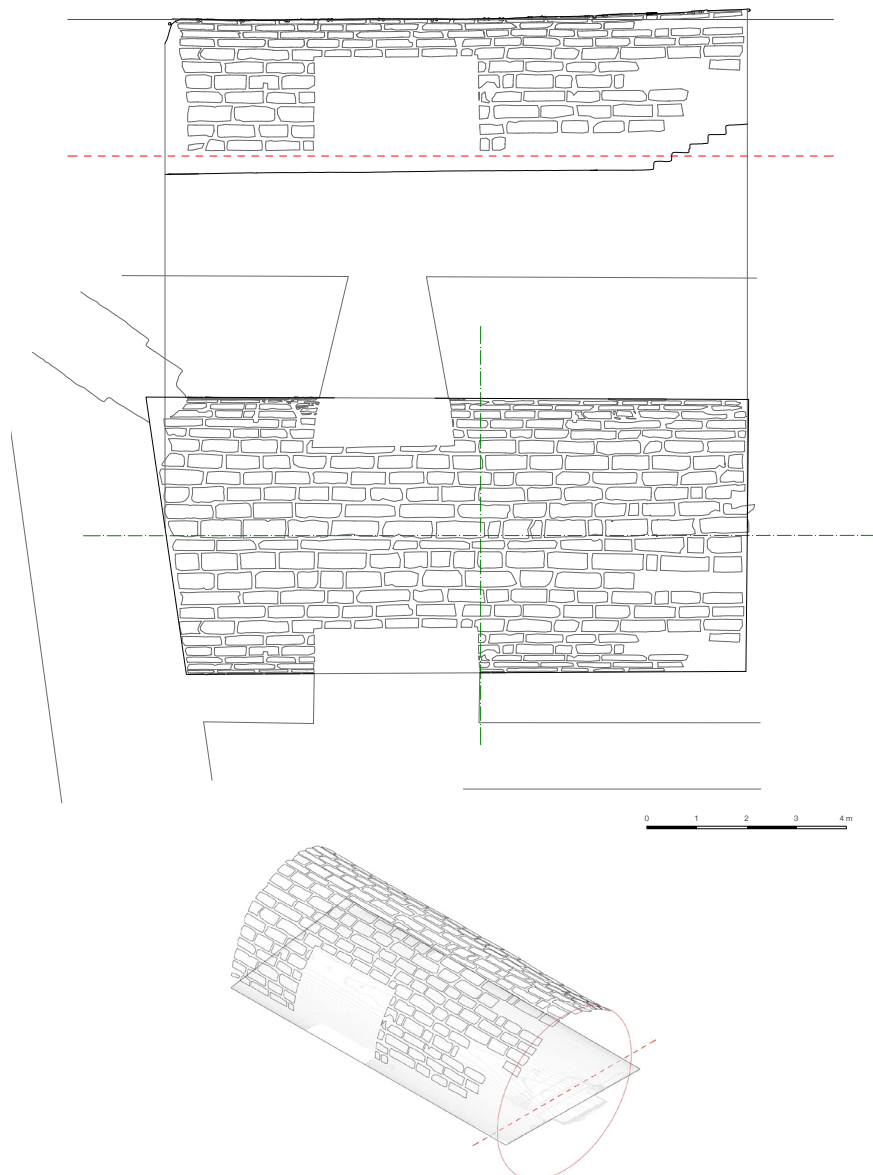


Figura 3.24 Planta y secciones de la bóveda de cañón mostrando el despiece, en rojo marcado la línea de imposta.

Figura 3.25 Vista axonométrica del despiece de las piedras sobre el modelo, en planta las curvas de nivel.

Hipótesis del modelo ideal

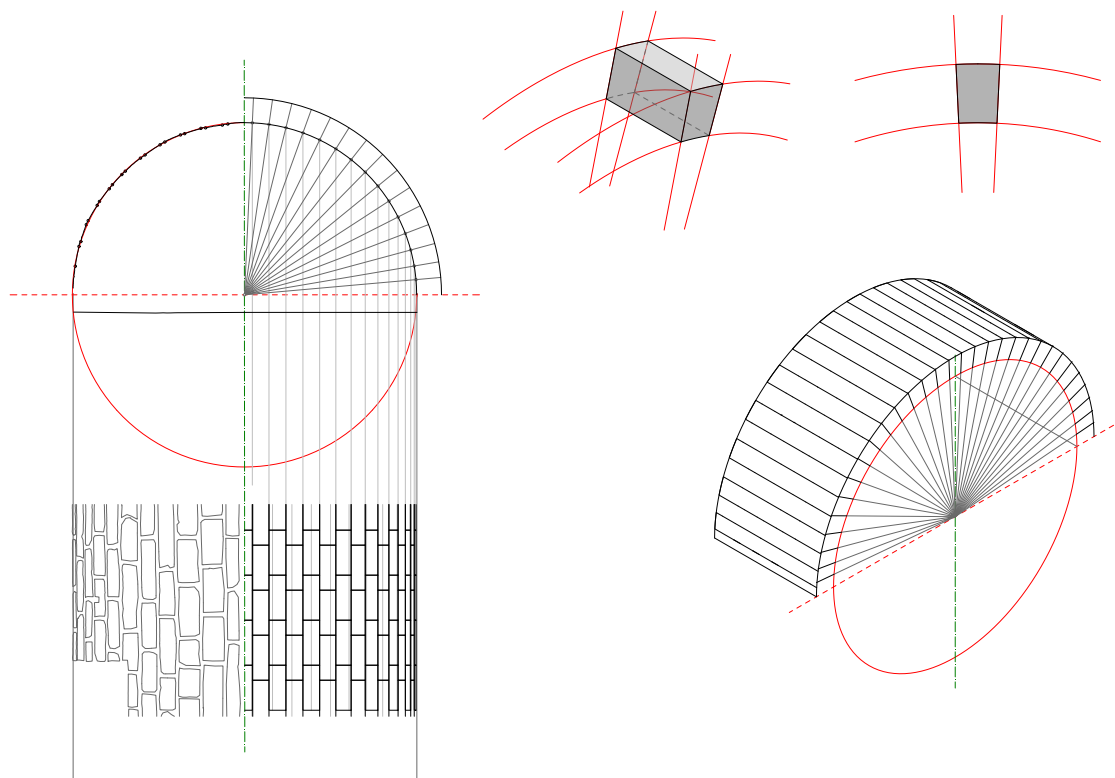
Con el análisis de las trazas de los radios de cada sección y de la disposición de las dovelas, se puede reconstruir una hipótesis del modelo ideal de la bóveda, teniendo en cuenta las características y las medidas mencionadas anteriormente, obtenidas a partir de procesos gráficos. Se obtiene una circunferencia media de 2,73 metros, teniendo en cuenta la zona más regular de la bóveda, como se ha mencionado con anterioridad en el trabajo.

