

TFM
Master en Restauración y Conservación
del Patrimonio arquitectónico

Universitat Politècnica de València



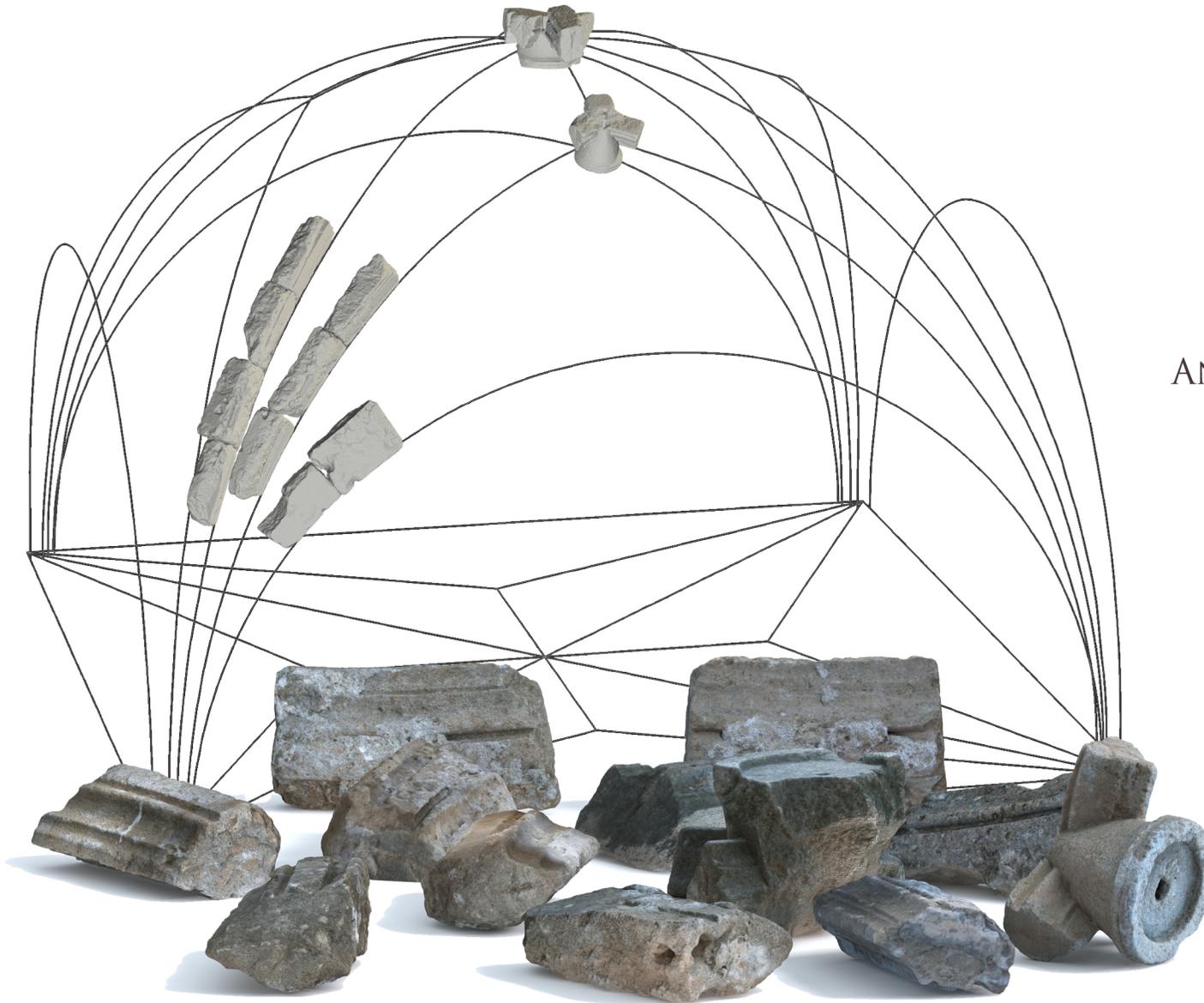
Septiembre 2013

ANASTILOSI Y RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA BÓVEDA DE LA IGLESIA DE SANTA MARÍA DE LA VILA VELLA DE DENIA (ALICANTE)

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE
LEVANTAMIENTO DIGITAL

Autor
Jorge Francisco Martínez Piqueras

Directores Académicos
Juan Carlos Navarro Fajardo y Francisco Hidalgo Delgado





VICENT MESTRE (1613). Embarque de los moriscos en el puerto de Denia.

INDICE

1. Introducción	
1.1 Introducción	9
1.2 Objetivos	10
1.3 Metodología	10
2. Comparación de sistemas de levantamiento fotogramétrico	
2.1 Fotogrametría	15
2.2 Justificación de la fotogrametría	16
2.3 Programas de fotogrametría	17
2.4 Photomodeler <i>versus</i> Photoscan	18
2.4.1 Pasos de los procedimientos dentro de Photomodeler	19
2.4.2 Pasos de los procedimientos dentro de Photoscan	23
2.4.3 Comparación de resultados	27
2.4.4 Conclusiones	28
2.5 Photoscan <i>versus</i> Scanner de Triangulación	30
2.5.1 Comparación de resultados	30
3. Historia	
3.1 Historia de la ciudad y el Castillo de Denia	35
3.2 Cartografía histórica de la Vila Vella de Denia. La iglesia	40
4. Toma de datos y restitución de las piezas	
4.1 Los restos arqueológicos	51
4.2 La materialidad	53
4.3 Toma de datos	54
4.3.1 Proceso fotográfico	54

4.3.2	Procedimiento de cálculo	58
4.3.3	Tratamiento de la malla	61
5.	Análisis - descripción física de los sillares	
5.1	Obtención de los elementos necesarios para el análisis	67
5.2	Descripción y análisis de las piezas	69
5.2.1	Las claves	69
5.2.2	Las dovelas	72
5.2.2.1	Dovelas de cruceros	74
5.2.2.2	Dovelas de ligadura	78
5.2.2.3	Dovelas de terceletete	79
5.2.2.4	Dovelas de arco de cabeza	82
6.	Hipótesis sobre el trazado de la Bóveda	
6.1	Tipología de la bóveda	87
6.2	Forma de la capilla	89
6.3	Trazados reguladores	90
7.	La montea de la bóveda y anastilosis de los elementos de la bóveda	
7.1	La montea	97
7.2	Análisis de la geometría de las dovelas	99
7.2.1	Nervios cruceros	99
7.2.2	Nervios ligaduras	101
7.2.3	Nervios terceletetes	102
7.2.4	Nervios formeros o arcos de cabeza	106
7.3	Anastilosis virtual de la bóveda	108

8. Proceso constructivo de la bóveda	
8.1 Introducción al proceso constructivo de la época	113
8.2 Piezas del arranque, el enjarje	114
8.3 Los nervios y sus plantillas	117
8.4 Las claves	119
8.5 La plementería	122
8.6 Reconstrucción virtual	123
9. Relación de tipos similares dentro del Antiguo Reino de Valencia	
9.1 La bóveda de 5 claves. La tratadística española	129
9.2 Las bóvedas estrelladas de 5 claves en el Antiguo Reino de Valencia	137
9.3 Relación de plantillas similares en el Antiguo Reino de Valencia	139
Conclusiones	143
Futuras líneas de investigación	147
Referencia de las imágenes	151
Bibliografía	161
Agradecimientos	165

CAPÍTULO 1.
INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El presente Trabajo Final de Master se encuentra dentro del proyecto de investigación: Trazas y montañas de la arquitectura. Bóvedas del renacimiento valenciano (I+D+i HAR2009-13684). En este trabajo, se recogen los estudios realizados en el castillo de Denia y posterior análisis, para la anastilosis y reconstrucción virtual, de una de las bóvedas de la iglesia de Santa María de la Vila Vella. Surge como resultado de las últimas excavaciones arqueológicas dentro de la Vila Vella y el hallazgo de una serie de dovelas y claves, pertenecientes a esta iglesia desaparecida, hace ya más de trescientos años.

Dentro de los estudios realizados, se ha hecho una búsqueda sobre las fuentes escritas y gráficas que pudieran orientar el desarrollo de esta investigación, lamentablemente no se han localizado más que vagas referencias a la existencia de una iglesia, con escasas informaciones acerca de su forma y dimensiones, además de que la ubicación de la iglesia dentro del castillo, se encuentra actualmente transformado el terreno en bancales, quedando esta enterrada y sin posibilidades de acceder a ella, hasta que se inicien las excavaciones arqueológicas de la zona. Por lo que el único material de estudio disponible han sido las dovelas mismas.

De ahí la importancia de documentar y estudiar con detalle los escasos restos recuperados, efectuando un levantamiento preciso y a la vez rápido, por encontrarse expuestos al público, intentado interferir lo mínimo posible en la actividad del museo del Castillo. Por ello, se hacía necesario el empleo de las nuevas tecnologías que permitan digitalizarlos y estudiarlos en profundidad.

1.2 Objetivos

Los objetivos del actual proyecto han sido, la búsqueda de un sistema de levantamiento ágil, rápido, preciso y económico, entre los diferentes programas de restitución fotogramétrica que se encuentran en el mercado, analizando los resultados que ofrecen, confrontandolos entre sí y averiguando la precisión e idoneidad de estos, para llevar a cabo la tarea de restitución de las piezas arqueológicas. Este levantamiento debe permitir la rápida digitalización del modelo, recogiendo la mayor información posible de las dovelas y claves, sin alterarlas ni dañarlas, para posteriormente, analizar en detalle cada una de las piezas, mediante la ayuda de programas de ingeniería inversa, los cuales permiten exprimir al máximo las posibilidades de los levantamientos.

El segundo objetivo ha sido recrear de forma digital, la anastilosis y reconstrucción de la bóveda, a partir de los restos hallados en el Castillo de Denia, poniendo en valor estas dovelas y claves, que actualmente pasan desapercibidas para la mayoría de visitantes del Castillo, por no encontrarse familiarizados con este tipo de construcciones, ya que resulta difícil su interpretación fuera de contexto y así otorgarles la importancia que tenían, formando parte de uno de los edificios mas importantes de la Vila Vella de Denia.

1.3 Metodología

Para la organización del trabajo de investigación se han separado las dos principales componentes de este estudio por el método comparativo.

Metodología de investigación sobre las fuentes directas.

Las fuentes directas de este estudio se consideran las piezas recuperadas durante las excavaciones arqueológicas, las cuales debían ser medidas con precisión. Por ello, la primera fase ha consistido en la búsqueda de una aplicación fotogramétrica que cumpliera con los requisitos establecidos en los obje-

tivos, realizando pruebas de precisión y control de los tiempos de los procesos.

