

X concurso bienal arquia/tesis convocatoria 2015

Título: PANTHEON Y CÚPULAS CLÁSICAS ROMANAS:
GEOMETRÍA Y CONSTRUCCIÓN

Autor: Licia Aliberti

Directores: Miguel Ángel Alonso Rodríguez (ETSAM) y Marco Canciani (Roma Tre)

Fecha de lectura: 28/04/2014

Centro: ETSAM

Tribunal: Javier Ortega Vidal, Javier García-Gutiérrez Mosteiro, José Calvo López,
Michele Zampilli, Enrique Castaño Perea

A continuación se presenta el índice de la tesis, un resumen de su contenido y una breve propuesta de los procesos necesarios para la adaptación del documento original al formato y a la línea editorial de la colección arquia/tesis de la Fundación Arquia.

El resumen resulta subdividido en cuatro párrafos (Introducción, Cúpulas clásicas romanas, Pantheon, Casos de estudio, Conclusiones).

INDICE DE LA TESIS

Introducción	1
Introduzione	9
1. Cúpulas clásicas romanas	17
Espacio y geometría	18
Materiales y técnica constructiva	31
Selección de cúpulas clásicas romanas	48
Sala circular, Termas Centrales, Erculano	67
Sala circular, Termas Estabianas, Pompeya	68
Sala circular, Termas del Foro, Pompeya	70
Aula octogonal, Domus Aurea	72
Sala octogonal, Termas de Pisa	74
Ninfeo de Albano	76
Ninfeo de los Horti Sallustiani	78
Sala octogonal, Termas con Heliocaminus	80
Vestíbulo de la Plaza de Oro	82
Sala circular, Termas Grandes	84
Serapeo	86
Templo de Diana	88
Sala octogonal, Termas de Baia	90
Templo de Venus	92
Templo de Apolo	94
Sala circular, Termas de Agripa	96
Planetarium	98
San Bernardo a las Termas	100
Mausoleo de los Gordianos	102
Sala octogonal, Villa de los Gordianos	104
Templo de la Tos	106
Mausoleo de Elena	108
Templo de Minerva Médica	110
2. La cúpula del Pantheon	115
Orígenes	116
Descripción	124
Casetones	128
Luz natural	133
Geometría y proporciones	136
Materiales y construcción de la cúpula del Pantheon	147
Hipótesis de cimbrado	161

3. Técnicas de levantamiento	171
Arquitectos midiendo la antigüedad	172
Herramientas clásicas de levantamiento indirecto	179
Historia de la fotogrametría	188
Las orígenes del método	189
La estereofotogrametría y la fotogrametría analítica	193
La fotogrametría digital	195
Levantamiento mediante escáner láser 3D	198
Tipos de escáneres	199
Método de trabajo	200
4. El Pantheon dibujado	205
El Pantheon como modelo	206
Las orígenes de la representación bidimensional	214
Historia de los levantamientos del Pantheon	222
Domenico Ghirlandaio	224
Francesco di Giorgio Martini	226
Giuliano da Sangallo	229
Baldassarre Peruzzi	230
Sallustio Peruzzi	235
Antonio da Sangallo el Joven	235
Sebastiano Serlio	240
Andrea Palladio	245
Giovanni Antonio Dosio	250
Antoine Desgodetz	256
Francesco Piranesi	262
Luigi Canina	268
Achille Leclère	272
Antoine Rondelet	278
Rodolfo Lanciani	280
George Chedanne	282
Luca Beltrami y Pier Olinto Armanini	284
Alonzo Terenzio	288
Levantamientos recientes	292
5. Levantamiento de la cúpula del Pantheon	309
Levantamiento mediante fotogrametría digital convergente	311
La cámara fotográfica	312
Calibración de la cámara fotográfica	314
Restitución mediante fotogrametría	316

Comprobación de medidas mediante distanciómetro láser	331
Levantamiento mediante escáner láser 3D	332
El escáner láser	334
Toma de datos	337
Gestión de datos	339
6. Estudios sobre el intradós de la cúpula del Pantheon	345
Análisis comparado de resultados	346
Análisis geométricos del intradós de la cúpula	354
Análisis geométricos de la disposición de los casetones	377
Estudios sobre el diseño de los casetones	388
7. Estudios sobre cúpulas clásicas romanas	411
El Templo de Mercurio en Baia	413
Las representaciones gráficas del Templo de Mercurio	418
Levantamiento del intradós de la cúpula del Templo de Mercurio	432
La sala circular de las Termas con Heliocaminus	442
Las representaciones gráficas de las Termas con Heliocaminus	448
Levantamiento del intradós de la cúpula de la sala circular de las Termas con Heliocaminus	452
El Mausoleo de Santa Constanza en Roma	456
Las representaciones gráficas de Santa Constanza	462
Levantamiento del intradós de la cúpula de Santa Constanza	486
8. Conclusiones	497
9. Conclusioni	509
Bibliografía	523
Resumen / Abstract	537

RESUMEN

Introducción

Las cúpulas clásicas romanas sorprenden por su originalidad, desde las grandes salas termales de Baia hasta las experimentaciones de la Villa Adriana y las soluciones tardo-antiguas de Roma. El Pantheon se posiciona como evento del todo excepcional en esa larga historia de la construcción romana. La variedad de geometrías, dimensiones y sistemas constructivos aplicados en lugares y condiciones diferentes es muy grande. La información conservadas en los restos de estas arquitecturas suponen todavía una fuente por descubrir y explorar. La aportación de numerosos autores en este ámbito de estudio es muy considerable y se conservan publicaciones científicas realizadas en épocas distintas y bajo enfoques diferentes, que contribuyen a profundizar en el conocimientos del Pantheon y de las cúpulas clásicas romanas. Sin embargo, quedan abiertas una serie de líneas de investigación a las cuales esta tesis doctoral pretende enlazarse.

Los orígenes de las estructuras abovedadas son muy antiguas, siendo la aportación de los romanos un paso fundamental en su desarrollo y difusión. Especialmente las cúpulas tienen una influencia extraordinaria en la historia de la arquitectura, aplicando nuevas soluciones constructivas y generando a la vez espacios admirables. El empleo del hormigón romano implementa el uso de líneas y superficies curvas en edificios de distinto tamaño y complejidad¹.

Entre los múltiples aspectos que surgen al ocuparse del Pantheon y en general de las cúpulas clásicas romanas, en este trabajo de tesis doctoral se elige enfocar principalmente el estudio en la geometría del intradós de las cúpulas. La potencialidad del hormigón romano se expresa con especial evidencia en el diseño y construcción de las superficies internas de las bóvedas, donde se persigue la experimentación de formas distintas. La construcción de estas estructuras requirió de un poderoso control geométrico que pudiera dirigir la experimentación de nuevas soluciones y el incremento de su dimensión². La comprensión de las técnicas constructivas empleadas para generar estas formas es sin duda una parte fundamental de la investigación. El estudio de la construcción de las bóvedas se configura como un marco de conocimientos necesarios para la observación de la superficie del intradós de las cúpulas y como soporte de datos útiles para el análisis de sus formas. Se propone, por tanto, un estudio del Pantheon, y en general de las cúpulas clásicas romanas, partiendo de la relación entre la bibliografía y documentación histórica, y el análisis geométrico y constructivo de algunos de los edificios considerados.