En cuanto a las piezas, se determina una longitud de piedra de 0,72 m de largo y 0,29 m de ancho, valores que se calculan a través de la medición de las piedras de la bóveda y realizando un promedio, descartando las piedras más pequeñas y grandes, además de las piedras que no se han podido documentar por la ausencia de datos suficientes.

Se plantea una hipótesis de un modelo ideal de bóveda de cañón a partir de un arco de medio punto utilizando el valor del radio de la circunferencia media calculada anteriormente. Además, el ancho de las hiladas se deduce del estudio de las dovelas medidas, y se plantean unos lechos radiales que convergen en el centro de la circunferencia directriz. Gracias a esta reconstrucción, se permite visualizar la bóveda de cañón en su estado teórico, además de valorar su precisión constructiva.

Cada dovela se compone de superficies planas en las caras de contacto con dovelas adyacentes, mientras que presentan superficie cilíndrica en el intradós. En cuanto al extradós, se plantea la hipótesis de que también presente una superficie cilíndrica, ya que debido a falta de visibilidad directa no puede comprobarse con certeza ese tipo de superficie. (fig. 3.26)

Figura 3.26 Modelo ideal de la bóveda de cañón representado en planta, sección y vista isométrica. Detalle de una dovela tipo marcando las superficies curvas y rectas.

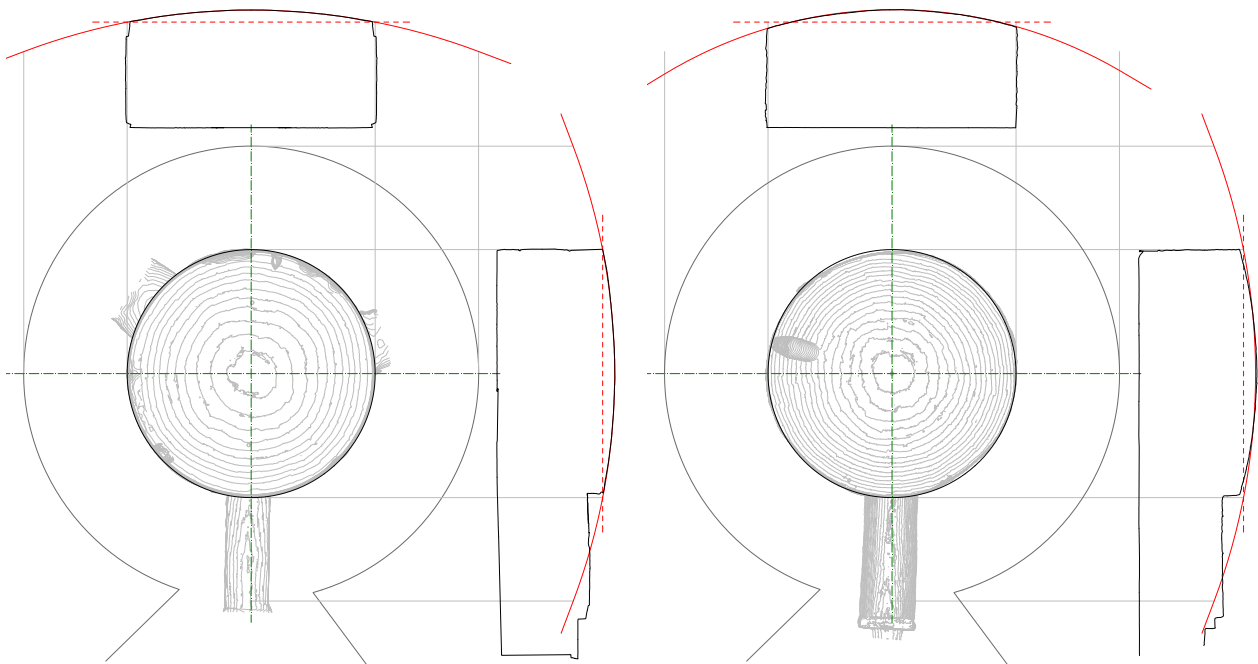


BÓVEDAS SEMI-PLANAS

Forma

Para el análisis de las dos bóvedas semi-planas del castillo-palacio de Magalia se aplica el mismo procedimiento utilizado en la bóveda de cañón. Se realizan diferentes operaciones gráficas como secciones y curvas de nivel que determinan su forma y geometría (fig. 3.27). Con los modelos tridimensionales generados a partir de la fotogrametría con el programa Agisoft Metashape, se exportan al programa de dibujo Rhinoceros. Se extraen las curvas de nivel cada 3 cm, ya que al tratarse de una bóveda más rebajada que la bóveda de cañón, es necesario reducir la distancia entre los planos de sección y producir un mayor número de curvas. Además, se realizan 20 secciones radiales en cada una de las bóvedas, obteniendo así información útil sobre la forma del intradós (fig. 3.28 y fig. 3.29). Al rotar estas secciones en el eje central y sobre un mismo plano, se aprecia que se trata de un conjunto de secciones muy uniforme, sin apenas variación entre los cortes.

Figura 3.27 Geometría general de las bóvedas semi-planas. En planta las curvas de nivel cada 3 cm, en rojo la circunferencia media y la línea de imposta. Izq: bóveda semi-plana de la planta baja. Dcha: bóveda semi-plana de la planta semisótano



Este fenómeno se ve reflejado al obtener las curvas de nivel, donde se aprecia la regularidad de la bóveda que presenta un desarrollo ordenado y regular de curvas en la planta cuya medida es 7,3 m (fig. 3.27). A partir de este análisis geométrico, se obtienen las trazas de las circunferencias medias correspondientes a cada una de las secciones radiales (fig. 3.30, fig. 3.31 y fig. 3.32).