Finalizada la búsqueda, se ha procedido a la catalogación de los elementos arqueológicos y en la realización de una toma de datos extensa, mediante la realización de series fotográficas y croquis de cada una de las piezas, para su posterior procesamiento, mediante la ayuda del programa de restitución fotogramétrica, con el que se ha generado el modelo digital de cada una de las tomas de las piezas.

Posteriormente se ha procedido con el tratamiento de los mallas obtenidas, limpiando de errores de restitución y fusionando cada una de las partes escaneadas de las piezas en un único modelo, para proceder a su análisis mediante las técnicas de ingeniería inversa.

El análisis de los modelos de cada una de las dovelas, ha permitido conocer los ángulos y radios exactos de las dovelas y claves, que han proporcionado la forma de la bóveda, junto con las trazas y montes que se emplearon para su construcción.

A esta fase de investigación le ha seguido una implementación de datos derivados del aprovechamiento de fuentes indirectas históricas y contemporáneas:

El estudio y comparación de los tratados históricos de las construcciones abovedadas, han ayudado a desvelar las diferentes tipologías de trazas, más usuales en la construcción de sistemas abovedados, ayudando a determinar el trazado que se llevó a cabo para la construcción de la bóveda.

Finalmente con el análisis detallado de cada dovela y clave, se ha ido desvelando las características de la bóveda para proceder a realizar la anastilosis y reconstrucción virtual.

Para poder llevar a término este trabajo ha sido necesario un proceso de aprendizaje de estas nuevas tecnologías, mediante cursos de formación, seguimiento de los tutoriales y los foros de ayuda de cada aplicación, en un largo proceso de prueba y error. Todo ello dentro del contexto metodológico del proyecto del Plan Nacional de I+D+i citado en la introducción.



CAPÍTULO 2.
COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO

2.1 Fotogrametría

La ASPRS¹ define la fotogrametría como el arte, ciencia y tecnología de obtener información fidedigna de los objetos físicos y del medio ambiente, mediante procesos de registro, medición e interpretación de imágenes fotográficas y de modelos de energía radiante electromagnética y otros fenómenos².

El fundamento en el que se basa la fotogrametría consiste en proyectar en forma ortogonal sobre un plano de referencia la imagen registrada en una fotografía, la cual ha sido registrada mediante proyección central, que es la usada por las lentes. En la fotogrametría se asume que la proyección central es perfecta, que no existe desviación de los rayos que atraviesan las lentes de la cámara y que la imagen se proyecta sobre una superficie perfectamente plana. Lo cual no es posible ya que siempre existen deformaciones producidas por las lentes que se deben corregir con la calibración de los objetivos junto con la cámara empleada, a no ser que se empleen cámaras métricas en donde sus deformaciones están controladas.

Dentro de la fotogrametría existen diferentes tipos, la fotogrametría gráfica, la cual se basa en la intersección de líneas que parten de dos estaciones diferentes, es decir, las líneas que se generan desde cada una de las posiciones de la cámara a un mismo punto del objeto, pero para ello es necesario conocer la posición exacta de cada una de las cámaras. Y la estereofotogrametría, que se basa en la visión estereoscópica para recrear en la mente del observador un modelo estereoscópico a partir de un par de fotografías, tomadas cada una de ellas desde una posición diferente, para ser observadas de forma separada por cada ojo.

La estereofotogrametría puede llevarse a cabo mediante las siguientes técnicas: La fotogrametría analógica, la cual emplea aparatos de restitución donde el operador realiza todas las tareas de forma manual. La fotogrametría analítica, donde la toma de información se realiza de forma analógica y el modelo geométrico es matemático. Y la fotogrametría digital, en el cual todo el proceso se realiza gracias a la ayuda de los ordenadores, y el proceso de restitución puede estar dirigido por el operador o de forma automática por la correlación de imágenes.

Dependiendo del uso que se le quiera dar a la fotogrametría, esta puede ser: aérea, terrestre o de objeto cercano, siendo esta última la que nos interesa al no tener un carácter geodésico o topográfico y su uso está destinado a la solución de problemas singulares.



Fig. 2.01. Referenciado de puntos homólogos en Photomodeler Scanner. Resultado de referenciar 13 imágenes, usando como dianas naturales, las juntas de las dovelas y la extracción de la nube de puntos del capitel. Jraje del ábside de la catedral de Orihuela.

1 Sociedad Americana de Fotogrametría y Sensores Remotos.

2 Pérez Alvarez, 2001, p. 107.

2.2 Justificación de la fotogrametría

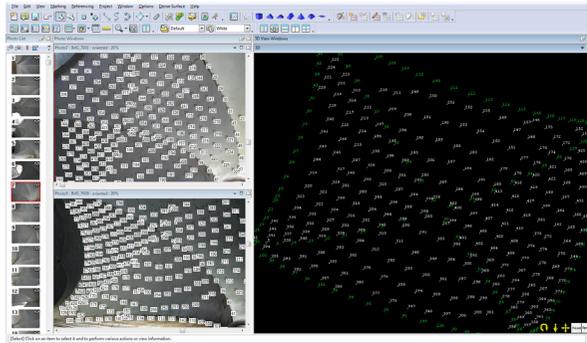


Fig. 2.02. Referenciado de puntos homólogos en Photomodeler Scanner. Resultado de referenciar 28 imágenes, usando como dianas naturales el finjado sobre el yeso del llagueado de la bóveda. Bóvedas del claustro del convento de Santo Domingo de Llombai

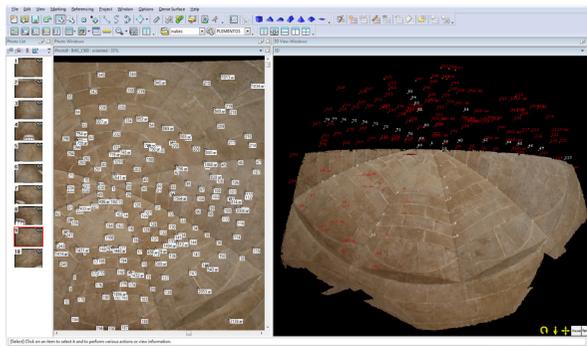


Fig. 2.03. Referenciado de puntos homólogos en Photomodeler Scanner. Resultado de referenciar 10 imágenes, usando como dianas naturales las juntas de las dovelas y la extracción de la nube de puntos de la bóveda. Primer piso de la torre de la Lonja, la cárcel de los comerciantes.

Gracias a la fotogrametría, a día de hoy, se pueden realizar todo tipo de levantamientos, ya no está limitado a simples rectificaciones de fotografías o a la obtención costosa de puntos en el espacio. En los últimos años, están saliendo al mercado un mayor número de programas de restitución fotogramétrica, en los que el tratamiento de imágenes, no solo permiten obtener planos, vectores y puntos individuales en el espacio, sino que además extraen de las fotografías verdaderas nubes de puntos, como si de un escáner se tratara. Permitiendo modelarlas y texturizarlas para un mejor tratamiento del modelo, mejorando los datos para su estudio y una apariencia más agradable del resultado final, gracias a la aplicación de las texturas que aportan información complementaria.

Aparentemente la única limitación que se encuentra a esta tecnología es la propia imaginación del usuario que lo utiliza. Sus aplicaciones son múltiples así como sus usos: escultura, arquitectura, arqueología, minería, topográfica, geología, modelismo, prótesis dentales... y extendiéndose cada vez más dada su accesibilidad y a que cada vez los programas son más intuitivos en su manejo y a la aparición de nuevas ayudas a la toma fotográfica, como los drones que permiten obtener vistas aéreas, que de otro modo, sería necesario montar complicados y caros medios para poder realizar las imágenes.

Como medios para el levantamiento basta con una simple cámara y la ayuda de un trípode, elemento que se hace imprescindible para la correcta obtención de las fotografías. Un disparador automático puede facilitar la tarea de impedir el movimiento de la cámara, sin olvidar del flexómetro, cinta o distanciómetro laser, necesario para poder escalar y tomar medidas de referencia para la comprobación de la veracidad del modelo. Dichos medios son de fácil adquisición, y lo más importante supone un equipaje ligero que puede ser trasladado a cualquier lugar sin mayores problemas.

Como en todo, cuanto mejores sean los medios, mejores serán los resultados. Por ello, aunque las actuales cámaras digitales compactas tienen muy buena calidad y han incrementado notablemente el número de píxeles, es recomendable el uso de cámaras digitales réflex, ya que se pueden ajustar mejor los parámetros de la cámara para obtener las fotografías con el mayor detalle posible. Porque no hay que olvidar que el instrumento empleado va a ser la fotografía y todo aquello que no esté enfocado, será despreciado por el programa o dará como resultado errores en la precisión. Otro detalle importante y aunque obvio, ya que se puede olvidar de él durante la toma de datos, es que todo lo que no se fotografió no se restituirá, de ahí la importancia de tomarse un tiempo para estudiar al elemento que se va a fotografiar, decidiendo cuáles serán las tomas necesarias para su completa representación, incluso tomando más fotografías de las necesarias, siempre será un apoyo que se tendrá a mano y un seguro cuando se tenga que desplazar a grandes distancias para fotografiar al elemento o edificio a restituir.

También se puede incrementar la calidad del modelo final complementando la toma de datos con una

estación total que permitirá conocer las coordenadas exactas de unos puntos conocidos del modelo a restituir, dichas coordenadas serán introducidas en el programa facilitando la alineación, escala y mejora de la calibración de la cámara.

2.3 Programas de fotogrametría

Dentro de la fotogrametría de objeto cercano, existe un gran abanico de programas informáticos *image based* que de forma automatizada transforman la proyección central de las fotografías en proyección ortogonal. Su funcionamiento consiste en el cálculo de la posición de cada una de las cámaras respecto a las otras, para ello el programa ubica de forma automática una serie de puntos sobre las fotografías, aprovechándose de la diferencia de contraste entre píxeles que definen los rasgos característicos del objeto a restituir, para después buscar las correspondencias con los puntos homólogos del resto de fotografías, y así establecer la posición de la fotografías mediante la intersección de vistas de rayos. Como resultado de dicha alineación se obtiene una nube de puntos, los cuales han sido utilizados en la alineación de las cámaras, además de la posición y dirección de cada una de las cámaras utilizadas. Dependiendo del tipo de programa empleado, se extrae la geometría del modelo fotografiado con una mayor densidad de puntos para finalmente construir la malla del modelo final.