¹ “La cupola, forma e struttura, è dunque nata dal cerchio, dapprincipio nella forma ad anelli aggettanti. Essa è dunque fin dall'origine una creatura strettamente geometrica e tridimensionale, vuoi per la forma, vuoi per la struttura che non può mai essere ridotta al piano del foglio di sezione” (Sanpaolesi 1971, 5).

² “Concrete vaulted structures represent one of the ancient Romans' most original and enduring contributions to the artistic and architectural patrimony of the Mediterranean world. [...] In imperial Rome, all of the natural advantages and cultural influences came together and manifested themselves in imposing concrete vaulted structures” (Lancaster 2005, 1).

La documentación gráfica y bibliográfica del Pantheon y de cúpulas clásicas romanas es muy amplia y de distinta naturaleza. Los debates sobre el Pantheon y cúpulas clásicas romanas están todavía abiertos y vivos. Distintos autores siguen haciendo nuevas aportaciones al conocimiento de los edificios antiguos abovedados, proponiendo hipótesis sobre las leyes geométricas que regulan sus formas y sobre las posibles técnicas constructivas empleadas para realizarlos. Sin embargo en las publicaciones divulgadas se detecta la ausencia de una documentación gráfica actual de la mayoría de las cúpulas estudiadas, que pueda ofrecer unos datos útiles para el avance de las investigaciones. En el caso del Pantheon se dispone de levantamientos recientes realizados con métodos evolucionados de restitución métrica³, cuyos resultados se han publicado solo parcialmente y posiblemente sin realizar una explotación exhaustiva de los datos. Por lo que concierne los análisis geométricos de esos edificios, se registran numerosos estudios sobre el Pantheon y sobre los ejemplos de la Villa Adriana, que evidentemente ofrecen un amplio repertorio de soluciones planimétricas y volumétricas. Se detecta, en cambio, una carencia de estudios generales sobre la geometría del intradós de las cúpulas romanas dedicados a describir y clasificar las distintas soluciones empleadas y en parte conservadas hasta el día de hoy.

La posibilidad de realizar una serie de estancias de distinta duración en Italia ha permitido realizar un cuidadoso trabajo de investigación bibliográfica y una serie de visitas de estudio de diferentes ejemplos de cúpulas. La información derivada de textos consultados en bibliotecas italianas y españolas aporta las referencias necesarias para desarrollar un tema fuertemente vinculado con la historia y la cultura romana. Asimismo, el trabajo de campo realizado asegura la cantidad de datos suficiente para efectuar la restitución métrica del Pantheon y de algunos de los casos analizados. Las técnicas actuales de levantamiento y gestión de resultados permiten completar el trabajo de campo en tiempos reducidos y almacenar una gran cantidad de información. En este ámbito de estudio la fotografía se considera una herramienta poderosa y expresiva en el análisis de arquitectura. La documentación fotográfica de las cúpulas analizadas y visitadas es un material de gran relevancia, no solo por sus implicaciones técnicas en las restituciones fotogramétricas, sino por su valor de registro del estado actual de los edificios y de descripción de sus cualidades.

La investigación pretende, de este modo, enlazarse al concepto actual de levantamiento arquitectónico como sistema de conocimiento global de un edificio⁴. Distintos tipos de documentación contribuyen a una descripción completa de la arquitectura, que no se limita a una restitución gráficamente correcta, sino que abarca más aspectos entrelazados⁵. Sin duda cada levantamiento se estructura y organiza en base a unos criterios variables, que dependen de los objetivos específicos de cada estudio.

El estudio de las arquitecturas antiguas de grandes dimensiones y de difícil accesibilidad puede generar complicaciones relevantes. Las cúpulas clásicas romanas son ejemplos característicos de esta condición, que se manifiesta particularmente en el caso emblemático del Pantheon. El trabajo de investigación se desarrolla gracias a la aplicación de métodos de levantamiento indirecto actuales, que permiten la restitución métrica de objetos complejos con agilidad y precisión.

³ Belardi 2006; Valenti 2009; Graßhoff 2009.

⁴ “El levantamiento es, por tanto, un proceso que debe llevar al conocimiento profundo de la obra en estudio, con el fin de poner en evidencia todos sus valores, tanto geométricos como dimensionales, figurativos como estructurales, desde los materiales empleados y las técnicas constructivas, hasta las condiciones de degradación y las relaciones con el contexto urbano”. (Declaración sobre el levantamiento arquitectónico, 2000, Castel Sant'Angelo, Roma, en Almagro Gorbea 2004, 26-27).

⁵ “Poichè un organismo edilizio è un sistema costruttivo-spaziale assai complesso, nel quale risultano strettamente connesse parti esterne o visibili e parti interne nascoste, occorre, se si vuole comprenderne l'intima realtà qualitativo-formale, determinare e utilizzare un insieme di indagini che arrivi a cogliere l'essenza dell'opera architettonica e non solo il suo aspetto esteriore” (Docci y Maestri 2010, V).

El método empleado en los estudios realizados es la fotogrametría digital de imágenes cruzadas, que precisa de herramientas y programas informáticos de fácil alcance para cualquier operador. La funcionalidad y eficacia de este sistema permite operar en condiciones desfavorables y perseguir la precisión de la medición.

Únicamente en el caso del Pantheon, a la restitución fotogramétrica se suma un levantamiento mediante escáner láser tridimensional. La posibilidad de operar con el instrumento se debe por un lado a un acuerdo entre la *Università degli Studi Roma Tre* y la delegación de *Leica Geosystems* en Roma, y por otro lado a una autorización especial para poder operar en el monumento otorgada por la *Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici per il comune di Roma*. Considerado el uso actual y eficiente del escáner láser en la documentación del patrimonio arquitectónico y arqueológico, su aplicación contribuye con fuerza al desarrollo de este trabajo de investigación.

La descripción de las herramientas y de las técnicas empleadas para realizar las restituciones gráficas se considera parte del levantamiento, como documentación fiel del trabajo realizado y, como consecuencia, de las medidas obtenidas. Por estas razones se dedica un apartado de la tesis a la explicación de las fases de los trabajos de restitución y a la descripción de las características técnicas de las herramientas empleadas para ello.

El uso del método de la fotogrametría digital de imágenes cruzadas y del escáner láser impulsan un continuo estudio crítico de los sistemas y una comparación directa entre ellos, generando paralelamente la información necesaria para poder aportar algunas consideraciones sobre la conformación de los objetos estudiados. La tesis se desarrolla, por tanto, entre el estudio comparado de las herramientas y de los sistemas de medición y el análisis geométrico-constructivo propio de las arquitecturas seleccionadas.

Como en todo proceso de levantamiento parte de la exactitud de los resultados depende de la labor crítica, interpretativa y manual del operador. El análisis contrastado entre las distintas versiones de restitución de un mismo objeto es útil para una mejor aproximación a las medidas reales. Se presta atención a la comparación entre distintos levantamientos de un mismo objeto realizados con un solo sistema, pero en repetidas fases, o con distintos sistemas y herramientas. Es de especial interés la comparación entre los resultados de los levantamientos del intradós de la cúpula del Pantheon realizados mediante fotogrametría digital de imágenes cruzadas y con el escáner láser tridimensional. Una observación crítica de los datos generales así como de los detalles de los modelos de restitución ofrece material suficiente para formular alguna consideración acerca de dos métodos de levantamiento muy distintos.