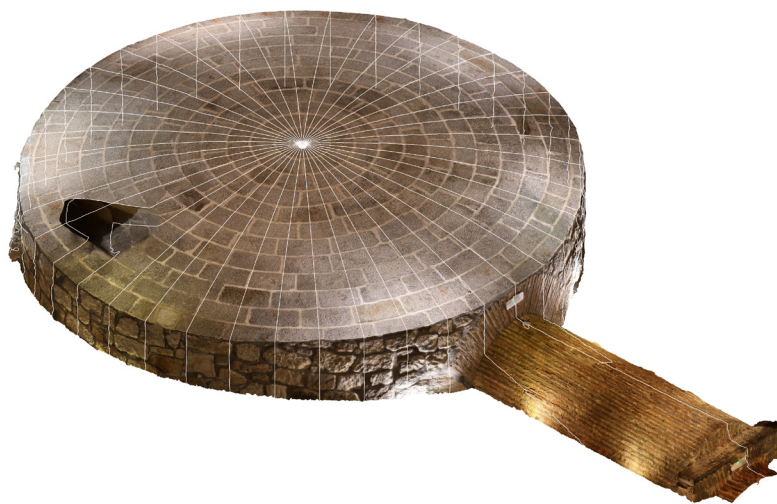


Figura 3.28 Modelo tridimensional de las bóvedas semi-planas, en blanco marcadas las secciones. Sup.: bóveda semi-plana de la planta baja. Inf.: bóveda semiplana de la planta sótano.

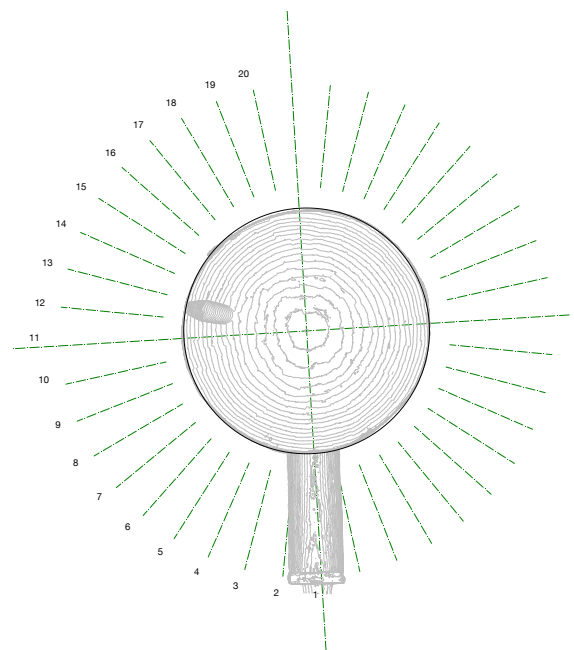
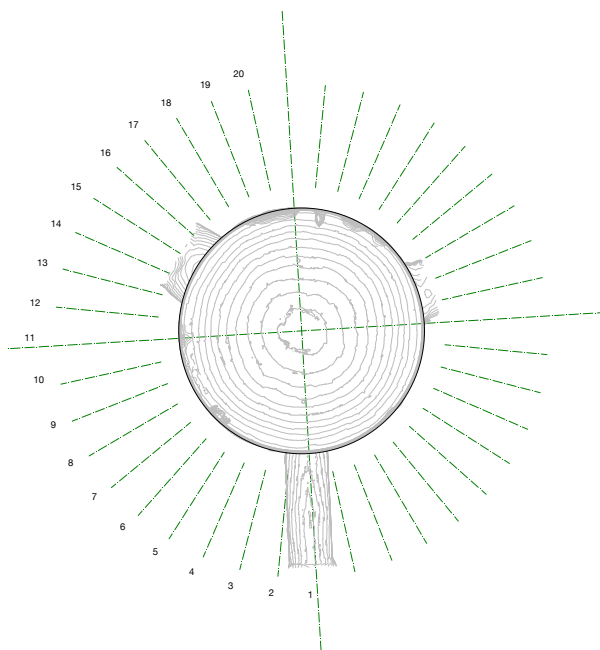


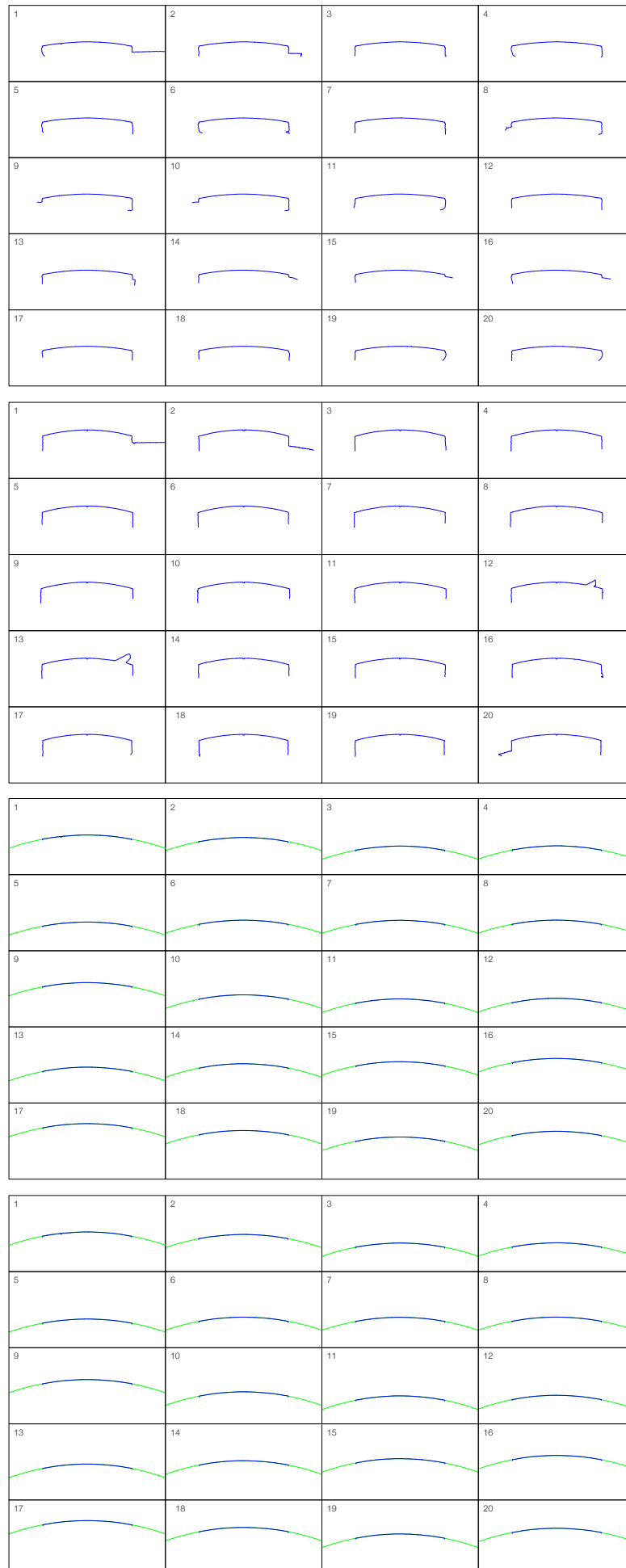
Figura 3.29 Planta de las bóvedas semi-planas, en verde marcadas las 20 secciones radiales. Izda: bóveda semi-plana de la planta baja. Dcha: bóveda semiplana de la planta sótano.