De los programas más conocidos en el mercado están: Photosynth, VisualSFM, Photostruct, PMVS2, Photofly Project (123D Catch), Photomodeler y Photoscan. De entre ellos, se destaca Photomodeler, Photoscan y Photofly Project por la calidad y precisión de los modelos obtenidos, en un primer momento se utilizarón estos tres programas en la búsqueda del programa de restitución basado en imágenes, no obstante, se descartó la aplicación de photofly al tratarse de un programa en desarrollo, el cual estaba sufriendo continuas modificaciones hasta la actual versión denominada 123Catch y aun en proceso de desarrollo durante este estudio. En la siguiente tabla se hace una relación de los principales programas de restitución:

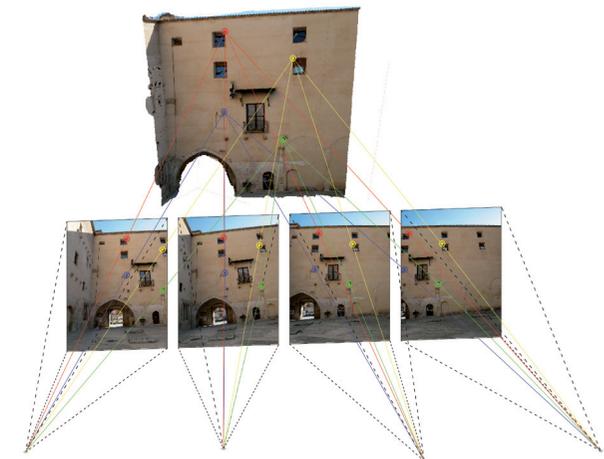


Fig. 2.04. Obtención de la posición de las cámaras mediante la intersección de vistas de rayos. Palau Condal de Cocentaina.

PROGRAMA	NUBE PUNTOS	ALINEACIÓN	MESH	PRECISIÓN
Photosynth	pobre	mala (automático)	no	media
VisualSFM	pobre	mala (automático)	no	media
Photostruct	pobre	mala (automático)	no	baja
APERO	semidensa	media (automático)	no	baja
PMVS2	semidensa	media (automático)	no	baja
Photofly Project (123D Catch)	no	media (automático)/buena (manual)	si	media
Photomodeler	densa (tras cálculo)	mala (automático)/excelente (manual)	si	alta
Photoscan	densa	buena (automático)	si	alta

2.4 Photomodeler versus Photoscan



Fig. 2.05. Casa de los dragones de J. M. Cortina.

Fig. 2.06. Adornos de las fachadas laterales, de la casa de los dragones.

De entre todos los programas que existen en el mercado para la restitución fotogramétrica se optó inicialmente por “Photomodeler Scanner”, dada su popularidad y fiabilidad de resultados ampliamente demostrada al ser uno de los primeros programas en restitución, que lleva más tiempo en el mercado y su uso se extiende hasta las investigaciones forenses. Es un gran programa que permite alcanzar la restitución del modelo con una alta precisión, pero a un alto coste, dado que es un programa extremadamente complejo, si no se tiene familiaridad con él, e incluso, una vez dominado resulta excesivamente lento y pesado todo el proceso de referenciado de imágenes para la obtención de las nubes de puntos. Otro aspecto negativo de las versiones actuales son las escasas herramientas para la edición de la nube y de las ecuaciones de mallado que utiliza, obteniendo resultados de poca calidad, y haciendo necesario el uso de otras aplicaciones para obtener una malla de calidad. No obstante, es un programa con múltiples opciones y lo más importante, permite al usuario avanzado controlar todos los parámetros para ajustarlos a sus necesidades, lo que lo hace una opción siempre presente.

En esta búsqueda de una herramienta precisa y ágil y tras muchas experimentaciones se encontró una aplicación aún en desarrollo pero con mucho potencial: “Photoscan”. A primera vista se tenían bastantes reservas hacia la aplicación, puesto que prometía hacer lo mismo que la aplicación de “Photomodeler”, pero de un modo totalmente automatizado y con la mínima intervención del usuario, en cierto modo esto no era una novedad, “Photomodeler” lleva ya tiempo intentándolo pero con unos resultados bastante cuestionables, y los mejores resultados se obtienen siempre por el referenciado manual. Por ello, el primer paso era enfrentar a ambos programas con un mismo modelo y analizar los resultados.

Para ello se ha realizado una prueba con un modelo aleatorio, restituyendo uno de los ornamentos modernistas más bellos del arquitecto valenciano José María Manuel Cortina Pérez (1868-1950). Se trata de uno de los adornos de las ménsulas de “la casa de los dragones” de 1901, situado en la calle Sorni número 4 de Valencia. La figura representa a un dragón sosteniendo una de las columnas decorativas del edificio a modo de cetro. Dada su proximidad al nivel del suelo y sus formas complejas lo convierten en un modelo idóneo para realizar la prueba, además, hay un factor que



resulta interesante, y es la falta de textura del elemento, al ser homogéneo por el revestimiento de pintura, lo cual dificulta en gran manera la detección de puntos por parte de las aplicaciones “image based”, ya que estas, trabajan por diferencia de contraste entre los píxeles y cuanto menores sean estas diferencias más complejo les resultara obtener un modelo de calidad.

2.4.1 Pasos de los procedimientos dentro de Photomodeler

La toma de datos se ha realizado expresamente para su posterior trabajo en “Photomodeler”, dado que es el programa más pesado y complejo de manejar, siendo aconsejable limitar el número de fotografías para no exceder el trabajo de referenciado de puntos homólogos. Se han utilizado las dianas naturales del propio edificio que permitían ser medidas e identificadas con claridad.

En total se han tomado 26 fotografías formando 13 pares verticales, manteniendo la misma distancia focal e inmovilizando el anillo de enfoque a la primera toma. De este modo, nos aseguramos que todas las fotografías tienen las mismas características. La toma fotográfica se ha realizado en un recorrido radial, captando todos los detalles y además así nos aseguramos de tener tomas cruzadas a 90°, para mejorar la precisión de la alineación a la hora de referenciar puntos en “Photomodeler”.

La separación vertical entre los pares ha sido en relación $b/h=0,13$, siendo h la distancia media desde los dos posiciones de la cámara al elemento y b la distancia entre las dos posiciones de la cámara. De este modo se consigue la mejor relación para obtener un par estereoscópico. Aunque dicho valor puede estar comprendido entre 0,1 y 0,5 lo cual nos permite una holgura por posibles fallos en la toma fotográfica, pero siendo 0,13 el valor óptimo³

La toma fotográfica se ha realizado con una cámara réflex modelo Canon EOS 400, con un objetivo canon EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 sobre trípode y disparador automático. Como ajustes de la cámara: ISO 100, apertura de diafragma $f/25$ y velocidad $\frac{1}{4}$, en formato RAW para su posterior edición de la textura.

A continuación se describen brevemente los pasos seguidos en “Photomodeler” para el cálculo y obtención de las nubes de puntos intentando hacer las referencias necesarias y valores de cálculo utilizados para no extender demasiado la explicación, dada la complejidad del programa.

Es recomendable antes de ponerse a trabajar con el proyecto, efectuar una primera calibración de la cámara y el objetivo en el caso del uso de lentes intercambiables, para la identificación de estos dentro

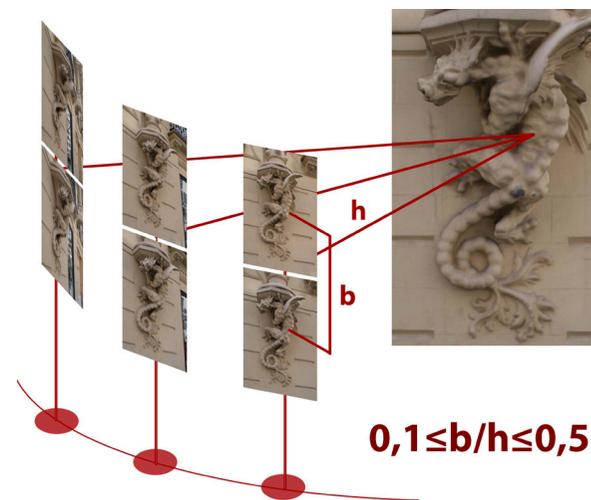


Fig. 2.07. Esquema de la toma de los pares verticales, buscando una relación b/h lo mas proxima a 0,13, en donde $h=2$ m y la distancia entre pares verticales de 26 cm.

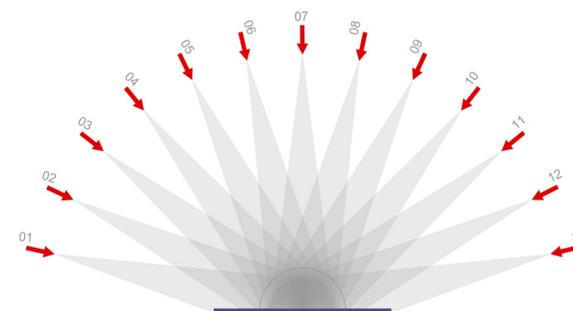


Fig. 2.08. Distribución de los 13 pares verticales alrededor del objeto a restituir.

3 CUELI LOPEZ, 2011. pp 245-248.

Se han referenciado un total de 57 puntos homólogos repartidos equitativamente por las 26 fotografías, en primer lugar incidiendo en el área de afección que se quiere trabajar y después en puntos de control para definir la geometría del modelo, siendo el residual más alto después de idealizar el proyecto de 0,217 pixeles y el error medio de 0,138 pixeles.

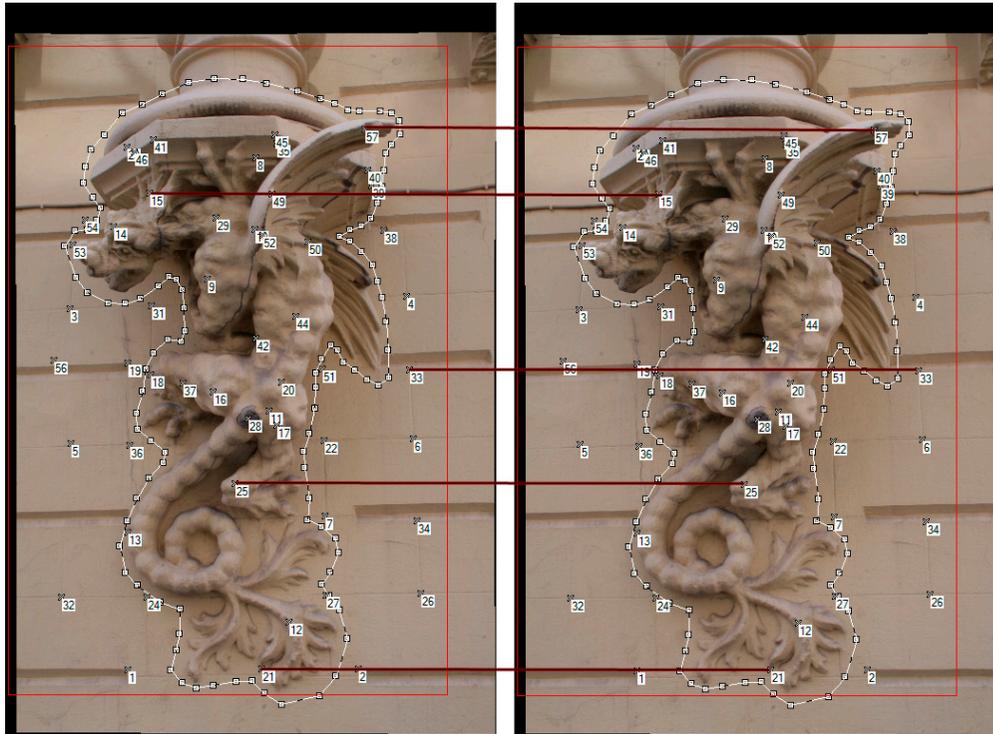


Fig. 2.13. Referenciado de puntos homólogos aprovechando las dianas naturales del modelo.

