

***ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA BÓVEDA ELIPSOIDAL
DE LA IGLESIA DE SAN ANTONIO DE LOS ALEMANES***

Autor:

ADRIÁN GÓMEZ CHECA

Director:

PAU NATIVIDAD VIVÓ

Máster en Patrimonio Arquitectónico

Escuela Técnica Superior de Arquitectura y Edificación

Universidad Politécnica de Cartagena

En memoria del profesor Elías Hernández Albaladejo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al profesor Elías Hernández Albaladejo su apoyo y motivación inicial en mi primera toma de contacto con este trabajo.

Al profesor José Calvo López por su orientación y a mi tutor Pau Natividad Vivó por sus observaciones, correcciones e interés.

Al departamento de Tecnología de la Edificación de la Escuela de Arquitectura Técnica de la Universidad Politécnica de Madrid por su préstamo de material y principalmente al profesor Florian García Acebes por su ayuda e interés en la toma de datos.

A la Santa, Pontificia y Real Hermandad del Refugio y Piedad por permitirme realizar las medidas y fotografías necesarias de la iglesia de San Antonio de los Alemanes y a los hermanos de la Hermandad que trabajan en el archivo por su gran colaboración en la búsqueda de documentos, al igual que el personal del Archivo Histórico Nacional.

Y a mi madre y mi hermana que siempre me han apoyado.

A todos gracias.

ÍNDICE

1. PREFACIO	6
1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.2. METODOLOGÍA, FASES Y FUENTES.....	6
1.3. ANTECEDENTES	7
2. LA IGLESIA DE SAN ANTONIO DE LOS ALEMANES	8
2.1. CONTEXTO HISTÓRICO	8
2.2. ARQUITECTURA BARROCA.....	9
2.3. LA IGLESIA.....	13
2.4. ARQUITECTOS	20
3. BÓVEDA ENCAMONADA	31
4. METODOLOGÍA Y LEVANTAMIENTO	36
4.1. LA ESTACIÓN TOTAL	36
4.1.1. Elementos de una Estación Total.....	37
4.2. METODOLOGÍA.....	38
4.2.1. Tareas previas.....	38
4.2.2. Toma de datos	38
4.2.3. Trabajo de gabinete con Rhinoceros.....	38
4.3. INSTRUMENTAL	40
4.4. LEVANTAMIENTO.....	41
5. LA PLANTA ELÍPTICA U OVAL.....	47
5.1. EL ESPACIO CENTRALIZADO	47
5.2. INFLUENCIA Y SIGNIFICADO DE LA PLANTA ELÍPTICA	47
5.3. TEMPLOS DE PLANTA ELÍPTICA.....	48
6. LA ELIPSE Y EL ÓVALO.....	54
6.1. LA ELIPSE	54
6.1.1. Elementos de la elipse.....	56
6.1.2. Tratados y trazados	57
6.1.2.1. La elipse del jardinero.....	58
6.1.2.2. La elipse de Philibert de l'Orme.....	58
6.1.2.3. La elipse de Durero.....	59
6.1.2.5. Compás de Arquímedes	61
6.2. EL ÓVALO.....	62
6.2.1. Tratados y trazados	62
6.2.1.1. Los óvalos de Serlio	62
6.2.1.2. Los óvalos de Hernán de Ruiz II	65

7. COMPARACIÓN DE LA PLANTA Y SECCIONES DE LA BÓVEDA DE SAN ANTONIO DE LOS ALEMANES CON LOS TRATADOS Y PLANOS HISTÓRICOS	66
7.1. COMPARACIÓN DE LA PLANTA DE LA IGLESIA CON LOS PLANOS DE 1881 Y 1974...	66
7.2. PHILIBERT DE L'ORME.....	68
7.3. DURERO	70
7.4. SERLIO	72
7.5. COMPÁS DE ARQUÍMEDES	80
7.6. MATHURIN JOUSSE.....	82
7.7. SECCIÓN TRANSVERSAL	83
8. CONCLUSIONES	86
8.1. SOBRE EL LEVANTAMIENTO	86
8.2. SOBRE EL ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA BÓVEDA	86
8.3. SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE LA BÓVEDA	88
9. GLOSARIO	89
10. BIBLIOGRAFÍA	91

1. PREFACIO

1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo principal del presente trabajo es estudiar la geometría de la bóveda de la iglesia de San Antonio de los Alemanes, conocida también como San Antonio de los Portugueses, una de las obras barrocas más representativas en la Villa de Madrid, donde la elipse es la principal protagonista.

El estudio se realizará a través de un modelo tridimensional de la bóveda con sus lunetos, mediante el uso de una Estación Total, y su comparación con trazados geométricos de elipses y óvalos de textos de construcción de los siglos XVI y XVII.

1.2. METODOLOGÍA, FASES Y FUENTES

METODOLOGÍA

La primera tarea ha sido la realización adecuada de toma de datos topográficos, con una Estación Total. Estos datos han sido analizados posteriormente mediante el empleo de programas informáticos CAD y a partir de las fuentes escritas, lo que ha permitido determinar la forma o geometría de la bóveda y efectuar una hipótesis sobre el trazado del cual deriva esta obra.

Las fuentes escritas han posibilitado el estudio de diferentes trazas y modelos existentes en los tratados y manuscritos de arquitectos, permitiendo plantear hipótesis sobre la traza empleada en la construcción de la bóveda.

FASES

Se han realizado las siguientes fases generales:

1. Realización del levantamiento arquitectónico de la bóveda.
2. Estudio del levantamiento mediante la comparación con las trazas y modelos existentes en las fuentes escritas y su análisis tridimensional en programas informáticos CAD.
3. Análisis geométrico de la bóveda.

FUENTES

En la investigación se han empleado dos tipos de fuentes de información: fuentes escritas y levantamientos arquitectónicos.

- Fuentes históricas

Se ha trabajado con los tratados y artículos de investigación que tratan sobre la geometría oval y elíptica, principalmente la que abarca los siglos XVI y XVII.

Entre los que destacan (cronológicamente):

- DURERO, Alberto. 1525. *Underweysung der Messung, mit dem Zirckel und Richtscheyt, in Linien Ebnen vnnd gantzen Corporen*. Gedruckt zu Nüremberg.
- SERLIO, Sebastiano. 1545. *Il Primo libro d'Architettura di Sebastiano Serlio*. Paris.
- DE L'ORME, Philibert. 1567. *Le premier tome de l'Architecture*. Paris: Federic Morel.
- SAN NICOLÁS, Fray Lorenzo. [1633-64] 2008. *Arte y Vso de Architectvra*. Edición anotada por Díaz Moreno, F. Instituto de Estudios Madrileños. Alcobendas (Madrid).

- Levantamiento arquitectónico

Se ha examinado la bóveda de forma directa y mediante medios topográficos, con objeto de realizar un levantamiento preciso que permita obtener datos sobre la geometría.

1.3. ANTECEDENTES

La iglesia de San Antonio de los Alemanes es un importante ejemplo de la arquitectura Barroca del siglo XVII en la Villa de Madrid. Durante este periodo todos los edificios castizos muestran elementos comunes pero la geometría empleada en este templo es muy inusual, no sólo en Madrid, sino en España, donde se puede encontrar muy pocos ejemplos.

Existen varias publicaciones e investigaciones que abordan la arquitectura castiza del siglo XVII, en las que se hace mención de la iglesia de San Antonio de los Alemanes y, en ocasiones, de su bóveda, pero desde un punto artístico sin entrar en detalles geométricos, donde se mencionan indistintamente los términos óvalo y elipse.

2. LA IGLESIA DE SAN ANTONIO DE LOS ALEMANES

2.1. CONTEXTO HISTÓRICO

En el año 1606, Felipe III traslada la Corte a Madrid poco después de haberla trasladado a Valladolid en 1601. La separación y regreso en poco tiempo le supuso a Madrid la confirmación de su condición como capital, reanudando proyectos que no se llegaron a realizar. Se hace un nuevo trazado y se dota a la Villa-Corte de todos los edificios de uso público necesarios con un diseño monumental digno de la nueva residencia Real.

Anteriormente El Escorial había tenido prioridad para la Monarquía, sin embargo, al instituirse Madrid definitivamente como capital, se traslada la máquina de gobierno, la aristocracia y las clases intelectuales, iniciándose inmediatamente el replanteamiento de una estructura renovada.

En la época de Felipe II la mayoría de la nobleza tardó en invertir su capital debido a la desconfianza de la consolidación de la Corte en Madrid, hecho que se demostró al trasladarse a Valladolid posteriormente. Esto significa que apenas se llegaron a edificar unos pocos palacios, entre los que destaca la Casa de las Siete Chimeneas. En cambio, la Iglesia y las órdenes religiosas, interesadas en que la Corte no regresara a Toledo, ciudad dominada por el clero, comenzaron a cambiar la villa construyendo establecimientos religiosos con un carácter sencillo y funcional que no se finalizaron hasta las primeras décadas de siglo XVII, cuando la capital estuvo incuestionablemente establecida, alcanzándose una actividad arquitectónica más estable y de mayor calidad (figura 2.1.).



Figura 2.1. La C/Alcalá de Madrid, según el cuadro "Vista de Madrid" de Antonio Joli (1750).

En poco tiempo, naciones integradas en el seno de la Monarquía, como la portuguesa, la aragonesa y la flamenca, tuvieron también su lugar (Rivero 2011, 119). A instancias del Consejo Supremo del Reino de Portugal, Felipe III ordenó construir, en 1606, el Hospital de los Portugueses (Tormo [1927] 1985, 252), en la parcela que formaban las calles de la Puebla y de la Ballesta con la Corredera Baja de San Pablo, también conocido como el triángulo de la Ballesta, en el actual barrio de Malasaña, antes barrio del Refugio, Madrid. Debido a dificultades se paralizaron las obras, y la iglesia y las enfermerías se pospusieron (Martorell 1931, 73).

2.2. ARQUITECTURA BARROCA

El Barroco es un estilo que se desarrolló entre el Renacimiento y principios del Neoclasicismo, entendiendo su término como un exceso de ornamentación, lo extravagante, de ahí que sea un concepto contrapuesto a lo “clásico”.

Es el arte que sigue a la Contrarreforma, por lo que representa la próspera situación del Catolicismo. En España tuvo su desarrollo durante el reinado de los monarcas, de la Dinastía Austria, Felipe III, Felipe IV y Carlos II, continuándose en época de Felipe V, rey borbónico, es decir, a lo largo del siglo XVII y primer tercio del siglo XVIII.

En arquitectura todo adquiere un ritmo dinámico con grandes juegos de efectos ópticos e ilusionismo espacial. Sin embargo, en España no sigue un patrón universal sino que cada región tiene características propias.

2.2.1. ARQUITECTURA JESUITA

La Compañía de Jesús hizo su aparición en el siglo XVI y sus primeros edificios hubieron de acomodarse a los principios estéticos del Renacimiento. Las constituciones de la Compañía de Jesús no se refirieron nunca a iglesias y edificios con un estilo privativo de los jesuitas, ofreciendo reglas e indicaciones precisas para construirlos (Rodríguez 2002, 29).

Los jesuitas españoles no establecieron una teoría arquitectónica propia. Sin embargo, en el Colegio Imperial, se impartieron clases de arquitectura y se realizaron escritos, pero dirigido a sus alumnos y al público en general (Rodríguez 2002, 44). Las

principales lecciones que se enseñaron fueron matemáticas, cosmografía y arquitectura militar.

Fueron los difusores del estilo barroco pero sin introducir novedades como Borromini, Bernini o Vignola. La única novedad fue el uso de plantas circulares centralizadas, que derivaron a la forma oval y elíptica. Este tipo de planta acogía y aproximaba a los fieles al culto. La primera vez que se empleó fue en la pequeña iglesia del colegio sevillano de San Hermenegildo (Rodríguez 2002, 77), de traza elíptica traza diseñada por Pedro Sánchez en 1616, traza que repitió en San Antonio de los Portugueses. En ambos casos utiliza el eje mayor, como principal recorrido, para favorecer la longitudinalidad del espacio.

Su arquitectura tiene influencia del barroco italiano y realizó su actividad bajo el patrocinio de colegios, noviciados y templos, y en su configuración constructiva y ornamental fueron determinantes los dictámenes enviados desde el Colegio General de Roma (Tovar 2000, 21).

2.2.2. BARROCO MADRILEÑO O CASTIZO

La arquitectura barroca madrileña del siglo XVII es el resultado de una combinación de evocaciones clásicas con el estilo barroco que se estaba impulsando en la época. El aspecto que presentaba la villa consistía en casas de poca altura donde destacaban las torres y cúpulas con chapiteles de los edificios eclesiásticos. La tendencia a realzar el perfil de estos edificios en sus partes superiores es debida a la trama intrincada de los conjuntos urbanos, para que fuera más visible desde las plazas y plazuelas (Bonet 1984, 19).

Dentro de las obras eclesiásticas la cúpula de tambor situada a gran altura sobre pechinas es el principal elemento. Por lo general en España se remataban con chapiteles de pizarra de estilo madrileño, seña de identidad de la arquitectura española y principalmente de la capital. La mayoría, a partir de la gran iglesia de los jesuitas de Toledo de Bautista se hicieron con el sistema encamonado. Todas cubiertas con pizarra y con un tejadillo piramidal rematado por el tan castizo chapitel. El resto de cubriciones se realizaron siempre con teja.

En el exterior de las iglesias dominaban los volúmenes simples y claros donde el escalonamiento de las naves era típico. Las fachadas predominantes son dos tipos: por un lado se encuentran las formadas por un rectángulo vertical, flanqueado por pilastras, con pórtico de tres arcos y ventanales, con ladrillo de fondo y granito remarcando los huecos y elementos destacables, como ejemplo cabe destacar el convento de las Trinitarias Descalzas de San Ildefonso, aunque el Real Monasterio de la Encarnación y la iglesia del Sacramento, ambas situadas junto al Palacio Real, son modelos más ricos donde se emplea el granito en toda la fachada. El otro modelo de fachada que se difunde es la viñolesca, consiste dos plantas, la primera de tres cuerpos verticales y la segunda se uno solo, unida a la anterior por medio de aletones (Bonet 1984, 15-17). El segundo tipo de fachada fue diseñado por Vignola para el famoso Gesú, es decir para iglesias de tres naves, que son escasas en Madrid, aunque se puede citar la conocida iglesia de San José situada en la calle de Alcalá o el mejor ejemplo situado en Alcalá de Henares, el convento de las Bernardas.

Generalmente las plantas son de cruz latina, pero debido al elevado precio del suelo se componían de una cabecera y una nave transversal corta (Tormo [1927] 1985), pero se encuentran casos excepcionales de planta central, como la iglesia que se trata en este trabajo, que poseen capillas u hornacinas en su perímetro. En el caso de los espacios elípticos u ovals, las bóvedas se cerraron bajo la misma conformación, que fue transmitida incluso a la linterna si la hubiera.

En los interiores madrileños del XVII aparecen con mayor frecuencia las hornacinas, tribunas y recuadros que otorgan dinamismo al espacio. Siguen un tratamiento rítmico y simétrico que pueden alternarse con entradas adinteladas y arqueadas (Tovar 1983, 225). Las tribunas se relacionan en un principio con los jesuitas pero enseguida se generalizan y se convierten en un elemento imprescindible, incluso decorativo. Es como un templo superior, donde en algunos casos están conectados formando un deambulatorio, formando una relación con los triforios y galerías superiores medievales (Kübler 1957). Sin embargo, este no es el caso de la iglesia del presente estudio, donde las tribunas están cerradas con rejas.

Respecto a la decoración y ornamentación se encuentran dos tipos: la primera, estucada, a base de yeso, aplicada a capiteles, modillones o ménsulas, muy comunes bajo la línea de alero o cornisa del muro de la nave; y la segunda, pintada al fresco, que se empleaba

principalmente en las zonas altas de las iglesias. La decoración con frescos se difundió por Madrid a finales del siglo XVII y principios del XVIII (Tormo [1927] 1985), por su bajo coste y su seguridad.

2.2.3. MATERIALES

En los últimos años de reinado de Felipe II comenzó una crisis en el orden político, social y económico que afectó al reinado de los últimos monarcas de la Casa de Austria, dando paso al declive del imperio de Carlos V. Las guerras, la disminución de recursos, el endeudamiento, etc., repercutieron en el arte y en sus materiales. La arquitectura religiosa durante el siglo XVII buscó más por la cantidad que por la calidad estética. En Madrid se emplearon materiales modestos con un diseño repetitivo para abaratar los costes pero con un gran decoro que contribuye al despliegue de las artes.

Respecto a los materiales, se emplearon los recursos locales, obteniéndose de bosques de pinos y canteras cercanas a la capital. Las fachadas madrileñas de este periodo se caracterizan por la utilización del ladrillo rosado y colorado en todos los muros, junto con la piedra. Durante esta época se perfeccionaron las técnicas donde se empleaba el ladrillo.

Mientras que la piedra caliza y el granito se reservaban para zócalos, portadas y molduras, el granito también se utilizaba en las cimentaciones. La falta de mármol transportado a la capital propició el desarrollo de la madera en púlpitos y retablos. Los materiales menos utilizados fueron los mármoles, el jaspe y la piedra pulida, que eran exclusivamente utilizados en interiores donde se quería demostrar la riqueza a través de ellos (Bonet 1984, 17-18).

El grueso de la construcción se encomendaba al ladrillo, que exteriormente se enfoscaba e interiormente se recubrían con yeso, que contribuyó a la riqueza de la ornamentación en manos de grandes especialistas. Fray Lorenzo de San Nicolás ([1633-64] 2008) dice que Madrid “tiene famosos yeseros que lo entienden bien, y tratan mejor la yesería (que los arquitectos), y a mis mancebos sólo les pido que vayan a aprender en lo que otros hacen”. Estos maestros y oficiales labraron el yeso en molduras, capiteles, repisas y consolas. Aunque esta técnica tiene influencia italiana, España tiene una larga tradición heredada de los musulmanes (Bonet 1984). El yeso, además de ser blando y fácil de trabajar, tiene la ventaja de ser económico.

2.3. LA IGLESIA

2.3.1. HISTORIA

En 1606 se comenzaron las obras del Hospital de los Portugueses¹ en la parcela (figura 2.2.) formada por las calles de la Puebla y de la Ballesta con la Corredera Baja de San Pablo por orden de Felipe III. Este conjunto contaría con una iglesia pero por falta de fondos se tuvieron que aplazar las obras.

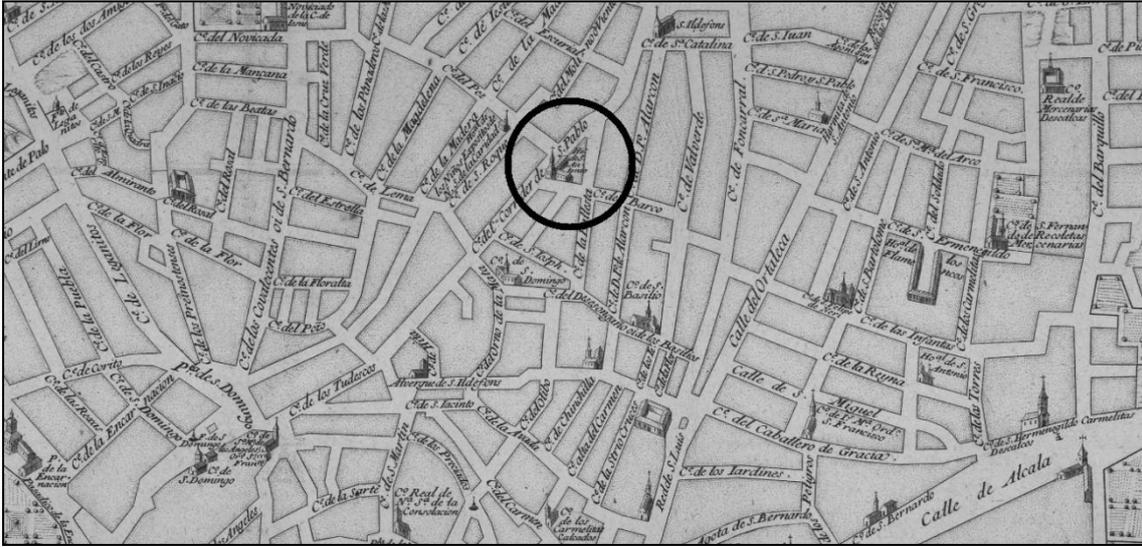


Figura 2.2. Madrid par N. de Fer Geographe de Sa Majesté Catholique; P. Starckman scrip, 1706.

En 1624, debido a la necesidad de un espacio de culto, se inició la construcción de la iglesia, autorizado por Felipe IV, cuyo proyecto fue trazado por el jesuita Pedro Sánchez y realizado por el maestro Francisco Seseña. Juan Gómez de Mora revisó el proyecto y la alineación de la fachada (figura 2.3.). Es una obra muy significativa debido a que queda reflejado, el método y estilo que poseen ambos arquitectos, tanto en la fachada como en el espacio interior, una de las trazas elípticas más destacadas del siglo XVII español.

La planta y los alzados fueron trazados, sin duda, por Pedro Sánchez, quien por aquellas fechas se hallaba ya en la Corte. El profesor Alonso E. Pérez Sánchez encontró un dibujo de su sección (figura 2.4.), firmado, en el gabinete de estampas de la Galería

¹ Su primera piedra se puso en 1608 y se abrió “a la calle” en 10610, Relaçam da fundação do Hospital Real de sancto Antonio dos Potugueses da Corte e da Irmandade dos devotos do sancto e compromisso que se ordena pera o governo della. (AHN. Consejos, legajo 16307).

Uffizi de Florencia², gracias al cual se ha confirmado la atribución al hermano jesuita y conocer la forma primitiva anterior a la configuración pictórica llevada a cabo con el monarca Carlos II (Pérez 1972, 49-50).



Figura 2.3. Pedro Sánchez: proyecto exterior para San Antonio de los Portugueses. Madrid, Archivo de la SPRH del Refugio (1624).

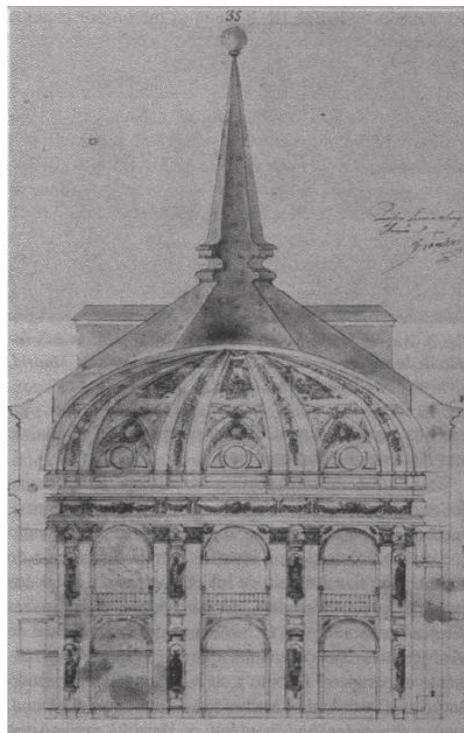


Figura 2.4. Pedro Sánchez: sección longitudinal de San Antonio de los Portugueses. Florencia, Uffizi, Gabinetto de Disegni.

² Existen algunas alusiones a la arquitectura interior de la iglesia en relación con el dibujo de los Uffizi, aunque breves y no suficientemente claras. Para empezar, el contrato de 1624 con Francisco Seseña no lo aclara. En primer lugar, se dice en los documentos que las esculturas de Morelli estaban sobre los pilares (ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes, legajo 515, n.º 13. Papeles del Administrador Diego Fernández Serrano). En el archivo de la SPRH, legajo 517 (3 de marzo de 1656) se menciona que el interior de la iglesia se abrían nichos entre las colosales pilastras para la colocación de las tumbas y que se cambió el proyecto para convertirlos en altares. En las cuentas del 23 de mayo de 1668, posteriores a la terminación de los trabajos de Morelli, se calculaba que eran necesarios 18.000 reales "para correr las columnas de jaspes, hacer zócalos a los remates de abajo y dorarlos y echar claveras..." (AHN de Madrid. Consejos, legajo 17.221). D. Juan de Laiseca se refería en el memorial del 23 de marzo de 1701 a la retirada de los retablos "para hacer mayores o menores los huecos" antes de que pintara Jordán y a "lo que se an mudado los nichos" para los nuevos retablos (Ibidem). Finalmente, Felipe Sánchez señala en el memorial de las obras realizadas en el Hospital e iglesia de San Antonio, fechado en noviembre de 1700, "el aumento de las obras de las hornacinas que tuvo mucho coste su fortificación y seguridad, como el hacer rozado las pilastras, basas y zócalo de la iglesia y jarrado toda ella y hechos diferentes macizamientos de fábrica y haber hecho el estuque para la pintura, los andamios para ella..." (ASPRH del refugio. San Antonio de los Alemanes, legajo 553, obras 1702-1703). En todos ellos hay que reconocer que el tema de las pilastras planas adosadas al muro elipsoidal, separando las hornacinas, no queda absolutamente claro.

Las obras se finalizaron en 1633 y la iglesia tomó el nombre de San Antonio de los Portugueses y estaba dedicada a San Antonio de Padua.

Desde 1640, el conjunto del templo y el hospital quedaron abandonados a causa de la independencia de Portugal, incluso firmado el Tratado de Lisboa en 1668 no se le dio ningún uso, hasta que en 1689, la Reina Regente Mariana de Austria, esposa de Carlos II, por medio de una Real Cédula, 27 agosto de 1689, que está en el archivo del Palacio Real, lo cede a los alemanes católicos que la acompañaron en la Corte. A partir de este momento, tras la intervención de Felipe Sánchez en 1690, se cambió la denominación a San Antonio de los Alemanes, permaneciendo el culto al santo portugués.

Con la llegada de la Casa de Borbón, el Rey D. Felipe V, en 1702, dio la administración del hospital con su iglesia y todos sus bienes, a la Santa, Pontificia y Real Hermandad del Refugio y Piedad (SPRH del Refugio), quien sigue siendo propietaria de este conjunto, debido a la pérdida del Noviciado de los jesuitas en 1701. La Hermandad del Refugio fue y sigue siendo una institución reconocida por sus actos de caridad hacia los pobres y los huérfanos desde su fundación en el año 1615. Durante la Guerra Civil el conjunto permaneció cerrado sin sufrir daño alguno.

Felipe IV fue el primer Rey que ingresó como Hermano en la Hermandad del Refugio y Protector del mismo. Desde entonces todos los reyes de España se han dignado ser miembros de la Hermandad del Refugio, con excepción de José Bonaparte y Amadeo de Saboya.

El 22 de mayo de 1973 se lleva a cabo la incoación para la declaración de monumento de la iglesia de San Antonio de los Alemanes situada en la Corredera Baja de San Pablo, nº 16, Madrid.

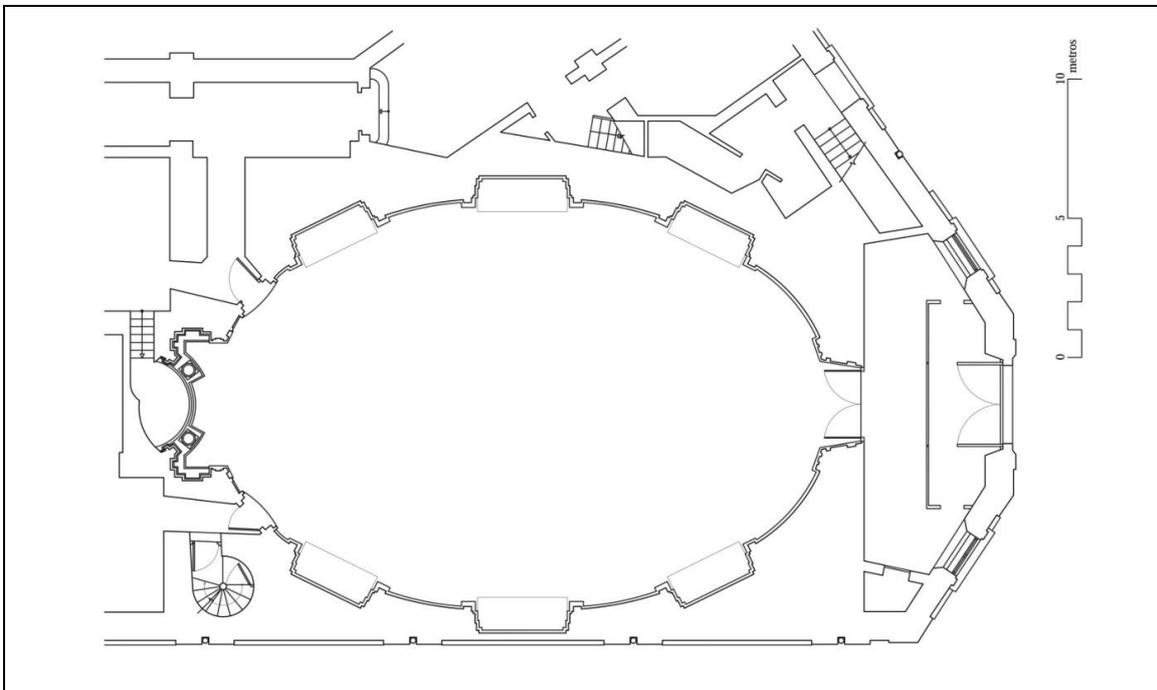
El 26 de julio de 1973 fue declarado monumento histórico artístico con carácter nacional por el DECRETO 2027/1973, en virtud a la propuesta del Ministerio de Educación y Ciencia.

La tutela de este monumento, que queda bajo la protección del Estado, es ejercida a través de la Dirección General de Bellas Artes.

2.3.2. DESCRIPCIÓN

La planta (figura 2.5.) y la bóveda que la cubre presentan una geometría elíptica. Pedro Sánchez conjuga aquí la planta centralizada con el modelo longitudinal localizando la entrada y el presbiterio (figura 2.6.) en los extremos del eje mayor, creando de este modo una amplia planta congregacional rodeada de capillas-hornacinas de forma simétrica cubiertas por arcos de medio punto, realizados con madera de pino con pintura fingida aparentando jaspe.

La elipse, muy utilizada en el barroco, otorga un gran dinamismo a toda la construcción. Su planteamiento se relaciona con las obras trazadas por Serlio o con Sant'Anna dei Palafrenieri de Vignola, siguiendo las pautas marcadas por la Contrarreforma.



*Figura 2.5. Planta de San Antonio de los Alemanes.
Reproducción del levantamiento de A. Berlinches y J.M. Merino de Cáceres (1974).*

La direccionalidad del eje mayor queda reforzada mediante la acentuación de sus extremos, la entrada y el altar mayor, neutralizando el eje menor al no colocar elementos tan destacados, las hornacinas o altares menores. Por otra parte, Pedro Sánchez, no hace coincidir los muros interiores del espacio elíptico con los exteriores, sino que los encierra en un rectángulo donde destaca la portada, acentuando la orientación del templo, que discurre desde la entrada hasta el presbiterio. Siguiendo esta disposición y trazado se puede asegurar que en este proyecto Pedro Sánchez siguió los trazados de Vignola.



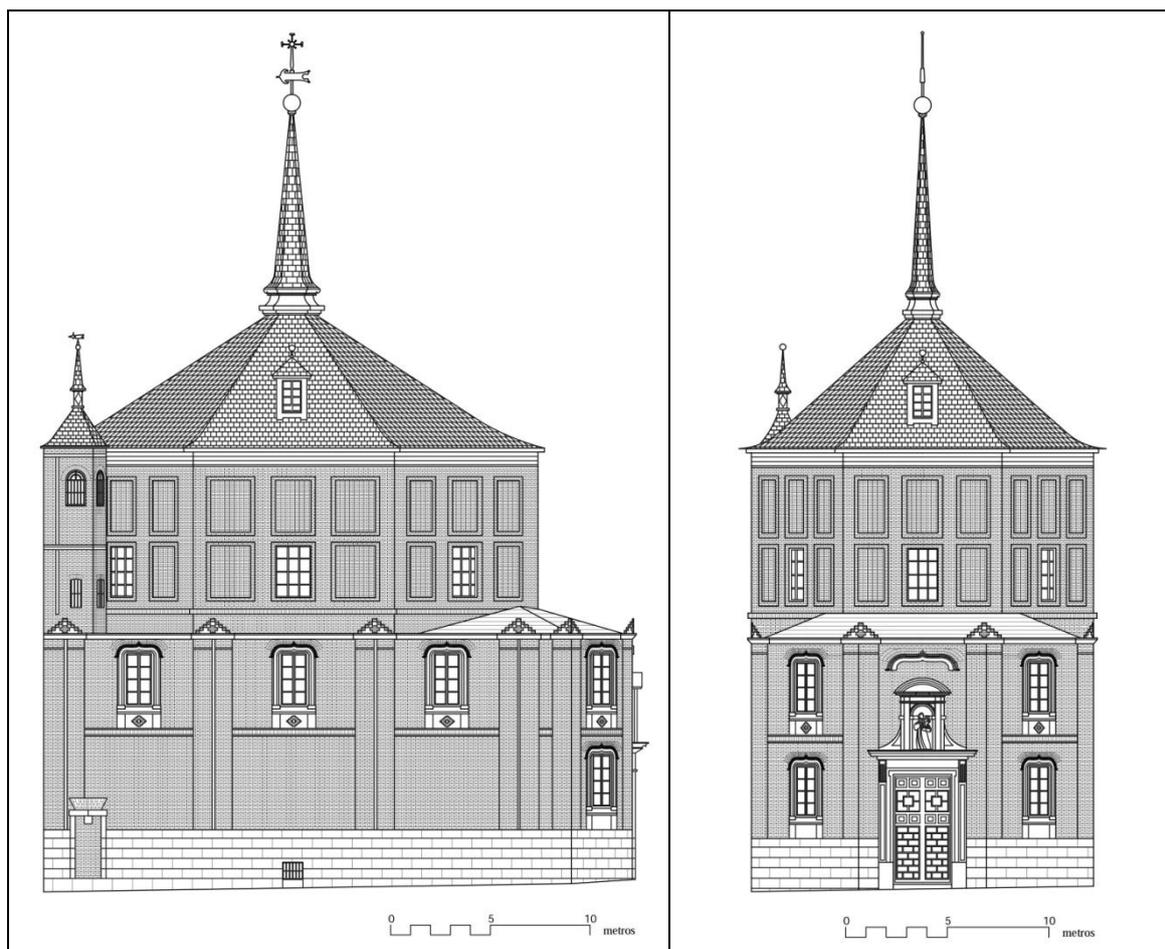
Figura 2.6. Presbiterio de San Antonio de los Alemanes.