Sección	Radio circ (m)	Radio promedio (m)
1	18,788	18,683
2	18,960	
3	18,807	
4	18,908	
5	19,111	
6	19,185	
7	19,180	
8	19,187	
9	18,845	
10	18,360	
11	18,199	
12	18,223	
13	18,219	
14	18,352	
15	18,411	
16	18,560	
17	18,856	
18	18,597	
19	18,340	
20	18,565	

Figura 3.30 Recopilación de las 20 secciones radiales realizadas partiendo del modelo tridimensional. Sup.: bóveda semi-plana de la planta baja. Inf.: bóveda semiplana de la planta sótano.

Sección	Radio circ (m)	Radio promedio (m)
1	13,231	12,982
2	13,033	
3	12,887	
4	12,899	
5	12,774	
6	12,959	
7	12,877	
8	12,875	
9	12,963	
10	12,842	
11	13,002	
12	12,959	
13	12,900	
14	13,001	
15	13,015	
16	12,892	
17	13,006	
18	13,188	
19	13,072	
20	13,273	

Figura 3.31 Recopilación de las trazas de las secciones radiales realizadas. Sup.: bóveda semi-plana de la planta baja. Inf.: bóveda semiplana de la planta sótano.



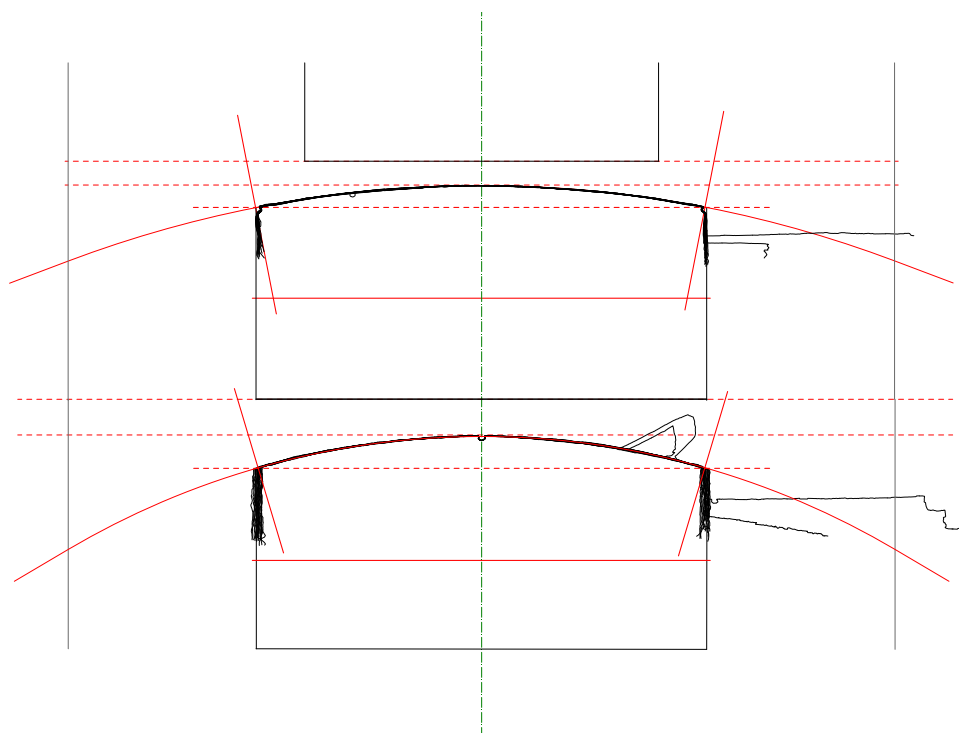


Figura 3.32 Secciones transversales superpuestas, en rojo la circunferencia media y la línea de imposta. Sup.: bóveda semi-plana de la planta baja. Inf.: bóveda semi-plana de la planta sótano.

Estereotomía

Para el análisis de la estereotomía de las dos bóvedas semi-planas, se han dibujado los despieces de las dovelas sobre el propio modelo de restitución fotogramétrica, como se ha explicado anteriormente en el caso de la bóveda de cañón (fig. 3.33). Mediante el mismo procedimiento utilizado anteriormente, se miden las piedras, tanto el largo de esta teniendo en cuenta la curvatura, como el ancho de las hiladas. Para el análisis del trazado de las hiladas, se han hallado las circunferencias medias que se aproximan a los vértices de las dovelas. Estas circunferencias resultan casi exactamente concéntricas en ambas bóvedas. (fig. 3.34)

Se trata de dos bóvedas semi-planas con dovelas muy uniformes, ya que la variación del ancho de las hiladas resulta casi inexistente. En cuanto al largo de las piezas medido en los arcos pasantes por el eje de las hiladas, ocurre una situación similar a la bóveda de cañón, con piedras desde 0,72 m hasta 0,39 m como promedio de las hiladas, en ambos casos. En este caso la variación es menor, por lo que las piezas resultan muy uniformes, y como resultado, se obtienen dos bóvedas semi-planas muy regulares en aspectos de estereotomía.



Figura 3.33 Detalle del modelo tridimensional de la bóveda semiplana, en blanco dibujado el despiece. Sup.: bóveda semi-plana de la planta baja. Inf.: bóveda semi-plana de la planta sótano.