Para el cálculo de las nubes de puntos se han elegido, de las 325 combinaciones posibles entre todas las fotografías, aquellos pares que cumplan las siguientes condiciones: aquellos que tengan una relación $0,1 \leq b/h \leq 0,5$ siendo el valor óptimo el más próximo a 0,13 y que el ángulo que forma la línea imaginaria de cada cámara del par hacia el centro del objeto sea inferior a 30° .

A pesar de haber preparado 13 pares verticales en la toma de datos, por la proximidad entre las diferentes posiciones de las fotografías tomadas, existen otros pares tanto horizontales como diagonales que cumplen con las condiciones descritas, de este modo se tienen 84 pares que podrían generar una nube de puntos. Dados los tiempos de cálculo y ajustes, se limita su número a los necesarios para cubrir la

Id	Name	Largest Residual (pixels)	RMS Residual (pixels)	Photo Largest Residual	Photos (used)	Precision Vector Length
1		0.2117974...	0.10979849...	25	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,...	2.01277E-005
2		0.1589457...	0.09626082...	25	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,...	1.98473E-005
3		0.1971860...	0.08981253...	22	1,2,3,4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,...	2.38028E-005
4		0.1624136...	0.09632109...	23	1,2,3,4,5,6,10,11,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26	2.78599E-005
5		0.1511063...	0.07709794...	3	1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,...	2.16307E-005
6		0.1805584...	0.09918940...	24	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,14,15,16,17,18,19,20,...	2.13023E-005
7		0.1776455...	0.09527767...	26	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,14,15,16,17,18,19,20,...	2.06738E-005
8		0.1671746...	0.11820334...	14	2,3,4,5,6,7,8,9,14,15,16,17,18,19,20	2.92906E-005
9		0.1839757...	0.11023539...	8	3,4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20	2.72349E-005
10		0.1842955...	0.11239257...	18	3,4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20	2.74785E-005
11		0.1723173...	0.10189315...	18	1,2,3,4,5,6,7,10,11,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,...	2.25933E-005
12		0.1763447...	0.11055347...	22	1,2,3,4,5,6,7,10,11,13,14,15,16,17,18,19,20,21,2...	2.11727E-005
13		0.1848027...	0.10129616...	7	4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20	2.77311E-005
14		0.1708992...	0.10463051...	7	2,3,4,5,6,7,8,14,15,16,17,18,19,20	3.00202E-005
15		0.1665625...	0.09477117...	20	3,4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20	2.71777E-005
16		0.1701722...	0.10059853...	5	3,4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20	2.69820E-005
17		0.1746671...	0.10041938...	13	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,...	2.96375E-005
18		0.1233280...	0.08301265...	8	4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19	3.19319E-005
19		0.1828165...	0.10529898...	14	3,4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20	2.83350E-005
20		0.1743375...	0.10527733...	7	1,2,3,4,5,6,7,10,11,13,14,15,16,17,18,19,20,21,2...	2.11451E-005
21		0.1630915...	0.09388633...	1	1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,13,14,15,16,17,18,19,20,21,...	2.16437E-005
22		0.1702504...	0.09984744...	3	1,2,3,4,5,6,10,11,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,...	2.59395E-005
23		0.1461608...	0.08569541...	17	3,4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20	2.71407E-005
24		0.2024442...	0.11222614...	9	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,13,14,15,16,17,18,19,20,...	2.04982E-005
25		0.2051717...	0.10682206...	19	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,14,15,16,17,18,19,20,21,22,...	2.15251E-005
26		0.1892573...	0.10826070...	2	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,...	2.02526E-005
27		0.1668020...	0.09489433...	24	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,14,15,16,17,18,19,20,21,...	2.07716E-005
28		0.1756750...	0.09571274...	21	1,3,4,5,6,10,13,14,15,16,17,18,19,20,21,23,24	2.50329E-005
29		0.1735830...	0.10816338...	17	2,3,4,5,6,7,8,13,14,15,16,17,18,19,20	2.87563E-005
30		0.1327100...	0.08738453...	7	5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17	4.08048E-005
31		0.1723337...	0.09340374...	7	3,4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20	2.99131E-005
32		0.1667091...	0.10747110...	1	1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,...	2.08116E-005
33		0.1728412...	0.09816971...	16	1,2,3,4,5,6,7,10,11,16,17,18,19,20,21,22,23,24,2...	2.48594E-005
34		0.1814718...	0.11022588...	19	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,...	2.04811E-005
35		0.1889898...	0.10888803...	14	3,4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20	2.89043E-005
36		0.1575590...	0.10090725...	5	1,2,3,4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,...	2.25326E-005
37		0.1473959...	0.08812584...	9	3,4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20	2.73997E-005
38		0.1853418...	0.09584381...	20	1,2,3,4,5,6,10,11,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26	2.97679E-005
39		0.1789472...	0.10782646...	18	1,2,3,4,5,10,11,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26	2.92520E-005
40		0.1750406...	0.09053199...	5	1,2,3,4,5,6,10,11,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26	2.67668E-005
41		0.1866635...	0.09631480...	26	1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,...	2.05555E-005
42		0.1468210...	0.08776752...	9	4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19	3.26943E-005
43		0.1498202...	0.07793818...	26	1,2,3,10,11,21,22,23,24,25,26	4.36000E-005
44		0.1780089...	0.10780965...	1	1,2,3,4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,...	2.20634E-005
45		0.1672897...	0.10915769...	9	1,2,3,4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,...	2.21473E-005
46		0.1946909...	0.11919892...	2	1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,...	2.11226E-005
47		0.1608918...	0.10722026...	26	1,2,3,11,20,21,22,23,24,25,26	7.21409E-005
48		0.1922769...	0.13450313...	14	1,2,3,12,13,14,20,21,22,23,24,25	3.29543E-005
49		0.2116084...	0.10477555...	14	1,2,3,4,5,6,7,10,11,13,14,16,17,18,19,20,21,22,2...	2.18497E-005
50		0.1789572...	0.10080056...	24	1,2,3,4,5,6,10,11,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26	2.61705E-005
51		0.1327003...	0.08248399...	11	1,2,3,4,10,11,21,22,23,24,25,26	4.12182E-005
52		0.1785359...	0.10054399...	15	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,13,14,15,16,17,18,19,20,21,...	2.06251E-005
53		0.1952522...	0.11819203...	18	4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19	3.22878E-005
54		0.2176849...	0.13854062...	14	4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19	3.33146E-005
55		0.1659133...	0.09724923...	24	1,2,3,11,20,21,22,23,24,25	9.47275E-005
56		0.1351879...	0.09521612...	9	1,2,3,4,5,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,...	2.35823E-005
57		0.1550769...	0.10377432...	16	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,14,15,16,17,18,19,20,21,...	2.07407E-005

Fig. 2.12. Cuadro de precisión de las referencias manuales.



Fig. 2.14. Perspectiva de la nube generada por Photomodeler.

mayor superficie del objeto. Eligiendo 7 pares repartidos radialmente, los valores de cálculo que se han utilizado así como las nubes obtenidas de cada par, están recogidos en la siguiente tabla.

INFORMACION DEL PAR					PARAMETROS DE CALCULO					puntos obtenidos
Id	Photo 1	Photo 2	b/h	Angulo	Sampling Rate	Sub-pixel	Sampling Factor	Region Radius	Texture type	
1	1	24	0,124	7	3	si	4	8	1	151.796
2	2	23	0,135	7,227	3	si	4	8	1	162.507
3	4	19	0,16	7,909	3	si	4	8	1	148.786
4	5	18	0,128	6,652	2	si	4	8	1	380.531
5	9	14	0,14	6,571	2	si	4	8	1	307.003
6	11	25	0,134	7,281	2	si	4	8	1	174.807
7	12	13	0,137	7,93	2	si	4	8	1	233.696
total										1.559.126

El resultado final es una nube de 1.559.126 de puntos. Se podría continuar con "Photomodeler" para generar la malla pero se opta por la utilización de "Geomagic Studio" como programa de limpieza de las nubes de puntos y para la generación de la malla, al tener herramientas más potentes en la gestión de dichas tareas. Por último se ha limpiado la malla de irregularidades con "Rapidform", cerrando solo pequeños espacios abiertos, el resto de faltas se respetan para no alterar la geometría del modelo final. El tiempo empleado para la obtención del modelo ha sido: "Photomodeler" 32 horas, "Geomagic Studio" 3 horas y "Rapidform" 1 hora.



Fig. 2.15. Vistas de la nube generada por Photomodeler.

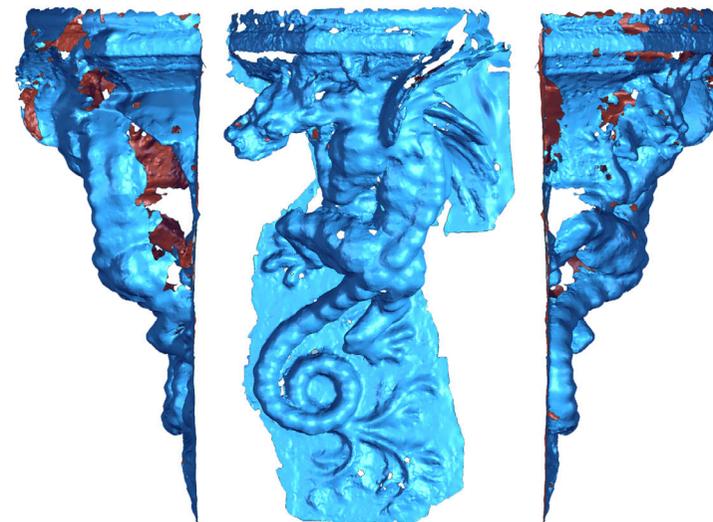


Fig. 2.16. Conversión a malla de la nube generada por Photomodeler.