La concepción de la fachada presenta tres elementos originados a partir de los tres puntos de vista externos desde donde se accede al templo (Tovar 1983, 276). Está realizada en sillería y ladrillo, que actualmente se encuentra revocado y pintado en color rojizo. Resalta el cuerpo central, obligando al eje mayor a salir a la calle y le aporta mayor importancia colocando una portada rectangular adintelada de granito, la cual pertenece al primer tipo del barroco, con una hornacina con el santo rematada con un pequeño frontón curvo quebrado y decorado con triglifos y metopas (figura 2.7.).



Figura 2.7. Hornacina de San Antonio de Padua.

El eje central se resalta por la construcción octogonal superior del templo coronado por el chapitel rematado con una aguja piramidal. La fachada se remata por el cuerpo exento de cúpula, la cual da una mayor verticalidad y monumentalidad a todo el conjunto (García y Martínez 2006, 123).



*Figura 2.8. Iglesia de San Antonio de los Alemanes. Alzados Sur y Oeste.
Reproducción del levantamiento de A. Berlinches y J.M. Merino de Cáceres (1974).*

El exterior es una entidad en sí misma que no ofrece datos sobre el interior. Mientras que en el exterior se presentan unos alzados austeros (figura 2.8. y 2.9.), faltos de ornamentación y de ángulos ortogonales, el interior muestra una continuidad sin esquinas con un alto despliegue decorativo. Incluso entre el templo y la fachada se encuentra un vestíbulo como elemento separador desde donde también se puede acceder a la cripta.

Las decoraciones pictóricas del interior³, realizadas a finales de siglo, están realizadas por los pintores de la Corte, Francisco Ricci y Juan Carreño de Miranda, y retocadas por

³ Archivo de la SPRH, legajo 517, 2, *Libro segundo de la Cofradía de San Antonio de los Portugueses*, “Estando o Excelentísimo Senhor Conde de Linares (Fernando de Noronha), provedr deste Hospital del Sr. San Antonio desta Corte y demás señores ermanos desta sancta casa en mesa de 31 de julio deste año de 1663 se ajustaron cuentas con Don Francisco Ricci y Joan Carreño, Pintores de su magestad, de lo recibido por cuenta de la obra desta sancta casa y alló aber recibido 31.558 reales, de que dieron carte de pago ante Francisco Bermudes”.

Lucas Jordán⁴, representándolas con una técnica ilusionista denominada trampantojo. En este único espacio sin columnas, pilastras, tambor ni linterna se crea una escenografía teatral, con un falso tambor sustentado sobre falsas columnas salomónicas, siendo uno de los despliegues artísticos más impresionantes de la Villa de Madrid (figura 2.10.).



2.9. Fachada de San Antonio de los Alemanes Figura 2.10. Bóveda de San Antonio de los Alemanes.

La iglesia tiene una cripta, con planta de cruz latina, formada por muros y bóveda de cañón rebajado de ladrillo, donde se enterraban a los enfermos que morían en el hospital si así lo deseaban y si contaban con los recursos necesarios. En este lugar se encuentran enterradas dos infantas de Castilla, doña Berenguela y doña Constanza, que anteriormente estuvieron en Santo Domingo el Real, pero pasaron a esta iglesia cuando el monasterio fue derribado. Sus lápidas rezan las siguientes leyendas:

“S.S^a. Infanta D^a Berenguela, hija del rey D. Alfonso X el Sabio titulado el Emperador, nació en 1253 debió morir en 1276.”

“S.S^a. Infanta D^a Constanza, hija de Fernando IV el Emplazado y de D^a Constanza de Portugal, debió morir 1312 a los 5 o 6 años de edad.”

⁴ Artista napolitano que cubrió con sus pinturas todas las bóvedas de los palacios e iglesias en los últimos años de la Casa de Austria (Guerra 1984). Destacando por su obra pictórica en Monasterio de El Escorial.

2.4. ARQUITECTOS

2.4.1. JUAN GÓMEZ DE MORA

Juan Gómez de Mora (1586-1648), sobrino de Francisco de Mora, es la figura más importante de la arquitectura española de la primera mitad del siglo XVII y creador de un sistema arquitectónico racional y emblemático (Tovar 1983, 70).

Creció y maduró en Madrid, motivo que le influenció en sus obras. En 1610 es nombrado Maestro Mayor de las obras del Alcázar de Madrid y arquitecto Mayor de Felipe III y posteriormente de Felipe IV. Es el primer arquitecto que dio una configuración personal a la capital, cuyo estilo se extendió a otras ciudades.

En la corte española fue el eje sustancial. Su amplia concepción de la arquitectura le convirtió en la base de la arquitectura del Estado. Llevó a cabo unos trazados en perfecta armonía con su tiempo. Y se convirtió en un favorito de los altos poderes (Tovar 1983, 67).

Antes que la iglesia de San Antonio de los Portugueses fuese trazada, Juan Gómez de Mora diseñó la iglesia de las Bernardas de Alcalá de Henares por encargo del Arzobispo de Toledo, en 1617. Por este motivo resolvió con mayor facilidad el cierre de la iglesia de San Antonio. Hay que añadir que este templo presenta una traza compleja de gran importancia para la época, donde se aprecia la comprensión e interiorización de los conceptos arquitectónicos tanto en Juan Gómez de Mora como en Pedro Sánchez.

2.4.2. PEDRO SÁNCHEZ

Pedro Sánchez (1569-1533), maestro de obras jesuita, es reconocido por la iglesia de los Santos Justo y Pastor de Granada, 1614, cuya cúpula de influencia escurialense está decorada con yesería. Sin embargo, en este trabajo, es de interés mencionar el Colegio de san Hermenegildo de Sevilla, 1614, debido a que fue su primera planta elipsoidal insertada en un rectángulo donde intercala arcos y hornacinas, modelo que repite en la iglesia de San Antonio de los Portugueses, aunque la zona superior está inscrita en un octógono. Es una traza derivada de Jacopo Barozzi da Vignola, iglesia de Sant'Anna dei Palafrenieri, Ciudad del Vaticano, 1570 (Tovar 2000).

En 1619 llegó a Madrid, mostrando un modelo arquitectónico alternativo al modelo escurialense de Juan Gómez de Mora. Sus obras en el ámbito madrileño muestran el primer contacto con el barroco italiano de C. Fontana, F. Poncio y de Maderno (Tovar 2000, 27).

Su muerte dejó inacabada la iglesia de San Antonio de los Portugueses, al igual que obras tan destacadas como el Colegio Imperial de los jesuitas (actual catedral de San Isidro), o el Colegio Máximo de Alcalá de Henares. Fue el hermano Francisco Bautista (1594-1679) quien se encargó de sucederle y sobresalió junto al teórico Fray Lorenzo de San Nicolás (1595-1679) en las obras de los templos barrocos madrileños.

2.5. INTERVENCIONES

En el plano de Texeira de Madrid (figura 2.11.), 1656, aparece representada la iglesia (figura 2.12.). Aunque las intervenciones que ha sufrido han modificado su apariencia.

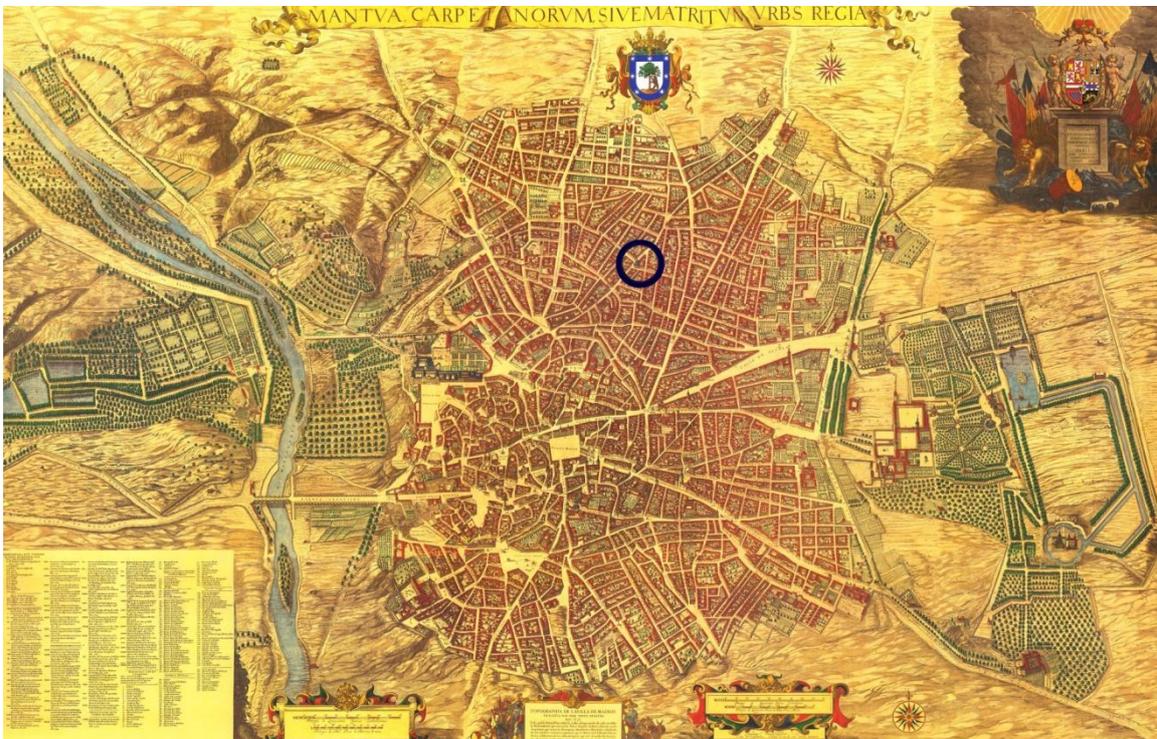


Figura 2.11. Plano de Texeira de Madrid. 1656.

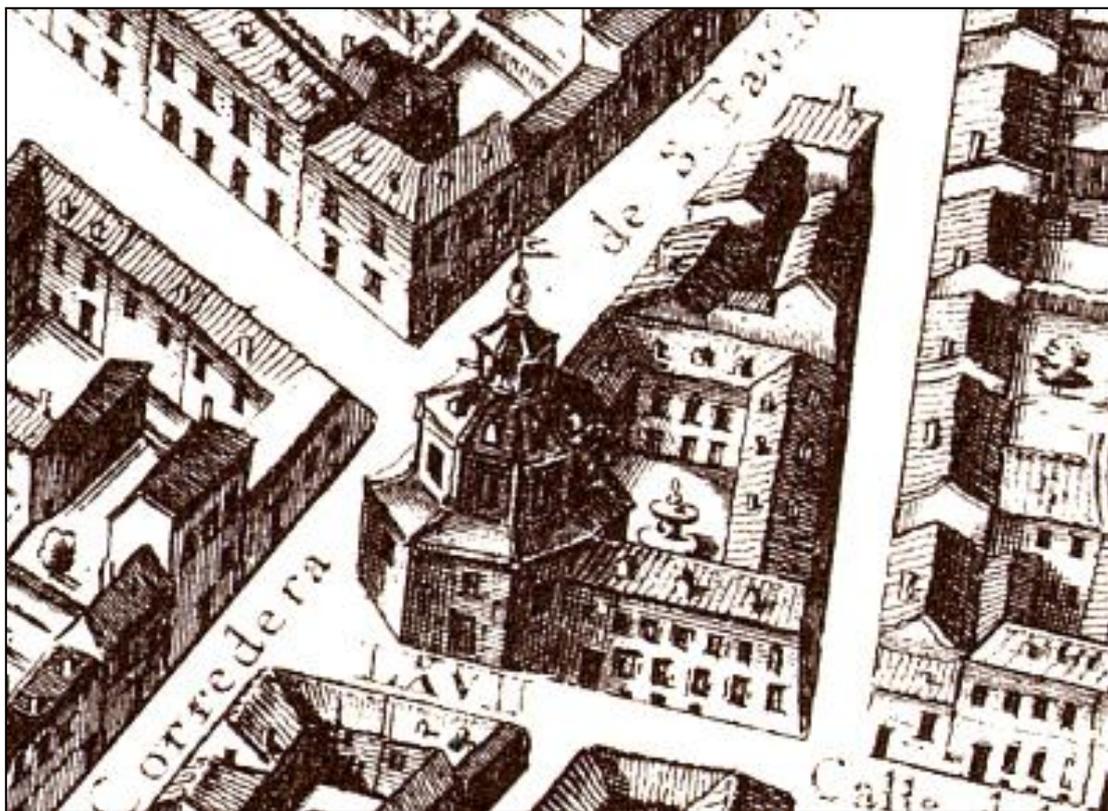


Figura 2.12. San Antonio de los Portugueses. Plano Texeira de Madrid. 1656.

2.5.1. FELIPE SÁNCHEZ (1690)

En 1690, el arquitecto Felipe Sánchez realizó obras importantes por amenaza de ruina en el templo, con un presupuesto que alcanzó los 500 Ducados (De Cossío 1923). Se reforzaron los muros y se cambió el circuito distribuidor superior entre las tribunas, sin necesidad de tocar la bóveda ni sus frescos, que fueron simplemente retocados y completados por Lucas Jordán. También fue desmontado el chapitel que se elevaba sobre el cuerpo octogonal, según el proyecto de Pedro Sánchez.

Es probable que Felipe Sánchez aprendiera la técnica relacionada con el trazado elíptico en la restauración de San Antonio de los Portugueses y por ello se atreviera con el diseño en el panteón de los duques del Infantado. Además de ser una técnica audaz, la traza elíptica tenía una gran carga de simbolismo religioso propio de la época (Fernández 1997).

2.5.2. D. L.M. RUÍZ, D. FRANCISCO PRIETO Y D. J.M. MARTÍN VIDAL. (1755)

En el Legajo 546 nº 5, 36 del ASPRH del Refugio (1755) aparece un documento firmado por los arquitectos maestros de obras nombrados por el Señor Corregidor⁵ de la Villa y por los Señores del Real Consejo de Castilla para el reconocimiento de los edificios, templos y Casas de la Corte. Al igual que una carta, firmada el 10 de diciembre de 1755, dirigida a al Excelentísimo Sr. Duque de Arcos, protector de la Hermandad del Refugio, informando sobre los daños ocasionados en la iglesia por el terremoto producido el 1 de noviembre de 1755.

“Aberturas sobre los altares colaterales en la portada interior. La de la derecha es debida a un asiento anterior de la fábrica. La que se manifiesta en la ventana superior y su luneto es leve y de ninguna consideración. Hay otra a la izquierda de la entrada dando a la calle Corredera Baja de San Pablo de mayor altura también por asiento anterior, más abierto en la unión del zaguán con la nave por el terremoto. La abertura, que sigue más arriba del luneto y parte de la media naranja pintada, y otra más dentro en la capilla inmediata a la entrada de la Sacristía y en la fachada a la calle, del mismo alto que las antecedentes y también del asiento de la fábrica, pero la otra se manifiesta reciente por el terremoto inmediato, continuando sobre la ventana, su luneto y parte de la media naranja. No obstante no tiene peligro alguno toda esta fábrica.

Bien que vi, para precaverla de mayor daño en semejante acontecimiento, que Dios no permita en otro equivalente, circundar la iglesia por el ochavado superior y exterior con dos cintas de llaves de cuatro dedos de ancho por uno y medio de grueso y bolones en los ángulos. Una bajo ventanas y otra sobre ellas inmediatamente bien atirantadas y embebidas superficialmente en la pared del ochavado exterior y sostenidas con pernios

⁵ Corregidor de la Villa de Madrid. D. Juan Francisco Luján y Arce nombrado en 1753 hasta 1765. Funcionario real cuya función era promover y ejecutar todo tipo de obra pública, mantener la salubridad y la seguridad, garantizar los abastos de las poblaciones, establecer los precios según los criterios escolásticos de la época, verificar pesas y medidas, evitar el contrabando, las mercancías prohibidas y en general guardar los buenos usos del comercio que incluían la prohibición de las usuras.

En lo referente a la construcción se encargaba de promover y ejecutar todo tipo de obras públicas de nueva construcción, conservación y mantenimiento de lo existente, licencias de urbanismo. Así mismo, controlar que las mismas se hicieran con los presupuestos de costes razonados y votados en el seno del concejo.

metidos por debajo de ellas, y guarnecidos con cal, con su recibo de fábrica de ladrillo las aberturas por fuera de arriba abajo, abriéndolas a trechos, y macizándolas bien con cal y yeso, ejecutando después su correspondiente revoco. Con sus andamios y mano de obra dejándolo a satisfacción, treinta mil Reales, poco más o menos.

En cuanto a las aberturas interiores y las de los lunetos, y media naranja, hallándose, como se hallan, en pintura al fresco, y tan exquisita de famosos Pintores, se deberá encargar a un Pintor práctico, y de habilidad conocida, que este haga cerrar dichas aberturas a su satisfacción con yeso de cuerpo, y no líquido, que no corra, y eche a perder las demás pinturas, teniendo también cuidado de sacarlas antes el polvo con fuelles, para que el Pintor lo componga bien con nueva pintura a imitación de lo que está pintado, lo cual con sus respectivos andamios tendrá un coste de diez mil Reales, poco más o menos.”

2.5.3. D. LUIS PANÉ (1870)

En 1870 se produce el desprendimiento de parte de la cornisa de la iglesia de San Antonio de los Alemanes. Rápidamente la Hermandad contrata los servicios de D. Luis Pané para su restauración, comenzando el 3 de mayo de 1870 y finalizando el 21 de diciembre del mismo año con un presupuesto de 18.211,05 pesetas (ASPRH 1870).

2.5.4. ANTONIO RUIZ DE SALCES (1881)

La documentación y los planos referentes a esta intervención fue trasladada al Archivo Histórico Nacional, en el archivo de Antonio Ruíz de Salces (1881), dejando únicamente en el Archivo de la Hermandad los informes de las Juntas.

La Junta Directiva de la Hermandad del Refugio encargó la obra de reforma de la iglesia, Colegio de Niñas Huérfanas y hospital de la Hermandad, el 12 de febrero de 1881, a Pedro Oller y Cánovas, Félix Pérez y Antonio Ruiz de Salces.

En mayo de 1881 se presentó un anteproyecto de reedificación y la Comisión de Obras aprobó los trabajos el 24 de mayo acordando remitirla a la Junta de la Hermandad, la

cual lo aprobó el 2 de junio de ese mismo año. Finalmente, en una reunión de Hermanos, se aprobó el 10 de enero de 1882.

El 28 de febrero de 1882 se comprobó la superficie del templo, 392.794 m², así como que la delineación de proyecto de fachada estaba dentro de los límites de la parcela.

En el proyecto se pretendió dar independencia y mejorar las condiciones de los espacios teniendo en cuenta las Reales órdenes originales del proyecto de construcción las ordenanzas municipales que limitaban el número de pisos.

La primera piedra la colocó Alfonso XII y María Cristina de Habsburgo, el día 8 de mayo de 1885 y la construcción se terminó en 1887, festejándose la inauguración los días 6 y 7 de febrero de 1888 (ABC 1982, 40).

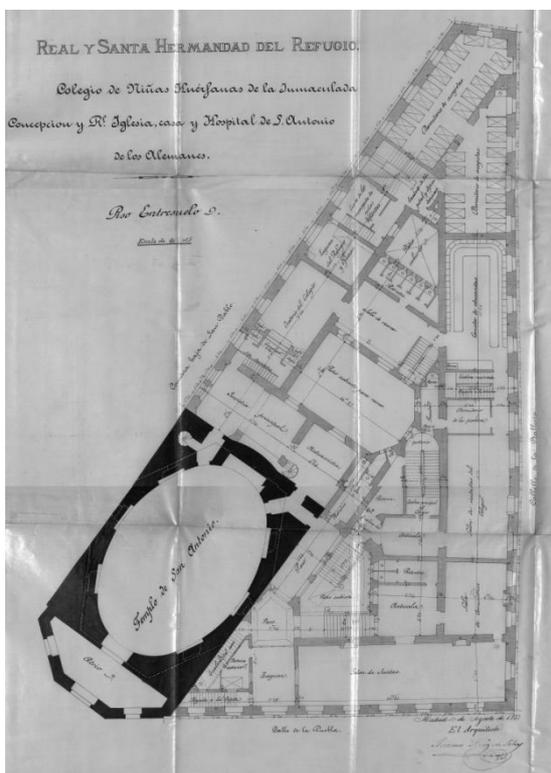


Figura 2.13. Planta del conjunto de la Hermandad del Refugio, Colegio e iglesia de San Antonio de los Alemanes. Antonio Ruíz de Salces. 1881.

La decoración que añadió Ruiz de Salces al exterior corresponde a un estilo ecléctico plateresco renacentista. Sin embargo, no se tocó la entrada del templo que se tenía pensado modificar por respetar la opinión y evitar el disgusto de la gente del barrio.

La iglesia se conservó tal y como estaba agrandando la sacristía, que mediante una antesacristía se da acceso por la calle de la Puebla cruzando el zaguán y una galería adosada al templo. También se abrió una entrada a la cripta desde el zaguán a través de una escalera (imagen 2.13).

Los alzados no están bien definidos (figura 2.14.) ya que lo que interesa es el desnivel tan pronunciado de la calle de la Ballesta y de la Corredera Baja de San Pablo con sillerías. Se detallaron la distribución de huecos y la ornamentación realizada con fábrica de ladrillo. La ejecución se realizó sin ningún tipo de lujos, utilizando ladrillo ordinario, ya que era un requisito para que el proyecto fuese aprobado por la Junta.

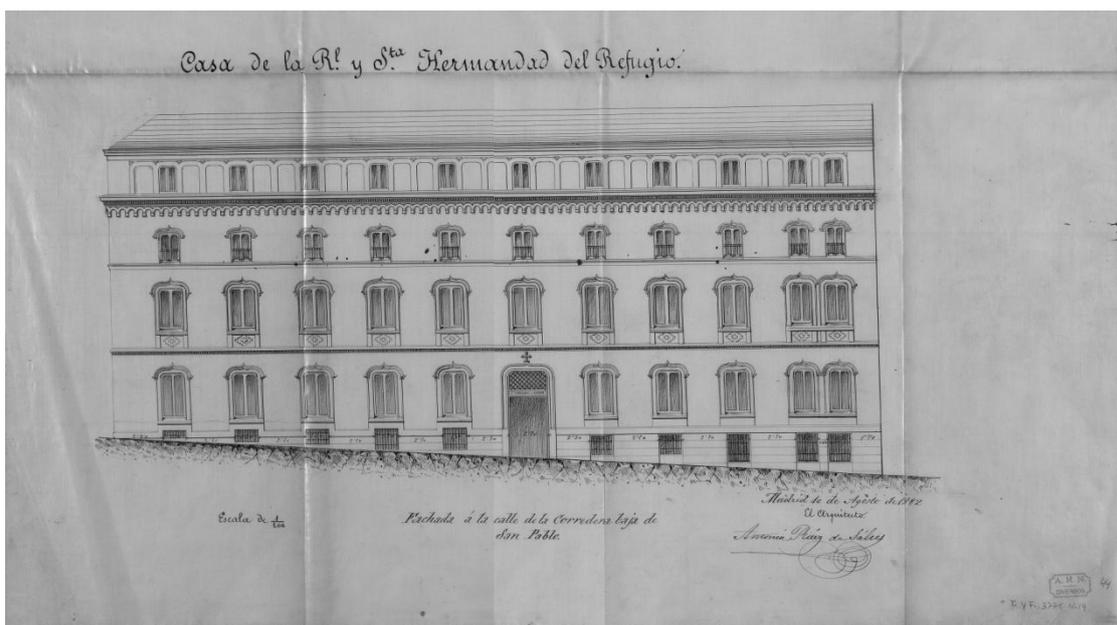


Figura 2.14. Alzado de la Hermandad del Refugio. Antonio Ruíz de Salces. 1881.

Las condiciones de los edificios en torno al templo eran inhabitables, dejando la incertidumbre a la Hermandad si debían vender o reconstruir. La venta no daría suficiente dinero por lo que se decidió reconstruir debido a que la situación donde se encuentra ubicado daría una mayor rentabilidad.

La conservación del templo salió muy costosa pero de no haber actuado de esta manera el Sr. Cardenal Arzobispo de Toledo y del Auxiliar de Madrid hubiese obligado a construir uno nuevo en otro emplazamiento y trasladado la Hermandad, haciendo que aumentase considerablemente el coste. Aunque no se hizo solo por el presupuesto, ya que el emplazamiento era inmejorable para la Hermandad, muy céntrico y rodeada de buena vecindad y calles seguras que los Hermanos no estaban dispuestos a cambiar. Además, ya eran muy conocidos y respetados en la zona por la antigüedad y su labor.

La Hermandad disponía de fondos suficientes por lo que las obras se comenzaron nada más aprobarse sin tener que hacer trámites de solicitud de capital al Gobierno.

Esta reforma cambió la composición exterior de todo el conjunto, así como, de la cubierta de la iglesia, que se cambió por teja plana y punta de diamante, haciendo pasar desapercibido el templo y su importancia monumental del proyecto de Pedro Sánchez, que figura en el plano de Texeira.

2.5.5. D. FRANCISCO IÑIGUEZ ALMECH (1946)

A causa de los deterioros ocasionados por el tiempo, se hizo preciso restaurar las pinturas de los muros, obras de los artistas Ricci, Carreño y Lucas Jordán. Las obras y su coste corrieron a cargo del Estado.

Empezaron en el año 1946 y terminaron en 1948, interviniendo en la dirección de los trabajos Sánchez Cantón y D. Francisco Iñiguez Almech, y siendo realizados por los restauradores de la plantilla del museo del Prado D. César Prieto Martínez, D. Manuel Pérez Tormo y D. Julio Donato Díaz (ASPRH 1946).

El presupuesto presentado por Isaac Anega para la restauración de las pinturas del zócalo asciende a 975 pesetas.

Antes de esta restauración se instaló un sistema de calefacción en la iglesia siguiendo el propuesto por el Director del Museo del Prado, sistema por aire caliente con filtro de la casa Hauser y Menet.

2.5.6. VALCÁRCEL (1974)

El 14 noviembre de 1963 se produjo un desconchado en las pinturas en la bóveda, en la zona cercana a la entrada, produciéndose un desprendimiento y la entrada agua durante los días de lluvia, dando cuenta de ello el capellán de la iglesia y el Sr. Inspector. El 21 de noviembre del mismo año, el Sr. Comisario de Obras realizó una inspección y realizó un arreglo temporal sin coste alguno para la Hermandad (ASPRH 1963).

La Junta Directiva lo comunicó a la Junta de Gobierno y, tras tres meses, un arquitecto de Bellas Artes realizó un informe comunicando que había peligro de deterioro y desprendimientos de pinturas. Sin embargo, la tarea de restauración no fue llevada a cabo por falta de fondos, y no fue hasta el 4 de diciembre de 1969, cuando se publicó en el nº 290 del BOE, que el Ministerio de Educación y Ciencia se encargaría de las actuaciones necesarias para la conservación del Patrimonio Histórico-Artístico, previa aprobación económica e informe técnico, que la Hermandad enviase solicitud, 13 de diciembre de 1969, para la reparación y consolidación de la bóveda, aprobándose el día 19 del mismo mes. Esta intervención tendría que esperar hasta que el templo de San Antonio de los Alemanes fuese declarado monumento en 1973, pasando el proyecto a

manos del José M. González Valcárcel y con un anticipo de dos millones de pesetas (ASPRH 1973).

La Dirección General del Patrimonio encargó el proyecto de restauración al arquitecto don José Manuel González de Valcárcel, cuyo objetivo fue el de recobrar el perdido chapitel. El presupuesto que se destinó fue 4.993.227,23 ptas. y la duración fue de 2 años. En este proyecto intervinieron Amparo Berlinches Acín y José Miguel Merino de Cáceres como arquitectos, y Federico Prieto en la toma de datos y delineado de planos.

Hay constancia, en el Archivo de la Hermandad del Refugio, de una carta escrita por el aparejador Pedro Hurtado Ojalvo dirigida a D. Joaquín Pérez Villanueva, Director General de Bellas Artes, fechada el 4 de julio de 1974, en la cual se hace constancia del mal estado de la cubierta y como afecta a las pinturas, refiriéndose al desprendimiento de fragmentos, los cuales se recogen para que el Instituto de Restauraciones pueda fijarlo nuevamente.

En la memoria de dicho proyecto se describe en que consistieron las obras, las cuales pretenden devolver el chapitel con su bola, proyectado por Juan Gómez de Mora. Se desmontó la cubierta de teja plana, de la intervención de Ruiz de Salces, y sus armaduras correspondientes. Se realizó un saneamiento de la coronación de muros y su cajeado para colocar el zuncho perimetral de hormigón armado, realizado con 100 Kg de acero por m³ y hormigón de 350 Kg de cemento, fijándose placas de anclaje de la nueva armadura del chapitel. Se completó con una losa de contrapeso de hormigón, con una proporción de acero de 20 Kg/m² y hormigón de 350 Kg de cemento (ASPRH 1975).

La estructura metálica está formada por ocho cerchas que forman la cubierta octogonal, construida con perfiles metálicos VPN 140-240, IPN 140-160 y H-GREY 120-140-160-180-200, electrosoldados y pintados con dos manos de ninio, detallándose los nudos en los planos de estructura correspondientes, obtenidos del IPCE.

Los faldones están formados con doble tablero de rasilla con tela metálica intermedia entre perfiles, colocándose un revestimiento de yeso de 3 cm para la colocación de la cubierta de pizarra, de 50x30 cm, con clavos y ganchos especiales.

Se colocó la bola de zinc actual y se añadió planchas de plomo de 2 mm en la zona de la aguja.

Las obras de albañilería llevadas a cabo consistieron en el repaso de los paramentos verticales y las cornisas, restaurando las zonas en mal estado y desprendidas.

Se sustituyó la línea eléctrica del trasdós de la bóveda por peligro existente de cortocircuito al estar los cables sin protección, y se colocó un pararrayos ionizante.

2.5.7. CABBSA (2003)

En mayo de 2003, tras 16 meses, la empresa CABBSA finalizó los trabajos de restauración de los daños interiores producidos por humedad (figura 2.15.). También se hizo una prolongación del alero y se repararon las fachadas y la cubierta de la iglesia. Se contó con un presupuesto de 975.000 €.



Figura 2.15. Andamios durante la intervención de CABBSA en la iglesia de San Antonio de los Alemanes.

2.5.8. MARTA FERNÁNDEZ DE CÓRDOBA GARCÍA-LOYGORRI (2015)

La intervención en el retablo mayor (figura 2.16.), de Manuel Fernández, de la iglesia se inició en marzo de 2015 y han finalizado en julio del mismo año. Ha sido impulsada y dirigida por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, a través del Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE). Supuso una inversión de 43.808 € y fue dirigida por Marta Fernández de Córdoba García-Loygorri, restauradora de escultura del IPCE, y los trabajos de restauración, han sido realizados por la empresa Altramentum, Conservación y Restauración de Obras de Arte, adjudicataria del proyecto.

El objetivo del proyecto ha sido frenar el avance de la degradación y lograr una estabilidad química y estructural. Ha consistido en la consolidación y fijación de todos los elementos que forman el retablo; limpieza y reintegración de los diferentes materiales que lo componen, como madera, mármol, metal, estucos etc., y la protección de toda la superficie, teniendo en cuenta la diferente naturaleza de los mismos. Asimismo se ha llevado a cabo un importante proceso de documentación gráfica y fotográfica de todos los trabajos y se han colocado en la iglesia paneles explicativos de la intervención.



Figura 2.16. Lona de seguridad con dibujo del altar mayor de San Antonio de Padua.

3. BÓVEDA ENCAMONADA

La mala calidad de los ladrillos, la carencia de canteras y el exceso de madera propiciaron el perfeccionamiento de falsas bóvedas pero sin techumbres aparentes, la bóveda encamionada, el barato sistema constructivo del barroco madrileño (Tormo [1927] 1985). Todas las bóvedas, lunetos, pechinas y cúpulas se realizaban con armaduras de madera ocultas. Este sistema constructivo está ligado a dos figuras de gran talento: Fray Lorenzo de San Nicolás y al hermano jesuita Francisco Bautista⁶.

3.1. ORIGEN

A mediados del siglo XVI, el arquitecto francés, Philibert de L'Orme planteó la posibilidad de cubrir grandes espacios con una sucesión de arcos de madera (figura 3.1.), hechos con camones, unidos con correas pasantes, consiguiendo una bóveda; y lo utilizó en la cubierta del castillo de Limours. Sin embargo, los tratadistas españoles de este periodo no hicieron mención de esta propuesta.

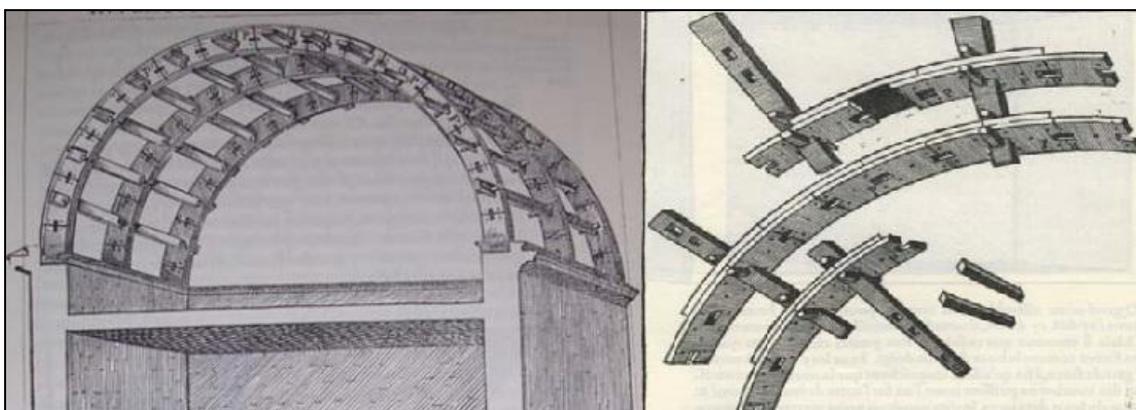


Figura 3.1. Cerchas encamionadas. De L'Orme, 1561.

⁶ Bautista (inventó un nuevo orden arquitectónico peculiar, mezcla de elementos extraídos del toscano, jónico y corintio que se puso de moda en la Corte y en toda Castilla) fue, además de arquitecto, un ensamblador de retablos comparable con Pedro de la Torre, y es considerado un gran carpintero a quien se le atribuye la invención de la cúpula encamionada, muy elogiada por Fray Lorenzo de San Nicolás (Rodríguez 2002), que fue discípulo de Bautista y conocido como gran tratadista y difusor de la bóveda encamionada (Bonet 1984).