La naturaleza de los modelos tridimensionales, derivados de las restituciones y formados por nubes de puntos de mayor o menor densidad, no permite desarrollar directamente los análisis geométricos del intradós de las cúpulas. Se introduce, entonces, una fase de estudio crítico de los datos derivados de los levantamientos con la finalidad de traducir las posiciones de conjuntos de puntos en alineaciones, circunferencias y esferas medias. Su trazado se realiza aplicando cálculos promedios, mediante el empleo de herramientas informáticas de dibujo vectorial. Ese tipo de gestión de los datos, que obvia una abstracción de tipo analítico y manifiesta su directa conexión con el dibujo y la construcción geométrico-gráfica de las figuras, facilita en gran medida el análisis de los objetos seleccionados.

La investigación se basa en la búsqueda de un modelo geométrico que se aproxime a los puntos levantados y que se genere a partir de unos rigurosos cálculos de promedios. Del modelo de restitución de puntos, que mantiene las irregularidades propias del objeto construido, se pasa a la creación de un modelo regular definido por claras leyes geométricas. La comparación directa entre las posiciones individuales de los puntos levantados y el modelo geométrico contribuyen a la

comprensión del objeto de estudio, detectando irregularidades o deformaciones donde existan, y ofreciendo unos datos objetivos y cuantificables.

La presencia en el edificio construido de zonas que no se ajustan al modelo geométrico ideal puede señalar alguna deformación posiblemente relacionada con problemas de carácter estructural o constructivo. Los análisis geométricos y la documentación gráfica, entonces, podrían aportar datos útiles para contribuir al estudio del comportamiento estructural del edificio a lo largo del tiempo, documentando su estado actual para poderlo comparar con restituciones futuras. El trabajo puede además contribuir a generar información para la interpretación de las técnicas constructivas empleadas, que aún contienen importantes enigmas, especialmente en el caso excepcional del Pantheon.

En definitiva, este trabajo engloba distintos tipos de labores, y profundiza en mayor o menor medida según los ejemplos tratados y las prioridades de los análisis propuestos. Se pretende ofrecer un estudio global de cúpulas clásicas romanas seleccionando una serie de ejemplos útiles y enfocando principalmente la atención en el caso excepcional del Pantheon. De prioritaria importancia es el análisis de la geometría del intradós de las cúpulas estudiadas y la realización de las restituciones métricas de algunos de los ejemplos empleando técnicas de levantamiento actuales. En este contexto se pretende también efectuar una comparación directa entre los resultados registrados mediante métodos de levantamiento diferentes con el fin de corroborar su eficacia y cuestionar sus características específicas. Empleando la información obtenida, se busca un sistema de tratamiento de datos que permita el correcto desarrollo de los análisis, basados en la confrontación entre el modelo geométrico de referencia y el modelo de restitución métrica. El estudio de las técnicas constructivas y la recopilación de documentación histórica y actual contribuyen a enriquecer la interpretación de los edificios seleccionados.

En la investigación se entrelazan, por tanto, diferentes factores como condiciones determinantes del trabajo: el levantamiento arquitectónico como comprensión global del objeto de estudio, el modelo geométrico como herramienta de análisis comparado y el estudio crítico del material gráfico y bibliográfico como fuente de información y medio de contraste con los resultados obtenidos.

Cúpulas clásicas romanas

La tesis abarca algunos temas de investigación todavía abiertos, seleccionando una serie de cúpulas clásicas romanas desde los primeros ejemplos del siglo II a.C. hasta las últimas construcciones del siglo IV d.C.. Basándose en las características del conjunto de los edificios tratados, se estudia la evolución de esas formas constructivas en el tiempo y se reconoce en ellos la presencia de algunos elementos recurrentes. Además, la posibilidad de observar los restos antiguos conservados parcialmente o totalmente permite avanzar una hipotética clasificación de las geometrías de los intradoses de las cúpulas, poniéndola en relación con su propio desarrollo histórico.

En base a un estudio general de la evolución de cúpulas romanas y se detecta un desarrollo en las técnicas de construcción, determinando en parte la función y los posibles motivos que regulan, por ejemplo, la disposición de los pesos inertes, de los elementos cerámicos embebidos en el hormigón, la articulación de los muros de soporte, la presencia y la función del óculo superior y de los huecos recortados en las mismas cúpulas. Al principio el nuevo material se aplica a la construcción de formas conocidas y con una geometría fácilmente controlable, como en las bóvedas cónicas de los

primeros ejemplos conservados en Pompeia y en Ercolano. El progresivo dominio de las técnicas constructivas generan nuevas soluciones y permiten las experimentaciones de formas distintas y el aumento de sus dimensiones. A partir del siglo I d.C., para evitar problemas estructurales los constructores empiezan a tomar medidas preventivas como el uso de materiales más ligeros en la parte superior de las bóvedas, el sobredimensionado de los muros de apoyo, la construcción de elementos de refuerzo perimetrales y el aumento del espesor de las cúpulas en su zona inferior. En consecuencia las cúpulas romanas resultan de sección variable y se documenta el uso de materiales progresivamente más ligeros a medida que la estructura sube en altura. La cúpula del Pantheon es solo uno de los ejemplos, junto con el Templo de Diana en Baia, el ninfeo de Albano, el Templo de Minerva Medica y el *Planetarium* de las Termas de Diocleciano. A raíz del estudio realizado, se detecta un progresivo perfeccionamiento en las técnicas constructivas desde los primeros ejemplos que presentan irregularidades debidas a procedimientos todavía rudimentarios, como ocurre en el Templo de Mercurio en Baia, hasta los edificios evolucionados de la época tardo antigua, como el Mausoleo de Santa Constanza en Roma que presenta un intradós de forma perfectamente semiesférica. Por otro lado, la búsqueda de dimensiones siempre mayores llega a su máxima expresión con el Pantheon, sin producir ejemplos comparables en los siglos posteriores.