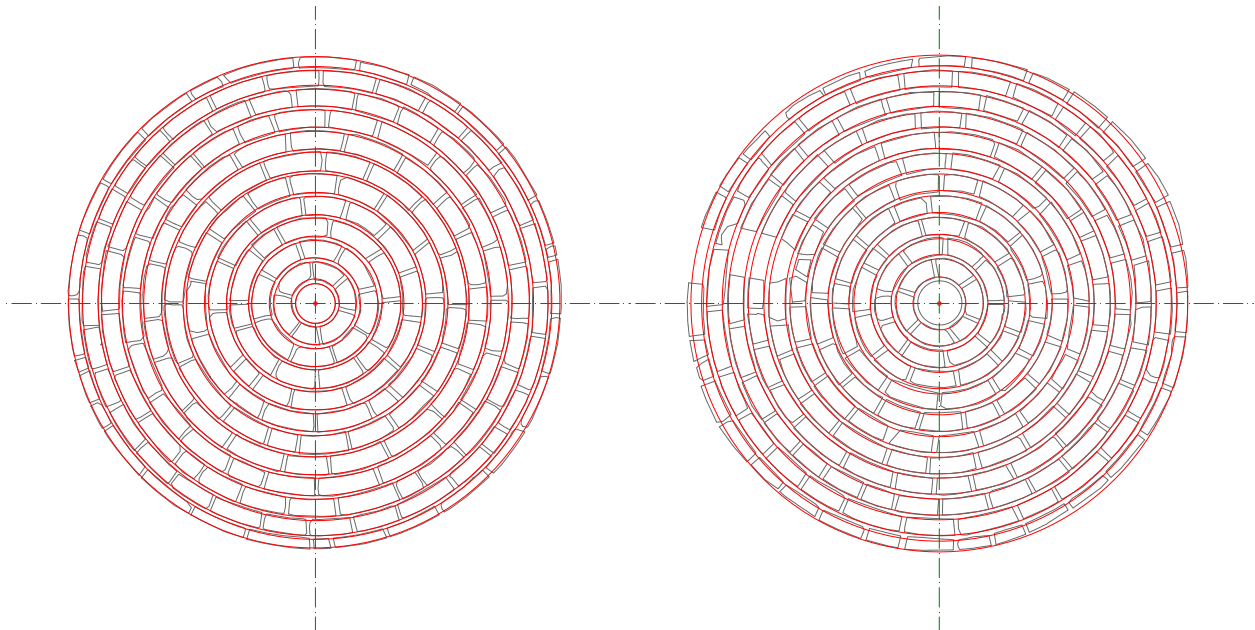


Figura 3.34 Planta de las bóvedas semi-planas marcando las circunferencias obtenidas a partir de los vértices de cada pieza. Izda: bóveda semi-plana de la planta baja. Dcha.: bóveda semiplana de la planta sótano.

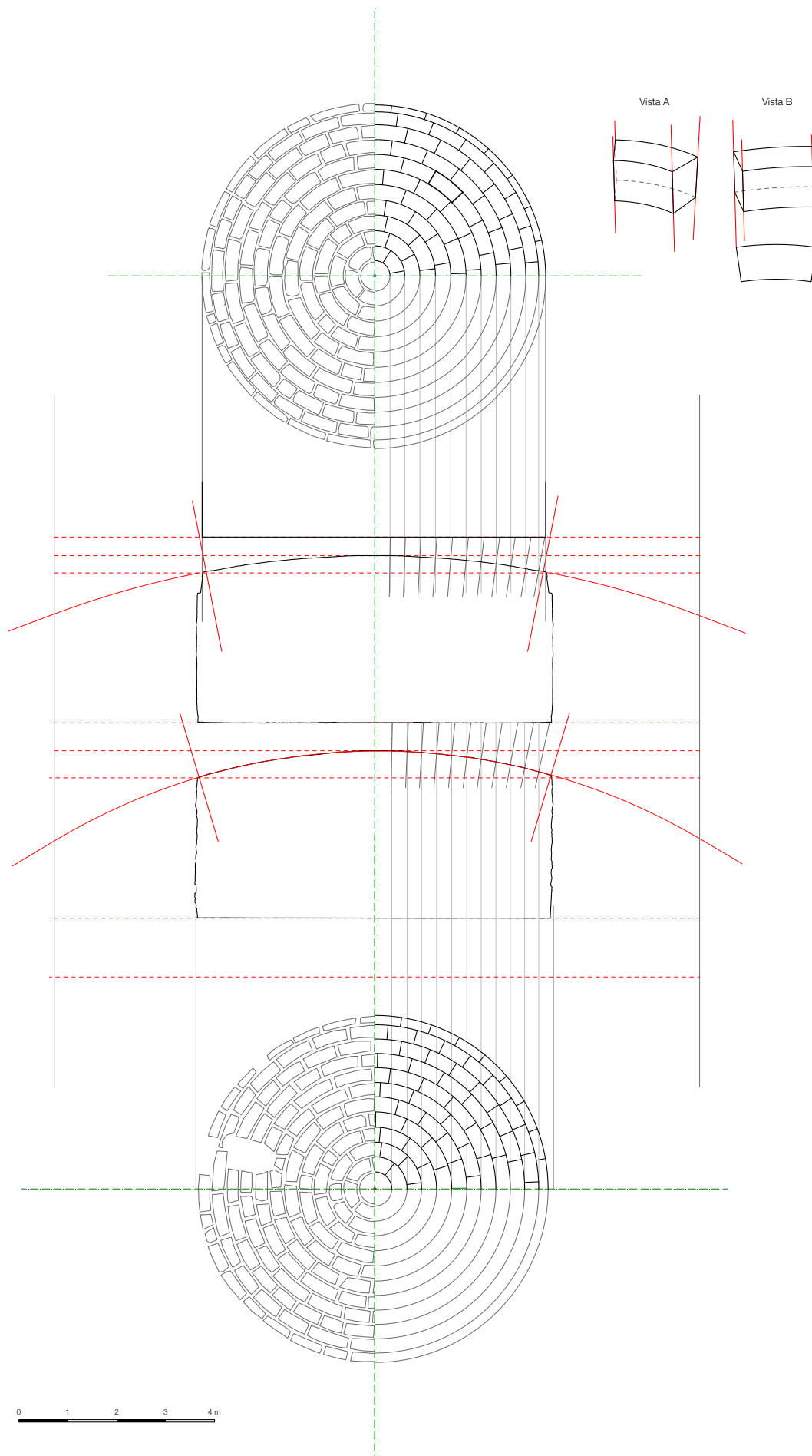
Hipótesis del modelo ideal

Se reconstruye el modelo ideal de las dos bóvedas semi-planas utilizando los datos de las trazas de los radios, la disposición de las dovelas y las circunferencias obtenidas a partir de los vértices de las piezas. En cuanto a la forma del intradós, se plantean dos casquetes esféricos empleando como radios de de las esferas ideales los valores calculados anteriormente. En particular el radio de la esfera ideal de la bóveda de planta baja es de 18,68 m y el radio de la bóveda del semisótano es de 12,98 m (fig. 3.35).