El sistema encamonado fue empleado por primera vez en España por el hermano Bautista (Bonet 1984), en el Colegio Imperial de San Isidro de Madrid⁷, y es el recurso típico madrileño. Aunque, en 1587, Nicolás de Vergara El Mozo, durante la reconstrucción de la iglesia de Santo Domingo El Antiguo en Toledo, con proyecto de Juan de Herrera, señaló que debían incluir arcos encamonados en la armadura de la cúpula de media naranja.

3.2. DIFERENCIA ENTRE LA BÓVEDA ENCAMONADA FRANCESA Y LA DE CASTILLA

La diferencia entre las bóvedas de Philibert de L'Orme y las de España está en la concepción estructural del sistema. Con la propuesta francesa (figura 3.2.) se obtiene una estructura autoportante, cuyos elementos se trataban a presión entre sí mediante clavijas de madera, evitando los clavos de hierro. En cambio, en Castilla (figura 3.3.), se realizaron sin pretender que tuviese una función estructural, porque los arcos de madera se fijaban sobre una armadura oculta en el intradós o sujetados de una estructura más elevada (Hurtado 2013). Consiste en colocar una cámara entre la superficie y el exterior con tirantes de madera, recubiertos de yeso. Este procedimiento aligera notablemente el peso de la bóveda, haciéndola igual de vistosa (Tormo [1927] 1985).

⁷ La iglesia fue construida entre 1622 y 1664 por los arquitectos jesuitas Pedro Sánchez, y Francisco Bautista, y consagrada el 23 de septiembre de 1651 por el Nuncio don Julio Raspelosi, bajo la advocación de San Francisco Javier.

Desde el punto de vista de su arquitectura, Pedro Sánchez siguió el modelo adoptado en la iglesia del Gesú de Roma, una planta de cruz latina de una sola nave, con capillas laterales, crucero y cúpula. En el exterior destaca su fachada monumental, labrada en granito, y que consta de un cuerpo central de cuatro columnas corintias, flanqueado por dos pilastras del mismo orden a cada lado. Sobre este cuerpo, se levantan dos torres de planta cuadrada que no se llegaron a concluir.

El Colegio Imperial fue quizá la institución más relevante del Madrid del Antiguo Régimen, sobre todo a partir de 1627 con la fundación dentro del mismo de los Reales Estudios de San Isidro.

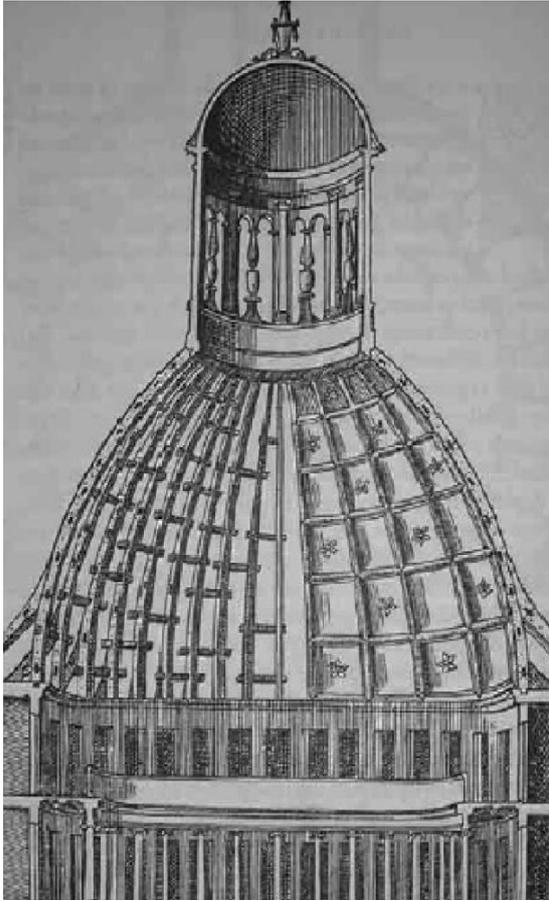


Figura 3.2. Sistema francés. Lámina de armadura de madera de Philibert de L'Orme, 1561.

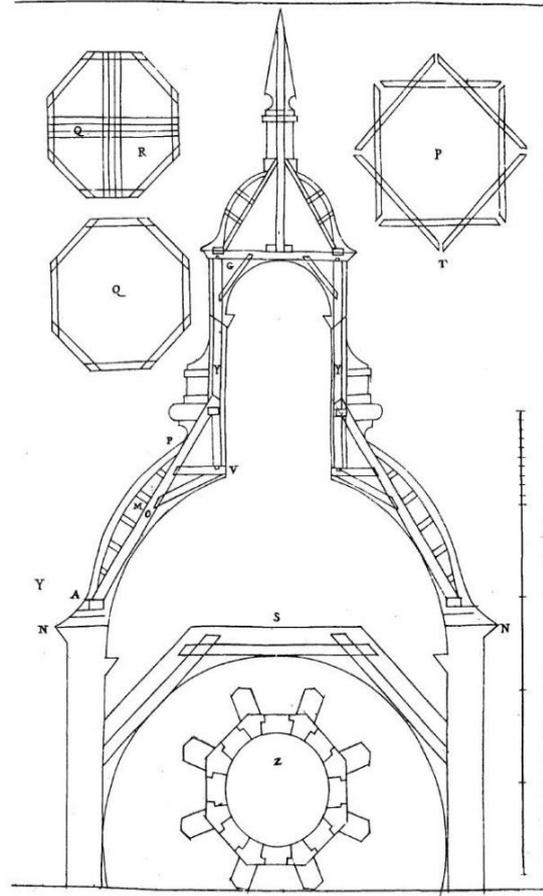


Figura 3.3. Sistema Castilla. Lámina de Fray Lorenzo de San Nicolás mostrando la armadura de un chapitel de madera. 1639.

Este sistema permitió abrir grandes espacios, otorgando gran vistosidad sin los gastos ni inseguridad de las cúpulas hechas de piedra, las cuales suponían un costo cuatro veces superior al de una bóveda encamonada (Hurtado 2013). Su repercusión en plantas y alzados fue inmediata, comenzando por la eliminación de los contrafuertes interiores entre las capillas interiores y el levantamiento de muros de menor espesor, con lo que se aumentaba la superficie interna y mejoraban las características frente a movimientos sísmicos, de ahí que se exportasen a las colonias americanas. No obstante, aunque fueron numerosas sus construcciones también lo fueron los incendios que acabaron con la mayoría de ellas.

3.3. TRATADOS

Varios tratadistas explicaron las bóvedas de madera como Diego López de Arenas o Sebastiano Serlio (1545) pero Philibert De l'Orme (1567) fue el primero en escribir y hacer uso de sistema constructivo, aunque el difusor del sistema encamonado en España y principalmente en Castilla fue Fray Lorenzo de San Nicolás con su manuscrito *Arte y Vso de Architectvra* ([1633-64] 2008).

3.4. CONSTRUCCIÓN

Según la descripción de Fray Lorenzo de San Nicolás en el *Arte y Vso de Architectvra* ([1633-64] 2008), una bóveda encamonada debía suspenderse necesariamente de las vigas del forjado, en donde se dispondrían dos viguetas en el sentido longitudinal y éstas se conectarían con los jabalcones de las vigas. A continuación las cerchas confeccionadas con camones se colocarían desde un durmiente de madera definiendo el arranque de la bóveda, debiendo tomar contacto con los jabalcones, las viguetas longitudinales y la parte media de la viga de forjado. Estas bóvedas se podrían tabicar con ladrillos en la zona del arranque dejando las piezas de madera anudadas con esparto para luego ser recubierto con yeso.

La transmisión de la técnica constructiva se difundió no sólo por los textos de arquitectura sino también por imitación de las bóvedas ya levantadas, donde Alcalá de Henares fue un gran foco de construcciones con bóvedas encamonadas.

La madera empleada en las bóvedas encamonadas del siglo XVII es de *Pinus Silvestris*, con clavos de hierro en las uniones y en las intervenciones que se han ejecutado en esta bóveda se ha empleado el mismo material, reforzando las uniones con pletinas y tirafondos de acero y se ha cubierto para soportar la nueva cubierta con perfiles IPN-140, en las vigas horizontales, con angulares en L de 30x3 cada 380 m/m de sujeción de las tejas planas, y con perfiles IPN-320, en las oblicuas, con angulares en L de 70x7 y con roblones cada 120 m/m.

3.5. ELEMENTOS

Durmiente: actuaba como elemento de confinación al muro transmitiendo el peso de la armadura.

Vigas o tirantes: Son los principales elementos estructurales del sistema de bóveda encamionada que servían para el apoyo de las correas laterales que conectaban los listones a los arcos.

Jabalcones: elementos estructurales colocados entre el muro y las vigas, sirviendo como soporte de éstas y ayudaban a reducir la luz. Fijaban la posición de los arcos, que eran clavados lateralmente a ellos.

Correas: viguetas de madera dispuestas longitudinalmente en el sentido de la nave de la iglesia. Se apoyaban sobre las vigas principales y los arcos se colgaban de ellas.

Arcos: formados por una línea de camones y otra de contracamones. Eran colocadas contrapeadas y estaban unidas mediante clavos para reproducir la curvatura que se necesitase.

Listones de sujeción: piezas de madera colocadas verticalmente que entrelazaban los arcos con las correas.

Enlistonado: elemento de cerramiento. Se rodeaban con cuerdas de esparto para mejorar la fijación del revoco de yeso. El modo de fijar el yeso era picando pequeñas concavidades en las tablas aunque luego se dejaba un espacio entre los listones que permitía al revoco envolver y formar un conjunto con la madera.

Encañado: cuando no se empleaban listones de madera para cerrar la bóveda se realizaba un tejido con cañas partidas extendidas longitudinalmente.

4. METODOLOGÍA Y LEVANTAMIENTO

Con el levantamiento arquitectónico se pretende generar una documentación gráfica de la bóveda. El instrumental empleado ha sido, básicamente, una estación total láser con precisión ± 2 mm para la obtención de las coordenadas de los puntos, y un programa de CAD, Rhinoceros 5.0, para el modelado tridimensional de la bóveda y la obtención de los diferentes planos y perspectivas de la misma.

4.1. LA ESTACIÓN TOTAL

Se conoce con este nombre al instrumento que integra en un solo equipo las funciones realizadas por el teodolito electrónico, un medidor de distancias electrónico y un microprocesador para realizar los cálculos que sean necesarios para determinar las coordenadas de los puntos del terreno.

El manejo y control de las funciones se realiza por medio de la pantalla y el teclado, las funciones principales se ejecutan pulsando una tecla, como medir una distancia, en cambio las funciones menos utilizadas son activadas desde el menú principal, como la introducción de constantes del prisma, revisión de un archivo, búsquedas, borrar, la configuración de la estación los puertos de salida, las unidades, etc. La pantalla es también conocida como panel de control, en ella se presentan las lecturas angulares.

El modo de operar una Estación Total es similar al de un teodolito electrónico, se comienza haciendo estación en un punto y se procede a nivelar el aparato. Para iniciar las mediciones es necesario orientar la estación, dando al punto de estacionamiento unas coordenadas de referencia e introducir un acimut.

Para la medición de distancias el distanciómetro electrónico incorporado la calcula de manera indirecta en base al tiempo que tarda la onda en viajar de un extremo a otro de una línea y regresar. Para un punto situado en el suelo, la distancia se determina colocando un prisma, la visual debe encontrarse libre de obstáculos. El aparato transmite al prisma una señal que regresa desde el reflector. Los prismas son circulares, de cristal óptico de alta calidad y vienen acompañados de un conjunto de accesorios: portaprismas, soportes, bases nivelantes, trípodes y bastones.

La Estación Total es utilizada tanto en levantamientos planimétricos como altimétricos, independientemente del tamaño del proyecto. Los levantamientos son rápidos y precisos, el vuelco de los datos está libre de error, el cálculo se hace a través del software y el dibujo es asistido.

4.1.1. Elementos de una Estación Total

- Base nivelante: elemento de conexión y amarre con el trípode. La mayoría de los aparatos utilizan bases de tres tornillos de nivelación.
- Tornillo de presión y de coincidencia: el hecho de que las Estaciones dispongan de de teclado alfanumérico hace posible la imposición de valores fijos para la orientación horizontal, que convierten en innecesario el movimiento general del limbo horizontal sobre la base de taquímetro. Por eso solo tiene dos tornillos, uno de presión y otro de coincidencia.
- Sistemas de centrado: para el centrado del instrumento sobre el punto de estacionamiento o Base es necesario hacer coincidir su eje vertical con la línea de cenit que pasa por el punto Base. Se consigue por medio de plomadas:
 - Plomada física: colgar del tornillo de sujeción del trípode una pesa con punta, sostenida por una cuerda.
 - Plomada óptica: situada en un lateral. Consiste en un pequeño antejo, provisto de ocular para enfocar el retículo de centrado y de un mando de enfoque para centrar la imagen del punto del suelo.
 - Plomada láser: perfectamente situado en el centro, un láser emite una luz visible, que coincide con el eje vertical del instrumento. Este sistema es exclusivo de la marca Leica, y es el que he empleado en el estacionamiento para la obtención de datos.
 - Antejo: en la Estación está unido con el distanciómetro y sirve para colimar, emitir radiación y recibir el rayo reflejado del prisma.

Dispone también de un procesador de datos, pantalla y teclado, puertos de comunicación de datos y fuentes de energía.

4.2. METODOLOGÍA

4.2.1. Tareas previas

El primer paso ha sido estudiar donde se podía estacionar la máquina y efectuar una prueba con el distanciómetro láser para comprobar que la iluminación de la iglesia no impedía su localización y lectura.

En este paso también se han realizado fotografías de la bóveda para determinar cuál es el recorrido que se va a efectuar en la toma de datos.

4.2.2. Toma de datos

Mediante el empleo de la Estación Total, se obtienen las coordenadas de diferentes puntos de la bóveda. En este caso, interesa localizar puntos de la base (figura 4.1.) para determinar su forma geométrica, al igual que diferentes diagonales y los encuentros con los lunetos para obtener los perfiles más exactos. Se han realizado dos estacionamientos en la planta de la iglesia para cubrir todas las partes, y se han obtenido las coordenadas de los puntos necesarios. El resultado es una nube de 784 de puntos.

4.2.3. Trabajo de gabinete con Rhinoceros

Antes de trabajar con el programa que permite obtener un modelado tridimensional hay que volcar los datos al ordenador. Se precisa del programa Data Exchange Manager para exportar y guardar los datos en un CAD. Este proceso se ha llevado a cabo en el departamento de Tecnología de la Edificación de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid (EUATM) de la UPM.

Tras este proceso se exportan los datos a Rhinoceros 5.0 obteniéndose una nube de puntos con la que se trabaja hasta conseguir un modelo tridimensional (figura 4.2.).

Como resultado se presenta una serie de planos donde se muestran varias proyecciones y diferentes perspectivas.

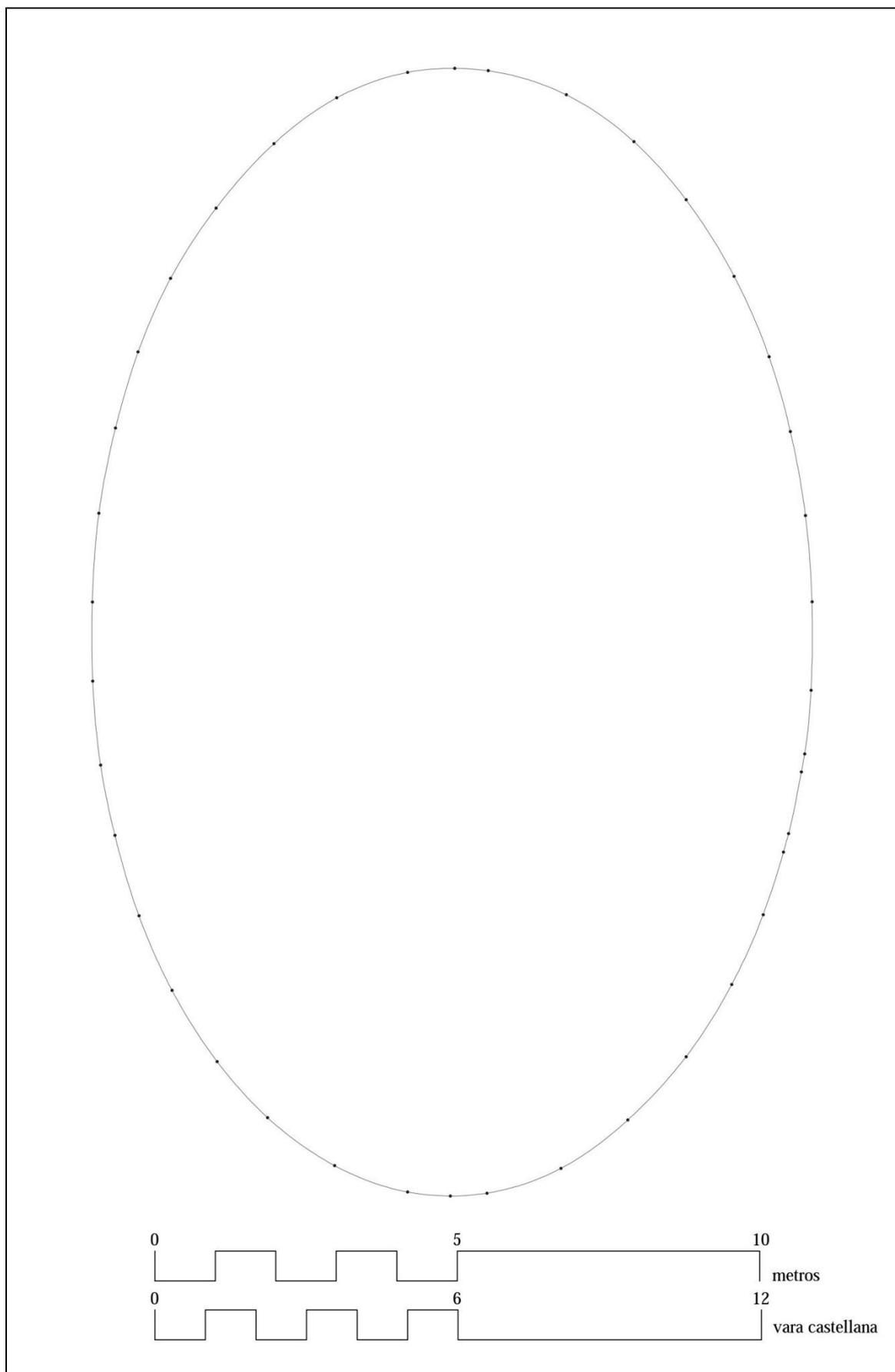


Figura 4.1. Plano de los puntos de la base de la bóveda.

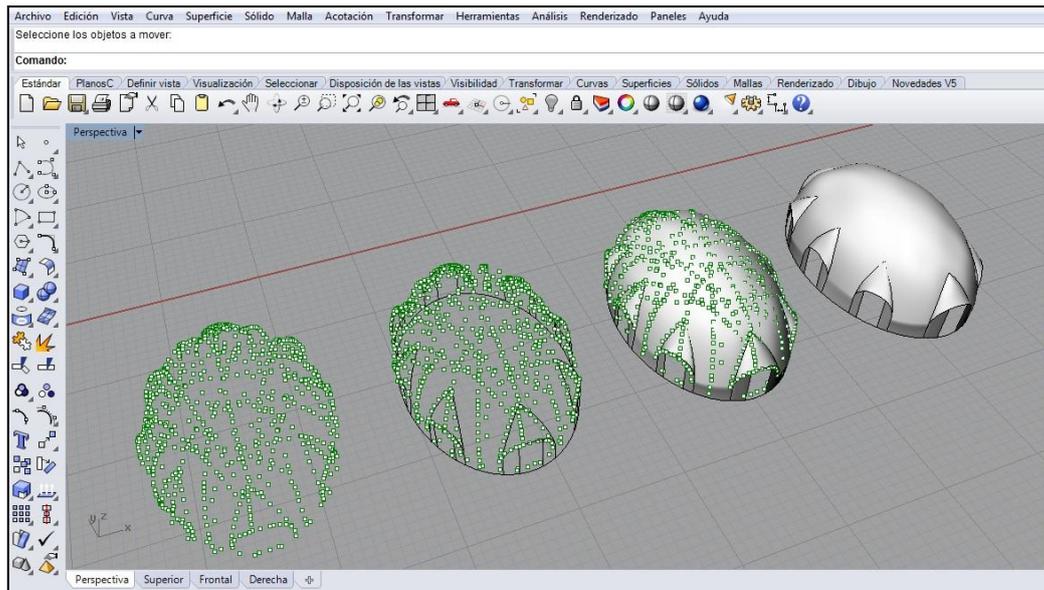


Figura 4.2. Proceso de modelado tridimensional con Rhinoceros 5.0.

4.3. INSTRUMENTAL

En el proceso de levantamiento se ha empleado el siguiente instrumental:

- Un ordenador personal con el programa Rhinoceros 5.0 instalado.
- Una Estación Total LEICA FlexLine TS02 con una desviación de 2 mm+ 2 ppm. Incluido trípode (figura 4.3.).
- Un prisma LEICA con bastón.
- Un ordenador de la EUATM, del departamento de Tecnología de la Edificación, con el programa Data Exchange Manager instalado.



Figura 4.3. Estación Total LEICA FlexLine TS02 sobre trípode.

4.4. LEVANTAMIENTO

Antes de realizar las secciones con las que poder comparar los diferentes trazados de elipses y óvalos hay que crear el modelo tridimensional de la bóveda trabajando la nube de puntos con un programa CAD (figura 4.4.). Tras este proceso se realizan la planta (figura 4.5. y 4.6.) y las secciones transversal y longitudinal (figura 4.7. y 4.8.).

A continuación se procede a realizar una comparativa de las mediciones entre el sistema métrico actual y el del siglo XVII, las varas castellanas, donde una vara castellana son 83,59 centímetros.

La cornisa sobre la que se sitúa la bóveda se encuentra a una altura de 12 metros (10 varas castellanas) sobre la cota de solado de la planta de la iglesia.

La altura máxima de la bóveda se encuentra a una cota de 19,70 metros (16,50 varas castellanas), teniendo en cuenta que tiene un peralte de una vara castellana.

El eje mayor cubre una luz de 19,72 metros (16,50 varas castellanas) y el eje menor cubre 13,80 metros (11 varas castellanas).

Por lo tanto la suma de la cornisa más la mitad del eje menor más una vara castellana de peralte debería ser igual a la máxima cota de la bóveda.

$10 \text{ varas} + 5,5 \text{ varas} + 1 \text{ vara} = 16,5 \text{ varas castellanas.}$

Las mediciones encajan perfectamente y además resulta que la distancia que cubre el eje mayor es igual a la cota máxima de la bóveda, estando en armonía constructiva.

A continuación se presenta una serie de planos representando la nube de puntos obtenida con el modelo tridimensional modelado con el programa Rhinoceros y los planos de la planta y secciones halladas a través del modelo 3D.

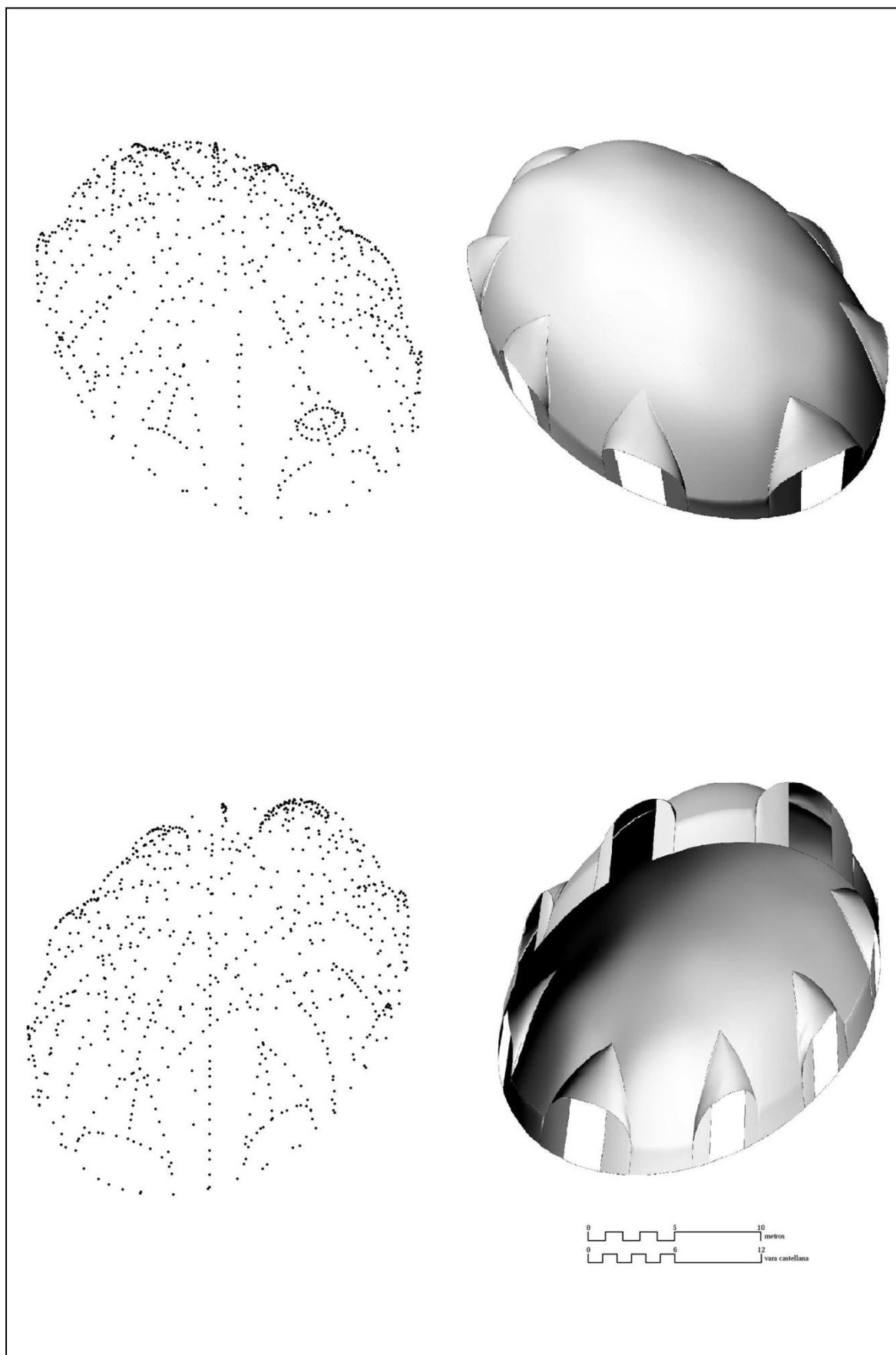


Figura 4.4. Nube de puntos de la bóveda y modelo tridimensional.

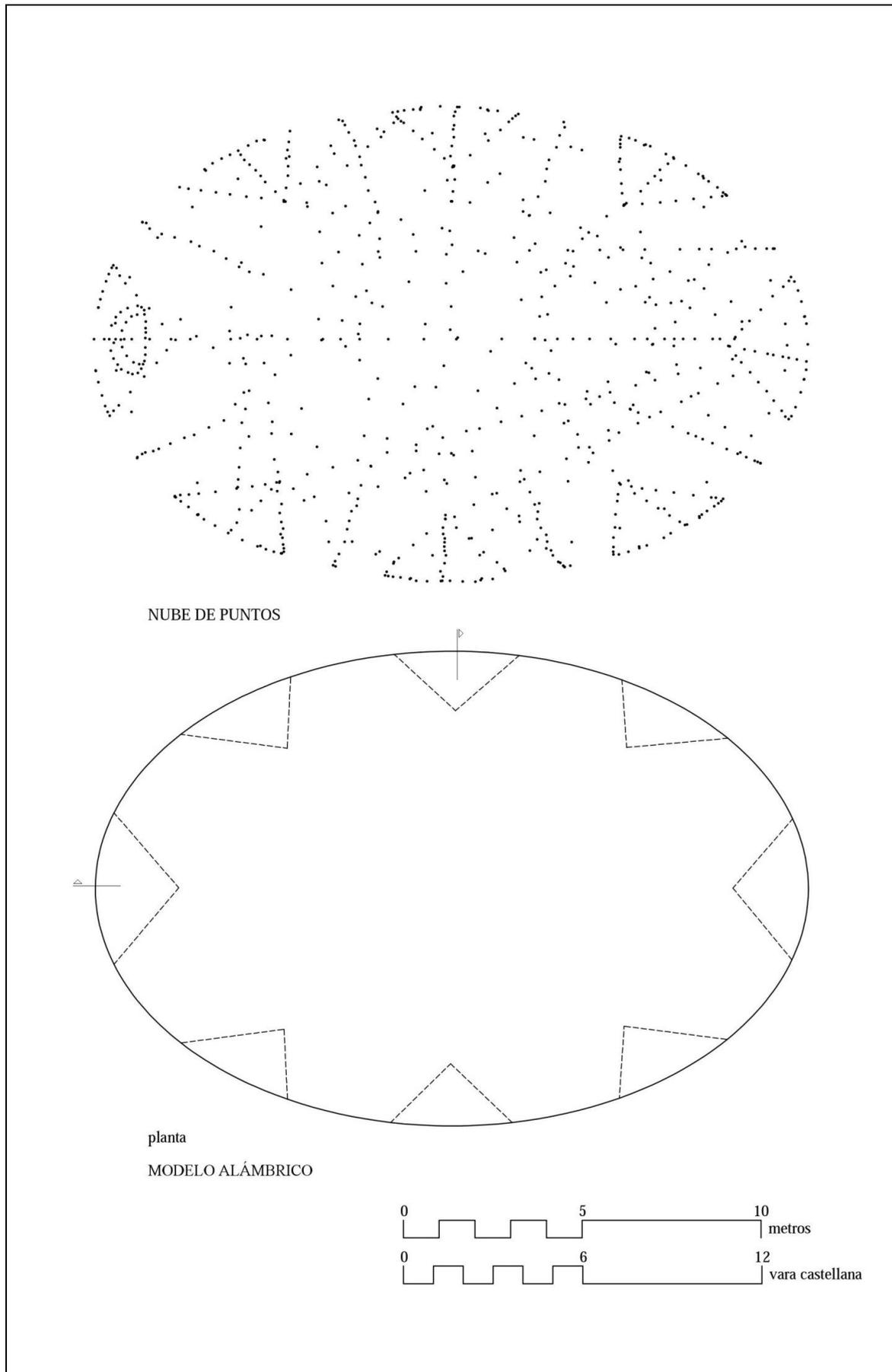


Figura 4.5. Planta de la bóveda. Correlación entre la nube de puntos y el modelo alámbrico.

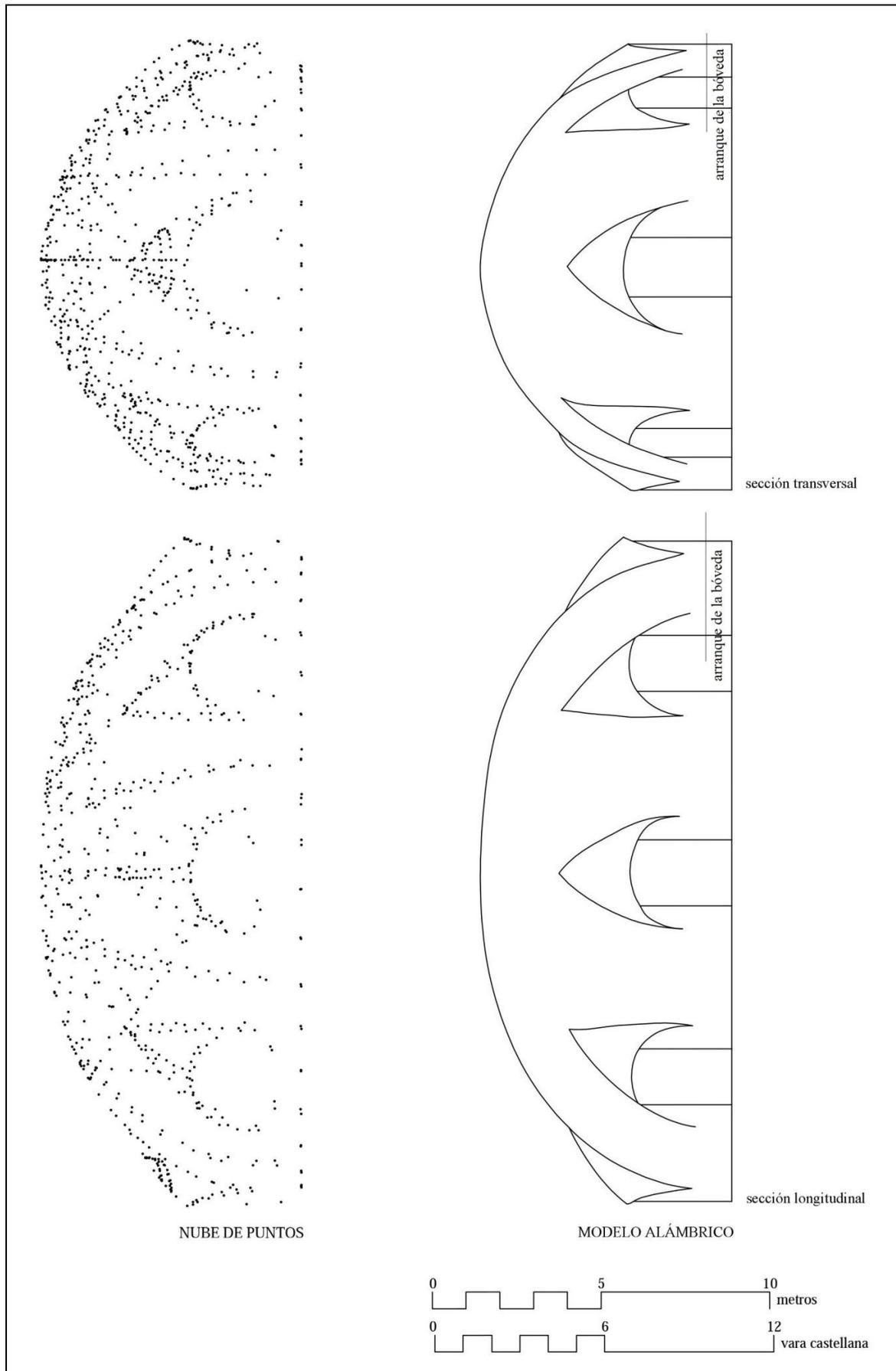


Figura 4.6. Sección transversal y longitudinal de la bóveda. Correlación entre la nube de puntos y el modelo alámbrico.