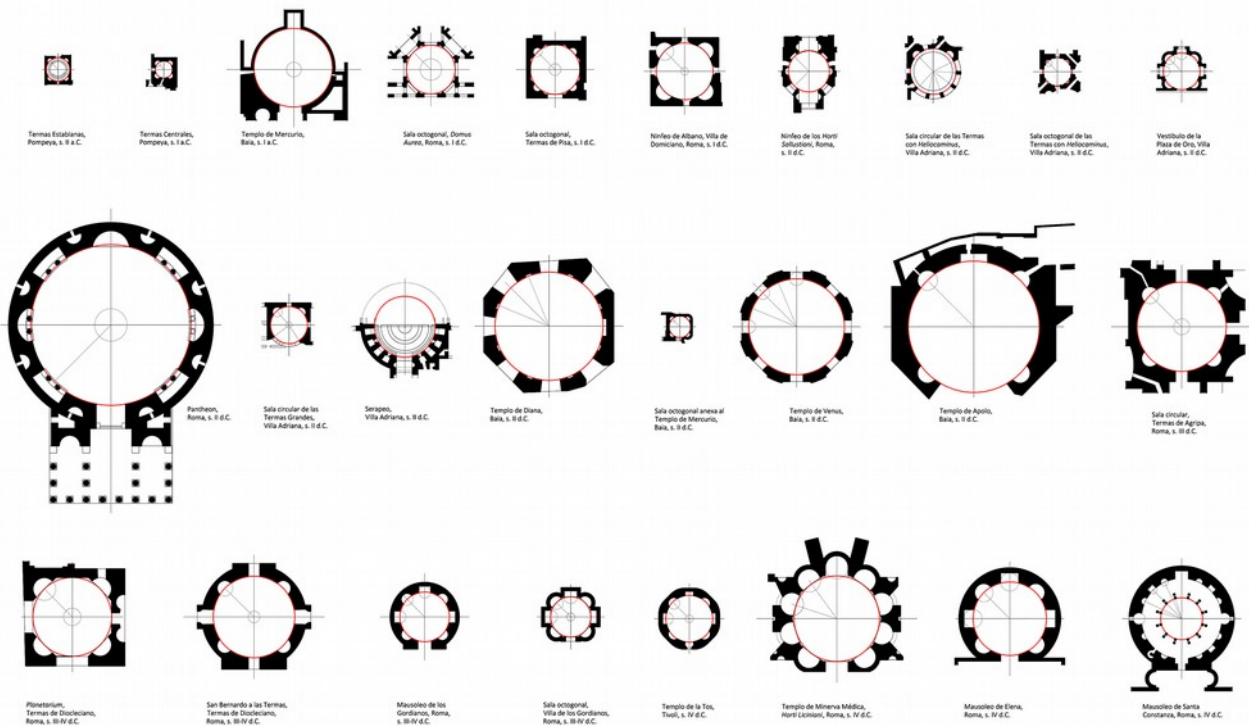
Desde las más antiguas cúpulas de tamaño muy reducido hasta el mismo Pantheon, se aprecia la presencia de la abertura del óculo superior de forma normalmente circular y en raros casos poligonal. La persistencia de este elemento en el tiempo, incluso en edificios iluminados por ventanas, corrobora la hipótesis de que su función no sea únicamente la de proporcionar iluminación natural, sino que está vinculada con aspectos constructivos y estructurales. La realización de otros huecos en el espesor de las cúpulas es menos frecuente y se encuentra a partir del siglo I d.C. en edificios como el Templo de Mercurio o la sala octogonal de las Termas de Pisa. Resulta más común la presencia de ventanas situadas en el muro que sostiene las bóvedas como en el *Planetarium* de las Termas de Diocleciano, el Mausoleo de los Gordianos, el Mausoleo de Elena y el Mausoleo de Santa Constanza. En la mayoría de los casos estos muros, normalmente de espesor considerable, se articulan en su interior según unos sistemas de nichos de forma semicircular o rectangular. Se aprecia una progresiva evolución de ese tipo de solución hasta llegar al complejo sistema de huecos y nichos del Pantheon y del Serapeo de la Villa Adriana. En medida menor, se introducen pequeñas zonas huecas en el mismo espesor de algunas cúpulas mediante el empleo de elementos cerámicos embebidos en el hormigón romano. Ejemplar es la aplicación de esta técnica en el Mausoleo de Elena, en la sala octogonal en la Villa de los Gordianos y el Templo de Minerva Medica. Las explicaciones del uso de estas técnicas se relacionan con el efecto de aligeramiento de la estructura, con un mejor comportamiento de fraguado del hormigón y con la reducción del material de construcción.



Fotografías de la cúpula de la sala octogonal y del llamado Templo de Mercurio en Baia.
Fotografía de los restos de la sala circular de las Termas Grandes en Villa Adriana.

Se propone una clasificación de distintas geometrías del intradós de las cúpulas analizadas, que pueden dividirse en dos grandes grupos. El primero reúne las estructuras de geometría simple, caracterizadas por una superficie continua que nace a partir de la revolución de una curva generatriz alrededor de un eje vertical central. Es el caso de las cúpulas de geometría cónica, esférica y de perfil apuntado. El segundo grupo reúne las estructuras de geometría compleja, cuya superficie está formada por sectores distintos que pueden presentar aristas en sus intersecciones. Encontramos en este grupo las cúpulas de arista, de aristas-esféricas, de paraguas y de gajos alternos. Las estructuras de geometría compleja permiten variaciones y se pueden adaptar a plantas de tipo poligonal o mistilíneo. Esas características impulsan un alto grado de experimentación de nuevas formas del intradós, que se hace evidente con especial fuerza en la época de Adriano. Paralelamente al estudio de las geometrías del intradós de las cúpulas se consiguen una serie de datos métricos que permite comparar los tamaños de los ejemplos seleccionados, entre los cuales destacan las grandes salas termales de Baia y sin duda el caso singular del Pantheon.

Los primeros ejemplos de cúpulas construidas en *opus caementicium* se aplican a plantas circulares de tamaño muy reducido y asumen una geometría cónica, similar a las clásicas cabañas de madera. La superficie de simple curvatura se prestaba por su simplicidad a estos primeros intentos de cubrición de espacios de planta circular mediante los nuevos sistemas constructivos. Posteriormente encontramos las cúpulas de forma semiesférica aplicadas a plantas circulares con diámetros de distinta entidad. Los materiales utilizados, la datación y las dimensiones de estas cúpulas cambian, pero se mantiene el mismo sistema constructivo, que se va perfeccionando. En este estudio las cúpulas que presentan un perfil apuntado se consideran como una variación de las cúpulas semiesféricas. Estas formas se acercan a los modelos más antiguos de las tumbas etruscas y micénicas, cuyas falsas bóvedas solían tener un perfil aproximadamente ojival. La introducción del mortero romano de alta resistencia permite ligar los anillos autoportantes y rebajar progresivamente la bóveda hasta llegar a un perfil semicircular. Existen ejemplos de cúpulas de perfil apuntado construidas en *opus caementicium* en el área arqueológica de Baia, como el Templo de Mercurio y el Templo de Diana.



Plantas esquemáticas de los ejemplos estudiados ordenados en secuencia cronológica.

Las plantas poligonales adoptaban inicialmente bóvedas de aristas, como ocurre en la sala octogonal de las Termas Neronianas en Pisa. Este tipo de geometría era fácilmente controlable gracias a la posibilidad de organizar las cimbras según los pliegues de la bóveda que corresponden a los vértices del polígono de la planta. Más compleja resulta la construcción de las bóvedas que en este trabajo llamamos de aristas-esféricas. A partir de una planta poligonal se genera una superficie de transición que reconduce la sección horizontal a un círculo, sobre el cual se desarrolla un casquete esférico. Como consecuencia la bóveda resulta articulada en dos partes que se enlazan de manera que no resulte visible la línea de unión entre las superficies, como ocurre en la sala octogonal de la *Domus Aurea* y en el Templo de Minerva Medica en Roma. En estos casos la geometría adoptada expresa la intención de realizar formas complejas.