Se ha dibujado el despiece de las dovelas medias resultantes de un cálculo basado en la medición de las piedras y las hiladas del modelo fotogramétrico. Con este dibujo se puede apreciar la correspondencia entre el despiece de la bóveda original y el despiece conseguido para el modelo ideal.

En cuanto a los lechos, se plantean ortogonales a la superficie del intradós, según los modelos clásicos de bóvedas esféricas. Las superficies de los lechos en tal caso se ajustan a un cono cuyo vértice coincide con el centro de la esfera ideal. Considerando el grosor del forjado de la planta primera (0,38 m) y de la planta baja (0,57 m), se podría plantear que las dovelas no estuvieran trasdosadas, sino que terminarían con una superficie plana a la cota del pavimento de la planta superior, al menos en la zona central de la bóveda.

Figura 3.35 Modelo ideal de las dos bóvedas semi-planas del castillo-palacio de Magalia.



Conclusiones

El trabajo ha permitido llevar a cabo un estudio detallado de las bóvedas renacentistas del castillo-palacio de Magalia, localizado en las Navas del Marqués, mediante una aproximación gráfica de algunos aspectos geométricos y constructivos.

Una de las principales aportaciones resulta ser la documentación realizada del estado actual de las bóvedas, realizada mediante procesos de fotogrametría y escaneo 3D, lo que proporciona una base precisa y detallada para realizar un análisis completo (fig. 4.1). Este levantamiento ha servido como soporte para los estudios tanto formales de las bóvedas y el estudio de la traza de sus dovelas.

El análisis sugiere una relación geométrica de las bóvedas por sí solas y en conjunto. El estudio de la estereotomía permite identificar un patrón en el tamaño de las piedras bastante regular, siendo apenas notable la diferencia de variación entre el ancho de las hiladas.

Respecto a la bóveda de cañón, se estima que su directriz corresponde a un arco de medio punto ortogonal a su eje longitudinal. Esta bóveda presenta regularidad en el trazado hasta aproximadamente la mitad, donde hay un cambio de cota de la clave, elevándose hasta llegar al hueco de entrada del espacio donde se encuentra. Cuenta con varias aperturas laterales de tamaño considerable que no se han estudiado por estar revestidas. La línea de imposta se encuentra casi en el plano del suelo, por lo que caracteriza la volumetría del espacio.



Figura 4.1 Ortofoto de la bóveda semi-plana de la biblioteca. Obtenida de Metashape.

Por otro lado, se ha estudiado la forma de las bóvedas semi-planas, poniendo especial atención a la relación entre la flecha y la luz que soportan. La bóveda semi-plana de la planta baja se eleva una altura de 0,35 m, mientras que la localizada en el semisótano 0,51 m. Por tanto, teniendo en cuenta que ambas bóvedas soportan una luz de 7,3 m, obtenemos una relación de flecha y luz de 0,05 para el caso de la bóveda semi-plana de la planta baja y 0,07 para la ubicada en la planta semisótano (fig. 4.2). Los muros exteriores de espesor considerable (3 m aproximadamente) asumen los empujes horizontales de estas formas tan rebajadas. Además, en las circunferencias medias obtenidas a partir de las secciones meridianas se aprecia la poca variación que existe entre los radios de las mismas, reforzando la idea de un alto control de la forma y de las técnicas constructivas. Añadido a lo anterior, se puede observar que los centros de ambas circunferencias medias se encuentran alineados con los ejes de la planta (fig. 4.3).

Este control sobre la forma presente en las bóvedas semi-planas también se refleja en la bóveda de cañón, donde se aprecia una regularidad del trazado de forma general, a excepción de la zona donde la sección presenta irregularidades en comparación con el resto de cortes.

En cuanto al tema de la proporción de los espacios, se puede ver que la longitud y el ancho de la planta de la bóveda de cañón corresponden aproximadamente a una proporción 2:1. Por otro lado, en sección, la bóveda de cañón presenta la línea de imposta casi a la cota del suelo, apuntando también casi a una proporción 2:1 entre el ancho de la misma y la clave. Además, se reconoce una proporción de 3:4 entre el ancho de la bóveda de cañón y el diámetro de la planta del torreón, hecho que podría indicar la intención de establecer relaciones entre los espacios en la fase de proyecto.