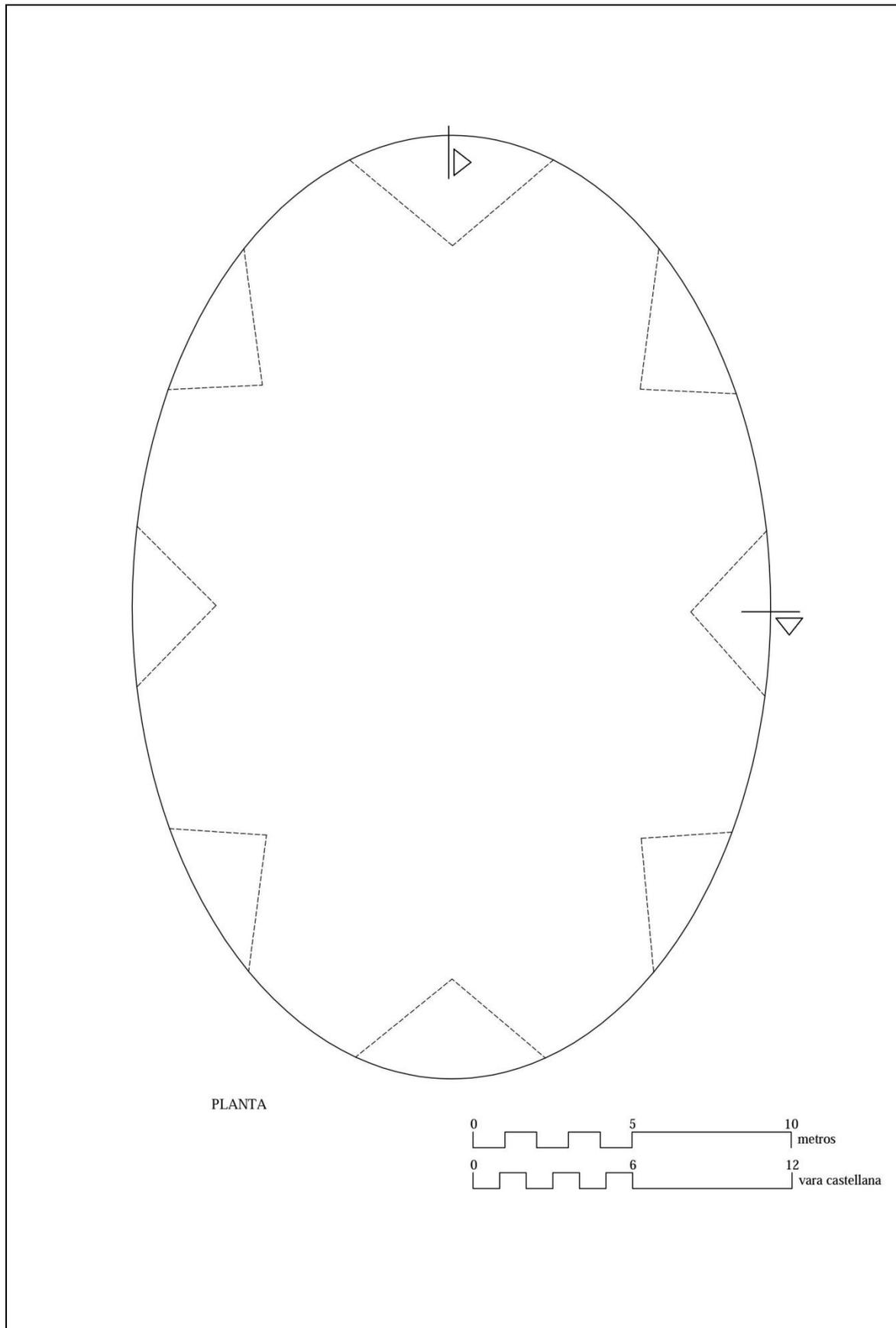


Figura 4.7. Planta elíptica de la bóveda.

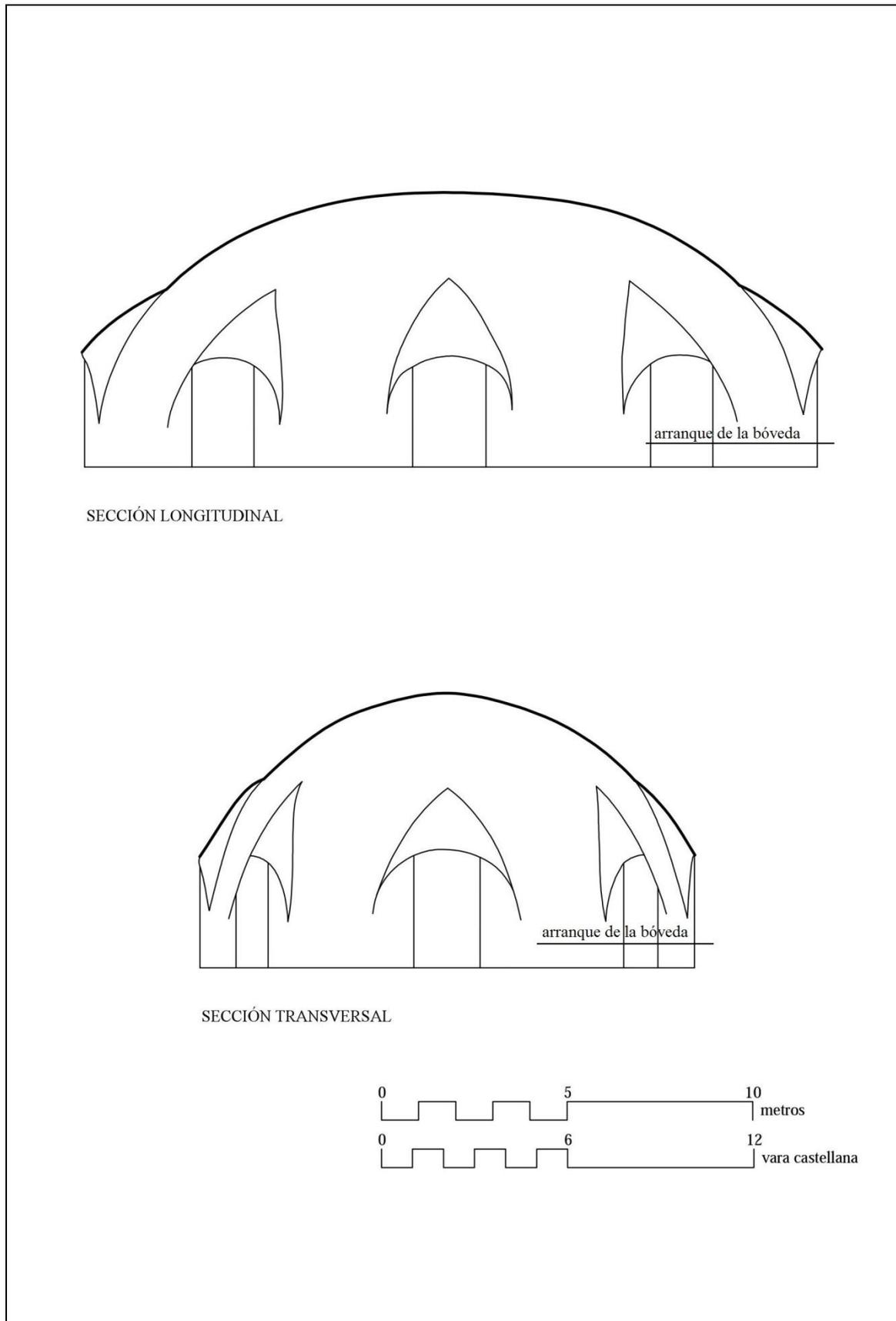


Figura 4.8. Sección longitudinal y transversal de la bóveda elíptica.

5. LA PLANTA ELÍPTICA U OVAL

5.1. EL ESPACIO CENTRALIZADO

El empleo de la planta central por cuestiones formales, funcionales o simbólicas, ha estado presente en la historia de la arquitectura a lo largo de muchos siglos. Durante la segunda mitad del siglo XVI y el comienzo del XVII evoluciona la planta central a la ovalada y a la elíptica.

Del clasicismo renacentista se heredó el círculo como forma perfecta, cuya armonía procedía de la concepción cósmica de un mundo considerado como un todo ordenado. Deriva de este modelo la planta elíptica

Es de origen italiano, principalmente de Vignola, y empezó a usarse en España desde finales del siglo XVI, pero no arraigó hasta mediados del XVII. Aun así, no alcanzó el desarrollo que se muestra en Italia, como se puede apreciar en las iglesias de Sant'Andrea in via Flaminia de Roma y Sant'Anna dei Palafrenieri del Vaticano.

La planta oval y elíptica, con la entrada y el altar en su eje mayor, es un tipo de planta que se relaciona con la preocupación de la época por encontrar un espacio unitario en el interior de los templos. Las condiciones acústicas y visuales son más adecuadas para una mayor recepción por parte de los fieles evitando los puntos muertos de las esquinas de un rectángulo.

5.2. INFLUENCIA Y SIGNIFICADO DE LA PLANTA ELÍPTICA

Los principios del Concilio de Trento dictaminaron que los fieles y la arquitectura debían estar centrados en la liturgia y en dar protagonismo a la imagen de Dios. Por este motivo los arquitectos potenciaron el eje longitudinal para que las miradas se centrasen en el altar mayor, sin esquinas. Así se entiende la planta elíptica como la fusión entre la planta central y la necesidad de enfatizar el eje longitudinal. Al mismo tiempo, esta geometría, contiene las curvas tan características del barroco.

La oposición entre Renacimiento y Barroco implica el enfrentamiento entre un mundo centrado y circular, sistema de Copérnico, y un mundo descentrado y elíptico, sistema Kepleriano.

Mientras que el círculo es perfecto y representa el pensamiento y el sentimiento armónico del renacimiento, la elipse barroca con su forma dinámica y descentrada rompe esta armonía, intentando representar el universo visible y el invisible. No hay que olvidar que los jesuitas eran, aunque una orden religiosa, científicos.

En algunos templos españoles la elipse representa a la Virgen María. Es posible que algunos españoles llegaron a la deducción que la elipse, por su forma más delicada y graciosa que el cuadrado o el círculo, podía simbolizar como ningún otro esquema geométrico la belleza singular de la mujer y, en consecuencia, la de la Madre de Dios (Rodríguez 1990).

5.3. TEMPLOS DE PLANTA ELÍPTICA

La planta elíptica y oval no está muy difundida en los templos de España, no obstante, se pueden citar algunos ejemplos relevantes: Colegio de San Hermenegildo de Sevilla, Bernardas de Alcalá de Henares, Sala Capitular de la Catedral de Sevilla, Santa Ana de Valladolid, Santa Cueva y San Felipe Neri de Cádiz, San Luis en Sevilla, San Juan de Dios en Murcia, el Panteón de los duques del Infantado en la iglesia de San Francisco en Guadalajara, la capilla de Jesús de Medinaceli, la iglesia de San Marcos y los Desamparados en Valencia.

A continuación comento las construcciones que influyeron o que se vieron influenciados por la iglesia de San Antonio de los Alemanes.

Anteriores:

- **Sant'Anna dei Palafrenieri del Vaticano.**

Esta iglesia situada en la Ciudad del Vaticano comenzó su construcción en 1565 con un diseño de planta elíptica de Vignola. Fue uno de los primeros templos con este modelo de planta.

Vignola introdujo también la planta ovalada en el diseño de la iglesia de Sant'Andrea en la Via Flaminia (figura 5.1.), 1554, para el Papa Julio III. Cubrió la sala rectangular con esta cúpula, resolviendo su transición mediante pechinas,

por lo que no es una sala oval. La cúpula se adecua al trazado rectangular y centralizando el espacio. De esta forma inició un modelo arquitectónico que influyó en la arquitectura Barroca.

En Sant'Anna dei Palafrenieri, Vignola levantó una cúpula oval sobre una sala de la misma geometría, donde el trazado de la pared y la cúpula es el mismo (Alonso 2003, 228). Este proyecto influyó tanto al Convento de las Bernardas de Alcalá de Henares como a la Iglesia de San Antonio de los Portugueses.

Vignola fue el primero en apercebirse de que se podía mantener una alternativa a la planta latina, donde los espacios del templo quedan perfectamente definidos, y a la planta centralizada circular del Renacimiento, de belleza puramente ideal y platonizante, consistiendo en una unión entre ambas propuestas, dando mayor importancia a uno de los ejes, de este modo se propone emplear el espacio ovalado y el elíptico (Rodríguez 1990).

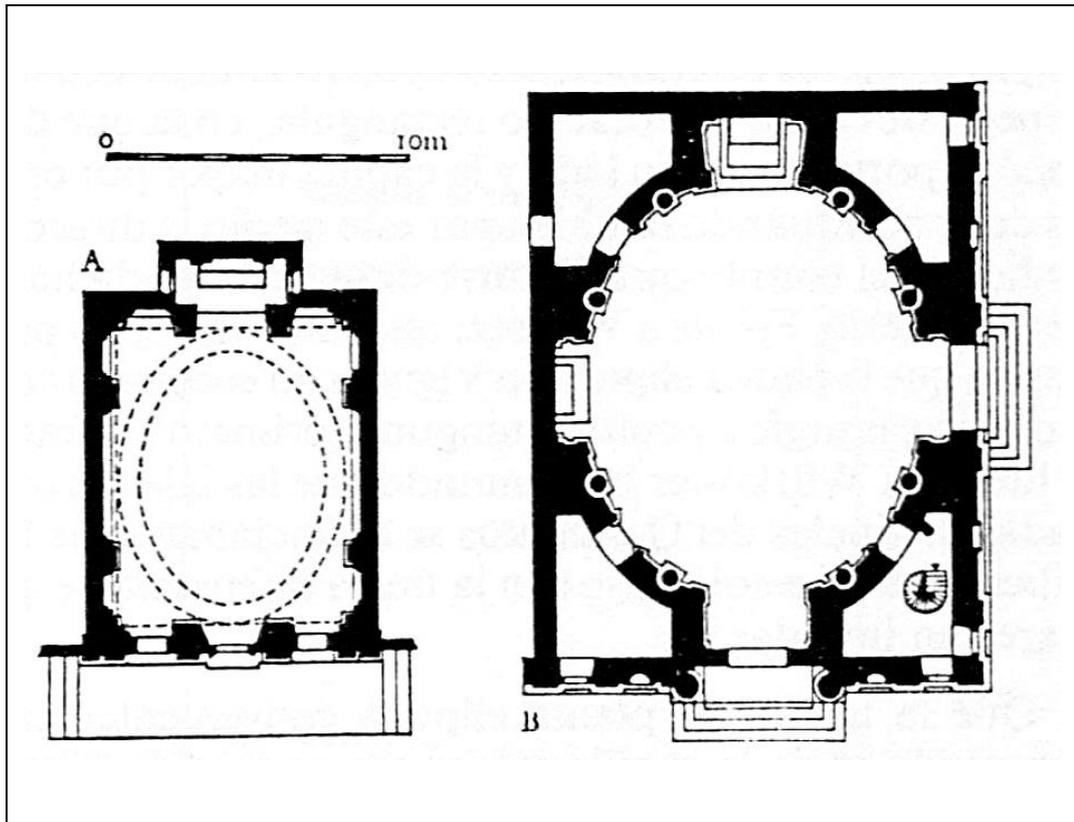


Figura 5.1. Vignola: plantas de Sant'Andrea en la Via Flaminia y de Sant'Anna dei Palafrenieri.

- **Colegio de San Hermenegildo de Sevilla.**

Pedro Sánchez se inspiró directamente en la Sala Capitular de la Catedral de Sevilla para trazar la planta de este templo (figura 5.2.), que comenzó a construirse en 1614. Aunque también sigue el prototipo vigolesco de templos de planta ovalada o elíptica inscritos en un rectángulo, aunque no copie exactamente ninguna de las iglesias construidas por el arquitecto italiano (Rodríguez 1990).

La bóveda que la cubre es elíptica y el centro de dicha cúpula está ocupado por una cartela elíptica de la que parten doce nervios radiales, que se abren cuando apoyan en los muros, incluyendo en estos espacios imágenes religiosas. Entre los nervios aparecen ventanas con lunetos, enmarcadas en un conjunto de yeserías.

Este templo dedicado a San Hermenegildo está consagrado a la Virgen María, que como he explicado anteriormente tiene relación del simbolismo de la elipse con la belleza de la mujer.

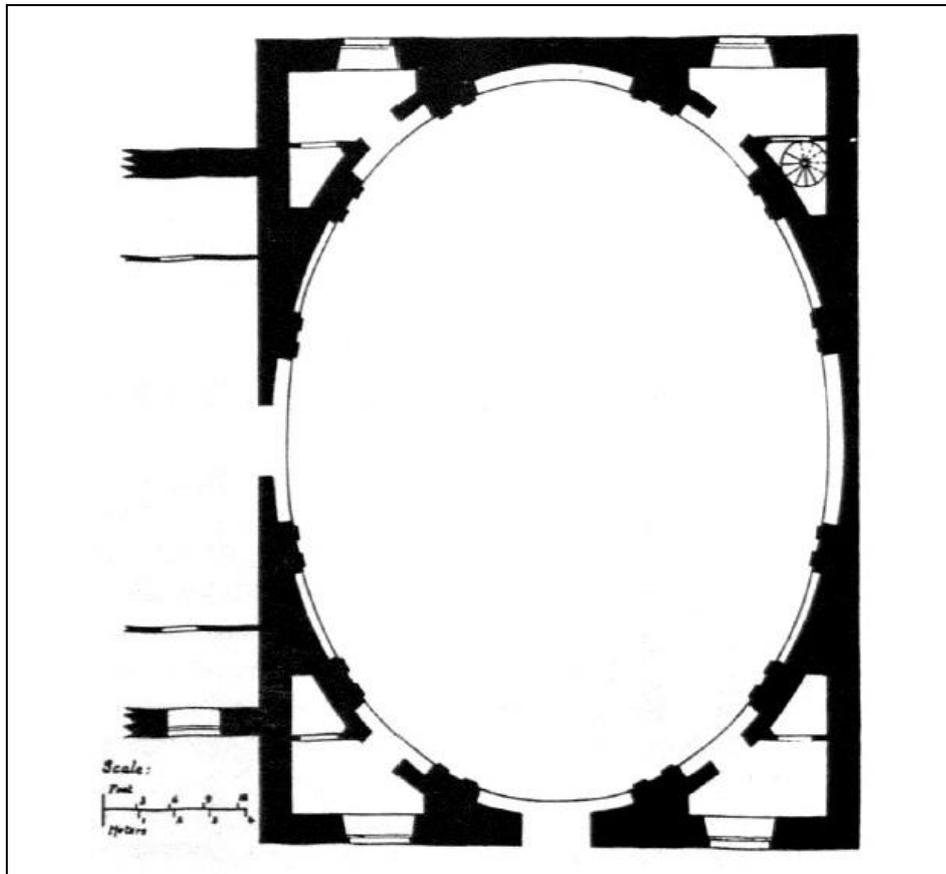


Figura 5.2. Pedro Sánchez: planta de la iglesia del Colegio de San Hermenegildo.

- **Convento de las Bernardas de Alcalá de Henares.**

Juan Gómez de Mora trazó la iglesia de este convento por encargo del arzobispo de Toledo, en 1617, y fue terminado en 1626. También con un planteamiento elipsoidal encerrado en un rectángulo influenciado por Vignola (figura 5.3.), donde la puerta y el altar mayor coinciden con el eje mayor, pero dispone radialmente seis capillas en la que se alternan los rectángulos y las elipses como un elemento de fuga del espacio centralizado. Se aproxima a un dibujo de Borromini para San Carlos de las Cuatro Fuentes en Roma o a Bernini en San Andrés de Quirinal, ambos proyectos posteriores a este convento y la iglesia de San Antonio.

La fachada es independiente del interior y se puede considerar como el fondo principal de la plaza donde se sitúa.

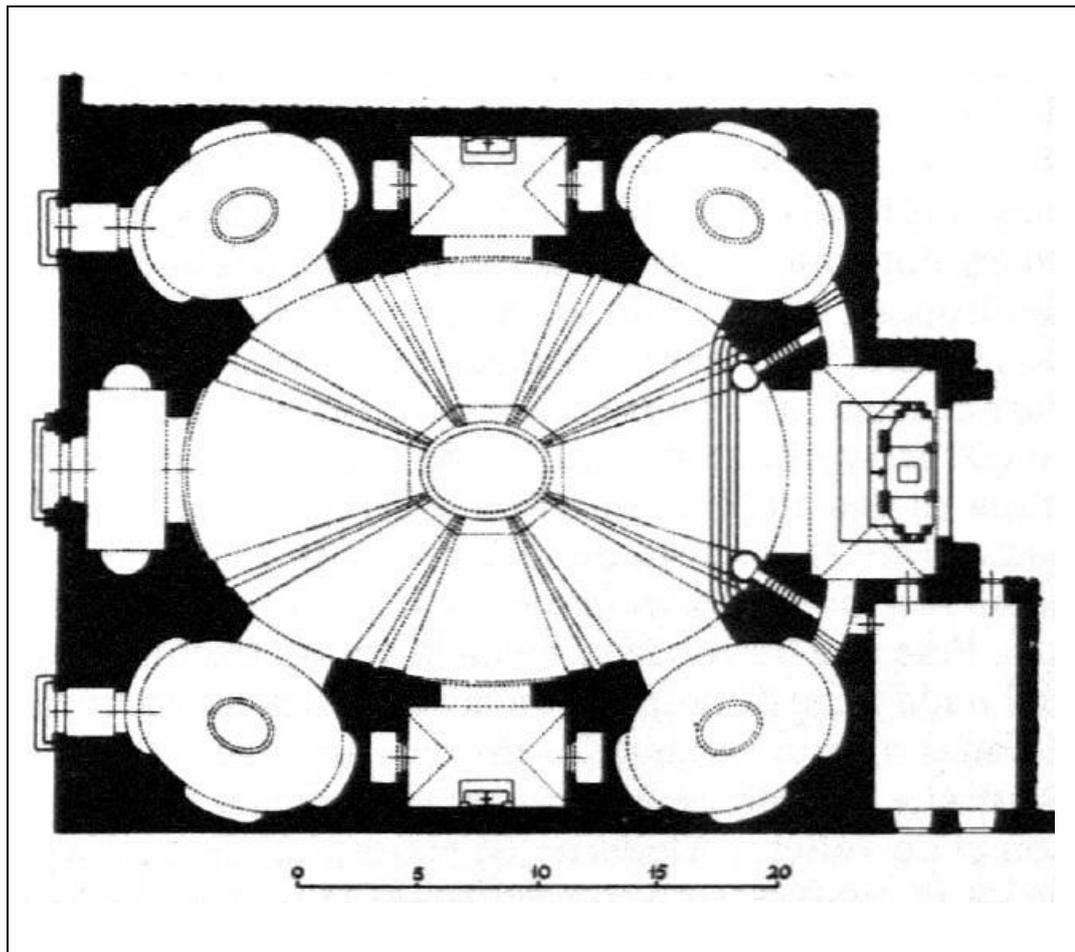


Figura 5.3. Juan Gómez de Mora: planta de la iglesia del Convento de las Bernardas.

Posteriores:

- **Colegio de San Albano en Valladolid.**

La iglesia del convento de las Bernardas de Alcalá de Henares y la iglesia de San Antonio de los Portugueses fueron tomadas como modelo para su diseño. El gestor, P. Calatayud, había contemplado estas iglesias durante su estancia en la Corte y le agradó en tal manera que tomó apuntes y los envió, en 1671, al hermano Pedro Mato en Salamanca para que hiciera una planta y alzados. Sin embargo, la planta no consiste en una elipse, sino en un octógono alargado donde distribuyó tres capillas por banda y tribunas sobre ellas (figura 5.4.).

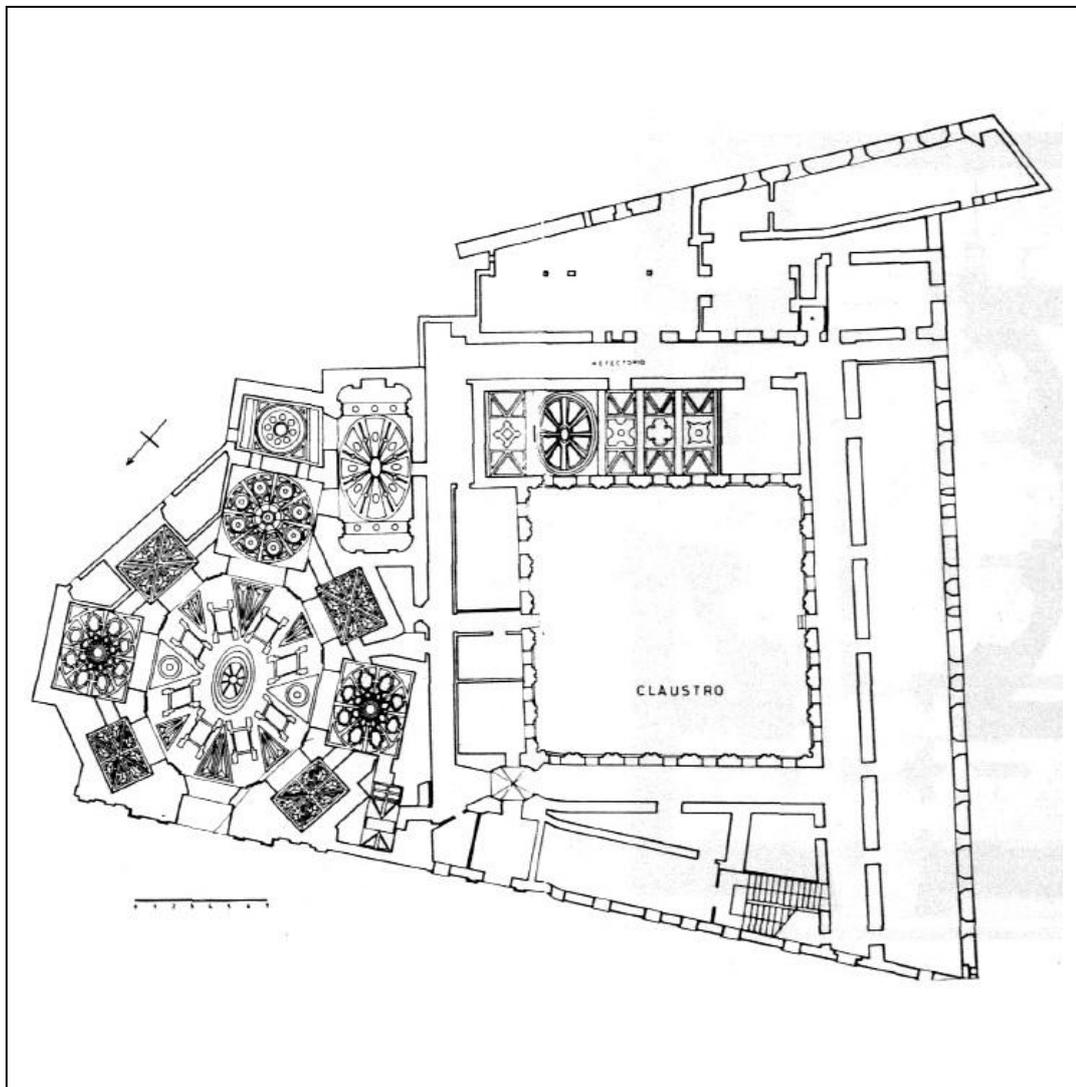


Figura 5.4. Pedro Mato: planta del Colegio e iglesia de San Albano

- **Panteón de los Duques del Infantado en Guadalajara.**

En 1696 dieron comienzo las obras del nuevo mausoleo de los duques del Infantado, en el Fuerte de San Francisco (Guadalajara), según las trazas arquitectónicas dadas por Felipe Sánchez. Estas trazas son consecuencia del aprendizaje del arquitecto durante la restauración de San Antonio de los Portugueses.

Felipe Sánchez planteó un ejercicio barroco tanto en su composición como en su materialización. De una parte, la sala del panteón se resolvió con una planta elipsoidal (figura 5.5.), con ocho pilastras que sirven de apoyo a los arcos que vertebran la cúpula rebajada que cubre la estancia, en clara referencia al mausoleo escorialense de El Escorial pero también a la iglesia de San Andrés del Quirinal de Roma.

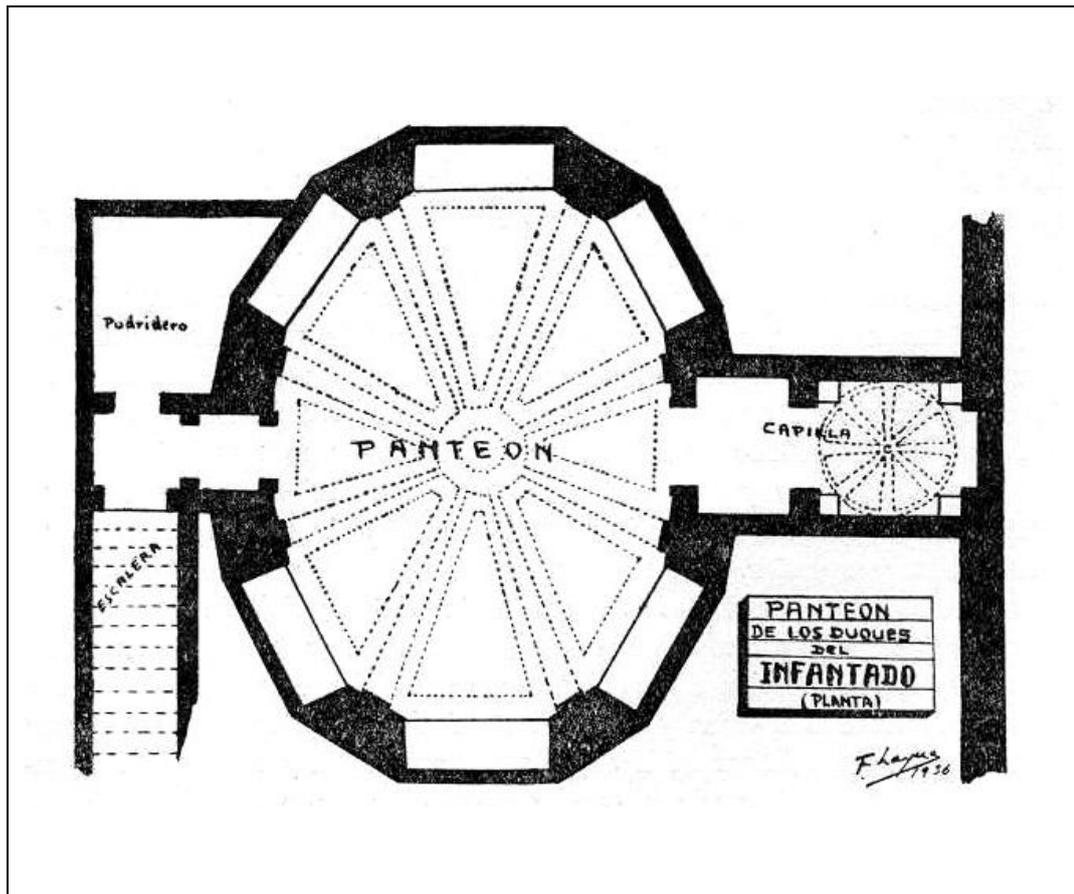


Figura 5.5. Felipe Sánchez: planta del Panteón de los Duques del Infantado.

6. LA ELIPSE Y EL ÓVALO

Se trata de dos líneas distintas, pero muy parecidas, que en los tratados no son fáciles de distinguir. Además denominaban indistintamente como óvalos a todas las líneas semejantes.

Según Enrique Rabasa (2009, 62-66), los tracistas del XVI, que empleaban procedimientos gráficos que dan lugar a elipses y óvalos, sabían que el resultado no era el mismo.

Considerar como sinónimos los términos óvalo y elipse es erróneo por su diferente condición geométrica (Gentil 1994, 14). Mientras que la elipse es más ventajosa para obtener dimensiones predeterminadas por sus ejes, el óvalo, mediante arcos de circunferencia, es más preciso en los trazados y en la subdivisión de su perímetro, siendo más común su uso en construcción (López 2009). Aunque hay que añadir que la elipse del jardinero es una traza sencilla de llevar a obra por su método constructivo.

Otra particularidad de la elipse en la comparación con el óvalo que efectuamos, es la imposibilidad de realizar dos elipses paralelas. En efecto, la línea paralela a una elipse no es una elipse sino una curva de cuarto grado de trazado gráfico impreciso, que recibe el nombre de toroide⁸ (Gentil 1994).

6.1. LA ELIPSE

Conocida desde la antigüedad, la elipse es definida, en el siglo XVIII con el Teorema de Dandelin (Del Río 1994), como el lugar geométrico de los puntos cuya suma de distancias a dos fijos, llamados focos, es constante e igual al eje mayor. Se obtiene por la sección plana producida al cortar todas las generatrices de una superficie cónica con un plano (figura 6.1.), de tal manera que la inclinación del plano no supere la inclinación de la recta generatriz del cono⁹. La circunferencia es un tipo de elipse donde ambos focos coinciden en el centro y por tanto sus ejes son iguales.

⁸ Le dió este nombre BRETON DE CHAMPS en "*Nouvelles Annales Mathematiques*", 1884, pp. 442-455. La curva así descrita recibe esa denominación por ser, gráfica y matemáticamente, idéntica al contorno aparente más general de la proyección cilíndrica de un toro (Gentil 1994).

⁹ En otro caso el corte producido en la superficie cónica podría ser una hipérbola o una parábola. A estas figuras bidimensionales que se obtienen del cono se les denomina secciones cónicas o simplemente cónicas.

Los primeros análisis geométricos de la elipse se deben a Aristeo el Viejo y Menecmo (350 a.C.), que la denominaron “sección recta del cono agudo”; después fue estudiada por Euclides (330-275 a.C.) y por Arquímedes (287-212 a.C.), y por último, Apolonio de Pérgamo (262-190 a.C.), que la denominó elipse, la incluyó en su obra, con un mayor análisis (Alonso 2003). Sin embargo, no fue hasta la época romana cuando se aplicó en la construcción de los edificios de los grandes anfiteatros, sin aplicar un trazado ortodoxamente correcto.