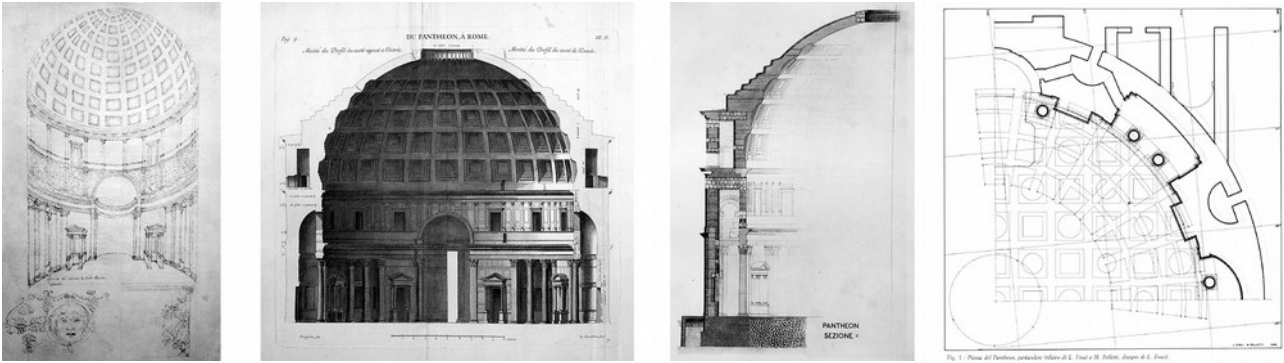
Entre ese tipo de geometrías se encuentran las cúpulas de paraguas, que generalmente cubren plantas octogonales. La superficie del intradós resulta subdividida en gajos cóncavos que convergen hacia el vértice, formando una composición de superficies con forma de velas. Significativo es el caso de la sala octogonal anexa al Templo de Mercurio en Baia, que tiene el valor de conservarse en su totalidad. En otros ejemplos los sectores de superficie resultan alternativamente cóncavos y convexos o cóncavos y esféricos, y en esos casos la bóveda se define de gajos alternos. Del estudio realizado se deduce que la especial conformación de este tipo de cúpula se adapta fácilmente a las plantas mistilíneas, que precisan un sistema de cubrición más complejo en comparación con las plantas circulares o polígonos regulares. Asimismo, se detecta el uso de las cúpulas de gajos alternos también en edificios de planta circular donde el muro perimetral esté articulado por la presencia de nichos, como ocurre en el ninfeo de los *Horti Sallustiani* en Roma. Encontramos varios ejemplos de cúpulas de geometría compleja en las salas de la Villa Adriana que, aún sin llegar a dimensiones importantes, son ejemplos admirables de la experimentación de los sistemas de construcción y de las nuevas formas.

Pantheon

La cúpula del Pantheon precisa de un análisis particular y detallado. El estudio intenso de ese objeto arquitectónico tan sorprendente se perpetua desde hace numerosos siglos y el monumento todavía ofrece interrogantes abiertos. Con especial admiración e interés los estudiosos miran a la enorme cúpula, intentando comprender su técnica constructiva y su configuración geométrica⁶. Un levantamiento arquitectónico actual del intradós de la cúpula puede generar material útil para realizar estudios sobre su conformación. En este sentido la explotación de los datos es fundamental para poder aportar alguna consideración nueva sobre el objeto de estudio.

El caso del Pantheon ocupa una parte relevante de la tesis y reúne de forma crítica una serie de materiales relativos a sus orígenes y a su inserción en la ciudad antigua, a la descripción de las partes que forman el edificio, a la interpretación de numerosos autores de las proporciones y de la geometría contenidos en las formas del monumento, a la presencia y distribución de los casetones en la superficie del intradós, al estudio de los materiales que componen la cúpula y de las interpretaciones de los sistemas constructivos empleados para realizarla. La cantidad de información recopilada es muy grande y resulta de especial interés el estudio de las características constructivas de la cúpula. Se recorren las teorías más antiguas, para luego analizar la hipótesis

⁶ “Il Pantheon è dunque anche pieno di misteri. La fascinazione che emana ha indotto intellettuali, architetti e archeologi a interrogarsi sulla sua singolarità. Ci si è chiesti anzitutto per quale magia o miracolo l'immensa cupola, la più grande copertura mai costruita fino al XIX secolo e comunque la più grande mai costruita in muratura, possa restare sospesa nell'aria.” (Lucchini 1996, 10).



Dibujos históricos del Pantheon: Di Giorgio Martini (1478-81), Desgodetz (1682), Terenzio (1933) y Pelletti (1989).

propuesta por Francesco Piranesi en el siglo XVIII, que tanta influencia tuvo en los estudios de los siglos siguientes, hasta llegar al descubrimiento de la real conformación de la cúpula por Terenzio en los años '30 del siglo XX. Los estudios más recientes se dedican especialmente a la reconstrucción de las fases de construcción del edificio, de las técnicas empleadas y del hipotético sistema de cimbras empleado para poder construir una cúpula de dimensiones tan relevantes. Otro tema fundamental para el desarrollo de la investigación es el estudio de los diferentes análisis geométricos del Pantheon, que ponen a la luz una serie de relaciones entre las partes que enriquecen la más simple y conocida imagen de coincidencia de la gran sala circular con las formas puras del cilindro y de la esfera.

Debido a la notoriedad del monumento, sus increíbles características y su perfecto estado de conservación, el Pantheon ha sido representado gráficamente desde hace siglos. En el Renacimiento empieza la producción de una abundante documentación gráfica del monumento, que lo convierte en el edificio antiguo más dibujado en Roma y se considera fuente de inspiración de tipo espacial, arquitectónico y técnico⁷. El Pantheon se incluye como ejemplo principal en los tratados de arquitectura de Serlio y Palladio y, posteriormente, es el primero de los edificios levantados y dibujados con científico rigor por Desgodetz. Desde las primeras representaciones bidimensionales en planta, alzado y sección de época renacentista hasta las más modernas restituciones mediante escáner láser tridimensional, el Pantheon queda documentado por numerosos autores, que operan en épocas y con herramientas distintas. La posibilidad de confrontar las restituciones gráficas del mismo objeto a lo largo de un periodo de tiempo tan extenso, abre la investigación hacia un estudio comparativo de las técnicas de levantamiento de la antigüedad.

La fascinación que produce el Pantheon desde la época de su construcción se basa en parte en la directa aplicación a grandes dimensiones de la geometría pura del cilindro y de la esfera, organizados según una simple ley de proporciones entre las partes. Este dato relevante del edificio es uno de los motivos de su notoriedad en el mundo occidental, donde el Pantheon se considera modelo ejemplar de edificios abovedados de planta central. Un estudio atento de la efectiva esfericidad de la superficie del intradós es, por lo tanto, una operación que se relaciona con la imagen ideal del Pantheon conservada a lo largo de los siglos.

La disponibilidad de métodos y herramientas para la restitución gráfica de la arquitectura es sorprendente hoy en día. Parte de las posibilidades de las técnicas de levantamiento contemporáneas

⁷ “Infatti le sue proporzioni «sferiche» influirono nella progettazione di numerosi edifici a pianta centrale; le sue modanature, i capitelli, le edicole interne, rilevate vengono immesse a far parte del linguaggio rinascimentale; e interessa anche il particolare uso dei materiali costruttivi che aveva consentito l'elevazione della grande cupola” (Valtieri 1978-80, 61).

se materializan en este trabajo, siendo la documentación actualizada y completa del objeto de estudio indispensable para el desarrollo de los análisis geométricos.

Un resultado relevante de la tesis es la restitución métrica del intradós de la cúpula del Pantheon mediante escáner láser y fotogrametría digital de imágenes cruzadas. En el trabajo se realiza una comparación entre los resultados obtenidos que se desarrolla en parte mediante el empleo de métodos gráficos y en parte comparando datos cuantificables. Los análisis efectuados en base al estudio de los modelos de restitución demuestran la gran eficacia de los dos métodos empleados. Sin embargo se ponen a la luz las diferencias entre los sistemas de levantamiento, especialmente por lo que concierne a las capacidades críticas del individuo que gestiona las operaciones de restitución métrica y la interpretación de los resultados.