2.4.2 Pasos de los procedimientos dentro de Photoscan

Para el cálculo de la malla dentro de “Photoscan”, se emplean las mismas fotografías que se han utilizado en “Photomodeler” siendo el total de fotografías de 26. El proceso de cálculo es más simple y automatizado que en “Photomodeler”, no obstante no se puede obviar el proceso de calibración de la cámara. El programa efectúa una primera calibración durante la fase de alineación, pero esta calibración no está completa, quedando parámetros sin calcular, que en función del tipo de levantamiento que se esté efectuando provocará errores importantes en las dimensiones y forma del modelo. Por ello se ha apoyado el levantamiento de otra aplicación del mismo fabricante para la correcta calibración de la cámara: “Agisoft Lens”. Efectuando una serie de fotografías a una diana de blancos y negros, con los mismos parámetros de cámara utilizados en la toma fotográfica, se obtienen los parámetros de calibración que se deberán insertar dentro de “Agisoft Photoscan” y se ajustarán como parámetros fijos, para que sean estos los utilizados en la alineación y cálculo de la malla, y no vuelva a calcularlos, borrando los obtenidos previamente.

En la siguiente imagen se tiene una comparación del mismo modelo, calculado con una calibración completa (azul) y una calibración incompleta (rojo). Ambos modelos están escalados con los mismos marcadores y alineados en su base. Se observa como el modelo rojo, conforme gana altura, es más alargado que el modelo azul. Haciendo evidente la importancia de una buena calibración del programa.

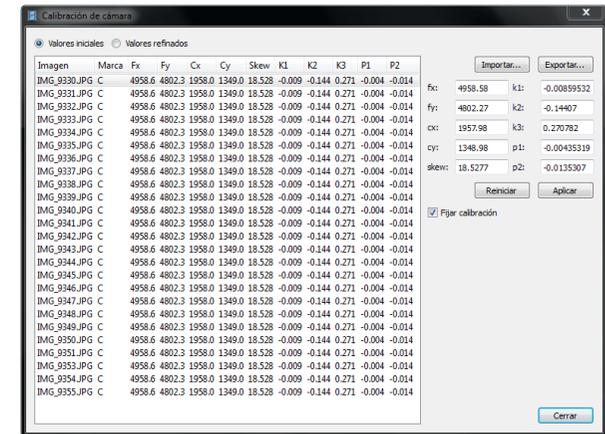


Fig. 2.17. Cuadro de calibración de Photoscan.

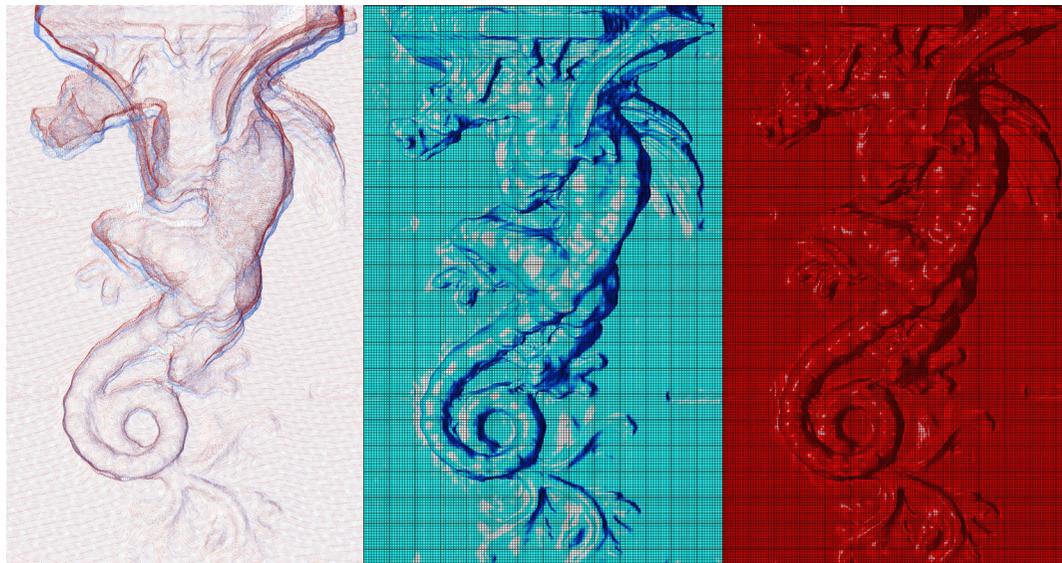


Fig. 2.18. Comparativa de un mismo modelo con una calibración completa en azul y una calibración incompleta en rojo.

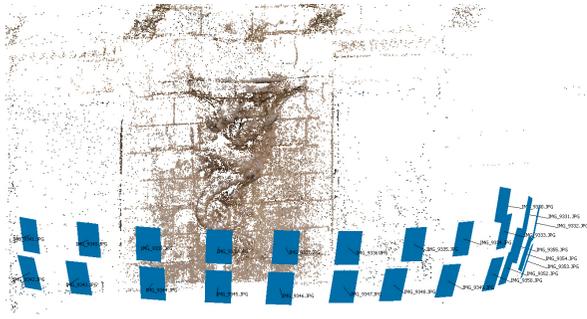


Fig. 2.19. Resultado de la alineación de las cámaras dentro de la aplicación de Photoscan.

Los ajustes realizados en el programa para la alineación de las cámaras, serán los siguientes: límite máximo del número de puntos a encontrar por fotografía 120.000 puntos, de este modo el programa utilizará el máximo número de puntos por fotografía. Precisión alta, para que utilice el 100% de los píxeles de la fotografía y se activa el emparejamiento de imágenes. No se ha utilizado mascarar de selección al no existir elementos en movimiento tales como tráfico, vegetación o nubes que puedan provocar errores en la alineación.

Finalizado el cálculo de la alineación, se ha obtenido una media de 30.000 puntos encontrados por fotografía, que serán utilizados para encontrar puntos comunes. Obteniendo un modelo final de 97.604 puntos comunes, si se quisiera una nube más densa sería necesario añadir más fotografías al proyecto, no obstante esta no es la finalidad que se pretende alcanzar, ya que se quiere realizar el cálculo de la geometría con el mínimo uso de programas y la aplicación permite su cálculo de forma directa.

El siguiente paso será la construcción de la malla. Para ello se ha aprovechado de la potencia de la tarjeta gráfica, activando en preferencias el cálculo por GPU y desactivando tantos procesadores como tarjetas gráficas activemos. Esta acción solo afectará al primer paso de la reconstrucción de la profundidad, agilizando considerablemente los cálculos y por consiguiente los tiempos finales.

Para la creación de la malla, se han elegido los siguientes ajustes: en tipo de objeto, define si lo que se pretende restituir es un terreno o un objeto arbitrario. En calidad del modelo, se está diciendo al programa el porcentaje de píxeles que tiene que utilizar por fotografía. Es recomendable el uso de calidad media debido a que si se utiliza una calidad superior los tiempos de cálculo se incrementan considerablemente, o incluso se corre el riesgo de agotar la memoria RAM y perder todos los cálculos, en este punto la mejor opción es incrementar el número de fotografías consiguiendo así, no solo mejorar la calidad de la malla, sino tener más detalle del modelo y evitar huecos en la malla. El tipo de geometría, es un factor bastante determinante, si se selecciona rasgos acusados el programa no cerrará los huecos de la malla que se producen por falta de información, ni la suavizará, obteniendo un modelo más fiel; pero por el contrario si en el proyecto, el número de fotografías es escaso y no se recogen todos los detalles del modelo, se producirán polígonos extras alrededor de los huecos de la malla, que se tendrán que limpiar con otros programas. Los mejores resultados se obtienen al modelar objetos con texturas fuertes, como por ejemplo la piedra. Si se utiliza rasgos suaves el programa cerrará todos los huecos de la malla, incluso aquellos de los que no tiene información para ello y suavizará el modelo final. Esta opción solo es recomendable cuando el proyecto posee pocas fotografías y el elemento a modelar tiene poca textura, como paredes lisas o pinturas. Número de caras que tendrá el modelo final, no es un factor que influya en los tiempos de cálculo, ya que el programa siempre calcula el número máximo de polígonos para después reducirlo al valor indicado, es recomendable indicar un número alto de polígonos, de 5 a 8 millones, en función de la capacidad del ordenador en manejar el modelo final, puesto que siempre se estará ante la posibilidad de reducir el número de polígonos en un tiempo de cálculo reducido, mientras que si se necesita un modelo con más detalle se tendrá que repetir todo el cálculo. Si lo que se desea es tener el mayor número de polígonos posibles, se deberá marcar como valor 0. En cuanto al umbral de filtrado de islas y detección de agujeros se dejarán los

valores recomendados por el programador, 0,5 y 0,1 respectivamente. Cualquier modificación de estos valores no producirá cambios apreciables.

A continuación se muestran los diferentes resultados obtenidos para el cálculo del modelo, en los dos tipos de geometría: acusado y suave, y en tres calidades: baja, media y alta. Se han descartado el resto de calidades o bien por no tener la calidad suficiente o porque su cálculo supone unos tiempos demasiados altos, o por la imposibilidad de un cálculo por falta de memoria RAM. De los seis modelos, se destaca el cálculo en rasgos acusados y calidad media, el cual proporciona un modelo detallado a un bajo coste de tiempo, al cual se le podría añadir un mayor número de fotografías, cubriendo todos los ángulos, consiguiendo así, definir mejor la geometría y evitar huecos en la malla.



Fig. 2.20. Comparativa de los diferentes tipos de geometría calculados por Photoscan.



Fig. 2.21. Modelo texturizado dentro de Photoscan.

El tiempo empleado para la obtención del modelo a calidad alta y rasgos acusados, ha sido de 39 minutos, procesado con un ordenador Intel Core i7 CPU 870 2,93Ghz, 16 GB RAM sistema 64 bits, Tarjeta Gráfica AMD Radeon HD5870 1Gb. No se ha aplicado ningún tratamiento de limpieza a la malla.