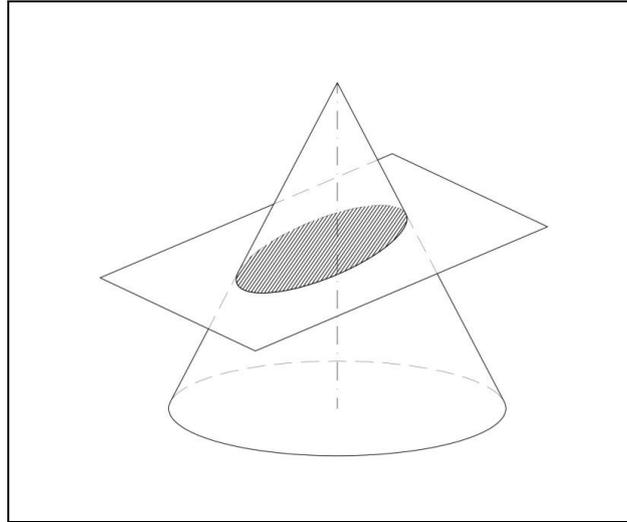


Figura 6.1. Elipse como cónica.

Los romanos no llegaron a ejecutar elipsoides o bóvedas elípticas para cubrir los espacios arquitectónicos, aún cuando las técnicas constructivas de las bóvedas de cañón y de las cúpulas esféricas adquirieron un gran esplendor. La primera cúpula de planta pseudoelíptica de la que hay referencia, es la de la iglesia de San Gereón en Colonia, Alemania, del siglo XIV con ocho capillas laterales que rodean una planta parecida a una elipse (Carazo y Otxotorena 1994, 66).

Hasta el siglo XVI las cónicas no volvieron a investigarse. Fue el astrónomo Kepler (1570-1630) quien descubrió que las órbitas de los planetas alrededor del Sol son elipses, siendo el Sol uno de sus focos. Más tarde Newton (1642-1727) demostró que la órbita de un cuerpo producida por una fuerza gravitatoria siempre es una cónica. A partir de este momento se empezaron a estudiar y definir las propiedades geométricas de las cónicas, así como, sus ecuaciones.

6.1.1. Elementos de la elipse

La elipse se compone de los siguientes elementos (figura 6.2.):

Ejes: tiene dos ejes AB y AC perpendiculares entre sí, que se cortan en el punto O , centro de la elipse. Se denominan eje mayor o principal, y el eje menor o secundario. Esta curva es simétrica con respecto a dichos ejes.

Focos: denominados F y F' , están situados en el eje mayor, y se hallan haciendo centro en uno de los extremos del eje menor y con radio igual al semieje mayor.

Distancia focal: es la distancia que hay entre los dos focos.

Radios vectores: son las rectas que unen un punto cualquiera de la elipse con los focos.

Circunferencia principal: es la que se determina haciendo centro en O , centro de la elipse, y radio igual al semieje mayor.

Circunferencia focal: la elipse tiene dos circunferencias focales. Para dibujarlas, se toma como radio el eje mayor y centro en F y F' , respectivamente.

La nomenclatura más empleada en geometría para denominar a los ejes y la distancia focal, es la siguiente:

Eje mayor = $AB = 2a$; siendo a el semieje mayor.

Eje menor = $CD = 2b$; siendo b el semieje menor.

Distancia focal = $FF' = 2c$; siendo c la distancia del punto O a un foco.

La excentricidad, e , de una elipse es equivalente al cociente entre su semidistancia focal, c , y el semieje mayor. Este valor se encuentra entre 0 y 1. Cuanto más se acerque e a 0 más se acercará la elipse a la apariencia de una circunferencia. En cambio, si se acerca a 1, la elipse será más aplastada.

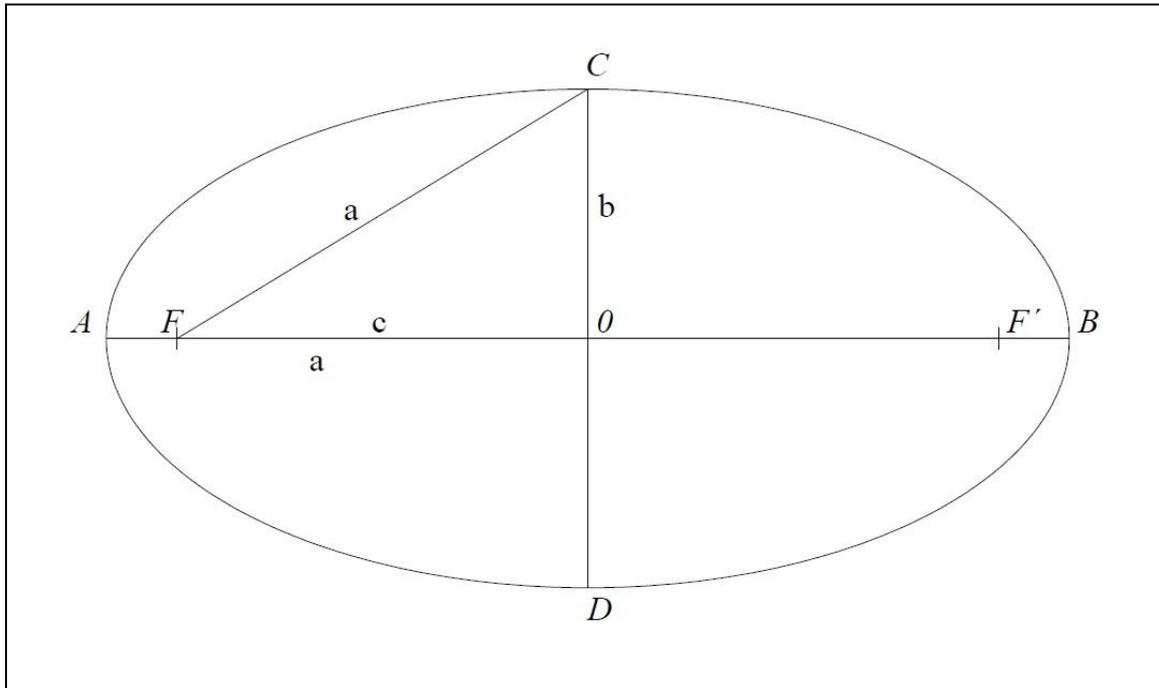


Figura 6.2. Elementos de la elipse.

6.1.2. Tratados y trazados

La primera construcción de una elipse podría haber sido por el método del jardinero, sin embargo, no será hasta el siglo XVI cuando Philibert De L'Orme defina como construir una elipse. Ya en el Renacimiento, algunos de los grandes maestros (Durer en Alemania, Serlio, Palladio, Vitrubio y Vignola en Italia, y Vandelvira y Hernán Ruiz II en España) dejaron representaciones gráficas de trazados de elipses que se aplicaron en construcción.

Entre los tratados del siglo XVI aparecen diversos ejemplos para el trazado de una elipse como figura afín de la circunferencia. Entre ellos, Durer (1525), Serlio (1545), Philibert de l'Orme (1567), Hernán de Ruíz. Las diferencias entre óvalo y elipse,, relativas a su trazado sobre el papel o sobre el terreno, han llevado en ocasiones a pensar que los arquitectos proyectaron sus obras con óvalos y los constructores resolvieron los replanteos con la elipse del jardinero (Alonso 2003).

6.1.2.1. La elipse del jardinero

Es la forma más rápida y sencilla de trazar y construir una elipse. Consiste en fijar los extremos de un cordel de longitud igual al eje mayor a dos puntos fijos, que serán los focos (figura 6.3.). Manteniendo el cordel tensado se gira alrededor de los puntos 360°, obteniéndose una elipse.

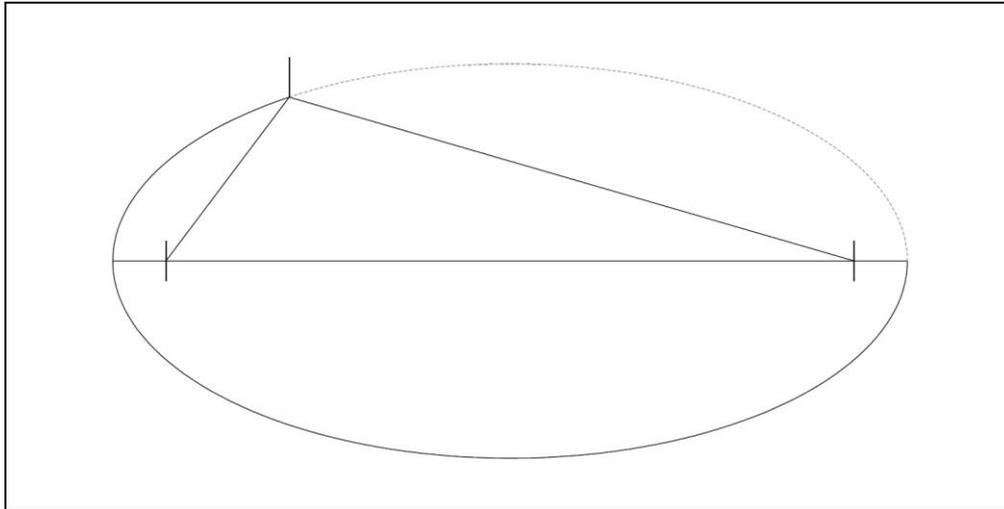


Figura 6.3. Método del jardinero: trazado de elipse.

6.1.2.2. La elipse de Philibert de l'Orme

A través de este grabado (figura 6.4.), el arquitecto francés, representó la construcción gráfica de una elipse, y se puede explicar de la siguiente forma:

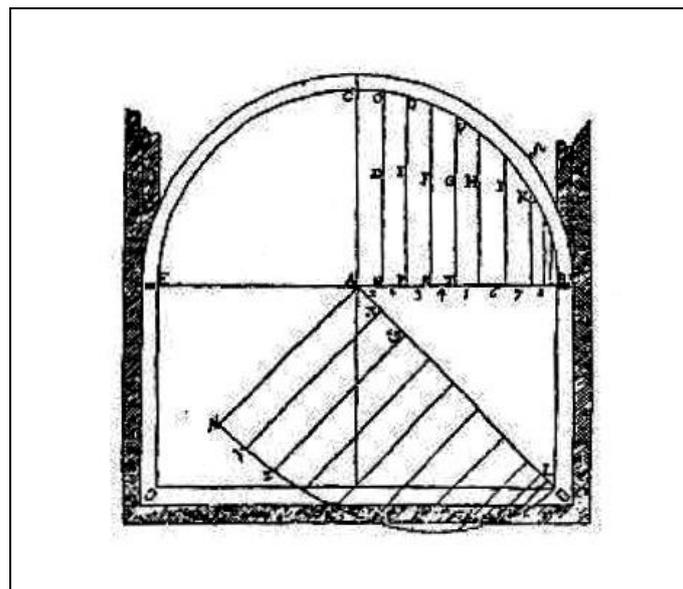


Figura 6.4. Philibert de l'Orme: trazado de elipse (1567).

- Se divide un cuadrado de lado “L” en cuatro cuadrados iguales y haciendo centro en el punto central se traza una semicircunferencia de lado “L/2”.
- Se toma un cuadrante de dicha circunferencia y se divide su radio horizontal en segmentos iguales entre sí; y por cada uno de los puntos fijados, se levantan líneas paralelas al radio vertical, hasta que corten a la semicircunferencia.
- Se traza una diagonal de uno de los cuadrados menores y se divide en las mismas partes que en el apartado anterior y se levantan perpendicularmente a dicha diagonal, de forma ordenada y por los puntos fijados, cada una de las medidas halladas en el paso anterior.
- Y por último, uniendo entre sí los puntos resultantes se obtiene el trazado de un cuarto de elipse. Haciendo lo mismo en los cuadrantes restantes se completa la elipse.

6.1.2.3. La elipse de Durero

Pintor y grabador alemán, Albert Durero (1471-1528), dejó un grabado (figura 6.5.) de la construcción de una sencilla elipse, aunque en realidad es una pseudoelipse, que se construye de la siguiente manera:

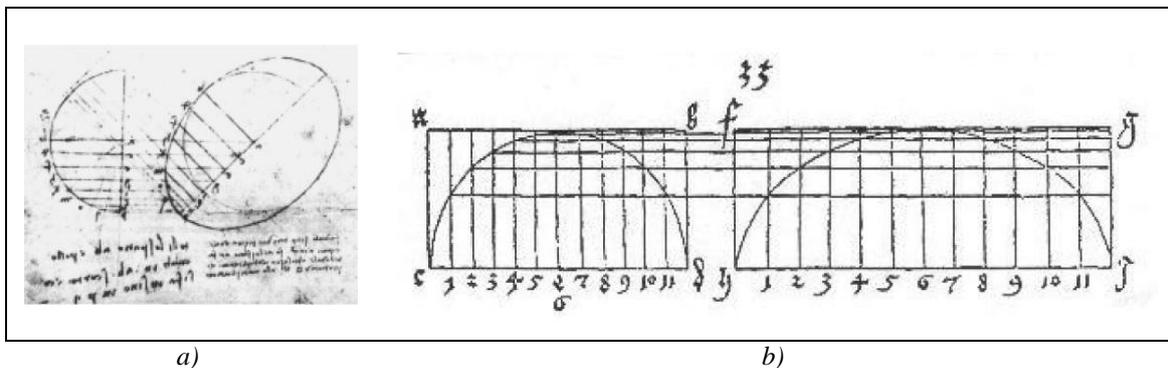


Figura 6.5. Dibujo de una elipse estirando un círculo. a) Leonardo da Vinci, *Codex Atlanticus fol. 318 b-r*, ca. 1510 (Simona 2015); b) Alberto Durero, *Unterweisung der Messung* (1525).¹⁰

¹⁰ ¿Es ésta una construcción inventada por Leonardo da Vinci o Alberto Durero, o están describiendo un método perteneciente a la tradición de los albañiles? En los trazados del gótico tardío que han perdurado no hay rastro de tal construcción geométrica; se resuelve el problema mediante el uso de óvalos hechos de arcos circulares. Sin embargo, es interesante observar que la misma construcción aparece en otros tratados de arquitectura y corte de piedra escritas en la segunda mitad del siglo XVI en España (Hernán Ruiz, Martínez de Aranda y Alonso Vandelvira). Como los procedimientos y los métodos de construcción cambian muy lentamente, es probable que el método fuese una de las herramientas geométricas de los maestros albañiles medievales (Huerta 2007).

- Se traza un rectángulo y se divide en dos mitades mediante una línea horizontal. El espacio superior resultante se divide en otros dos de la misma forma. Este proceso se repite hasta cinco veces.
- Se divide la base del rectángulo original en doce segmentos iguales entre sí.
- Sobre cada una de las marcas realizadas en el paso anterior se traza una perpendicular hasta cortar sucesivamente con las horizontales del primer paso.
- Finalmente se unen mediante una curva los puntos de intersección, arrancando desde cero en los extremos y subiendo hasta la ordenada máxima en el centro. De esta forma se obtiene una “semielipse”.

6.1.2.4. La elipse de Serlio

Sebatiano Serlio (1475-1554) fue uno de los más grandes tratadistas de la arquitectura del Renacimiento italiano y dejó una obra que contiene el arte de construir en arquitectura, donde se incluyen diferentes trazas entre las que aparece una elipse y otras trazas definidas también como elipses aunque realmente son óvalos.

Método de las circunferencias concéntricas (figura 6.6.)

- Sobre una línea horizontal se dibujan dos semicircunferencias concéntricas y se trazan una serie de radios comunes a ambas separados la misma distancia entre sí.
- Por los puntos de contacto de estos radios con la semicircunferencia menor se trazan líneas horizontales, y por los de contacto con la mayor se trazan líneas verticales.
- Los puntos de intersección de estas rectas perpendiculares se unen arrancando desde 0 en los extremos y subiendo hasta la ordenada máxima en el centro, obteniendo una semielipse.

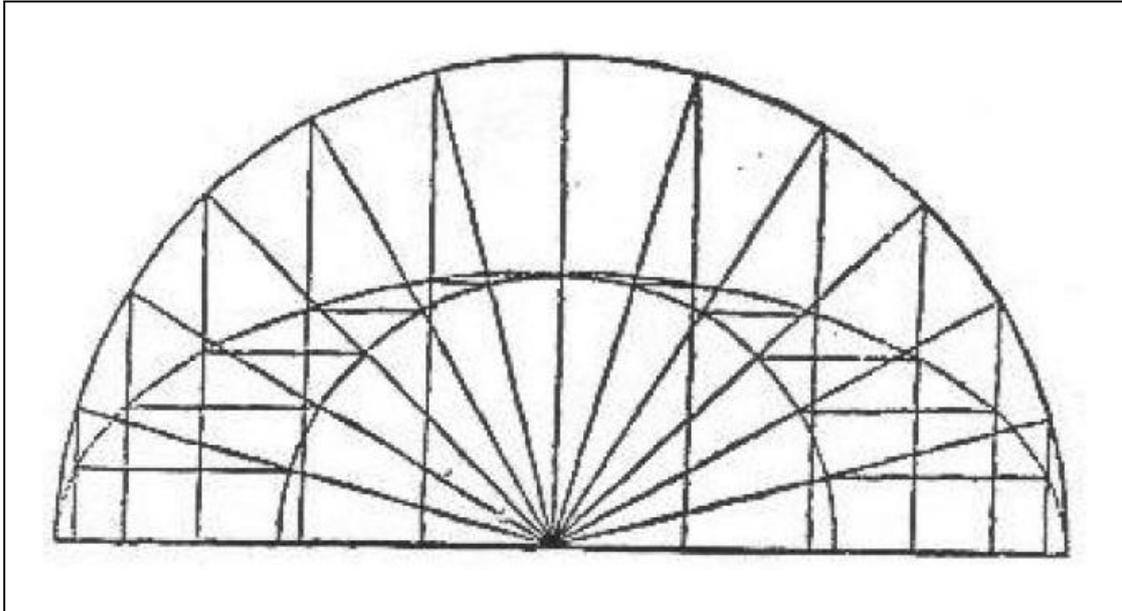


Figura 6.6. Serlio: trazado de elipse, circunferencias concéntricas (1545).

6.1.2.5. Compás de Arquímedes

Se atribuye a Arquímedes el invento de este artilugio para dibujar elipses. Por ello es conocido como elipsógrafo o *Compás de Arquímedes* (figura 6.7.). Es un mecanismo cuyo extremo se mueve siguiendo una trayectoria elíptica.

Si se desliza un segmento de longitud constante sobre dos ejes perpendiculares, la envolvente que se forma es una elipse. Por lo que también sirve para presentar otra curva: el astroide (figura 6.8.), que es la envolvente de los segmentos que define el brazo sobre los ejes.

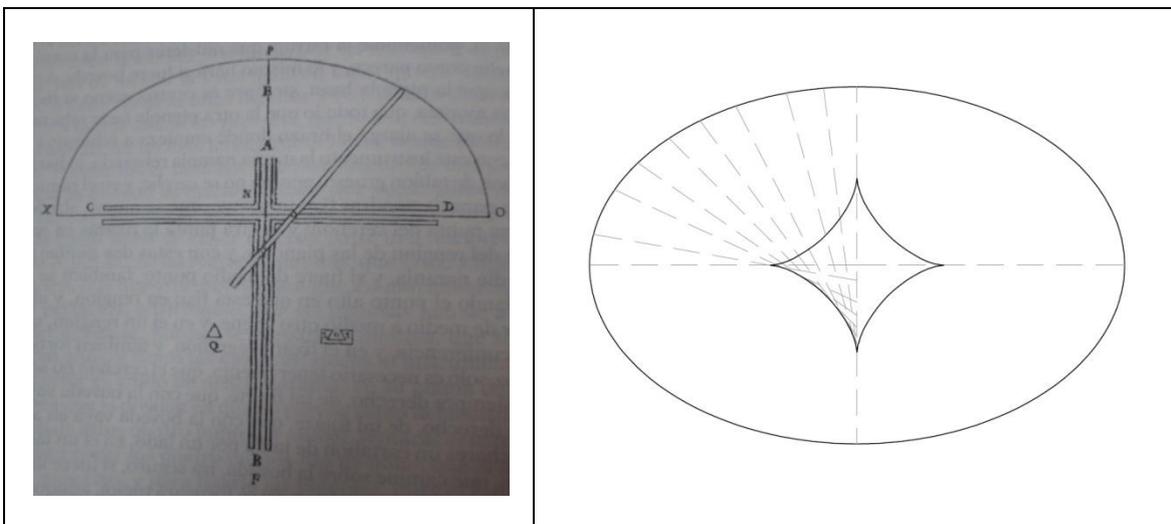


Figura 6.7. Fray Lorenzo. *Compás de Arquímedes* ([1633-64] 2008).

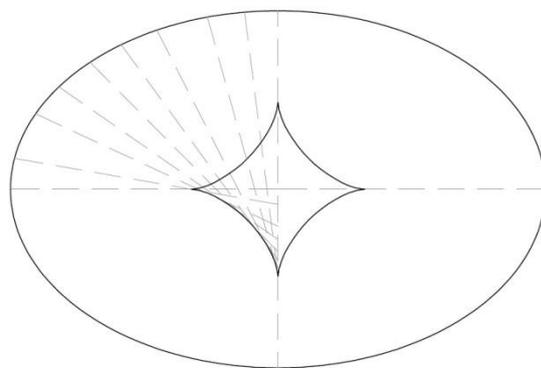


Figura 6.8. Astroide.

6.2. EL ÓVALO

El óvalo es una curva plana y cerrada, simétrica respecto a sus dos ejes perpendiculares y formado por cuatro arcos de circunferencia iguales dos a dos.

En el último cuarto del siglo XVI la forma oval se difundió en la arquitectura a través de los tratados. La planta oval surgió como evolución de las plantas centrales del Renacimiento.

6.2.1. Tratados y trazados

6.2.1.1. Los óvalos de Serlio

I. Método de las dos circunferencias secantes (figura 6.9.)

- Se trazan dos circunferencias secantes de radios iguales, con los centros en la misma línea horizontal, y que sus centros estén separados la longitud del radio.
- Se traza una vertical O-N, perpendicular por el punto medio de la línea P-Q, que une los centros.
- Se une el punto N con los centros y se prolongan los segmentos hasta cortar la intersección con las circunferencias, puntos 1 y 2. Se repite el proceso desde O.
- Con centro en N, y radio N-1, se traza un arco de circunferencia hasta el punto 2. Se repite el proceso con el centro en O de forma simétrica.

De esta forma uniendo los arcos 1-3 y 2-4 de las circunferencias con los últimos arcos 1-2 y 3-4 se obtiene un óvalo.

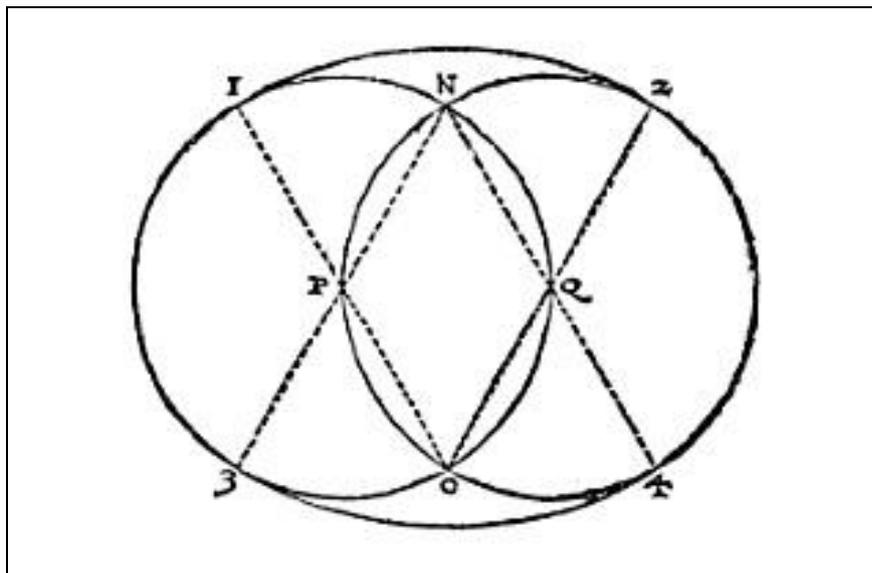


Figura 6.9. Serlio: trazado de elipse, dos circunferencias secantes (1545).

II. Método de las tres circunferencias secantes (figura 6.10.)

- Se trazan tres circunferencias secantes de radios iguales y con los centros en la misma horizontal, de tal forma que las circunferencias exteriores sean tangentes entre sí, mientras que la circunferencia central corta a las anteriores y pasa por sus centros.
- Se traza una vertical perpendicular por el centro de la circunferencia central y cortándola por los puntos I y K.
- Se unen los puntos I y K con los centros de las circunferencias y se prolongan hasta los puntos 1, 2, 3 y 4.
- Con centro en K y radio K-1 se traza un arco de circunferencia hasta el punto 2. Se repite el proceso de forma simétrica desde el punto I.

De esta forma uniendo los arcos 1-3 y 2-4 de las circunferencias exteriores con los últimos arcos 1-2 y 3-4 se obtiene un óvalo.

III. Método de los cuadrados yuxtapuestos (figura 6.11.)

- Se dibujan dos cuadrados iguales, con sus diagonales, unidos por uno de sus lados verticales, denominado E-F. Y se enumeran los vértices del rectángulo resultante con 1, 2, 3 y 4.
- Desde el centro de las diagonales, O y H, se trazan arcos de circunferencia. Trazando los arcos O-1 hasta O-3 y de H-2 hasta H-4.
- Con centro en F y radio F-1 se traza un arco de circunferencia hasta el punto 2. Se repite el proceso de forma simétrica desde el punto E.

De esta forma uniendo los arcos exteriores 1-3 y 2-4 con los últimos arcos 1-2 y 3-4 se obtiene un óvalo.

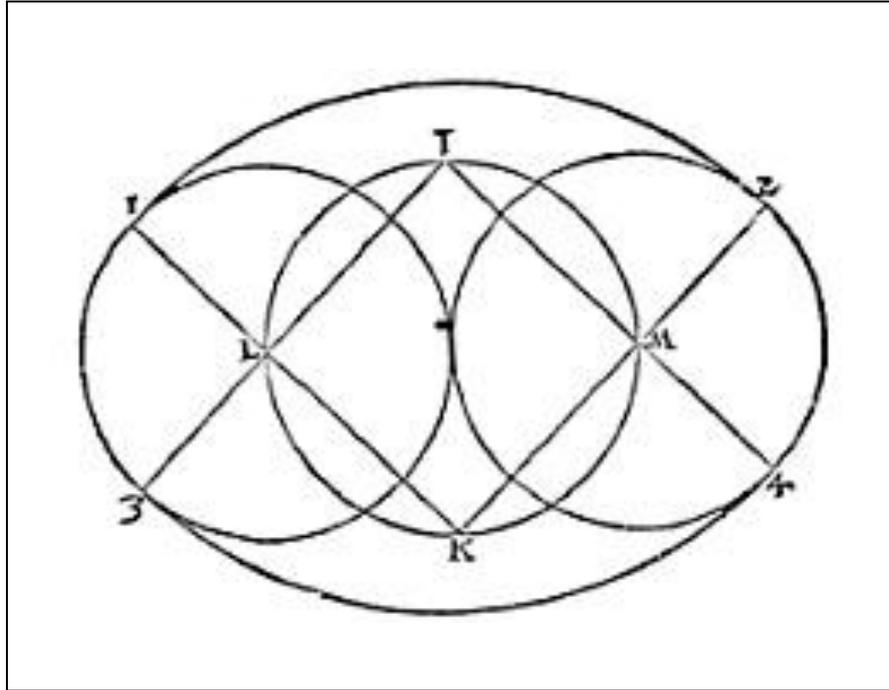


Figura 6.10. Serlio: trazado de elipse, tres circunferencias secantes (1545).

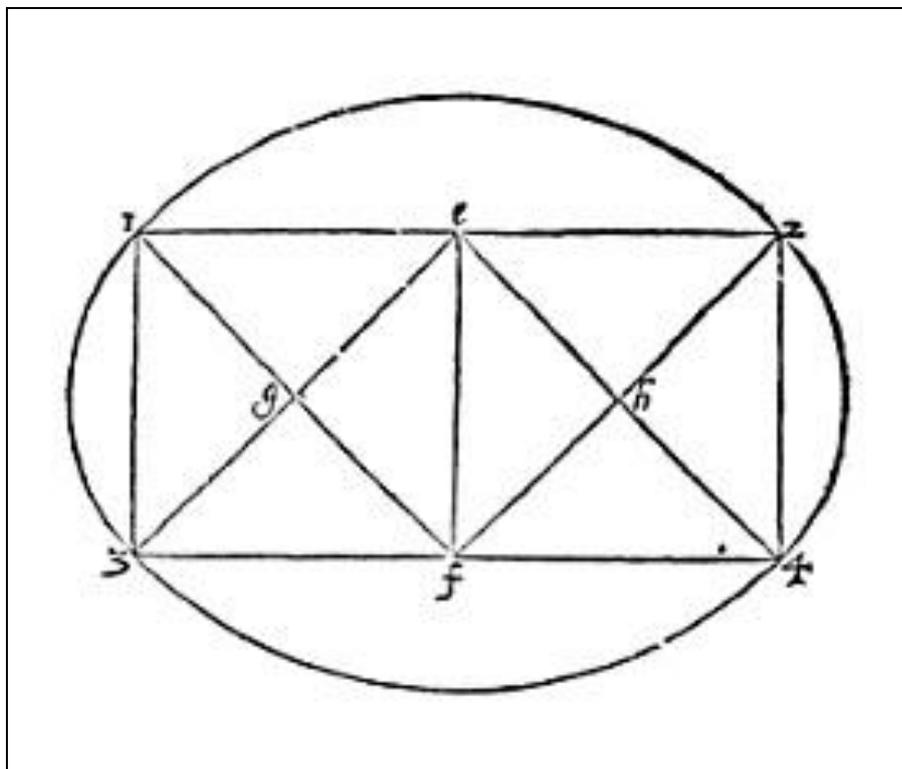


Figura 6.11. Serlio: trazado de elipse, cuadrados yuxtapuestos (1545).

6.2.1.2. Los óvalos de Hernán de Ruíz II

Los óvalos que aparecen en su Libro de Arquitectura son las mismas que las tres últimas explicadas de Serlio (figura 6.12.). Al ser el libro de Hernán Ruíz (1524-1568) posterior en su edición, se considera a Serlio el autor de estas trazas.

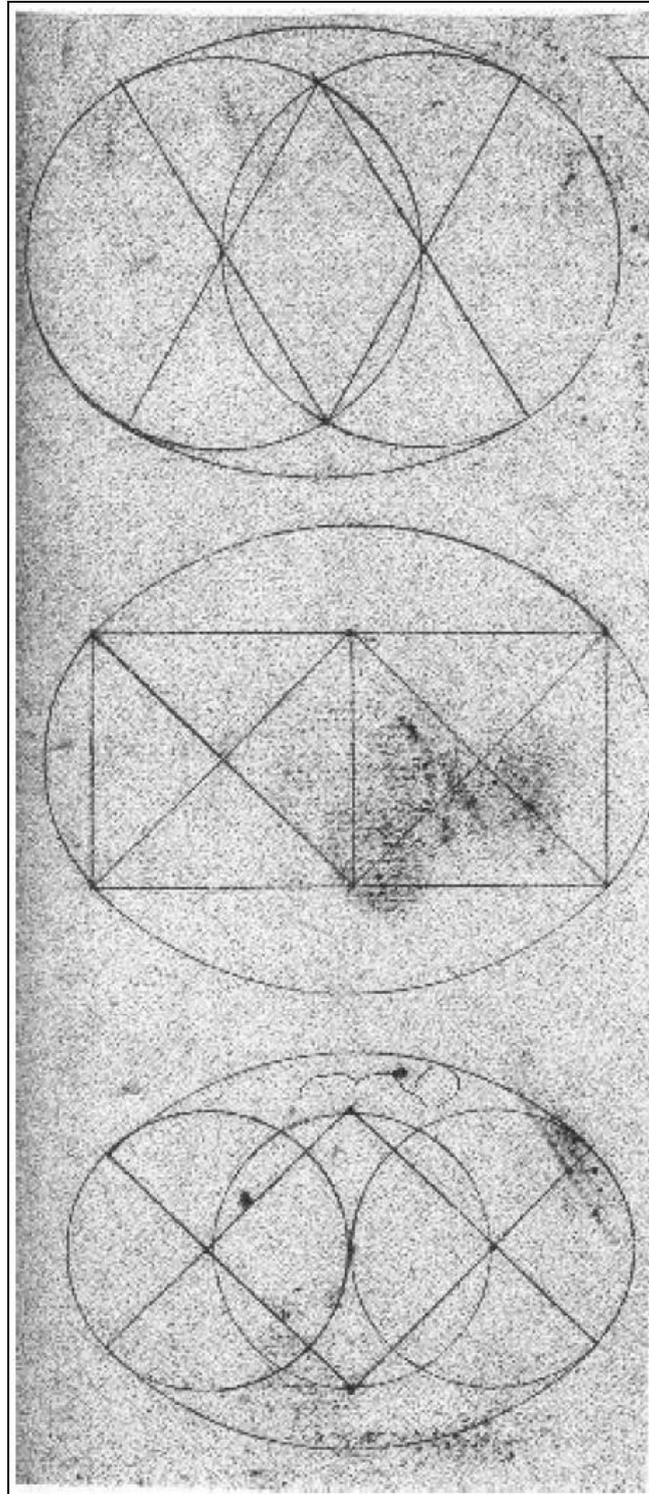


Figura 6.12. Hernán de Ruíz II: trazado de óvalos ([1560] 1974).

7. COMPARACIÓN DE LA PLANTA Y SECCIONES DE LA BÓVEDA DE SAN ANTONIO DE LOS ALEMANES CON LOS TRATADOS Y PLANOS HISTÓRICOS

7.1. COMPARACIÓN DE LA PLANTA DE LA IGLESIA CON LOS PLANOS DE 1881 Y 1974

- Comparación de la planta con el plano de 1881 de Antonio Ruíz de Salces.