Aprovechando las cualidades propias de las restituciones generadas por los dos métodos de levantamiento, el trabajo emplea un sistema de tratamiento integrado de datos que incluye las referencias de ambos modelos. La discriminación de los elementos útiles de cada modelo de restitución es una operación que evidencia los caracteres distintos de los dos métodos de levantamiento, basándose en la gestión crítica de los datos y poniendo en valor los resultados que cada uno de ellos aporta a la investigación.

En la actualidad, el análisis de la arquitectura se realiza en parte directamente en el espacio de trabajo del modelo tridimensional y en parte sigue aplicando los convenios del dibujo arquitectónico, mediante estudios en planta, alzado y sección. El dibujo bidimensional permite analizar la complejidad implícita en la arquitectura aislando algunas de sus partes y operando en un entorno reducido⁸. En este trabajo, el dibujo en planta y alzado se configura como herramienta necesaria de análisis para el estudio de los perfiles de las cúpulas, de la distribución de los elementos arquitectónico y en general de sus formas y geometría.

La tesis propone un sistema de estudio de la arquitectura, introduciendo el concepto de modelo geométrico ideal como elemento de referencia. La búsqueda de la forma teóricamente regular alrededor de la cual tienden a colocarse los puntos de la superficie construida permite reconstruir la geometría ideal del objeto y estudiar su recíproca correspondencia. La aplicación de cálculos de promedios y el empleo de herramientas de dibujo vectorial están en la base de estas operaciones. El sistema se ha revelado útil para el estudio particular de las cúpulas y sus comparaciones, ofreciendo una serie de resultados relativos a las relaciones entre la restitución métrica y el modelo geométrico ideal, que evidencian zonas de irregularidades, posibles deformaciones o la perfecta regularidad de las superficies estudiadas.

Además de las reflexiones sobre la eficacia de los métodos de levantamiento, de gestión de datos aplicados y de análisis de los resultados, la investigación aporta una serie de consideraciones específicas de mayor o menor relevancia sobre las cúpulas analizadas con mayor profundidad.

En el caso del Pantheon, los estudios evidencian la coincidencia casi absoluta de la superficie del intradós con la superficie esférica ideal. La esfericidad de la cúpula es un dato extraordinario considerando sus dimensiones y su época de construcción. En los estudios se consigue determinar el modelo geométrico de la esfera ideal, generada en base a cálculos promedios de la posición de los puntos levantados, obteniendo un diámetro medio de 44,06 m. La posición del centro de la esfera ideal, que tradicionalmente se señala situada en la cota de la cornisa que separa el tambor de la cúpula, se calcula a 0,37 m por debajo de esa línea⁹. Desde los resultados del levantamiento del

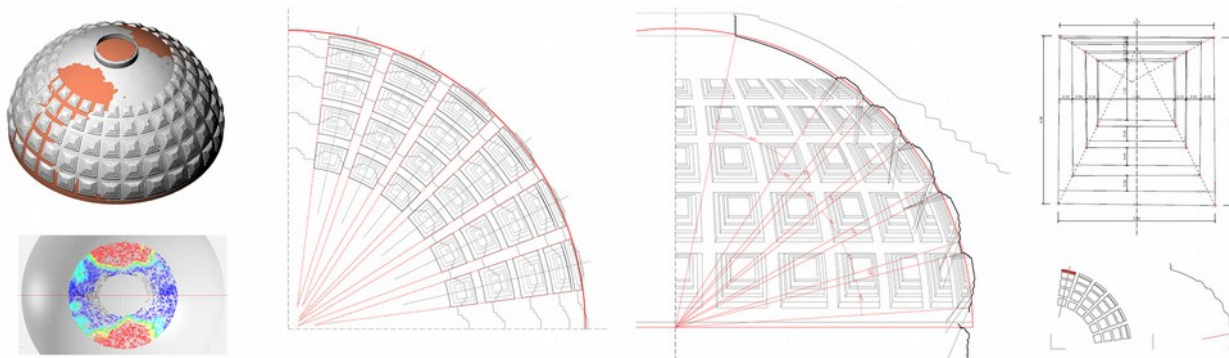
⁸ “De esta manera la estrategia planta-sección-alzado es mucho más que una convención proyectiva, es un lugar de pensamiento y conocimiento privilegiado de la arquitectura, bien sea para ser proyectada bien sea para ser comprendida. El desafío entonces no consistiría tanto en cambiar indiscriminadamente de recursos e instrumentos, sino en integrar en un discurso unificado todas aquellas implementaciones que nos permitan elevar el nivel del conocimiento sobre la arquitectura.” (Ortega Vidal 2010, 50).

⁹ Este dato corrobora los resultados de otros levantamientos realizados en épocas recientes (Licht 1966; Pelletti 1989; Graßhoff

intradós de la cúpula parece evidente que la mayoría de los puntos se acercan sensiblemente a la superficie esférica. Los datos señalan que el 72,5% de los puntos considerados tiene una distancia de la esfera media inferior a los 10 cm; el 21% entre los 10 cm y los 15 cm; el restante 6,5% tiene una distancia superior a los 15 cm, llegando a un valor máximo de 18,5 cm. Observando la cúpula por partes separadas se aprecia que la distancia media en la zona casetonada es de apenas 5,5 cm, que equivale aproximadamente a 1/400 del radio de la cúpula, mientras que en la zona del casquete superior alcanza un valor medio de 9,4 cm. Todos los puntos con distancias relevantes desde la esfera media se sitúan en el casquete incluido entre el último orden de casetones y el óculo, donde los datos apuntan a la presencia de una zona deformada que resulta en depresión.

La presencia de la zona de deformación se analiza detalladamente para definir su entidad y localización exacta, empleando material gráfico y datos numéricos derivados de la comparación entre los puntos levantados y el modelo geométrico. Desde el estudio comparado de las secciones radiales y de las curvas de nivel horizontales se determina una franja de deformación que sigue aproximadamente el eje Norte-Sur en la extensión de toda la cúpula y que se acentúa en la zona superior del casquete esférico. Para obtener datos calculados directamente a partir de la nube de puntos, evitando entonces la simplificación normalmente necesaria para la gestión de los resultados, se propone el estudio de un sector del modelo original registrado por el escáner. Realizando una serie de secciones directamente a partir de la nube de puntos y comparándolas con la esfera ideal, se registra una distancia máxima de 0,32 m en la zona meridional y de 0,20 m en la zona septentrional del casquete superior. Estos datos pueden constituir una base para análisis comparados futuros, puesto que la documentación fiel de la conformación actual del intradós de la cúpula puede servir como termino de comparación útil en el estudio del comportamiento estructural del Pantheon en el tiempo.

Los análisis de los casetones aportan informaciones sobre su disposición y diseño. Según los cálculos realizados, la precisión del replanteo de estos elementos es sorprendente. Si se observan en planta las desviaciones de las bisectrices de los sectores de casetones calculadas con respecto a los ejes que dividen teóricamente la circunferencia en 28 partes iguales, se registra un defecto medio de apenas 0,6°. Los ángulos formados entre los ejes verticales de los sectores de casetones se acercan todos con extrema precisión a los 12,85°, que equivalen a la subdivisión de 360° en 28 partes iguales, operación geoméricamente complicada en la época de construcción. Las herramientas informáticas actuales trabajan con un nivel de aproximación extremadamente preciso, frente a los sistemas de construcción menos sofisticados empleados hace siglos para realizar estas formas. Este hecho evidencia con más fuerza la uniformidad de la distribución de los casetones y su perfecta fabricación.