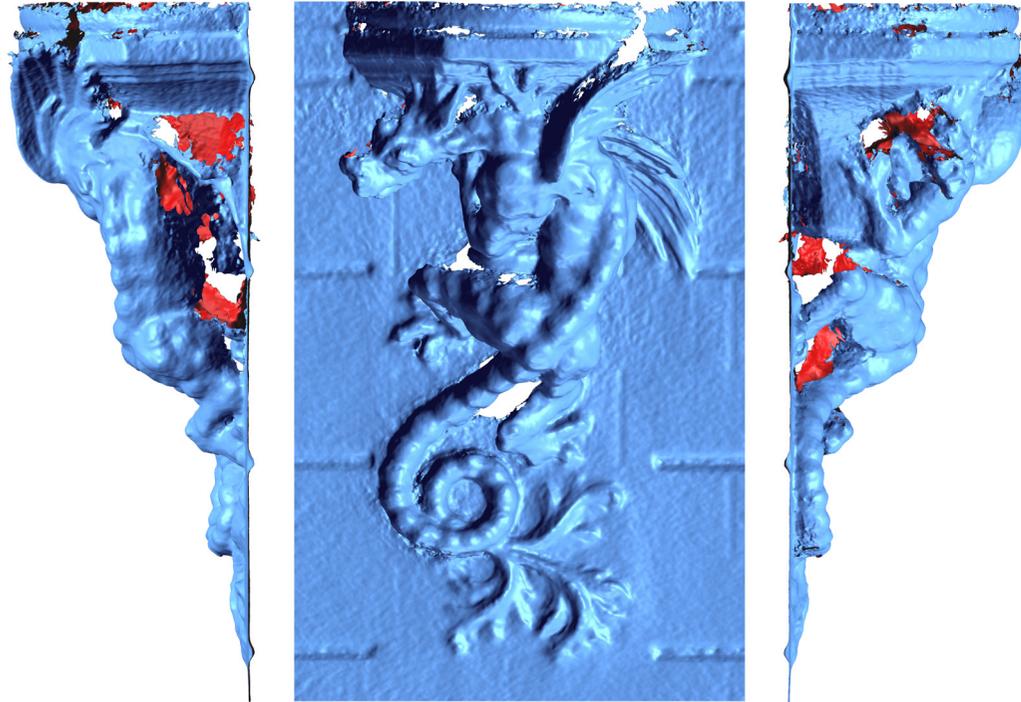


Fig. 2.22. Vistas del modelo generado por Photoscan, sin aplicar ningún tratamiento de limpieza.

2.4.3 Comparación de resultados

Una vez obtenidos los modelos, se han confrontado entre sí para medir las desviaciones entre ambos programas y determinar la precisión e idoneidad de estos. Lo primero que se observa, es que la superficie restituída con “Photoscan” en comparación con “Photomodeler” es mucho mayor y se consigue a un menor tiempo de cálculo, aunque ambos programas consiguen obtener un gran detalle, quedando solo faltas por sombras en el modelo, debido a la complejidad de este y al no haber realizado una toma fotográfica más extensa que hubiera recogido todos los ángulos y recodos de la figura pero que hubiera incrementado los tiempos de alineación de “Photomodeler”.

Superponiendo los modelos podemos comparar las desviaciones de la malla. En la siguiente imagen se representa en color la superficie de malla común, la cual aparece en diferentes tonos, indicando las desviaciones del modelo, para ello se ha utilizado la malla del “Photomodeler” como el modelo de referencia y la malla del “Photoscan” como el modelo a analizar. El error máximo obtenido es de 8,44 mm, pero como se puede observar en la imagen, representado por el color rojo, se obtiene en los extremos del modelo, zonas con mayores residuales y deformaciones al construir la geometría de la nube de puntos de “Photomodeler”, y como se observa en el histograma afecta a menos de un 3,29% del total de la malla, por lo que no se tendrá en consideración. El error medio es de 2,69 mm, siendo un valor más que aceptable.

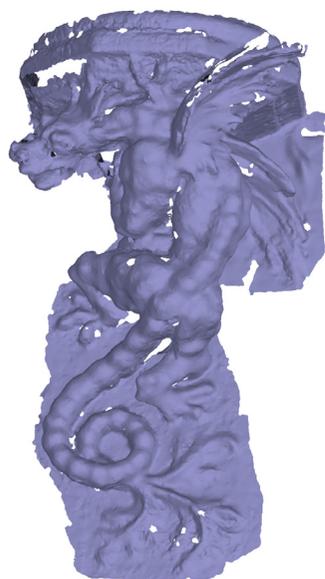


Fig. 2.24. Malla generada en Photomodeler.

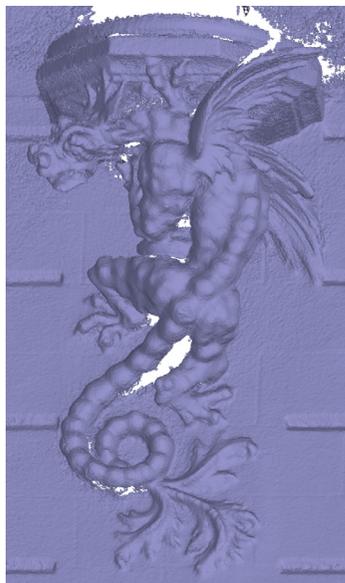


Fig. 2.25. Malla generada en Photoscan.

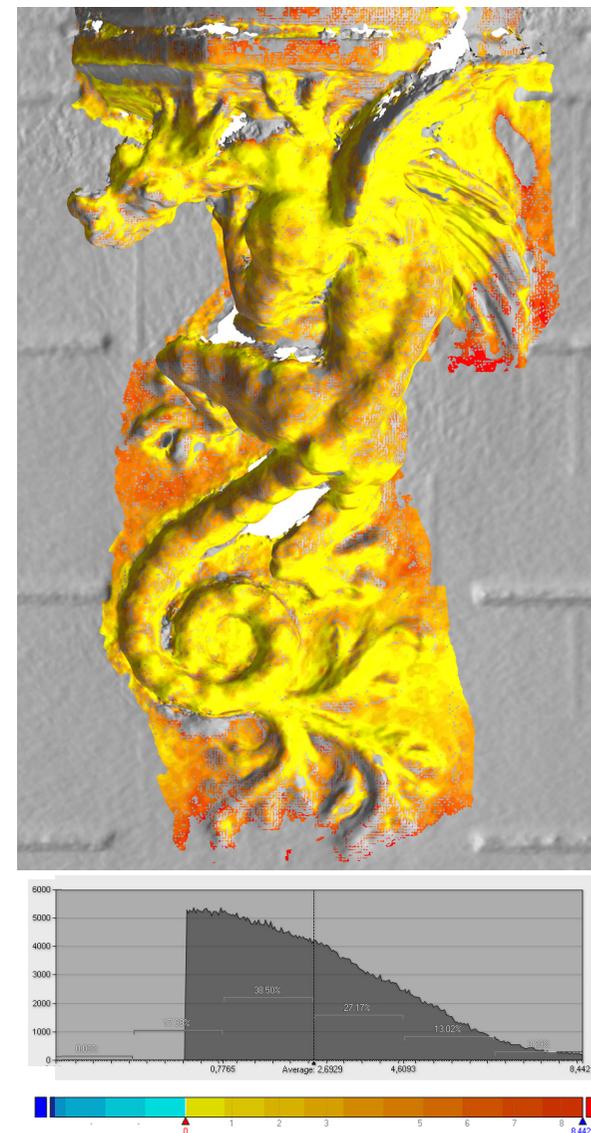


Fig. 2.23. Desviaciones de la superposición de las mallas con el histograma del error.

2.4.4 Conclusiones

Photomodeler:

Lo positivo

- Modelos de alta resolución y gran detalle.
- Gran precisión con pocas fotografías.
- Control total sobre el programa y sus ajustes.
- Control total sobre el error del modelo permitiendo su corrección. En todo momento se puede ver el nivel de error que se está cometiendo y ajustarlo a las necesidades del proyecto.
- Modelos texturizados de alta calidad.

Lo negativo

- Toma fotográfica muy compleja. Hay que controlar el número de fotografías finales y calcular correctamente el par estereoscópico, para no elevar el trabajo de referenciado de puntos en el ordenador.
- Se debe realizar una gran cantidad de pasos para obtener un modelo de calidad. Hay que controlar constantemente todos los procesos, para evitar errores en el modelo final.
- Calculo de la malla deficiente, requiere de aplicaciones externas para la obtención de buenos resultados.
- Escasos formatos de exportación de la nube de puntos.
- Es necesario de un aprendizaje previo y mucha práctica.
- Gran número de horas para la obtención de un modelo detallado.



Fig. 2.26. Modelo generado en Photomodeler.

Photoscan:

Lo positivo:

- Modelos de alta resolución. Cuantas más fotografías se añadan al proyecto, mejor detalle y precisión tendrá el modelo final.
- Fácil manejo, no requiere de un gran aprendizaje.
- Totalmente automatizado.
- Gran variedad de formatos de exportación del modelo.
- Toma fotográfica libre, no es necesario controlar el número máximo de fotografías ni calcular el par, al realizar múltiples fotografías el programa determinará los pares óptimos.
- Rapidez en la obtención de resultados.
- Modelo de la malla de gran calidad.
- Modelos texturizados de alta calidad.

Lo negativo:

- Los ajustes que permite el programa son mínimos.
- Herramientas escasas para la manipulación de la malla, es necesario exportar el modelo para obtener un mejor resultado.
- Requiere de un equipo informático potente para poder realizar proyectos complejos con un gran número de fotografías.

Ambos programas son una buena opción para la restitución fotogramétrica, como se ha visto, pero por rapidez, detalle y simplicidad, se ha decantado por el uso de "Photoscan" como aplicación para la toma de datos. Dado que se puede trabajar con un mayor número de imágenes, aumentando la calidad del modelo final, sin incrementar en exceso los tiempos de cálculo.



Fig. 2.27. Modelo generado en Photoscan.

2.5 Photocan versus Scanner de Triangulación



Fig. 2.28. Proceso de escaneado de la dovela para el estudio comparativo con Photoscan.

Una vez elegido el programa de “Photoscan” para realizar las restituciones fotogramétricas, se ha realizado una última prueba de calidad, para certificar su precisión. Para hacer dicha prueba se optó por escoger dos piezas recuperadas del castillo de Denia: una dovela y una de las claves.

Para la obtención de los modelos de referencia, se ha hecho uso de un escáner de triangulación modelo: “NexEngine model 2020i desktop 3d scanner”, con el cual se han obtenido una serie de escaneados que posteriormente se han ido juntando en un modelo final. Dicha malla será la utilizada para comparar los modelos restituidos por “Photoscan” y poder determinar así la precisión de estos.

2.5.1 Comparación de resultados

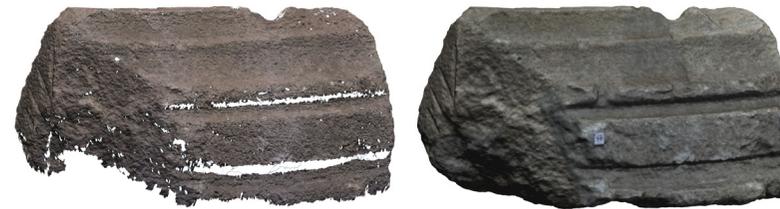


Fig. 2.29. Izquierda modelo obtenido con el escaner NexEngine y a la derecha modelo obtenido con Photoscan.

Para la obtención de los modelos de la dovela, se han realizado 18 barridos con el Scanner NextEngine, con un tiempo total de 114 minutos y para la toma fotográfica, se ha realizado tres tomas, con un total de 153 fotografías y un tiempo total de 19 minutos. Superponiendo los modelos, se obtiene un error máximo de 3,35 mm en un área menor del 2,48%, y un error medio de 0,49 mm .