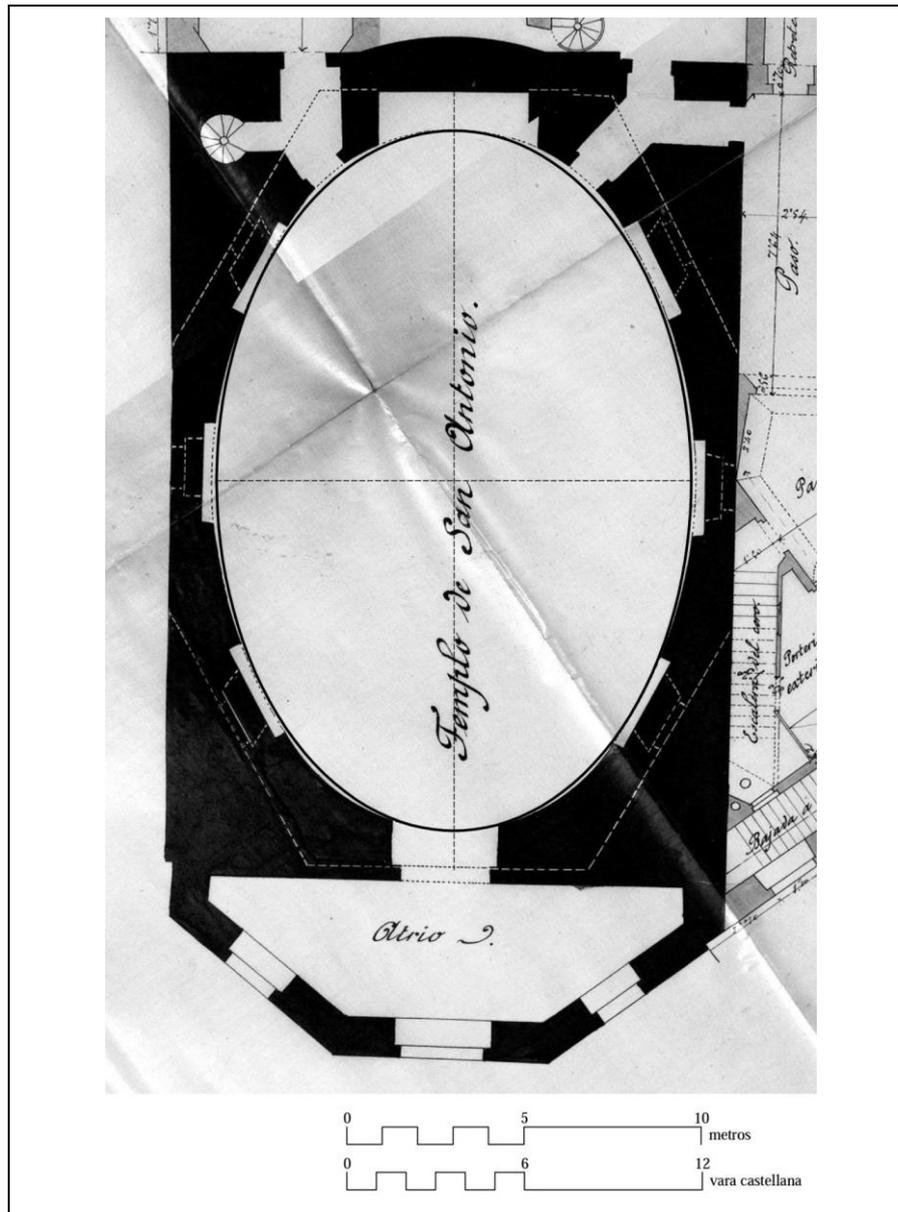


Figura 7.1. Planta obtenida sobre la Planta de Antonio Ruíz de Salces (1881).

Sabiendo que en 1881 la toma de datos no contaba con la precisión que se alcanza hoy en día la semejanza entre la elipse hallada en la toma de datos y la figura geométrica de la planta del plano de 1881 (figura 7.1.) tienen gran similitud, aunque el eje menor del plano sea algo mayor que el real.

- Comparación de la planta con el plano de 1974 de Federico Prieto.

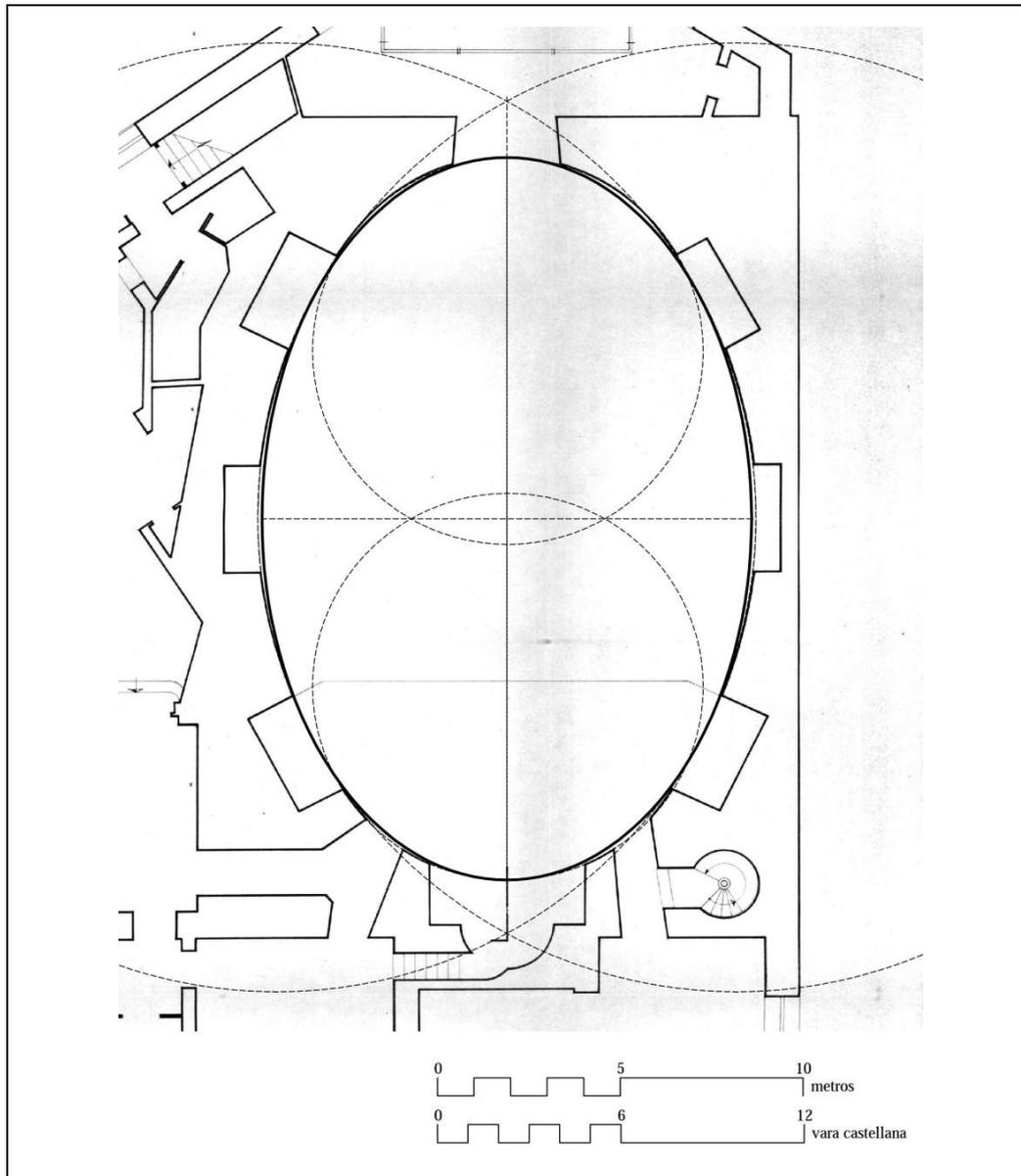


Figura 7.2. Planta obtenida sobre la Planta de Federico Prieto (1881).

En 1974, para delinear la planta de la iglesia se utilizó un óvalo. Las razones pueden ser el desconocimiento sobre la geometría exacta de la planta, debido a que los medios para la toma de datos eran menos precisos, o para facilitar el delineado, ya que el trazado de un óvalo sobre el papel es más rápido y sencillo que el de una elipse. No obstante la geometría del óvalo de este plano (figura 7.2.) y de la elipse medida en la toma de datos es de gran semejanza.

7.2. PHILIBERT DE L'ORME

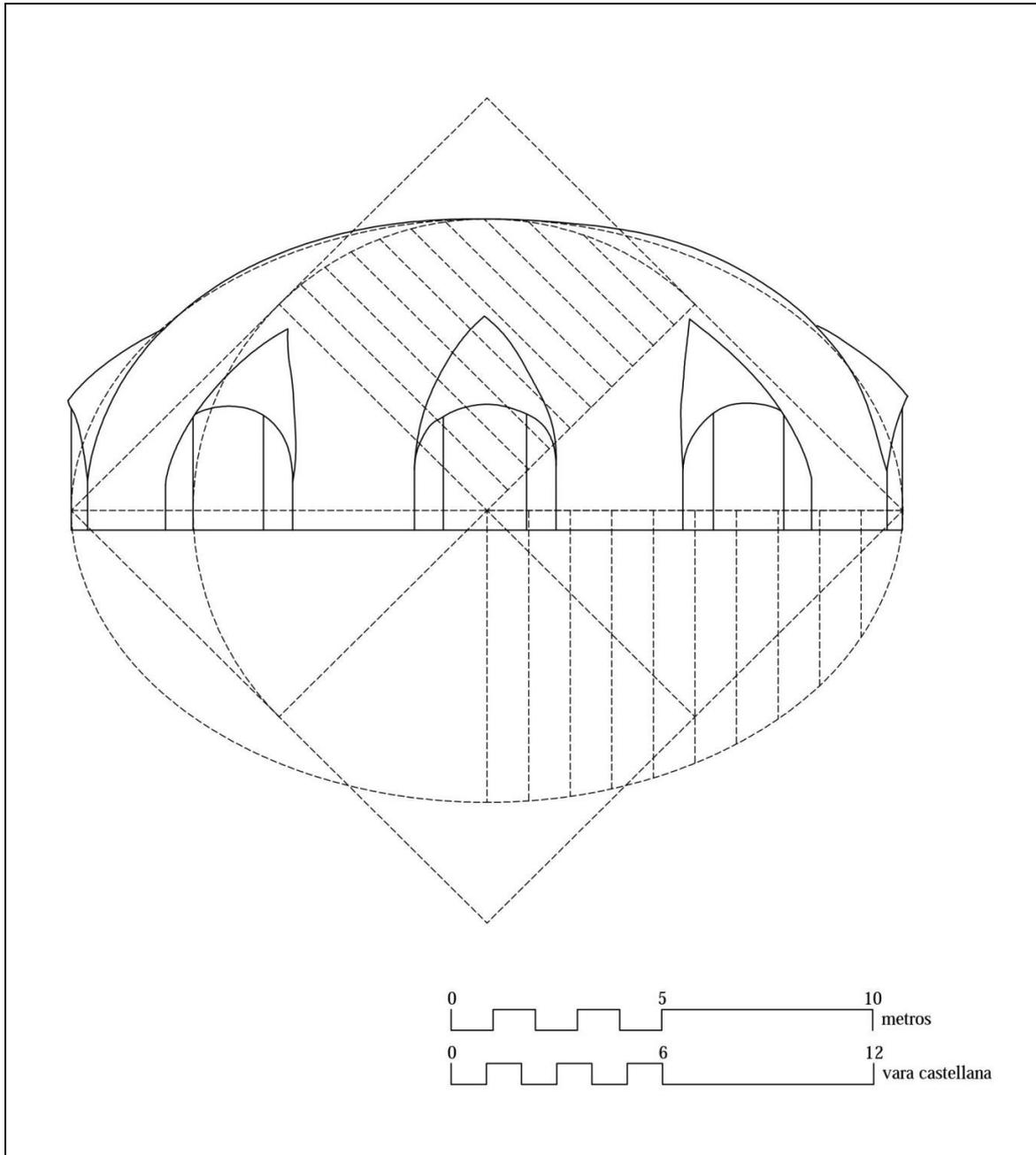


Figura 7.3. Elipse de Philibet de l'Orme sobre sección longitudinal de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

La “elipse” de Philibert de l'Orme no se adapta a la forma geométrica de la sección de la bóveda. Incluso el arranque de esta “elipse” no se ajusta a las medidas (varas castellanas) del siglo XVII, encontrándose a 0,40 varas castellanas o 22,5 dedos castellanos (figura 7.3.).

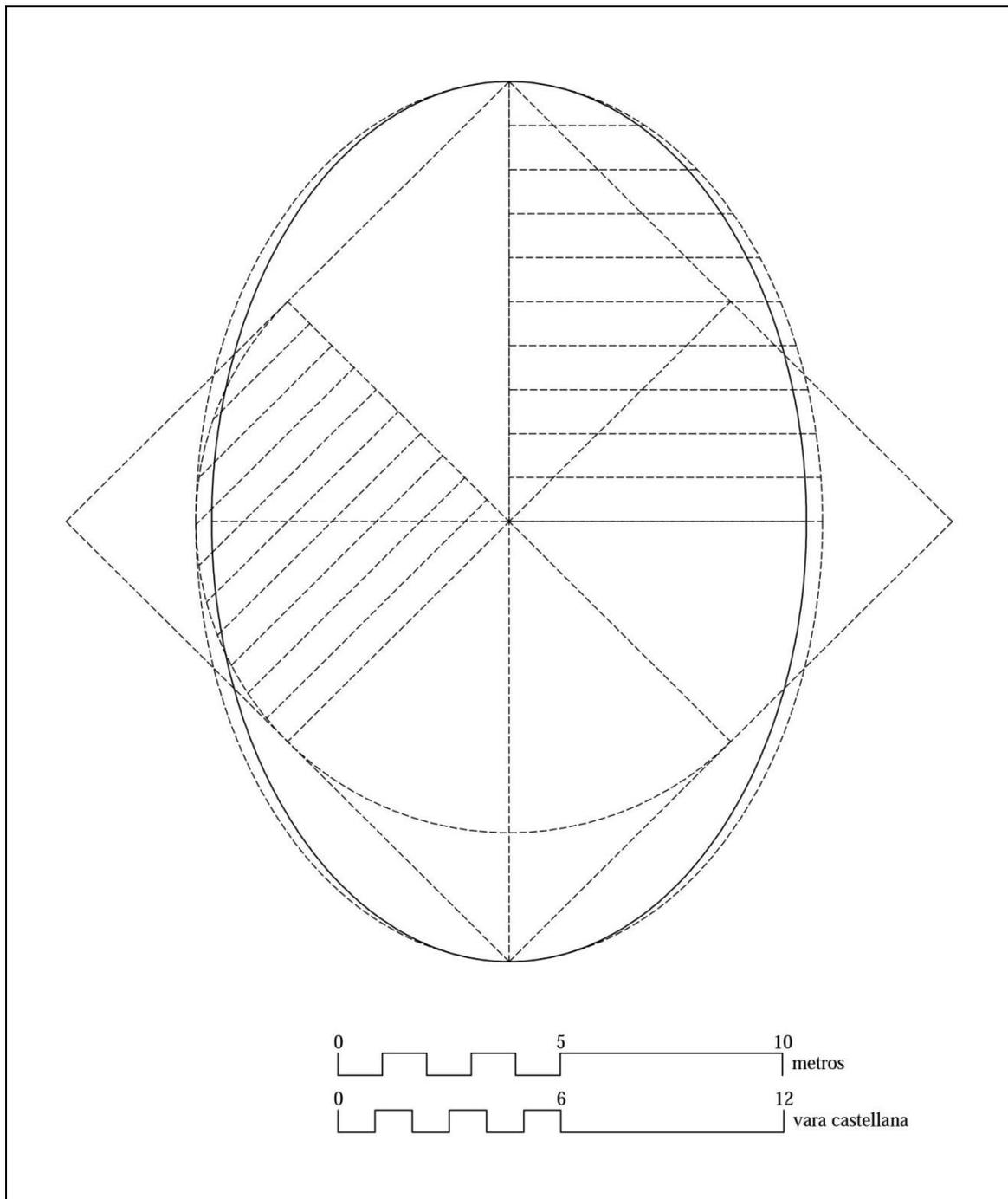


Figura 7.4. Elipse de Philibert de l'Orme sobre la planta de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

La “elipse” de Philibert de l'Orme, que se podría decir que es peraltada, no cumple con la geometría de la iglesia de San Antonio de los Alemanes (figura 7.4.). Ésto también puede deducirse por el hecho de que Pedro Sánchez no siguió ninguno de sus trazados en su vida profesional, sino los modelos italianos.

7.3. DURERO

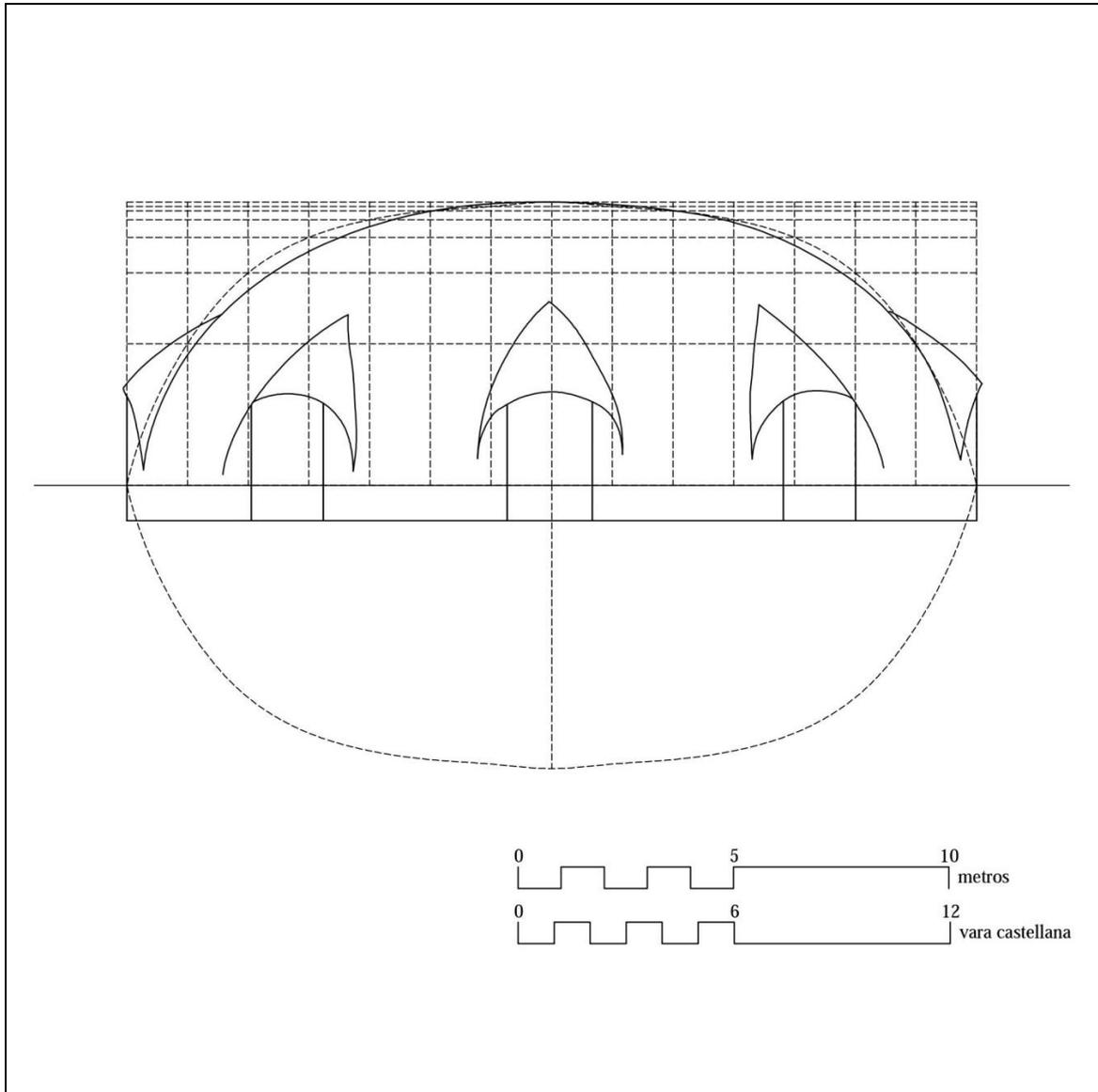


Figura 7.5. Elipse de Durero sobre sección longitudinal de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

La “elipse” de Durero no cumple con la geometría necesaria para emplearse en esta bóveda de superficie continua. Si bien es cierto que el arranque de la “elipse” se encuentra a una vara castellana de altura (figura 7.5.), el ángulo de arranque no se adapta a la sección.

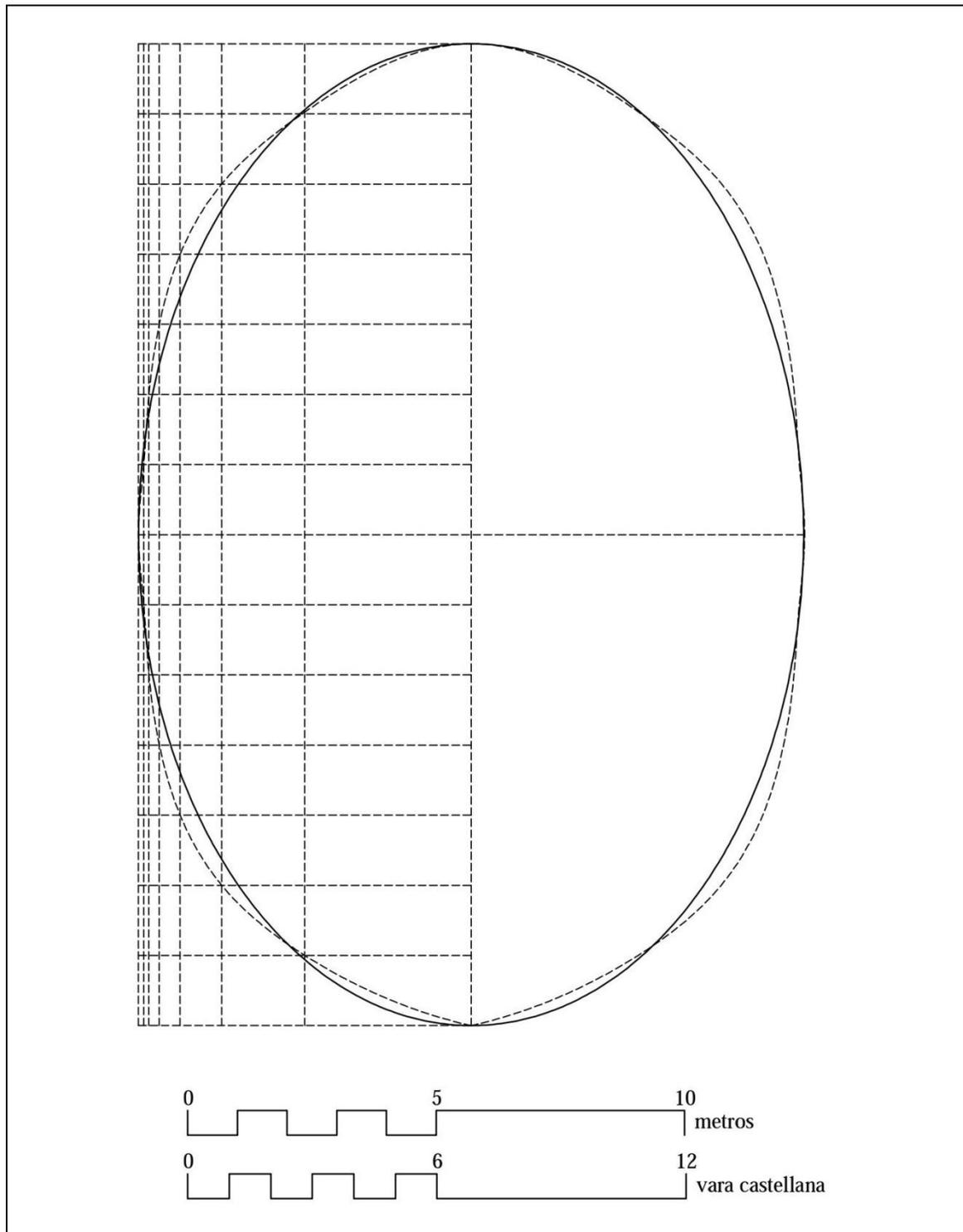


Figura 7.6. Elipse de Durero sobre la planta de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

La “elipse” de Durero consiste en una semielipse que arranca con ángulo y por lo tanto no se adapta a la base de la bóveda (figura 7.6.), que es una curva sin quiebros. Y como ya he comentado en el caso anterior, Pedro Sánchez estaba influenciado por los modelos italianos.

7.4. SERLIO

I. Método de las circunferencias concéntricas

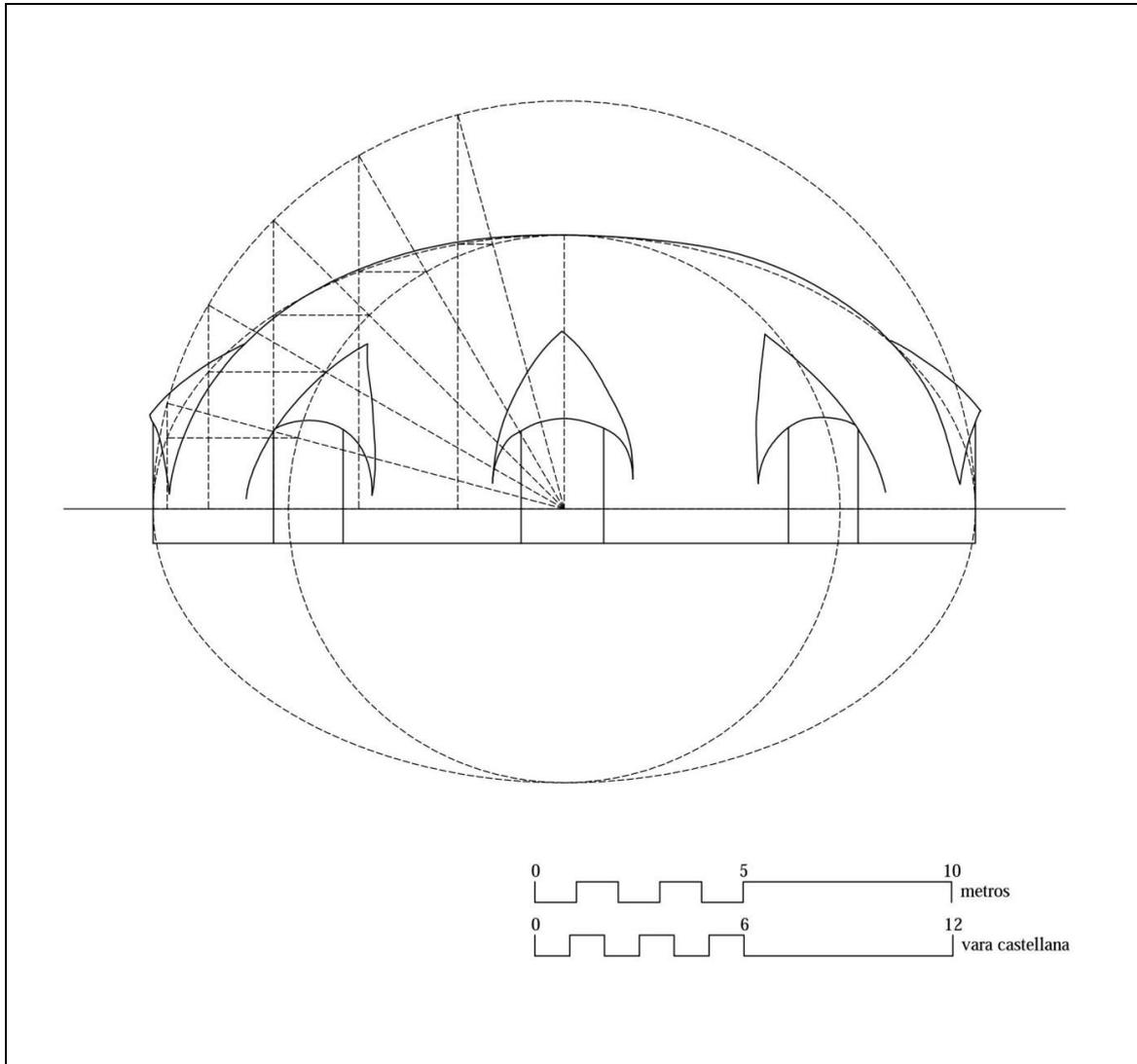


Figura 7.7. Elipse de Serlio, circunferencias concéntricas, sobre sección longitudinal de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

La elipse de Serlio de circunferencias concéntricas cumple con la geometría de la bóveda de la iglesia de San Antonio de los Alemanes y su arranque se sitúa a una vara castellana de altura (figura 7.7.), hecho común en estas bóvedas.

Además, como ya he comentado anteriormente, el arquitecto Pedro Sánchez se inspiró en las trazas italianas para crear sus obras, por lo que este modelo de elipse es el que seguramente empleó para el trazado de esta bóveda, al igual que para el trazado de la base.

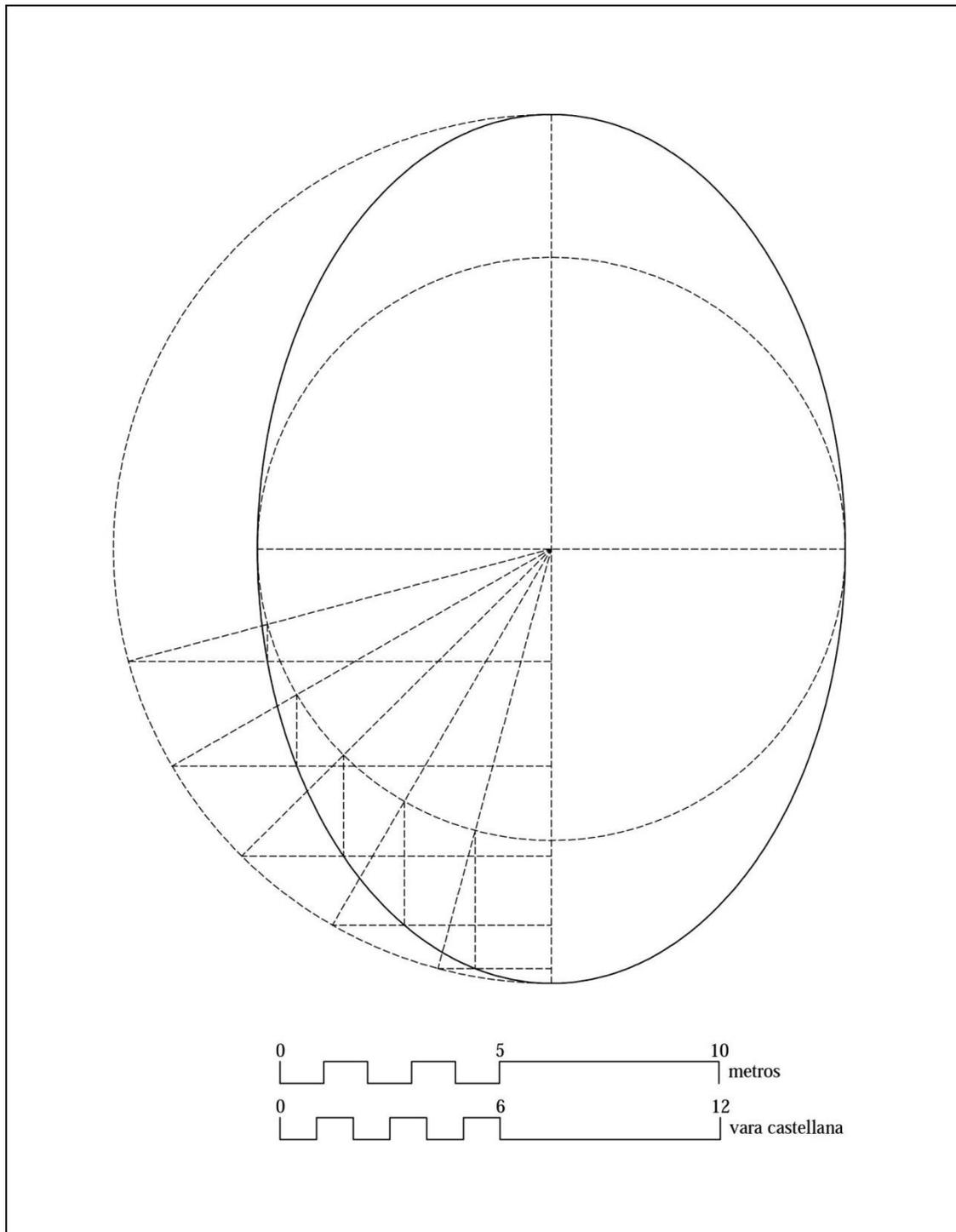


Figura 7.8. Elipse de Serlio, circunferencias concéntricas, sobre la planta de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

La elipse de Serlio al superponerla con la planta de la bóveda de San Antonio de los Alemanes (figura 7.8.) encaja perfectamente. Este hecho significa que es bastante probable que Pedro Sánchez siguiese este modelo para trazar la geometría de la iglesia. De esta forma se demuestra que su geometría es elíptica y no ovalada, no obstante, también se estudian a continuación otros trazados.

II. Método de las dos circunferencias secantes

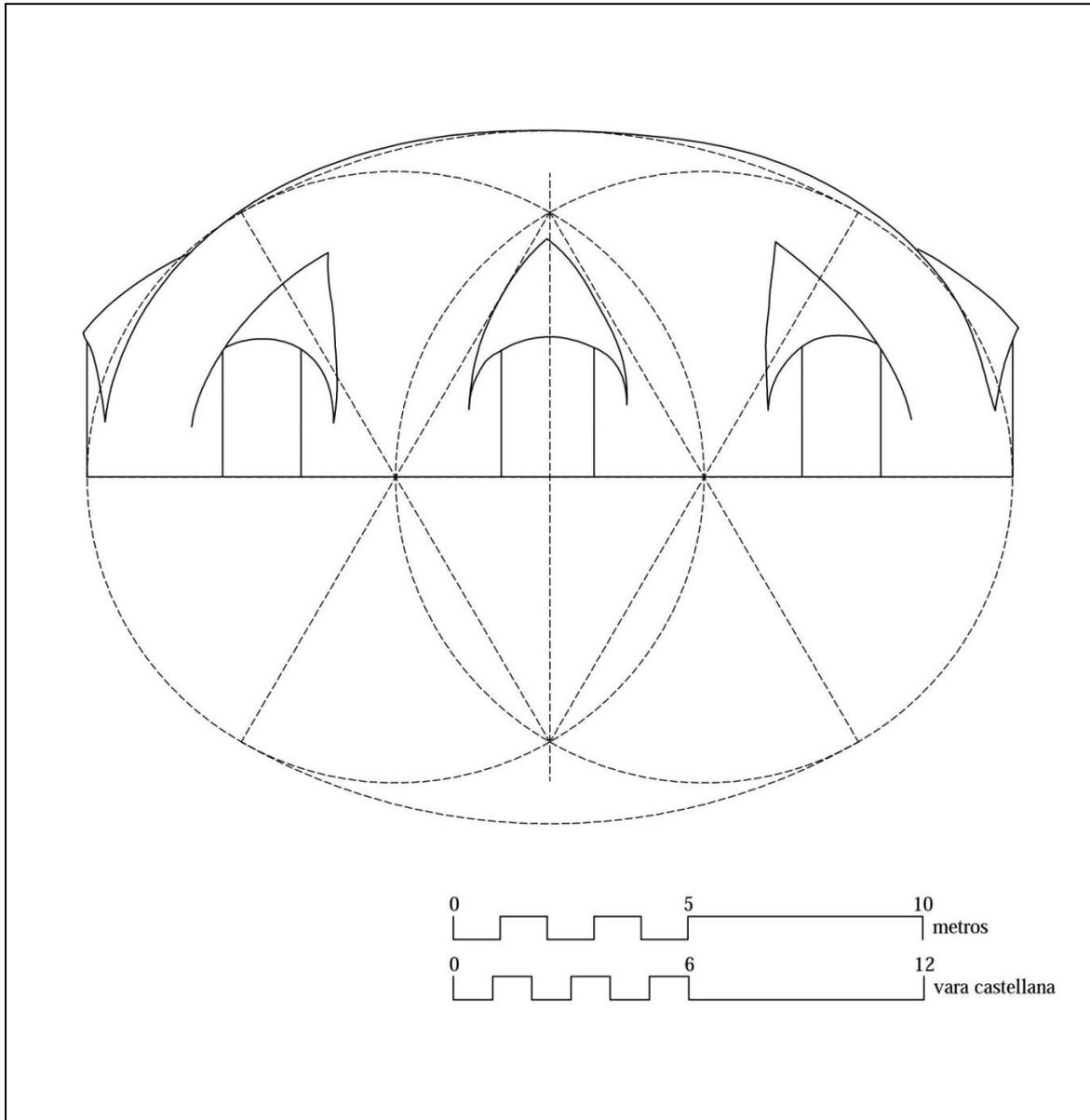


Figura 7.9. Óvalo de Serlio, dos circunferencias secantes, sobre sección longitudinal de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

El óvalo formado a partir de dos circunferencias secantes de Serlio se acerca a la forma de la geometría de la bóveda de la iglesia de San Antonio de los Alemanes (figura 7.9.), aunque su inicio se sitúa en la base, al contrario de lo que sucede en ésta, hecho que se demostrará en las comparaciones de la sección transversal.