Estudios sobre la geometría del intradós del Pantheon.

Estudiando la forma de los casetones se puede apreciar como las rectas medias que marcan las alineaciones de los puntos externos no convergen con el polo de la esfera, como se podría imaginar. Este dato indicaría que las curvas que señalan los límites laterales de los casetones no son circunferencias máximas sino arcos de circunferencias menores pertenecientes a la esfera ideal. El hecho de que la bisectriz entre casetones tienda a converger en el centro podría indicar que el replanteo se hubiera realizado en base a estos ejes. A partir de ellos se podrían haber trazado los arcos de circunferencia que definen los límites externos de los casetones, según un sistema que se basaba en la precisión del diseño de las bisectrices.

El análisis de la forma y distribución de los casetones es una operación compleja, que entrelaza teorías sobre las técnicas constructivas con argumentos relacionados con la percepción visual y las proporciones entre las partes. A día de hoy existen solo algunas hipótesis sobre la creación del diseño de estos elementos¹⁰ y sobre los sistemas constructivos empleados para su difícil realización¹¹. En el presente estudio se buscan las posibles leyes de transformación progresiva que siguen los casetones en su adaptación a la superficie esférica y se propone una restitución métrica detallada y completa de algunos de los sectores.

En cuanto al diseño de los casetones, la tesis ofrece una serie de datos métricos y de estudios detallados desarrollados a una escala mayor. Desde el análisis de las diferentes superficies que componen los casetones se deduce que el nivel más hondo no se adapta a una superficie esférica sino que tiende a ser plano, hecho que facilitaría sin duda el control de los encofrados. Se analiza la dirección de los planos de conexión entre los distintos niveles, reconociendo en parte unos trazados radiales y en parte otros trazados, que convergen más o menos en determinados puntos de referencia externos a los casetones. La dificultad de extrapolar desde los estudios hechos las leyes que gobiernan el diseño de los casetones en su transformación para adaptarse a la superficie esférica es muy grande. Aún reconociendo alguna proporcionalidad entre las partes que conforman los casetones y entre los distintos ordenes superpuestos, siguen siendo enigmáticos los procedimientos empleados para construirlos y para definir las leyes perspectivas que regulan su diseño. El trabajo realizado no ofrece una respuesta a estos múltiples interrogantes, pero aporta una documentación precisa de sus formas y medidas y un análisis de su geometría adaptada a la superficie esférica, que puede ser la base para un desarrollo futuro.

Casos de estudio

Entre las bóvedas clásicas romanas, el Pantheon se considera la expresión máxima de las posibilidades de las técnicas y materiales, siendo al mismo tiempo parte de una cadena de evolución continua de la forma en construcción. Episodios de la historia de la arquitectura romana anteriores o posteriores al Pantheon se prestan para un análisis comparado. Como casos de estudio específico se eligen el llamado Templo de Mercurio en Baia, cerca de Nápoles, la sala circular de las Termas con *Heliocaminus* en la Villa Adriana y el Mausoleo de Santa Constanza en Roma. Los tres ejemplos comparten el mismo principio constructivo y la forma supuestamente semiesférica del intradós de la cúpula, aun presentando características diferentes que dependen de sus funciones, dimensiones, época y sistemas de construcción.

Paralelamente con los resultados obtenidos en el estudio del Pantheon, la tesis aborda el análisis

¹⁰ Saalman 1988; Bartoli 1995; MacDonald 2002; Valenti 2009.

¹¹ Rakob 1988; Adam 1988; Rasch 1991; Lucchini 1997; Lancaster 2005; Taylor 2006.

de la geometría y construcción de tres edificios seleccionados como casos de estudio específicos, que pertenecen a épocas distintas y presentan un intradós aparentemente esférico. Los edificios seleccionados son el Templo de Mercurio en Baia, la sala circular de las Termas con *Heliocaminus* en la Villa Adriana y el Mausoleo de Santa Constanza en Roma. El levantamiento arquitectónico de estos tres edificios se realiza mediante la búsqueda bibliográfica, la recopilación de representaciones gráficas históricas y posiblemente recientes, la restitución métrica de los objetos de estudio por medio de la fotogrametría y el análisis de los resultados obtenidos.

A través de las irregularidades detectadas en su forma, el templo de Mercurio en Baia describe las hipotéticas dificultades encontradas en la fase de construcción de la cúpula, una de las más antiguas y la primera de dimensiones considerables con sus 21,55 m de diámetro. Los resultados obtenidos mediante el levantamiento fotogramétrico, indican que el perfil del intradós resulta definido por dos arcos de circunferencia con centros respectivamente en la línea de imposta de la cúpula y en un punto a cota inferior. Se puede observar en el estudio de la sección del edificio que su hipotética culminación al prolongar los arcos superiores tendría una forma apuntada, físicamente inexistente debido a la presencia del óculo. La característica geometría de la cúpula del Templo de Mercurio se encuentra más acentuada en el cercano Templo de Diana, que presenta una bóveda marcadamente ojival sobre planta circular. El intradós de la cúpula presenta irregularidades relevantes, que se evidencian en el giro de secciones radiales y en el análisis de las curvas de nivel horizontales. Las cuatro ventanas recortadas en el espesor de la bóveda son irregulares y su disposición con respecto al centro de la sala y a los ejes principales no es precisa. Según el levantamiento fotogramétrico realizado, se señala también que el centro del óculo está desplazado horizontalmente con respecto al muro circular que sostiene la cúpula. Este hecho podría haber contribuido a generar las irregularidades en la geometría de la bóveda, que pueden reconducirse por lo tanto a dificultades en la fase constructiva más que a deformaciones estructurales generadas en el tiempo, y que pueden encontrar una explicación en la época antigua de realización y en las dimensiones notables de la sala comparadas con ejemplos anteriores.

La cúpula de la sala circular de las Termas con *Heliocaminus* en la Villa Adriana presenta en su estado actual una serie de perforaciones en la superficie del intradós, que corresponden a las huellas dejadas por unos soportes metálicos, que tenían la función de sujetar un casquete esférico separado de la estructura de hormigón romano. La cámara de aire que se formaba, comunicaba con los conductos presentes en las paredes y con el hipocausto, y pertenecía a los sistemas de calefacción de las termas. Esta característica hace que el intradós de la cúpula conservada se encuentre en un estado muy deteriorado, hecho que impide el completo desarrollo de los trabajos de análisis. Según los resultados del levantamiento realizado, la disposición de los huecos en el intradós de la cúpula es sustancialmente ordenada según líneas horizontales, mientras que no se respetan alineaciones en el sentido de los meridianos³. Desde el estudio del modelo fotogramétrico se obtiene el valor del diámetro medio de 12,60 m, que supone una selección crítica de los puntos a considerar en los cálculos de promedio. Este caso es un ejemplo de las dificultades de estudio de arquitecturas en estado ruinoso y abre la problemática del sistema de interpretación a emplear para poder evaluar correctamente los resultados.