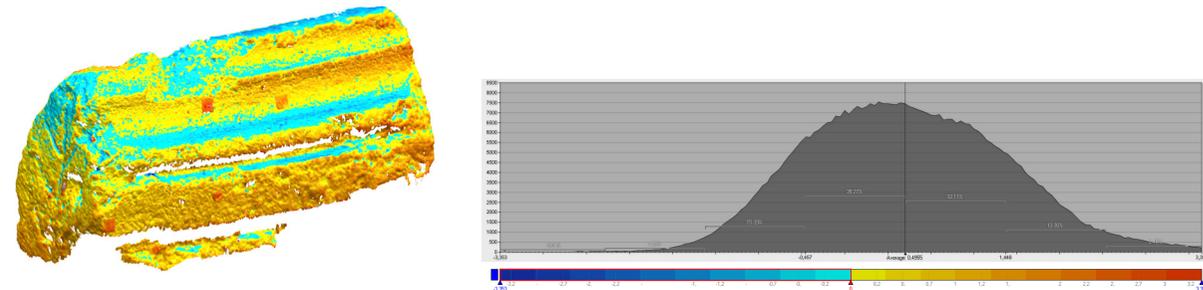


Fig. 2.30. Representación de la desviación de los modelos de la dovela con el histograma del error.

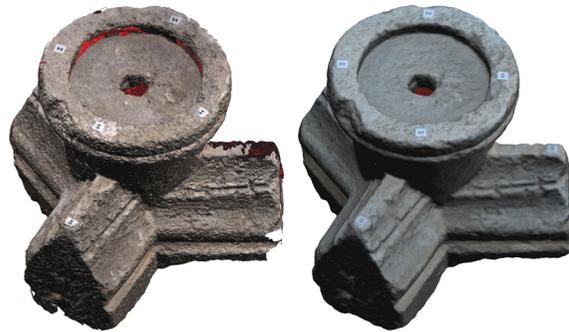


Fig. 2.32. Izquierda modelo obtenido con el escaner NexEngine y a la derecha modelo obtenido con Photoscan.

Para la obtención de los modelos de la clave, se han realizado 23 barridos con el Scanner NextEngine, con un tiempo total de 134 minutos y para la toma fotográfica, se ha realizado dos tomas, con un total de 183 fotografías y un tiempo total de 37 minutos. De la superposición de los modelos, se obtiene un error máximo de 4,71 mm en un área menor de 3,26%. Y un error medio de 0,96 mm.

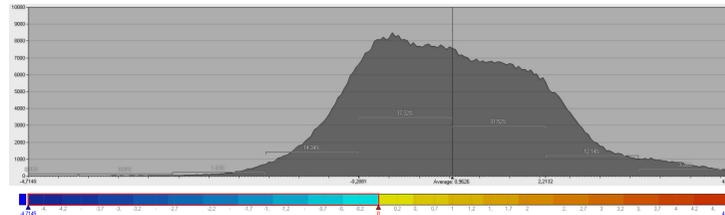
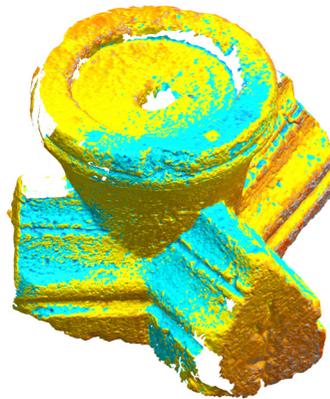


Fig. 2.33. Representación de la desviación de los modelos de la clave con el histograma del error.

Estos datos confirman, no solo la precisión de “Photoscan”, sino que se puede obtener una mayor superficie restituida a un menor coste de tiempo y dinero en la toma de datos, permitiendo explotar aún más los resultados con la posibilidad de texturizar de una forma más simple y directa, aportando información extra del elemento. Por ello una vez demostrada la fiabilidad, precisión y rapidez, será la herramienta que utilizaremos en la toma de datos de las piezas.

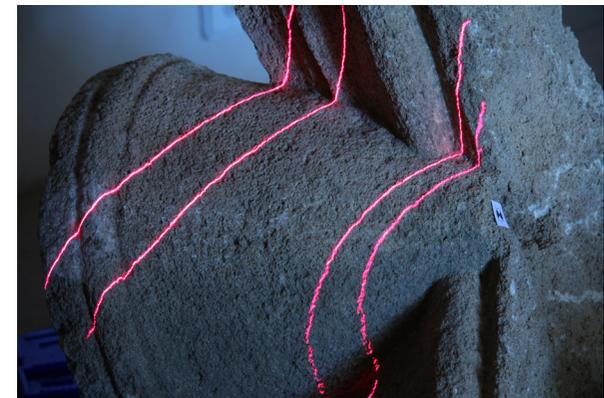
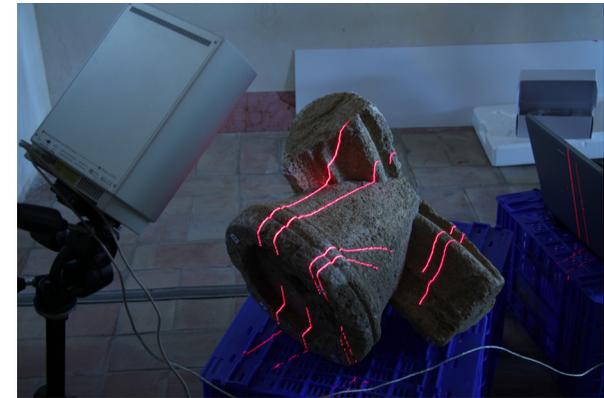


Fig. 2.31. Proceso de escaneado de la clave secundaria con el escaner NexEngine.



CAPÍTULO 3.
HISTORIA

3.1 Historia de la ciudad y el Castillo de Denia

En cuanto a los orígenes del primer asentamiento en Denia, no está del todo claro su origen exacto, pese a encontrarse numerosos restos arqueológicos de copas y ánforas jónicas de la segunda mitad del S. VI a.C. entre las zonas de los ríos Júcar y Segura, no se han hallado hasta la fecha indicios arqueológicos que confirmen un asentamiento permanente de una colonia o emporio foceo, no obstante son numerosos los investigadores que recopilando los escritos antiguos, apuntan que la actual ciudad de Denia podría tratarse de la antigua ciudad de *hēmeroskōpeion*⁵ que menciona Estrabón⁶ en sus escritos, destacándola por poseer un templo dedicado a la Diosa Artemisa :

Μεταξύ μὲν οὖν τοῦ Σούκρωνος καὶ τῆς Καρχηδόνος τρία πολίχνια Μασσαλιωτῶν ἔστιν οὐ πολὺ ἄπωθεν τοῦ ποταμοῦ· τούτων δ' ἔστι γινωμώτατον τὸ Ἡμεροσκοπεῖον ἔχον ἐπὶ τῇ ἄκρᾳ τῆς Ἐφεσίας Ἀρτέμιδος ἱερὸν σφόδρα τιμώμενον, ᾧ ἐχρήσατο Σερτώριος ὀρητηρίῳ κατὰ θάλατταν· ἐρυμνὸν γάρ ἐστι καὶ ληστρικόν, κάτοπτον δὲ ἐκ πολλοῦ τοῖς προσπλέουσι, καλεῖται δὲ [καὶ] Διάνιον, οἷον Ἀρτεμισιον, ἔχον σιδηρεῖα εὐφυῆ πλησίον καὶ νησίδια Πλανησίαν καὶ Πλουμβαρίαν καὶ λιμνοθάλατταν ὑπερκειμένην, ἔχουσαν ἐν κύκλῳ σταδίου τετρακοσίου.

Así pues, entre el Sucro y Cartago Nova hay tres establecimientos de los masaliotas no muy lejos del río. El más conocido de estos es Hemeroscopio, que tiene sobre el promontorio un santuario muy venerado de la Ártemis efesia y que Sertorio utilizó como base de operaciones marítimas, pues está muy bien fortificado y es propio de piratas, visible desde muy lejos para los que se aproximan por mar; se llama [también] Dianio, que es igual que Artemisio; tiene cerca unas prósperas minas de hierro e isletes, Planesia y Plumberia, y un lago salado hacia el interior que tiene de perímetro cuatrocientos estadios⁷.

No obstante, hay que apuntar, que Estrabón a pesar de sus numerosos viajes nunca estuvo en la península Ibérica, se limitó a recopilar tratados de la península de otros estudiosos como Posidonio⁸ o Artemidoro⁹ los cuales a su vez también recopilaban informaciones de otras obras. Lo que hace pensar la confusión creada, ya que realmente el término de Hemeroscopio, hace referencia a un puesto de observación, que como su nombre indica “torre vigía” o “observatorio diario”, una atalaya para el control de los bancos de atunes en sus migraciones y así enriquecer su comercio con materias primas,

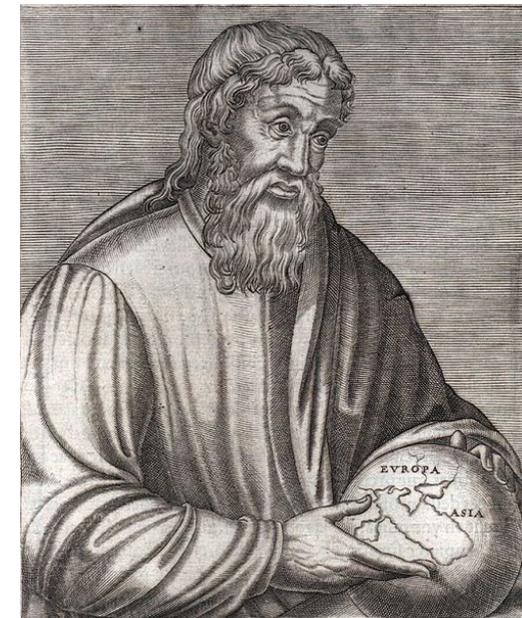


Fig. 3.01. Estrabón. Grabado del siglo XV.



Fig. 3.02. Representación de la geografía de Estrabón sobre la península ibérica.

- 5 Hemeroskopeion «torre vigía». Fundación de los griegos de Masalia (Marsella) entre los ríos Júcar y Cartagena.
- 6 Estrabón, Στράβων (Amasia, Ponto. 64 o 63 a.C. – 19 o 24 d.C.). Geógrafo e historiador griego que recorrió gran parte de la ecúmene de su época.
- 7 Libro III (3,4,6) de la geografía de Estrabón. Geografía de Iberia. Traducción de Javier Gómez Espelósín. Madrid: Alianza Editorial (2009).
- 8 Posidonio, Ποσειδώνιος (Apamea, Siria. cca. 135 a.C. – 51 a.C.) Político, astrónomo, geógrafo, historiador y filósofo estoico griego
- 9 Artemidoro (Éfeso, finales del s. II a. C. – principios del s. II a. C.) Cartógrafo y geógrafo griego.