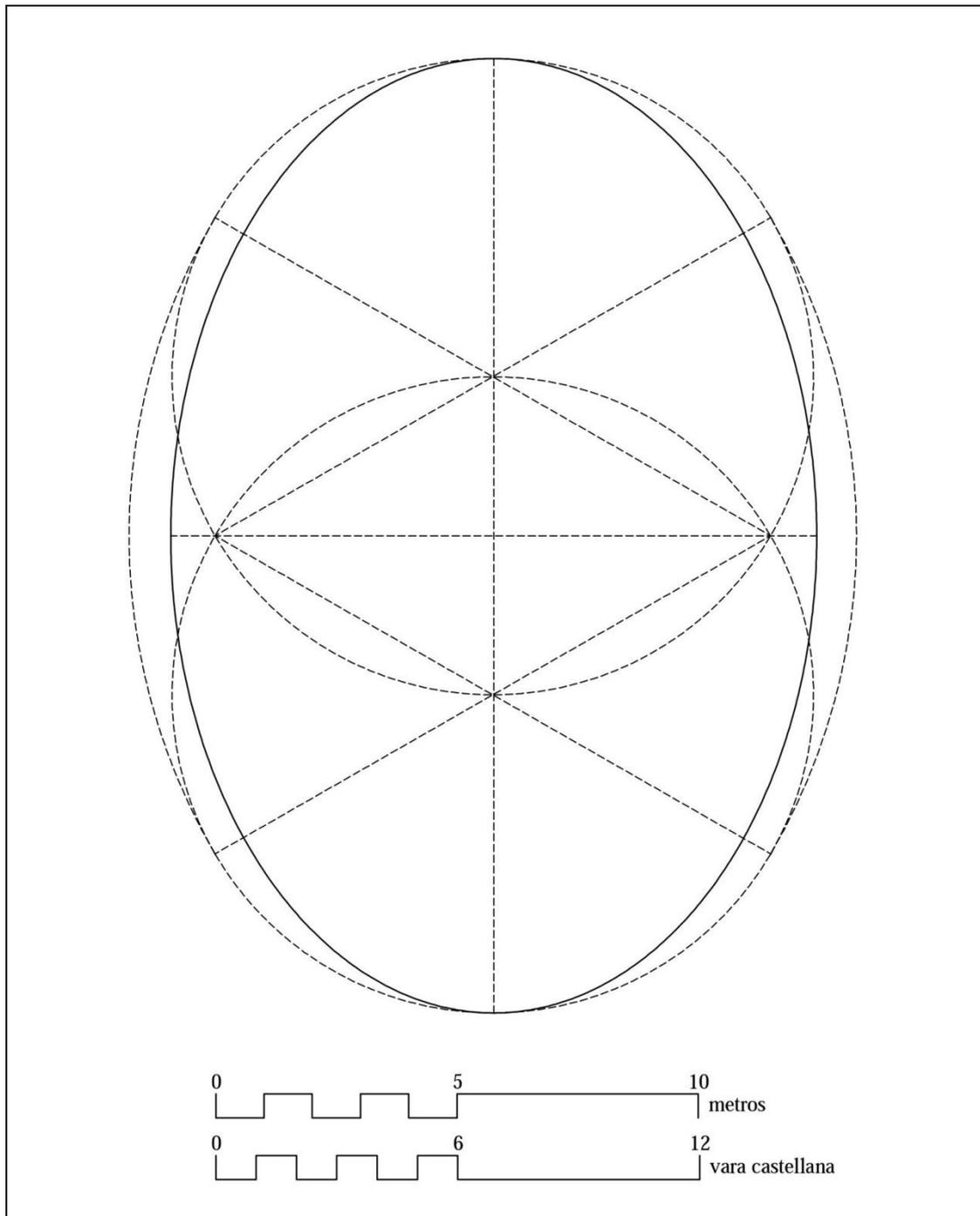


Figura 7.10. Óvalo de Serlio, dos circunferencias secantes, sobre la planta de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

El óvalo formado por dos circunferencias secantes de Serlio no coincide geoméricamente con la planta de la bóveda (figura 7.10.).

Por lo que se puede observar de este óvalo y de los que se muestran a continuación la geometría de la bóveda sigue el mismo trazado elíptico que el cuerpo inferior de la iglesia.

III. Método de las tres circunferencias secantes

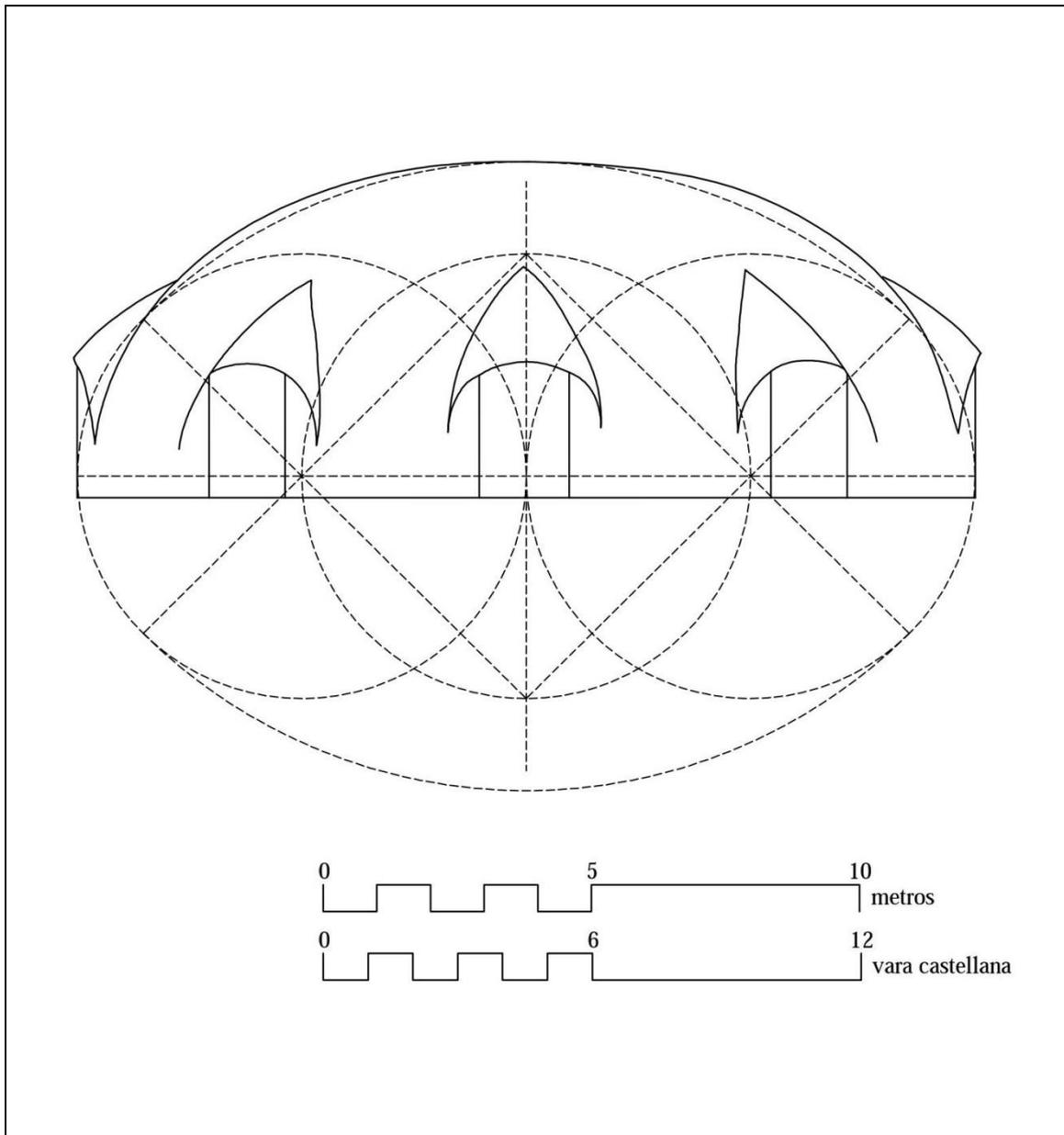


Figura 7.11. Óvalo de Serlio, tres circunferencias secantes, sobre sección longitudinal de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

En este caso (figura 7.11.), el óvalo comienza a una altura de media vara castellana, acercándose más a la altura real, aun así, la geometría no encaja con la traza de la sección de la bóveda.

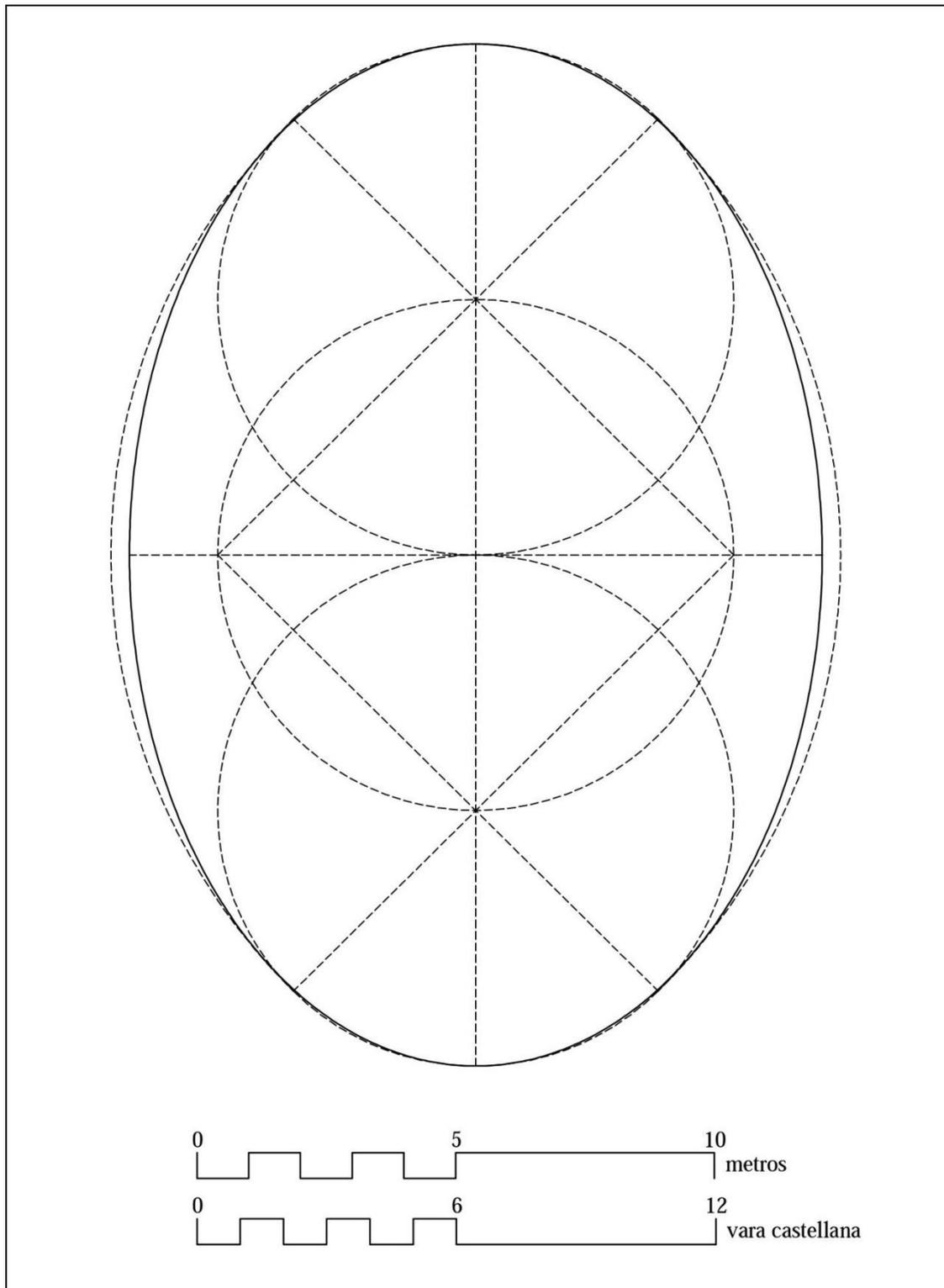


Figura 7.12. Óvalo de Serlio, tres circunferencias secantes, sobre la planta de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

El óvalo formado por tres circunferencias secantes de Serlio no coincide geoméricamente con la planta de la bóveda (figura 7.12.), aunque se adapta mejor a geometría que el anterior caso.

IV. Método de los cuadrados yuxtapuestos

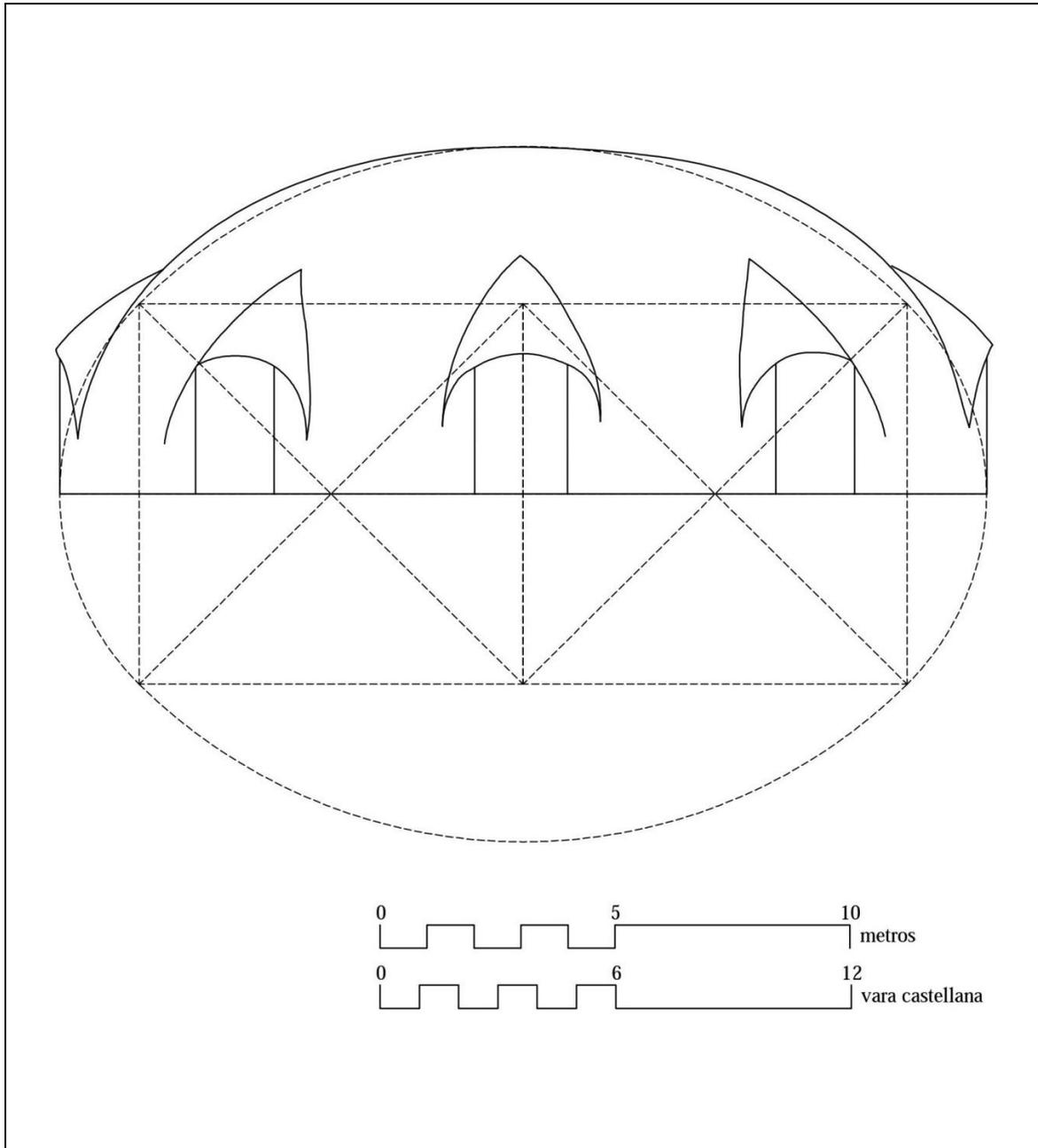


Figura 7.13. Óvalo de Serlio, cuadrados yuxtapuestos, sobre sección longitudinal de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

En este caso (figura 7.13.) sucede lo mismo que con el óvalo de dos circunferencias de Serlio, comenzado su arranque en la base, aunque la geometría está más distante que en el otro modelo.

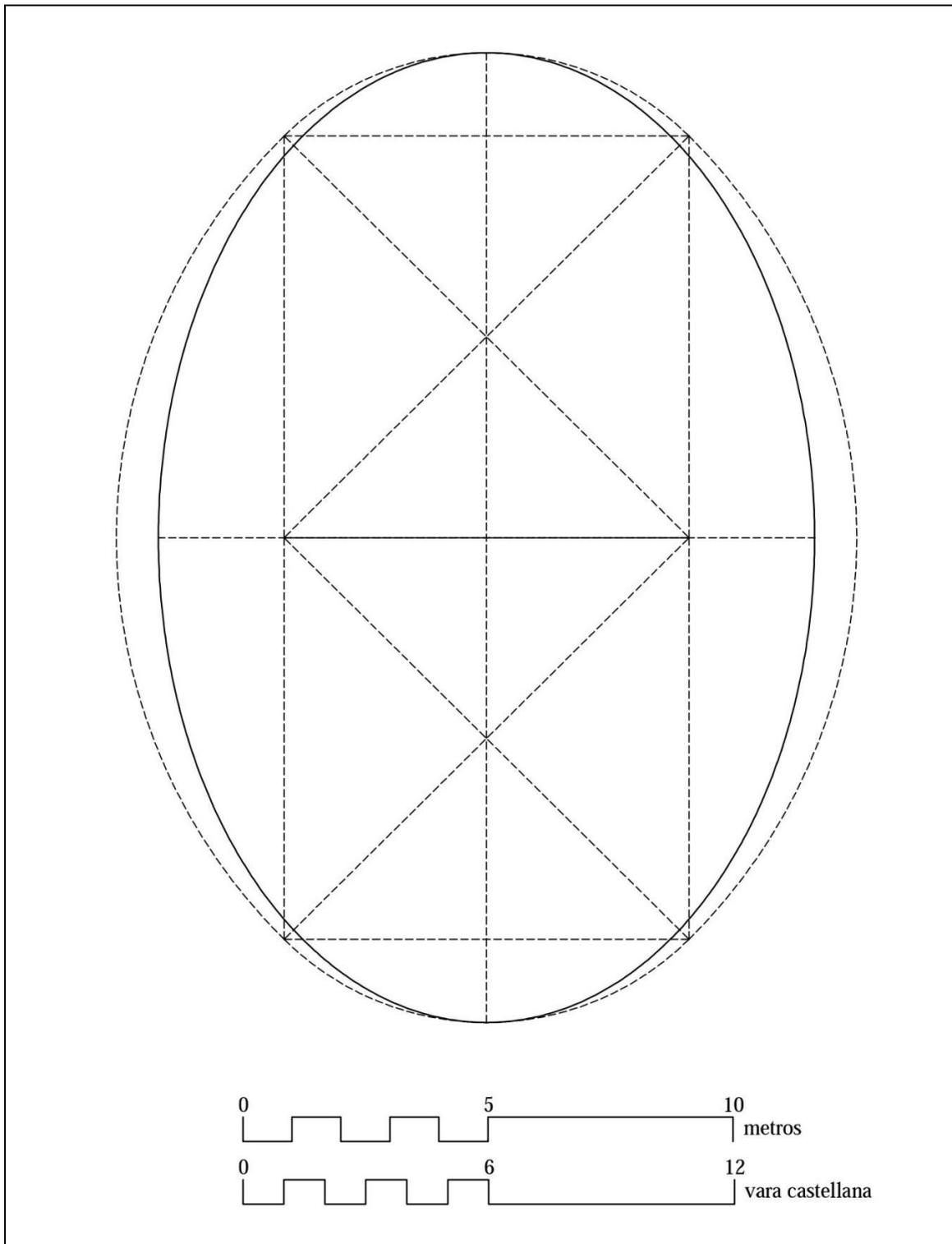


Figura 7.14. Óvalo de Serlio, cuadrados yuxtapuestos, sobre la planta de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

El óvalo formado por cuadrados yuxtapuestos de Serlio no coincide geoméricamente con la planta de la bóveda (figura 7.14.). Este modelo de trazado de Serlio es el menos probable que se emplease en una construcción por el método para trazarla.

7.5. COMPÁS DE ARQUÍMEDES

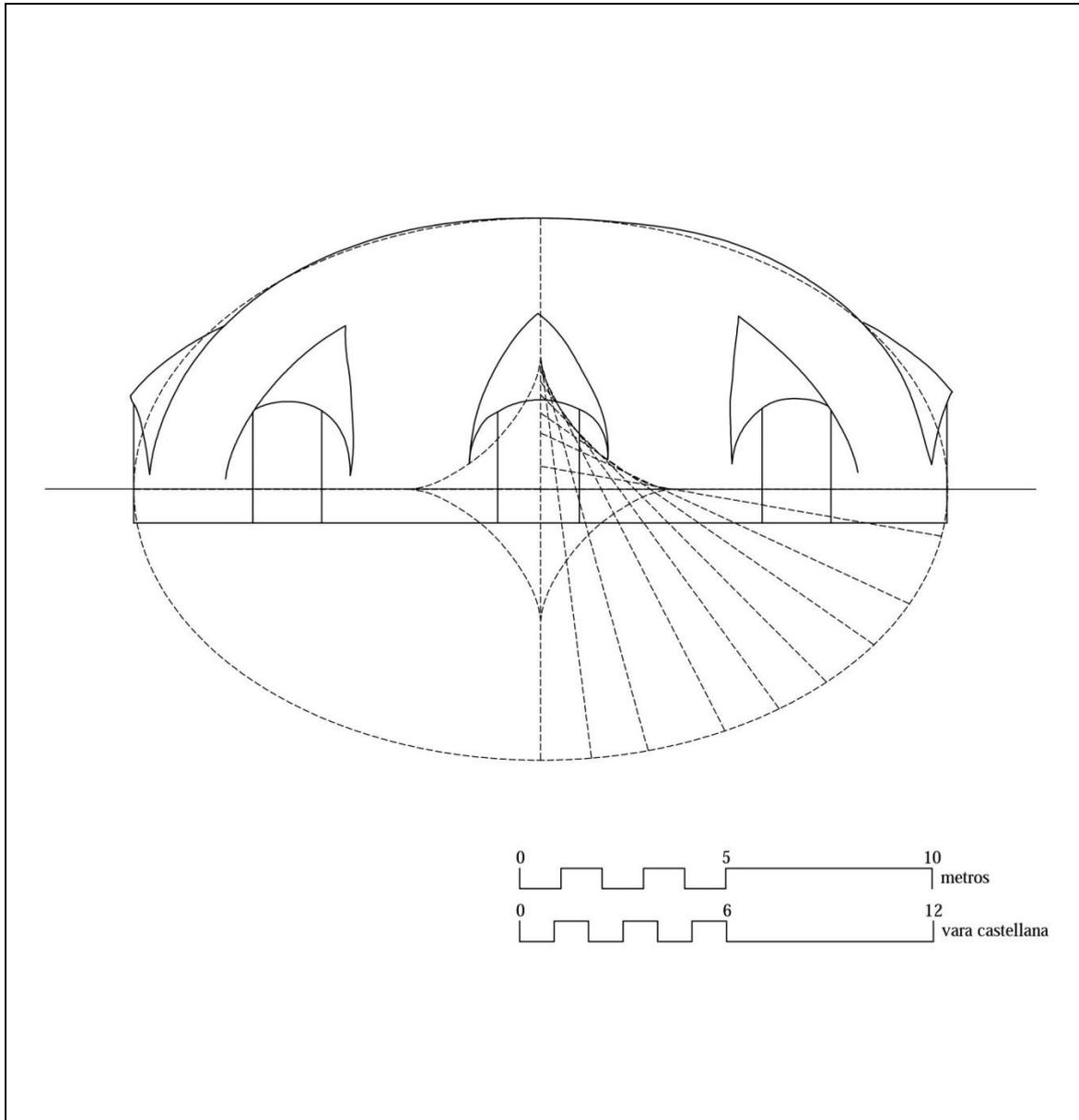


Figura 7.15. Elipse trazada con Compás de Arquímedes sobre sección longitudinal de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

La elipse trazada con el compás de Arquímedes coincide con la sección de la bóveda de la iglesia (figura 7.15.), sin embargo, es más probable que Pedro Sánchez empleara el trazado de Serlio por su tendencia a seguir trazados italianos en sus obras.

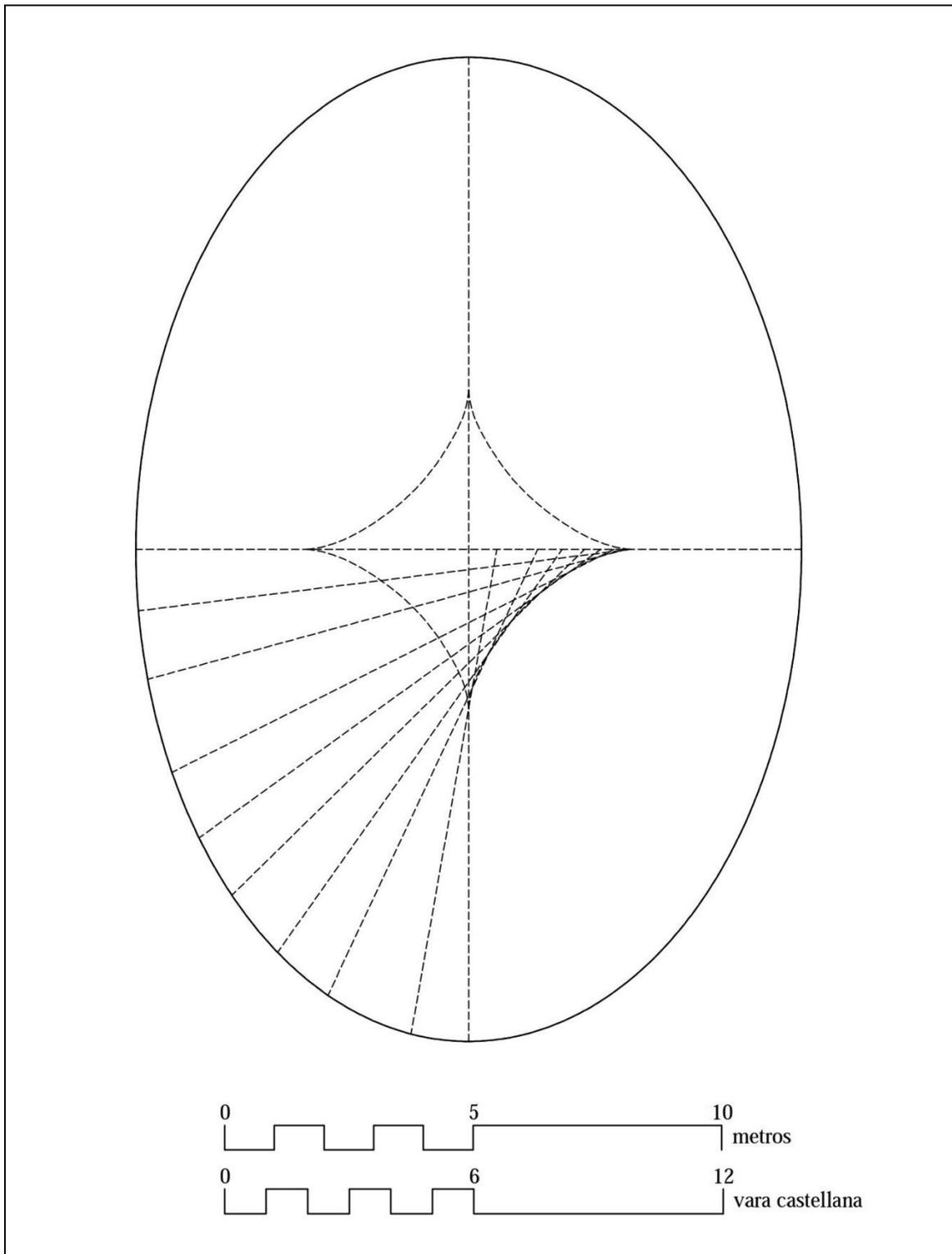


Figura 7.16. Elipse trazada con Compás de Arquímedes sobre la planta de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

Al igual que sucede al comparar esta traza con la sección de la bóveda, coincide con la geometría de la planta (figura 7.16.). Aunque como he comentado, es más probable que Pedro Sánchez empleara el trazado de la elipse de Serlio.

7.6. MATHURIN JOUSSE

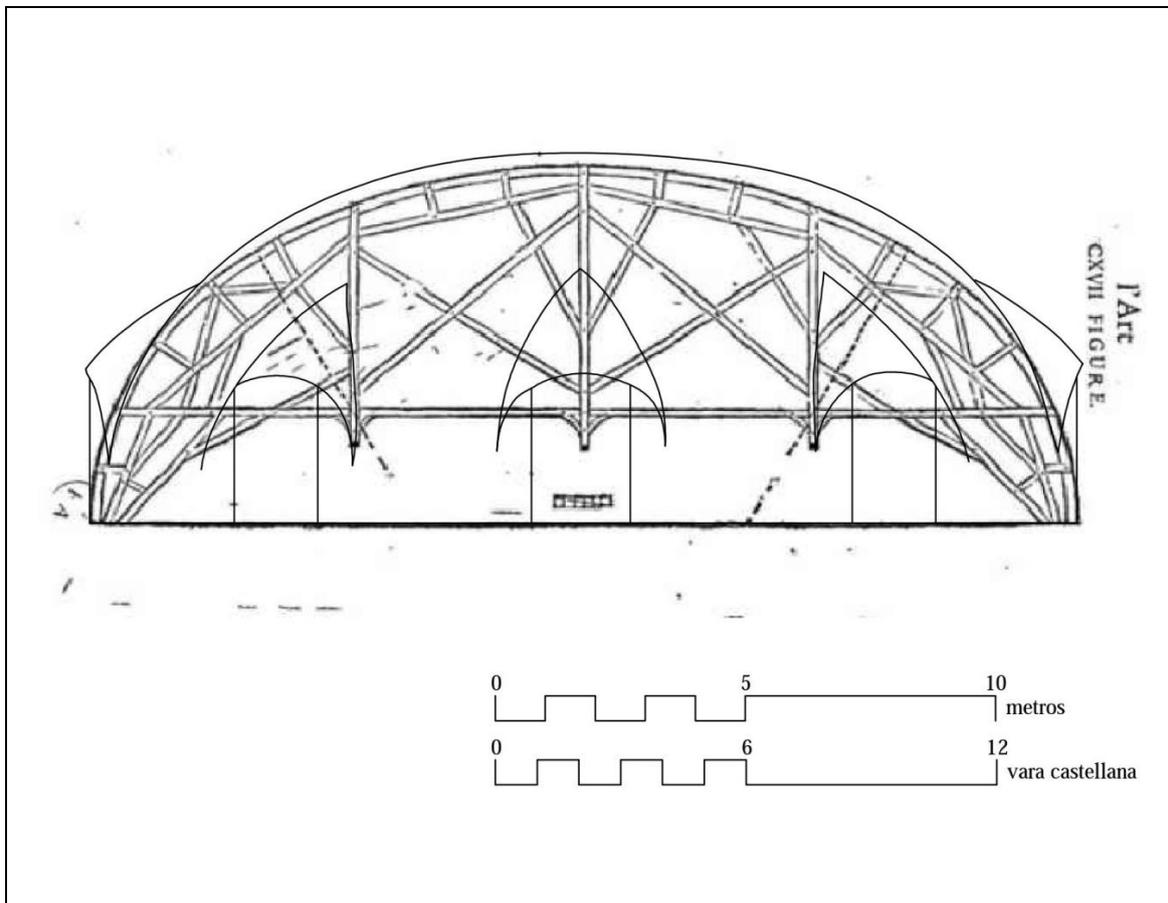


Figura 7.17. Carpintería de techo ovalado por Mathurin Jousse, con un diseño que podría seguir a Serlio (López 2011) sobre sección longitudinal de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

En esta comparación de la sección transversal de la bóveda de San Antonio de los Alemanes con la carpintería de techo ovalado de Mathurin Jousse de su tratado de 1627, *Le Thetre de L'arte de Charpentier*, se observa (figura 7.17.) la diferencia de cota que alcanza en el centro de la nave, sin ajustarse la geometría a la traza de Pedro Sánchez, añadiendo que no se encuentra peraltada.