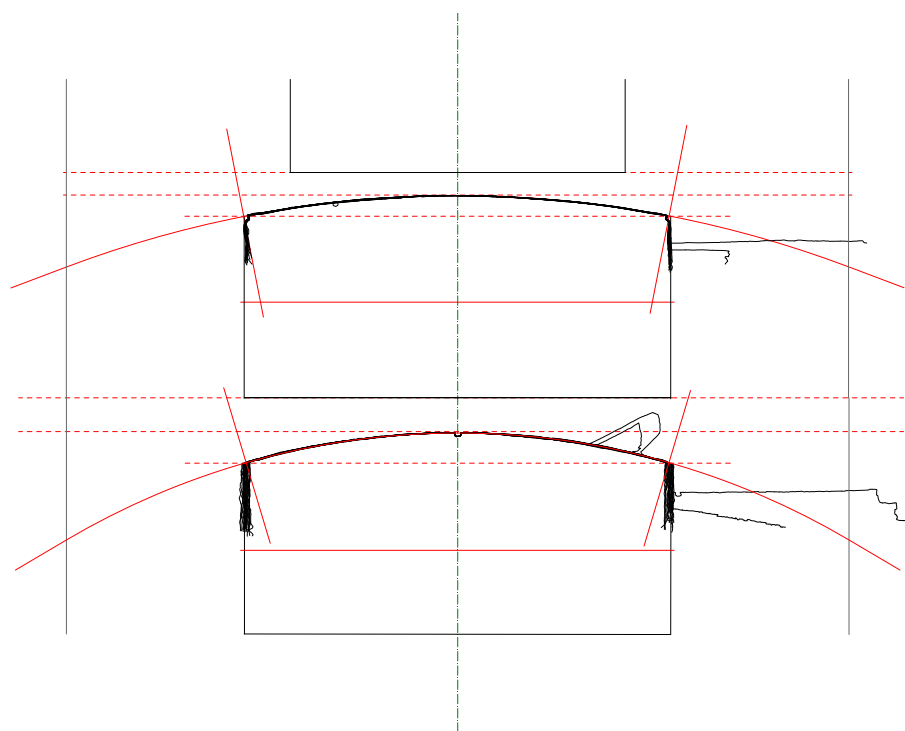


Figura 4.2 Relación entre flecha y luz de las bóvedas semi-planas. Sup.: bóveda semi-plana de la planta baja. Inf.: bóveda semiplana de la planta sótano.

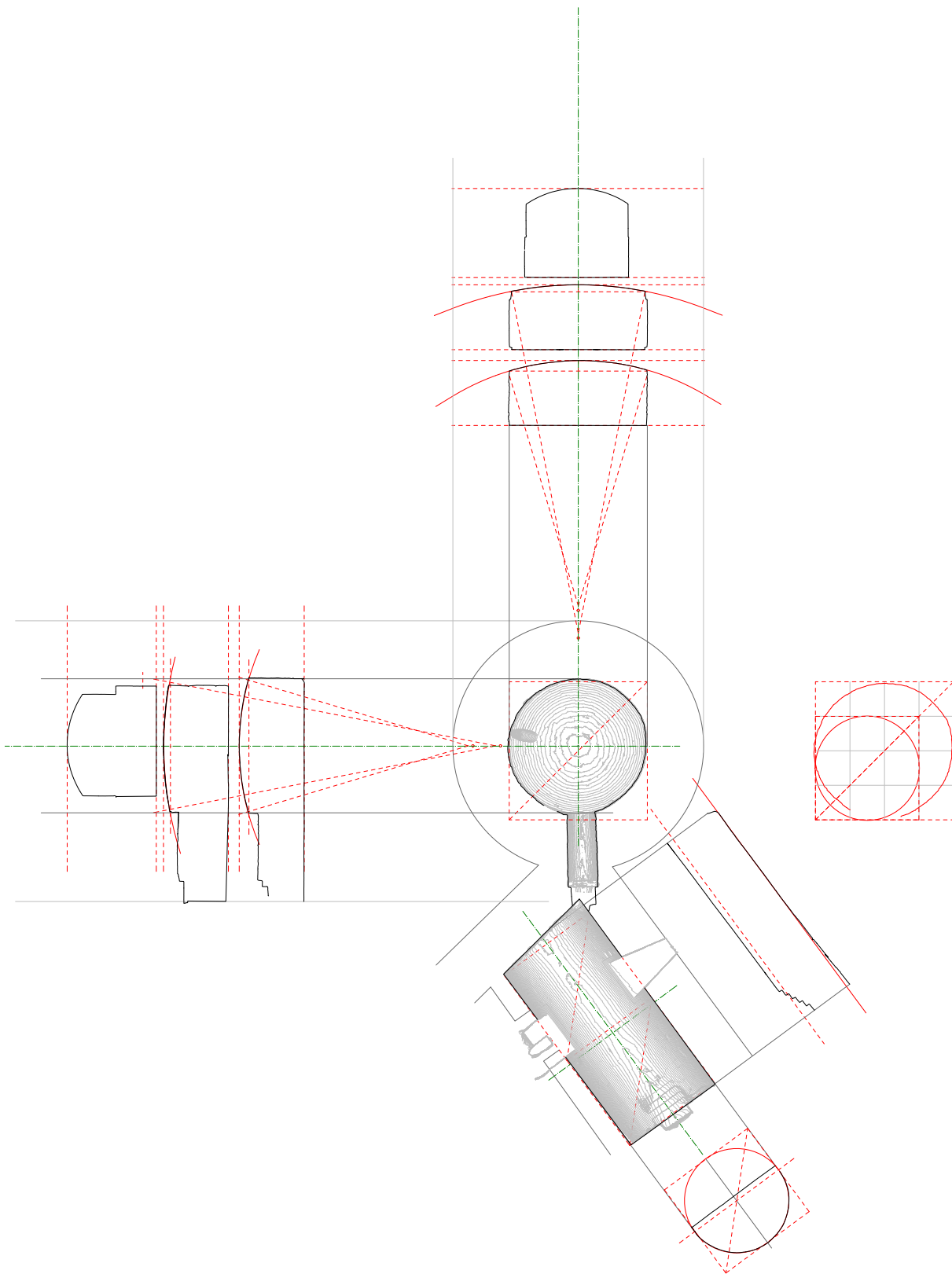


Figura 4.3 Sección del torreón
sur señalando la relación
entre los centros de las
circunferencias medias de
las bóvedas semi-planas.

Bibliografía

Castillo-palacio de Magalia

Cobos Guerra, Fernando y De Castro Fernández, José Javier. *Castillos y fortalezas*. Castilla y León: Edilesa, 1998

Cooper, Edward. *Castillos señoriales de la corona de Castilla*. León: Junta de Castilla y León, 1991

Pérez-Mínguez, Fidel. “El castillo de los Marqueses de las Navas”. En el *Boletín de la Real Academia de la Historia*, ISSN 0034-0626, Tomo 97, Cuaderno 2, 745-816. 1930.