La superficie del intradós de la cúpula de Santa Constanza en Roma se ajusta prácticamente en su totalidad a la esfera ideal. Los resultados registran la uniformidad y precisión de la forma de la cúpula y confirman Santa Constanza como una de las más evolucionados edificios abovedados de la antigüedad. La cúpula, con un diámetro de 11,5 m, tiene un tamaño notablemente menor que la del Pantheon y es de época posterior. La distancia media de los puntos medidos a la esfera ideal es de apenas 4 cm en toda la extensión de la cúpula. Según el modelo fotogramétrico resulta que el 75% de los puntos dista menos de 6 cm de la esfera media, el 21,5% entre los 6 y los 10 cm y el restante 3,5% entre los 10 y los 20 cm. Se puede, entonces, afirmar que el intradós de la cúpula de S. Constanza se aproxima con extrema precisión a una semiesfera de una manera uniforme en todas

sus partes. Según el levantamiento realizado las ventanas situadas en el tambor están dispuestas ordenadamente y presentan la característica relevante de seguir en altura hasta una cota superior a la línea de imposta de la cúpula. Este dato, actualmente ausente en las publicaciones relativas a Santa Constanza, ofrece el punto de partida para un posible estudio constructivo y estructural. En este sentido los datos derivados del levantamiento y de los estudios hechos podrían constituir una base útil para el análisis detallado de la estructura del mausoleo, considerado generalmente como el último ejemplo de cúpulas clásicas romanas.

Conclusiones

La tesis se ha desarrollado en fases alternas de búsqueda de información, trabajo de campo, elaboración de datos y síntesis de resultados. Las conclusiones que derivan de esas labores son distintas e incluyen por un lado consideraciones sobre la evolución de la geometría de cúpulas clásicas romanas y el estado actual del intradós del Pantheon y de los ejemplos tratados; y por otro lado algunas reflexiones sobre los métodos de levantamiento empleados, basadas en las restituciones métricas realizadas y en su comparación.

Los análisis desarrollados evidencian la importancia de integrar la restitución métrica de los edificios con el estudio de su historia, geometría y construcción. El levantamiento arquitectónico como sistema de entendimiento integral de la arquitectura estimula la continua revisión de los resultados y el estudio comparado de la información derivada del análisis directo del edificio, mientras que la documentación conservada enriquece la investigación. Los trabajos de levantamiento y análisis realizados generan documentación nueva en la literatura científica del sector, difundiendo el conocimiento de detalles del estado actual de las cúpulas estudiadas y ofreciendo un estudio crítico de la documentación disponible sobre los argumentos tratados. La aportación que la investigación tiene en el ámbito académico y especializado queda reflejada en las comunicaciones presentadas en congresos nacionales e internacionales durante la evolución del trabajo.

La abundancia de los argumentos tratados permite la posible continuidad del trabajo, según una visión dinámica de la investigación como evolución ininterrumpida. El patrimonio de la arquitectura clásica está sujeto al deterioro en el tiempo, por lo que un estudio sobre su estado actual puede contribuir por un lado a profundizar en el conocimiento de los edificios antiguos y por otro a manifestar necesidades reales, reflejando el vínculo directo existente entre conservación y levantamiento arquitectónico.

ADAPTACIÓN DE LA TESIS AL FORMATO Y A LA LÍNEA EDITORIAL ARQUIA/TESIS

Se podría pensar que el Pantheon y las cúpulas clásicas romanas suponen un tema ya agotado, sin embargo, a pesar de la proliferación de publicaciones, es muy escasa la información técnica que vincula aquellas admirables arquitecturas de la antigüedad.

La posibilidad de adaptar la tesis al formato de libro se considera una oportunidad que pondría en valor algunos aspectos de la investigación que lograrían alcanzar así una mayor difusión. La revisión y organización de la información se podría realizar aparentemente de forma sencilla.

El libro resultante tendría un fuerte equilibrio de dependencia entre texto e imágenes, propio de una publicación con un balance humanista y técnico.

Las imágenes actuales contenidas en el trabajo son de alta calidad, debido a la naturaleza fotográfica y técnica del trabajo realizado. La mayor parte de los derechos sobre estas imágenes pertenecen a la autora y sólo algunas de las imágenes históricas podría requerir algún tipo de trámite adicional.

La adaptación de la tesis al formato y a la línea editorial arquia/tesis de la Fundación Arquia implica en primer lugar una reducción de la información proporcionada en el documento original. Se propone por un lado recortar el exceso y la posible reiteración interpretativa que un trabajo de investigación requiere. Para ello se llevaría a cabo una selección crítica de los argumentos.

Se propone como objetivo principal el de fortalecer la articulación entre los diversos enfoques desarrollados y poner especial cuidado en el flujo de la información. La organización del material debería llevar a una continuidad que en algunos casos no es inmediata en la tesis, puesto que abarca temáticas diferentes a lo largo de su extensión y que profundiza con mayor intensidad en ciertos campos específicos.

Se consideran de principal interés las propuestas descritas en los capítulos primero y séptimo sobre la clasificación de cúpulas romanas en base a la geometría de su intradós junto con la nueva aportación de observaciones específicas en algunos de los ejemplos tratados. Un tratamiento general de la evolución de estas formas constructivas no encuentra lugar en las publicaciones actuales, por lo que se quiere hacer hincapié sobre la sistematización de su análisis.

Asimismo la nueva información aportada sobre la cúpula del Pantheon resulta de interés general, debido a la originalidad de los datos y a los estudios desarrollados sobre la geometría del intradós y el estudio detallado de la configuración de la superficie. Todo ello está contenido en el sexto capítulo. Conjuntamente la historia de los levantamientos del Pantheon y el resto de información historiográfica descritas en los capítulos segundo y cuarto suponen un gran atractivo para la correcta contextualización de este monumento singular.

Para poder enfocar la atención esencialmente en estos temas es necesario un trabajo de repaso y reducción del documento original, que incluya un tratamiento de los textos y una considerable selección del material gráfico.

En primer lugar, la necesidad de incluir por razones académicas gran parte de material relativo al estado de la cuestión resulta poco pertinente en su adaptación al formato de libro. La reducción de las notas a pié de página y de parte de los textos e imágenes que describen los estudios realizados

por otros autores es uno de los pasos para conseguir reducir el volumen del texto y generar una lectura más ágil.

Con la finalidad de ampliar el enfoque se propone la reducción de los apartados relativos a las descripciones técnicas de los levantamientos así como las especificaciones de los pasos realizados para el tratamiento de los datos. En particular se podría evitar incluir el tercer capítulo sobre la evolución de las técnicas de levantamiento, gran parte del capítulo quinto sobre la descripción del levantamiento del intradós de la cúpula del Pantheon, parte del capítulo sexto sobre los estudios del intradós de la cúpula del Pantheon y parte del capítulo séptimo sobre los estudios de algunos ejemplos de cúpulas clásicas romanas.

Además de unos criterios de estrategias de organización del material, la descripción de las herramientas y de los programas empleados en los levantamientos realizados resulta poco útil en su adaptación a este formato debido a la evolución increíblemente rápida de las tecnologías relativas a la restitución métrica. En pocos años los métodos han evolucionado sensiblemente por lo que los temas técnicos presentados en la tesis supondrían la necesidad de una actualización. Se considera que esta operación no sería necesaria para perseguir los objetivos establecidos y se propone la eliminación de las partes del texto original más directamente vinculadas con estos argumentos.

Esta revisión actualizada, se suma a la historia de la necesidad de reinterpretación que el Pantheon de Roma ha despertado en algunos de los más grandes arquitectos de cada tiempo.

La amplitud de temas y el rigor de enfoque de la colección arquia/tesis resultan afines a este trabajo, que con el presente documento quisiera intentar aprovechar la oportunidad de ser publicado.