7.7. SECCIÓN TRANSVERSAL

La sección transversal de un elipsoide es un círculo, por lo que la comparación que trata este apartado consiste en ver la diferencia que se produce en la sección de la bóveda cuando se inicia la revolución del elipsoide en la base, a una altura de media vara castellana y a la altura de una vara castellana.

- Revolución en la base de la bóveda.

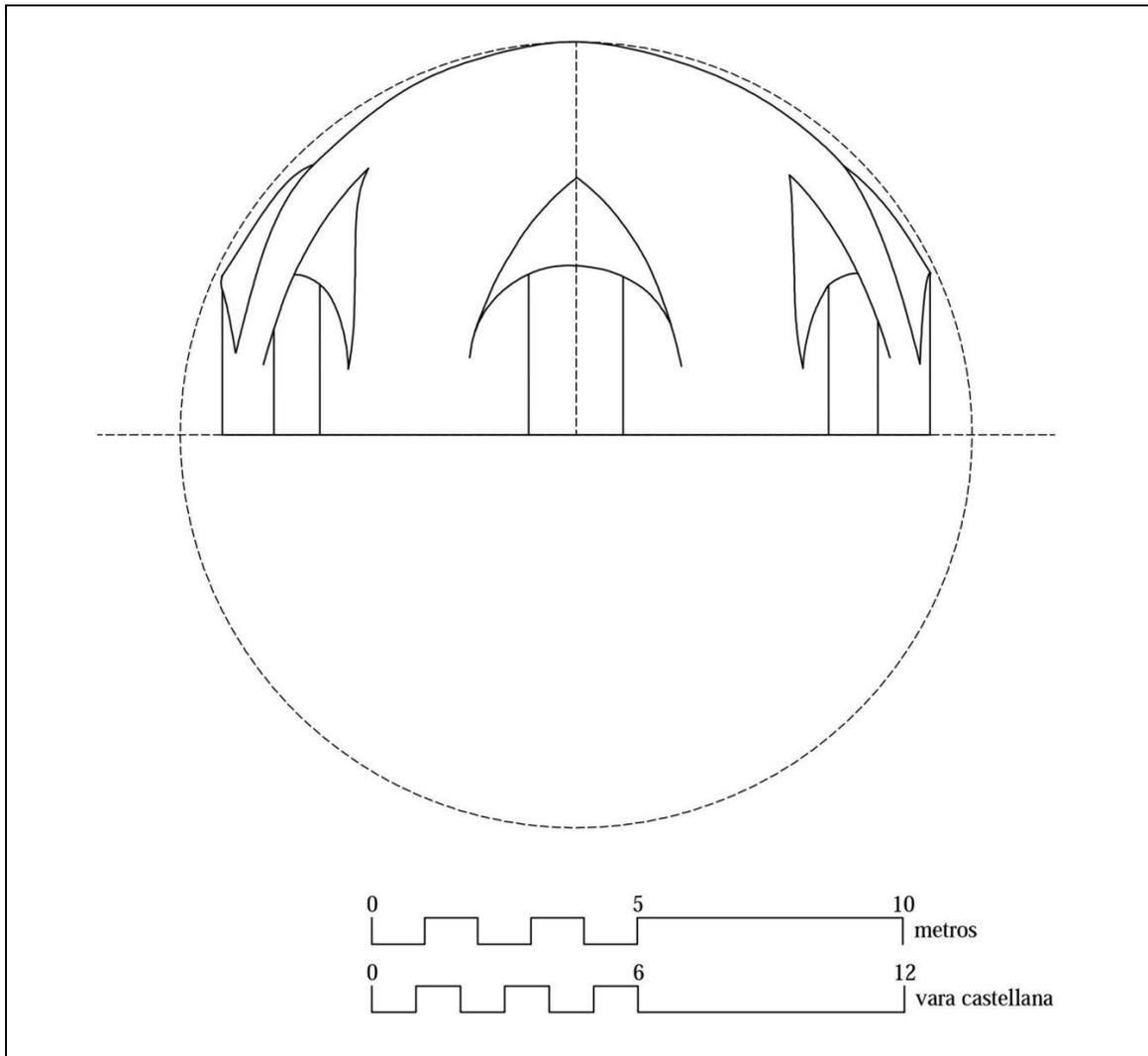


Figura 7.18. Elipse con inicio en la base de la bóveda sobre sección transversal de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

Al comparar el trazado de la revolución de la elipse (figura 7.18.), con su centro a la altura de la base de la bóveda, con la sección transversal de la misma, se comprueba que el elipsoide está peraltado. A continuación se muestran dos casos con diferentes alturas de peralte, a media vara y a una vara castellana.

- Revolución a una altura de media vara castellana.

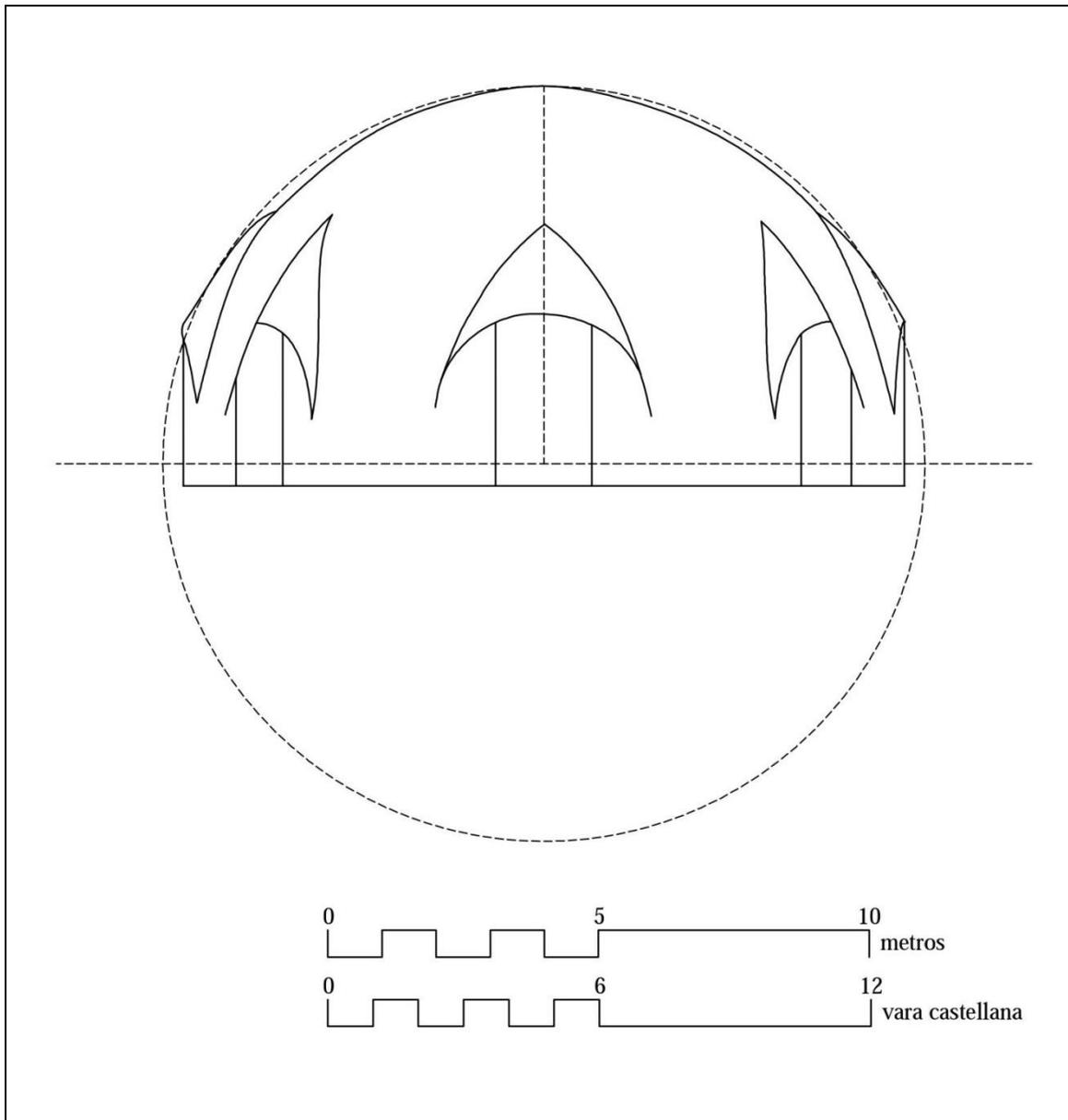


Figura 7.19. Elipse con inicio a una altura de media vara castellana de la base de la bóveda sobre sección transversal de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

En este caso se muestra el peralte a una altura de media vara castellana, ya que esta medida también solía darse aunque en menor medida que la unidad de la vara para construcciones como templos.

Se puede observar en la imagen (figura 7.19.) que la geometría sigue sin ajustarse a la traza de la bóveda.

- Revolución a una altura de una vara castellana.

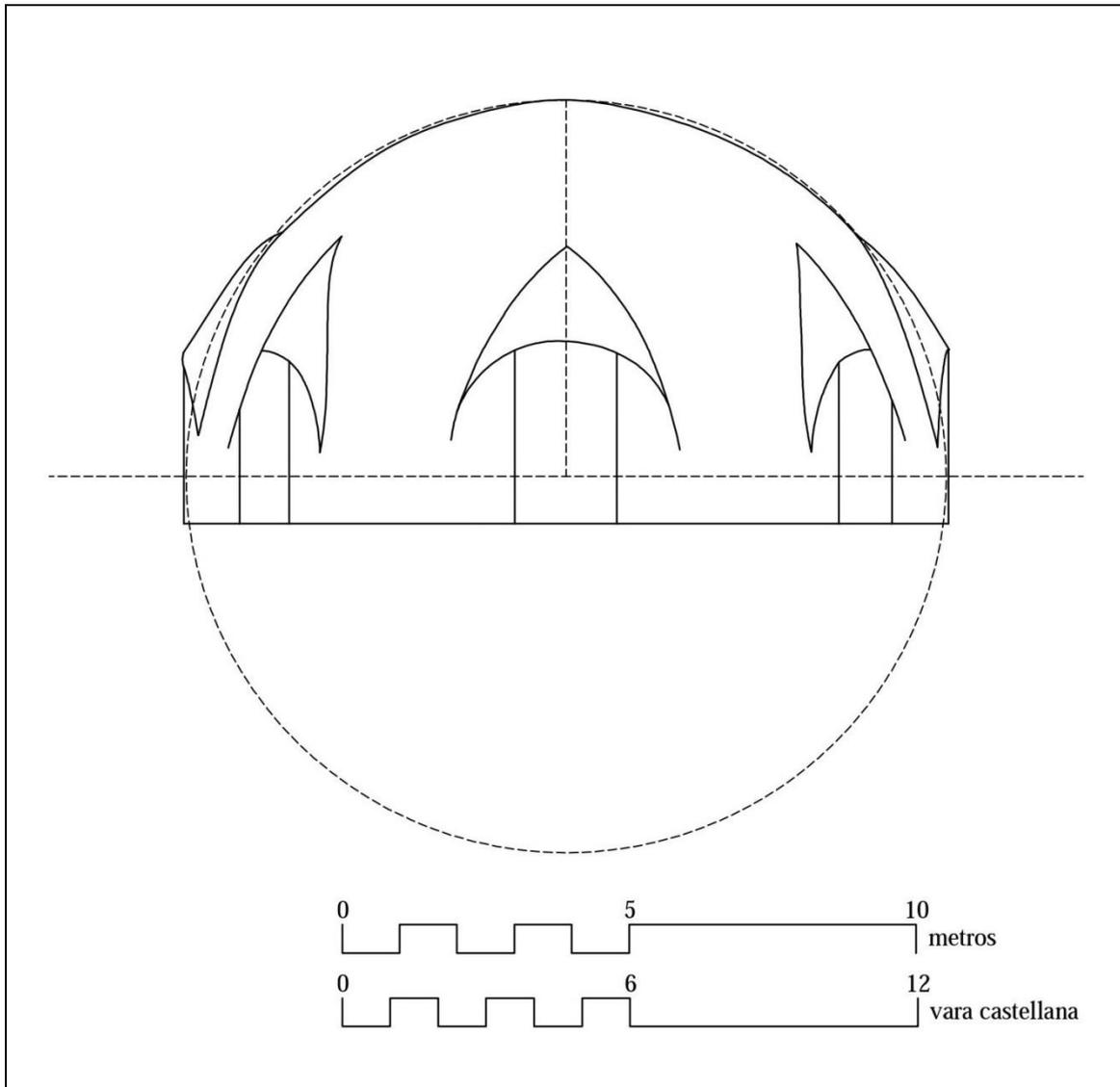


Figura 7.20. Elipse con inicio a una altura de una vara castellana de la base de la bóveda sobre sección transversal de la bóveda de San Antonio de los Alemanes.

Por último, se muestra la sección del elipsoide peraltado una vara castellana, comprobándose que está es la altura donde tiene su arranque (figura 7.20.). Este hecho es el caso más común, iniciándose la curvatura de las cimbras de madera a una distancia¹¹ de la base de las bóvedas, y se comprueban los resultados obtenidos por el método de las circunferencias concéntricas de Serlio y por el compás de Arquímedes, dando como conclusión que la traza elipsoidal es la empleada en esta bóveda.

¹¹ La altura de peralte es una distancia fácilmente manejable en la región donde se diese lugar la construcción. En este caso la vara castellana, 0,83 metros, al estar situada en la Villa de Madrid.

8. CONCLUSIONES

La presente investigación tenía por objetivo estudiar la geometría de la bóveda de San Antonio de los Alemanes a través de un modelo tridimensional que permitiera abordar el tema.

8.1. SOBRE EL LEVANTAMIENTO

Tras realizar la toma de datos con ayuda de una Estación Total, se ha obtenido una nube de 784 puntos que representan la base, las aristas de los lunetos y puntos que dan forma a la bóveda. A partir de estos puntos se ha generado un modelo tridimensional de la bóveda de la iglesia con el que se ha trabajado para determinar la geometría exacta de la planta y las secciones.

El levantamiento no es exclusivamente un instrumento de servicio para abordar otros conocimientos, sino que es una disciplina autónoma con valor en sí mismo, aunque sirve para investigar otras materias. Por tanto, el levantamiento obtenido aporta documentación gráfica que se puede emplear en futuros estudios; y por otro lado es una operación de trabajo indispensable para la investigación geométrica llevada a cabo.

8.2. SOBRE EL ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA BÓVEDA

Los resultados y conclusiones obtenidos en el análisis geométrico esclarecen que la figura que da forma a este monumento es la elipse y no el óvalo, como aparece en algunos libros sobre el Barroco madrileño del siglo XVII.

La geometría de una elipse y un óvalo revolucionado son de gran parecido, por este motivo se ha comparado la sección longitudinal, la sección transversal y la planta de la bóveda con los tratados de Alberto Durero (1525), Philibert de l'Orme (1567) y Sebastiano Serlio (1545), además de la elipse trazada con el instrumento denominado "Compás de Arquímedes" descrita por Fray Lorenzo de San Nicolás en su Tratado Arte y Vso de Architectvra (1633-1664) y con un grabado de bóveda ovalada con cerchas de Mathurin Jousse (1627).

La conclusión que se obtiene por la comparación de la sección longitudinal y la planta con los trazados es que es una elipse de Serlio, por el método de las circunferencias concéntricas o una elipse trazada con el “Compás de Arquímedes”. Aunque el trazado de los óvalos de Serlio se acerca también a la forma del levantamiento pero sin encajar completamente, si bien el peralte de estos últimos difiere. Por tanto se realiza la comparación con la sección transversal y se obtiene que únicamente coinciden las trazas a la altura de una vara castellana, hecho muy común en las bóvedas y cúpulas de la época, descartando las demás propuestas. Como resultado de este análisis se concluye que la geometría que define la bóveda es un elipsoide con un peralte de una vara castellana.

La bóveda se ha acotado en metros y en varas castellanas. Se ha comprobado que existen ciertas coincidencias que llevan a pensar que la métrica de estas bóvedas se ha modulado a partir de la vara castellana de longitud 0,83 metros u 83,59 centímetros, encontrándose el hecho de que la luz que cubre la distancia mayor es igual a la cota máxima de la bóveda. También de esta forma se ha comprobado que la bóveda se haya peraltada una vara castellana y que de esta manera todas las medidas se ajustan adecuadamente, verificando que la altura de la cornisa de la bóveda más la luz del semieje menor más la vara de peralte es equivalente a la altura máxima de la bóveda.

Sabiendo que es un elipsoide, el siguiente problema a solucionar es qué trazado siguió el arquitecto jesuita Pedro Sánchez para definir esta bóveda. La respuesta se haya tras estudiar su vida y obra, de la cual se puede afirmar que su trabajo se vio influenciado por los trazados italianos, principalmente de Vignola. Por tanto, es más seguro decir que el trazado de elipse que siguió Pedro Sánchez fue el de Serlio, el método de las circunferencias concéntricas, y que la iglesia que inspiró la construcción de la bóveda de San Antonio de los Alemanes fue la iglesia de Sant’Anna dei Palafrenieri de Vignola, también de geometría elíptica, situada en la Ciudad del Vaticano.

Juan Gómez de Mora también intervino en esta iglesia de la Corte y cuando se inició la construcción de este templo, estaba finalizando el Convento de las Bernardas en Alcalá de Henares, Madrid, también de planta elíptica y bóveda elipsoidal. Aunque como Maestro de Mayor de las Obras Reales y de la Villa tenía gran cantidad de proyectos lo que le impedía intervenir activamente en cada uno de ellos, por tanto el arquitecto Pedro Sánchez se encargó de casi todo el proyecto.

En algunos textos se habla sobre esta bóveda como si fuese un óvalo. Obviamente es incorrecto, pues, como muestran los levantamientos se trata de una elipse. Sin embargo, es comprensible el error debido a que en construcción el óvalo es una forma geométrica más sencilla de trazar y de construir ya que su trazado se realiza con arcos de circunferencia, aunque la elipse trazada por el método del jardinero facilita la construcción en planta de la elipse. También el parecido entre estas dos formas puede ocasionar este tipo de error, aunque geoméricamente son dos figuras muy diferentes como ya se explica en el capítulo 10 de este trabajo.

En esta investigación también se explica el motivo por el cual se escogió la elipse y el posible significado que tenía en la época Barroca para sus creadores. La elipse conjuga el espacio centralizado ideal del círculo renacentista y la longitudinalidad de la planta de cruz latina donde se diferencian claramente las diferentes zonas de un templo, creando un espacio centralizado pero con una marcada dirección recalcada por eje mayor de la elipse, en cuyos extremos se sitúan la entrada al templo y el altar mayor. También tiene un efecto teatral y de movimiento, de una única pero elegante línea, característico del Barroco.

La iglesia de San Antonio de los Alemanes es una de las pocas iglesias cuya geometría es elíptica, donde la planta trazada con esta misma forma está cubierta por una bóveda encamonada elipsoidal.

8.3. SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE LA BÓVEDA

La mala calidad de los ladrillos, la carencia de canteras y el exceso de madera propiciaron el perfeccionamiento de falsas bóvedas pero sin techumbres aparentes, la bóveda encamonada, el barato sistema constructivo del barroco madrileño. Toda la bóveda y sus lunetos están realizados con armaduras de madera ocultas. Este sistema constructivo está ligado a dos figuras de gran talento: Fray Lorenzo de San Nicolás y al hermano jesuita Francisco Bautista. A este último se le atribuye la invención de la cúpula encamonada, muy elogiada por su discípulo, Fray Lorenzo de San Nicolás, conocido como gran tratadista y que fue el difusor del sistema encamonado en España.

9. GLOSARIO

ALETONES. Elementos de enmascaramiento, utilizado para articular y unir como en un solo bloque el piso inferior con otro superior de menor anchura, los aletones hacia enmascarar, la función de tapar, los machones que parten desde la planta inferior, primordiano la belleza, quizás un concepto teatral.

ARCO. Obra lineal curvada.

- **DE MEDIO PUNTO.** Semicircular.

ARQUIVOLTA. Se denomina arquivolta a cada una de las roscas o molduras que forman una serie consecutiva de arcos concéntricos que decoran la parte frontal de un arco recorriendo su curva en toda su extensión.

BALDAQUINO. Templete formado por columnas que sostienen una cúpula o dosel plano y destinado a cobijar el altar.

BÓVEDA. Obra de fábrica arqueada que cubre un espacio entre muros o pilares.

- **ENCAMONADA.** Falsa bóveda formada por materiales de poco peso, como madera o cañas, y cubiertos de yeso.

CERCHA. Entramado formado por piezas lineales o curvas de madera unidas entre ellas en un mismo plano, que sirve para sostener cubiertas ligeras.

COLUMNA SALOMÓNICA. Columna con fuste de forma helicoidal, que se utilizó en la arquitectura barroca.

FRESCO. Pintura que se hace sobre una superficie, generalmente paredes o techos, con colores disueltos en agua de cal y extendidos sobre una capa de estuco fresco.

HORNACINA. Hueco coronado por un arco semicircular abierto en la superficie de un muro, para colocar en él una imagen votiva, urna o estatua. Se puede encontrar en el exterior y el interior de los edificios y partiendo de una función religiosa.

LUNETO. Pequeñas bóvedas con forma de media luna que atraviesan los costados de una bóveda con el fin de iluminar.

METOPAS. Panel o pieza rectangular de piedra, mármol o terracota que ocupa parte del friso de un entablamento, situada entre dos triglifos .

PROTOBARROCO O PRIMER BARROCO. Vinculado a la arquitectura de Juan de Herrera y los manieristas. Primeros pasos hacia el Barroco.

RETABLO. Obra compuesta por tallas escultóricas o cuadros que constituye la decoración de un altar.

TRAMPANTOJO. Ilusión óptica o trampa con que se engaña a una persona haciéndole creer que ve algo distinto a lo que en realidad ve; especialmente, paisaje o arquitectura pintada en una superficie que simula una imagen real.

TRIGLIFOS. Adorno del friso dórico que tiene forma de rectángulo saliente y está surcado por tres canales.

10. BIBLIOGRAFÍA

ABC. 1979 «Restauraciones». 1979/10/18. Madrid, pp. 93.

ABC. 1982 «Finaliza la primera fase de restauración de San Antonio de los Alemanes». 1982/01/10. Madrid, pp. 40.

AHN. 1881. ANTONIO RUIZ DE SALCES. DIVERSOS TÍTULOS FAMILIAS, 3771, N. 19. Expediente de reforma de la Hermandad del Refugio de Madrid donde se incluía el Colegio de Niñas Huérfanas de la Inmaculada Concepción, Real Iglesia de San Antonio de los Alemanes, casa y hospital, en Madrid.

ALONSO GARCÍA, Eusebio. 2003. *San Carlino: La Máquina Geométrica de Borromini*. Universidad de Valladolid. Secretariado de Publicaciones.

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1624. legajo 546. 2, N° 1, pp. 95.

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1624-1642. legajo 546. 1. N° 2. *Obras. Cuentas y Pagos de las ejecutadas en el Hospital*.

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1624-1660-1765. legajo 546. 1. N° 3. *Obras. Obras de los Retablos Principal y Colaterales de la Iglesia*.

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1695-1705. legajo 546. 1. N° 4. *Obras. Ejecutadas en la Casa y Hospital de San Antonio- Recibos de las mismas*.

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1702. legajo 546. 3. N° 6. *Expediente relativo a unas pinturas de Lucas Jordán (Adquisición para la Iglesia de San Antonio)*.

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1749. *Constituciones de la Real Casa y Hospital de San Antonio de los Alemanes. Dispuestas por la Santa Hermandad de Nuestra Señora del Refugio, que administra, y gobierna este Real Patronato y aprobadas por su Magestad. En Madrid: Año de M.DCVVXLIX*. Madrid.

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1755, legajo 546.3, Obras, n° 5, 36 pp. 97-102.

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1870. legajo 546. 3, Obras, n° 5, pp. 560.

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1885. legajo 546. 3. N° 5 bis. *Obras*.

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1885. legajo 546. 3. Nº 5 bis 2. *Obras exteriores e interiores. Iglesia de San Antonio.*

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1946. legajo 546. 3, nº 9, pp. 4-40.

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1946. legajo 546. 3, nº 9 bis 2. *Expediente sobre la restauración de las pinturas murales de la Iglesia, realizadas por cuenta del Estado.*

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1946. legajo 546. 3, nº 9 bis 2. *Proyectos de calefacción de la Iglesia.*

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1963. legajo 546. 2, nº 1, pp. 74-76.

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1973. legajo 546. 2, nº 1, pp. 3-10.

ASPRH del Refugio. San Antonio de los Alemanes. 1975. legajo 546. 2, nº 1, pp. 48-57.

BNE. 1699. *Ángel niño sosteniendo una cartela ovalada*, de Luca Giordano.

BNE. *Dos apuntes biográficos*. Disponible en la Biblioteca Nacional de España, Archivo online:

http://www.bne.es/es/Micrositios/Exposiciones/PasadizoPalacio/resources/docs/Dos_apuntes_biograficos.pdf

BONET CORREA, Antonio. 1984. *Iglesia Madrileñas del siglo XVII*. Madrid: CISC. Instituto Diego Velázquez.

BOUZA ÁLVAREZ, Fernando. 1640. *Entre dos Reinos, una Patria Rebelde, Fidalgos Portugueses en la Monarquía Hispánica después de 1640*. Universidad Complutense de Madrid.

CABBSA OBRAS Y SERVICIOS, S.A. CABBSA Restauración y Rehabilitación. Diciembre 2012. Presentación de Edificios Religiosos. [En línea]. pp. 36-37

http://cabbsa.com/public/marketing/PDFs/CABBSA_Presentacion_Edificios_Religiosos.pdf

CALVO LÓPEZ, José. 2002. «La semielipse peraltada. Arquitectura, geometría y mecánica en las últimas décadas del siglo XVI». Actas del Simposium El Monasterio del Escorial y la Arquitectura (San Lorenzo del Escorial, 8 al 11 de noviembre de 2002). San Lorenzo del Escorial. pp. 417-435.

- CARAZO, E. y OTXOTORENA, J. M. 1994. *Arquitecturas centralizadas. El espacio sacro de planta central: diez ejemplos en Castilla y León*. Valladolid, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Valladolid. pp. 65.
- CUEVAS DEL BARRIO, Javier. 2007. «La evolución de las iglesias de planta ovalada. Hipótesis para la planta de San Carlo alle Quattro Fontane». *Boletín de Arte*, nº 28, pp. 105-126.
- DE COSSÍO Y GÓMEZ-ACEBO, Manuel. 1923. «La Real Iglesia de San Antonio de los Alemanes». *Boletín de la Sociedad Española de Excursiones*. Madrid. Vol. 31, nº 1, pp. 1-27.
- DE L'ORME, Philibert. 1567. *Le premier tome de l'Architecture*. Paris: Federic Morel.
- DE VILLANUEVA DOMÍNGUEZ, Luis. 2005. «Bóvedas de madera». *Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción (27 al 29 de enero de 2005)*. Cádiz.
- DEL RÍO SÁNCHEZ, José. 1994. *Lugares Geométricos. Cónicas*. Síntesis.
- DE RUÍZ, Hernán. [1560] 1974. *El Libro de Arquitectura de Hernán Ruíz, el Joven*. Estudio y edición crítica por Pedro Navascues Palacio. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Madrid. pp. 103.
- DURERO, Alberto. 1525. *Underweysung der Messung, mit dem Zirckel und Richtscheyt, in Linien Ebnen vnnd gantzen Corporen*. Gedruckt zu Nüremberg.
- FERNÁNDEZ GÓMEZ, Margarita. 1997. «La planta oval. Traza y símbolo». *Logia: Arquitectura y restauración*. nº 3: pp. 16-21.
- GARCÍA GUTIÉRREZ, P.F. y MARTÍNEZ CARBAJO, A.F. 2006. *Iglesias de Madrid*. Madrid: La Librería.
- GENTIL BALDRICH, J.M. 1994. «Planta oval y traza elíptica en arquitectura: Consideraciones Geométricas» Estudio introductorio in: *Arquitecturas centralizadas*. Universidad de Valladolid. pp. 13-25.
- GUERRA DE LA VEGA, Ramón. 1984. *Historia de la Arquitectura en el Madrid de los Austrias*. Autor-Editor. Madrid.
- GUTIÉRREZ PASTOR, Ismael. 1999. *Un Proyecto de Francisco Rizi para la Cúpula de San Antonio de los Portugueses*. *Archivo Español de Arte*, LXXII, 288.
- GUTIÉRREZ PASTOR, Ismael y ARRANZ OTERO, José Luis. 1999. *La decoración de San Antonio de los Portugueses de Madrid (1660-1702)*. *Anuario del Departamento de Historia y Teoría del Arte*. Universidad Autónoma de Madrid. Vol. XI.

GUTIÉRREZ PASTOR, Ismael y ARRANZ OTERO, José Luis. 2000. *Nicolás de la Cuadra, autor de los retratos reales de San Antonio de los Portugueses de Madrid (1702)*. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Autónoma de Madrid.

HIDALGO MONTEAGUDO, Ramón. 1990. *Madrid barroco*. Madrid: La Librería.

HUERTA FERNÁNDEZ, Santiago. 2007. Oval Domes: «History, Geometry and Mechanics». Nexus Network Journal. Architecture and Mathematics. Vol. 9.

HUERTA FERNÁNDEZ, Santiago y LÓPEZ MANZANARES, Gema. 2001. Estudios estructurales previos a la restauración de la iglesia de Santo Tomás de Villanueva (“La Mantería”) de Zaragoza. Universidad Politécnica de Madrid. Instituto de Patrimonio Histórico Español.

HURTADO VALDEZ, Pedro. 2007. «Estructuras antisísmicas: las bóvedas encamionadas en el Virreinato del Perú». Actas del Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción (7 al 9 de junio de 2007). Burgos, pp. 533-542.

HURTADO VALDEZ, Pedro. 2011. *Bóvedas Encamionadas: Origen, Evolución, Geometría y Construcción entre los siglos XVII y XVIII en el Virreinato de Perú*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

HURTADO VALDEZ, Pedro. 2013. «Bóvedas de madera: características constructivas y consideraciones estructurales de las bóvedas encamionadas edificadas en Castilla». Informes de la Construcción. Vol. 65, 530, pp. 155-162.

KÜBLER, George. 1957. *Arquitectura de los siglos XVII y XVIII* [col. *Ars Hispaniae*, t. XVI]. Madrid: Plus ultra.

LÓPEZ ARENAS, Diego. 1633. *Breve Compendio de la Carpintería de lo Blanco, y Tratado de Alarifes, con la Conclusión de la Regla de Nicolás Tartaglia, y otras cosas tocantes a la teometría, y puntas del compás*. Sevilla.

LÓPEZ MOZO, Ana. 2009. «Oval for Any Given Proportion in Architecture: A Layout Possibly Known in the Sixteenth Century». Nexus Network Journal. Vol. 13, nº 3, pp. 576.

LÓPEZ MOZO, Ana. 2011. *Bóvedas de piedra del Monasterio de El Escorial*. Ph. D. dissertation, Universidad Politécnica de Madrid.

MARTORELL TÉLLEZ-GIRÓN, Ricardo. 1931. *Anales de Madrid de León Pinelo: reinado de Felipe III, años 1598 a 1621*. Madrid: Estanislao Maestre.

NATIVIDAD VIVÓ, Pau. 2010. Análisis estereotómico de bóvedas del portal y las torres de Quart. Trabajo final de máster en Conservación del Patrimonio Arquitectónico. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. Octubre 2010. Versión digital- enero 2011.

PÉREZ SÁNCHEZ, Alfonso Emilio. . *Mostra di disegni spagnoli*. Florencia. n.º. 34, pp. 49-50.

RABASA DÍAZ, Enrique. 2009. «Soluciones innecesariamente complicadas en la estereotomía clásica». En *el Arte de la Piedra. Teoría y práctica de la cantería*, pp. 62-66. Madrid: CEU Ediciones.

RIVERO RODRÍGUEZ, Manuel. 2011. *La edad de oro de los virreyes: El virreinato de la Monarquía hispánica durante los siglos XVI y XVII*. Madrid: Akal.

RICCI, Francisco. Estudio para la decoración de la cúpula de San Antonio de los Portugueses. Hacia 1662. Galería online del Museo Nacional del Prado. Disponible en: <https://www.museodelprado.es/coleccion/galeria-on-line/galeria-on-line/obra/estudio-para-la-decoracion-de-la-cupula-de-san-antonio-de-los-portugueses/>

RODRÍGUEZ G. DE CEBALLOS. Alfonso. 1990. *La Planta Elíptica: de El Escorial al Clasicismo español*. Anuario del Departamento de Historia y Teoría del Arte (U.A.M.). Madrid. Vol. II.

RODRÍGUEZ G. DE CEBALLOS. Alfonso. 2002. *La Arquitectura de los Jesuitas*. Edilupa.

SAN NICOLÁS, Fray Lorenzo. [1633-64] 2008. *Arte y Vso de Architectvra*. Edición anotada por Díaz Moreno, F. Instituto de Estudios Madrileños. Alcobendas (Madrid).

SÁNCHEZ-ROJAS FENOLL, M.C. 1972. *Estudio sobre la Iglesia de San Juan de Dios de Murcia*. Murcia.

SERLIO, Sebastiano. 1545. *Il Primo libro d'Architettura di Sebastiano Serlio*. Paris.

SIMONA, Michelle. 2005. «Ovals in Borromini's Geometry». pp. 45-52 in *Mathematics and Culture II. Visual Perfection: Mathematics and Creativity*. M. Emmer. Berlin: Springer.

TORMO Y MONZÓ. Elías. [1927] 1985. *Las iglesias del antiguo Madrid*. Madrid: Instituto de España.

TOVAR MARTÍN, Virginia. 1983. *Arquitectura madrileña del siglo XVII: (datos para su estudio)*. Madrid: Instituto de Estudios Madrileños.

TOVAR MARTÍN, Virginia. 2000. *Historia breve de la Arquitectura Barroca de la Comunidad de Madrid*. Madrid. Dirección General del Patrimonio Histórico-Artístico: Electra.

VANDELVIRA, Alonso. 1580. *Exposición y declaración sobre el tratado de cortes de fábricas que escribió Alonso de Vandelvira por el excelente e insigne arquitecto y maestro de arquitectura don Bartolomé de Sombigo y Salcedo, maestro mayor de la Santa Iglesia de Toledo*. Ms. E.10, Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid.

VERDÚ BERGANZA, Leticia. 1996. *La "Arquitectura Carmelitana" y sus Principales Ejemplos en Madrid (Siglo XVII)*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Tomo I.