Martínez Feduchi, Luis. y González Valcárcel, José. M. G. “Escuela nacional de instructoras ‘Isabel la Católica’ en el castillo de Las Navas”. En *Revista nacional de arquitectura* nº122 (febrero 1952), 7-13. 1952

Martínez Peña, Carlos. ‘Castillo de Las Navas del Marqués. Documentación gráfica de sus etapas’. Trabajo fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/65661/1/TFG_Jul20_Martinez_Pena_Carlos.pdf

Parada López, Manuel y Palacios Méndez, Laura María. *Pedro Dávila y Zúñiga, I marqués de Las Navas: patrocinio artístico y coleccionismo anticuario en las cortes de Carlos V y Felipe II*. Bolonia University Press. 2020

Planos de rehabilitación del castillo-palacio de Magalia. Instituto del Patrimonio y Cultura de España (IPCE). Entre 1979 y 1989

Bóvedas renacentistas

Calvo-López, José. ‘Estereotomía de la piedra’. En *I Master de Restauración del Patrimonio Histórico*, 115-151. Murcia: Colegio de Arquitectos - Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, 2004

López Mozo, Ana. “Planar vaults in the Monastery of El Escorial”. Comunicación presentada en: First International Congress on Construction History, Madrid, 20-24 de enero de 2003. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4184962>

Palacios González, José Carlos. *La Estereotomía como Fundamento Constructivo del Renacimiento Español*. «*Informes de la Construcción*». V 39 (n. 389); pp. 73-86; ISSN 0020-0883. 1987. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 1987

Perelló, Marta y Rabasa, Enrique. “Stone and brick flat vaults from the 16th century in Spain”. En *History of Construction Cultures* Vol. 1, editado por João Mascarenhas-Mateus y Ana Paula Pires, 356-363. Londres: CRC Press, 2021

Rabasa Díaz, Enrique. *Guía práctica de la estereotomía de la piedra*. Coord. Agustín Castellanos Miguélez. Centro de los Oficios de León, Ayuntamiento de León, 2007

Vandelvira, Alonso de, ‘*Libro de Traças de cortes de Piedras, manuscrito*’, Biblioteca Nacional de España Ms. 12719, 1575-1591.

Procedencia de las ilustraciones

Figura 0.1 Bóveda de cañón del castillo-palacio de Magalia. Elaboración propia

Figura 0.2 Bóveda semi-plana de la planta semisótano del castillo-palacio de Magalia. Elaboración propia

Figura 0.3 Bóveda semi-plana de la planta baja del castillo-palacio de Magalia. Elaboración propia

Figura 1.1 Plano de situación de las Navas del Marqués, Ávila. Elaboración propia a partir de los datos del IGN

Figura 1.2 Vista del castillo-palacio de Magalia y el convento de Santo Domingo y San Pablo en las Navas del Marqués. Fuente: https://www.imd.guru/lugares/europa/espana/castilla_y_leon/avila/las_navas_del_marques/castillo-palacio_de_magalia.html

Figura 1.3 Planos de rehabilitación y reformas del castillo-palacio de Magalia. Fuente: Instituto del Patrimonio y Cultura de España (IPCE)

Figura 1.4 Vista aérea del castillo-palacio de Magalia. Fuente: https://www.imd.guru/lugares/europa/espana/castilla_y_leon/avila/las_navas_del_marques/castillo-palacio_de_magalia.html

Figura 1.5 Castillo de La Calahorra, Granada. Fuente: https://www.granadahoy.com/granada/castillo-calahorra-conquista-turismo_o_2002321296.html

Figura 1.6 Castillo de Berlanga de Duero, Soria. Fuente: <https://castillosdelolvido.com/castillo-de-berlanga-de-duero/>

Figura 1.7 Hospital de Tavera, Toledo. Fuente: <https://turismo.toledo.es/recursos/museos-y-monumentos/id1502-museo-duque-de-lerma--hospital-de-tavera-o-de-san-juan-bautista.html>

Figura 1.8 Patio de convento de la Asunción de Calatrava, Ciudad Real. Fuente: <https://cultura.castillalamancha.es/patrimonio/catalogo-patrimonio-cultural/convento-de-la-asuncion-de-calatrava>

Figura 1.9, 1.10, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.15 Plantas del castillo-palacio de Magalia. Elaboración propia a partir de los planos del Instituto del Patrimonio y Cultura de España (IPCE)

Figura 2.1 Portada del tratado de Vandelvira. Fuente: Biblioteca Nacional de España <https://bdh.bne.es/bne/search/detalle/bdh0000014425>

Figura 2.2 Método de labra por robos dibujado por Ginés Matínez de Aranda. Fuente: Calvo-López, José. 'Estereotomía de la piedra'. En *I Master de Restauración del Patrimonio Histórico*, 115-151. Murcia: Colegio de Arquitectos - Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, 2004

Figura 2.3 Bóveda de cañón en la galería principal del Monasterio de el Escorial. Fuente: <https://www.patrimonionacional.es/visita/real-monasterio-de-san-lorenzo-de-el-escorial/espacios/claustro-principal-y-patio-de>

Figura 2.4, 2.5, 2.6 Tratado de Vandelvira. Fuente: Biblioteca Nacional de España <https://bdh.bne.es/bne/search/detalle/bdh0000014425>

Figura 2.7, 2.8 Bóvedas planas del Monasterio de El Escorial. Fuente: <http://www.arquitecturapopular.es/arquitectura-historica/religiosa/boveda-plana-monasterio-escorial-madrid.htm>

Figura 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 Bóvedas del castillo-palacio de Magalia. Elaboración propia

Figura 3.7 Lugar donde se supone la bóveda semi-plana del Convento de Santo Domingo y San Pablo. Elaboración propia

Figura 3.8, 3.9, 3.10 Modelos tridimensionales de las bóvedas. Elaboración propia a partir de Agisoft Metashape

Figura 3.11 Recopilación de fotografías de la planta baja del castillo-palacio de Magalia. Elaboración propia

Figura 3.12, 3.13, 3.14, 3.15 Proceso de modelado en Agisoft Metashape. Elaboración propia a partir de Agisoft Metashape

Figura 3.16 Puntos de referencia de la bóveda semi-plana de la planta baja. Fuente: escaner 3D utilizado en el levantamiento

Figura 3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25, 3.26 Dibujos de análisis de la bóveda de cañón. Elaboración propia

Figura 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, 3.31, 3.32, 3.33, 3.34, 3.35 Dibujos de análisis de las bóvedas semi-planas. Elaboración propia

Figura 4.1 Ortofoto de la bóveda semi-plana de la biblioteca. Elaborado a partir del modelo de Agisoft Metashape

Figura 4.2 Relación entre flecha y luz de las bóvedas semi-planas. Elaboración propia

Figura 4.3 Sección del torreón sur. Elaboración propia