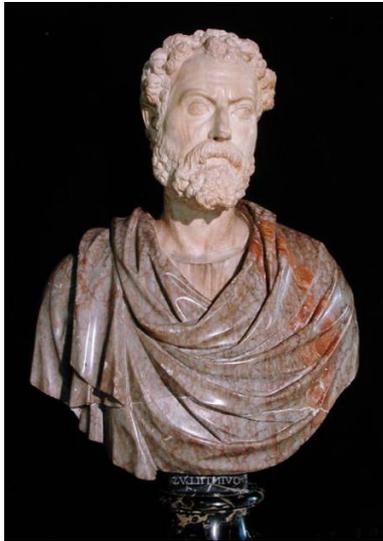


Fig. 3.03. Busto de Quintus Sertorius.

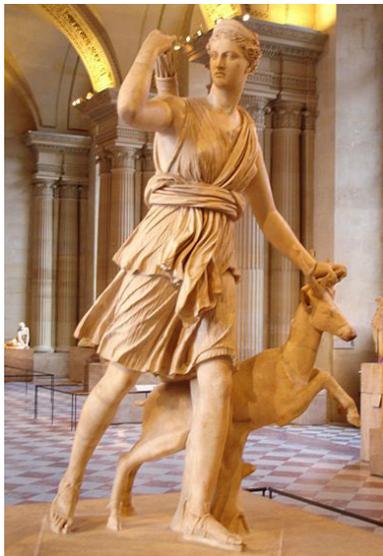


Fig. 3.04. Representación escultórica de la Diosa Diana.

más que un asentamiento o colonia griega, por lo tanto cabría imaginar que era una designación a efectos de navegación, de un accidente topográfico, o un puesto clave para el comercio y que su aparición en las cartas de navegación condujo a la idea de un primer asentamiento Foceo-massaliota¹⁰.

El hallazgo de la Peña de l'Àguila, en lo alto del macizo del Montgo, un recinto estrecho amurallado del siglo II al I a.C., plantea la existencia de un poblamiento ibérico situado por el entorno, ya que dada la inaccesibilidad del lugar, resultaría difícil el desarrollo de un asentamiento en dicha zona, y sería utilizado como lugar defensivo. Se han hallado en él, numerosos restos de armas y defensas romanas, así como de cerámica campaniense.

De los escritos de Estrabón, destaca el apunte que hace de la entrada de Quinto Sertorio¹¹ en la actual ciudad de Denia, donde estableció una base naval romana en el siglo I a. C. recuperando la atalaya de manos de los piratas y estableciendo el nombre de Dianium a este primer asentamiento romano en honor a la Diosa Diana¹², también se recogen estas informaciones en las Verrinas de Cicerón¹³. Este primer asentamiento militar conllevará a la primera ciudad a los pies de la cara norte de la colina del Castillo de Denia. De su etapa romana, se encuentran en el Castillo restos de estructuras y cimentaciones, en la parte oriental, debajo de la Torre del Galliner.



Fig. 3.05. Vista meridional de la ciudad de Denia. Grabado de 1786.

10 FERNANDEZ NIETO, 2002, PP. 231-255.

11 Quintus Sertorius. (Nursia, 122 a.C. - Osca, 72 a.C.) Político y militar romano de finales de la República romana.

12 Diana. Diosa virgen de la caza y protectora de la naturaleza. Equivale a la diosa griega Artemisa.

13 Marcus Tullius Cicero. (Arpino, 103 a. C - Fonia, 43 a.C) Jurista, político, filósofo, escritor y orador romano.

En la época islámica la ciudad recibe el nombre de Daniya, y es cuando el Castillo sufre su mayor transformación, que servirá de base para las futuras construcciones y periodos, el espacio queda dividido en dos recintos, el recinto inferior el Albacar y el recinto superior la Alcazaba, construyéndose la fortificación entre los siglos mitad del X al XI.

Con la reconquista cristiana en 1244, por parte de Jaume I, el Castillo pasa a manos cristianas pero no es hasta 1308 que reutilizan el espacio tomado, por orden de Jaime II. En la Alcazaba se sitúa el castillo, convirtiéndose en la ciudadela. Y el albacar, se convierte en el recinto amurallado de la Vila Vella de Denia, formada por un núcleo denso de casas, tramos de viales empinados y la iglesia.

Al partir del siglo XV se mejoran las defensas de la ciudad, debido a los continuos ataques de los piratas berberiscos. Estas mejoras, continuarán durante el siglo XVI con Felipe II, añadiendo baterías de defensa a las murallas, nuevos torreones y la muralla del Arrabal, e incluso se proyecta una nueva fortificación para el castillo, la cual nunca llega a ejecutarse.

En 1705 la flota del Archiduque Carlos parte hacia Barcelona desde Lisboa, para librar batalla contra huestes de Felipe V, haciendo escala en Denia como ciudad importante, y en busca del apoyo de la población valenciana. Tras atracar en las costas de Denia el 17 de agosto de 1705, el Archiduque Austriaco es proclamado rey de España con el nombre de Carlos III, convirtiéndose en la primera ciudad importante que acepta a Carlos III como rey, y declarándose en contra de Felipe V. Tras estos hechos la represalia de las tropas Borbónicas no se hicieron esperar y la ciudad recibió tres fuertes asedios durante el periodo de 1706 a 1708 que acabaron con la rendición de la ciudad el 18 de noviembre de 1708 y con la práctica destrucción de la Vila Vella y de gran parte del Castillo.

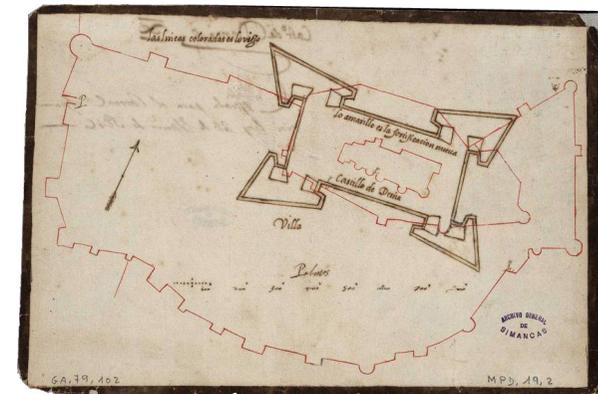


Fig. 3.06. Proyecto de fortificación del castillo de Denia, no llevada a cabo.



Fig. 3.07. Vista del puerto de Denia, Cassaus 1697.

- A. Brecha
- B. Porción de Muralla que se à de hacer de nuevo
- C. Camino del Lozo
- D. Muralla vieja que mantenía el Ter raplen de la Brecha
- E. Puerto principal
- F. Puerto de la Agüereta

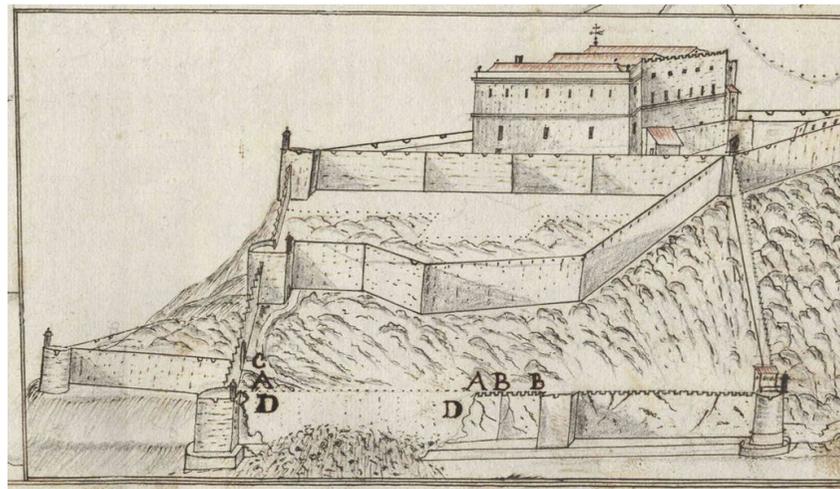


Fig. 3.08. Plano del estado de las defensas de la ladera este del Castillo en 1715.

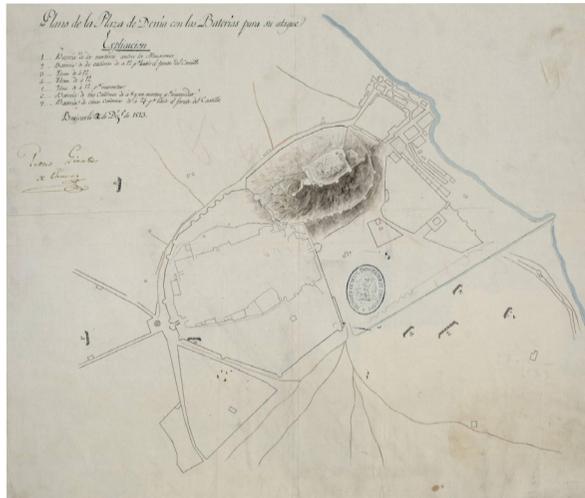


Fig 3.09. Plano de la plaza de Denia con la ubicación de las baterías españolas para la toma de la ciudad en 1813.



Fig. 3.10. Detalle del Castillo del plano de la plaza de Denia de 1813.

Finalizada la Guerra de Sucesión, se comienzan las obras de reparación y reconstrucción, abandonándose la Vila Vella como núcleo de población, y se traslada la población al arrabal. El Castillo pasa entonces a manos militares, demoliéndose los restos que quedan de la Vila Vella para la construcción y refuerzo de las murallas. En 1804 se reincorpora de nuevo a la Corona, al tratarse de un punto estratégico para el comercio y defensa, y se incentiva una campaña de reconversión de la ciudad con proyectos no ejecutados de nuevas fortificaciones.

Durante la Guerra de Independencia, la ciudad se rindió pacíficamente a la llegada del ejército francés en 1812, aun pesaba sobre ellos el recuerdo de la anterior guerra y la opresión borbónica impidió que la ciudad pudiera desarrollarse por lo que sus defensas no estaban a la altura de los franceses. Durante la estancia en Denia del ejército francés, este se dedicó a realizar obras de mejora del castillo y derribo de las últimas edificaciones que aún quedaban en la Vila Vella así como de otras edificaciones en el arrabal por considerarlas puntos estratégicos que pudieran ser utilizados en su contra, como la destrucción a balas de cañón de la torre campanario de la iglesia parroquial¹⁴. A la llegada del ejército español, el 16 septiembre de 1813, se inicia el asedio a la ciudad que dura hasta el 7 de diciembre de 1813, finalizando con la rendición del ejército francés, durante el asedio a la ciudad se provocaron serios daños al castillo y a la ciudad que precipitaran las decisiones posteriores sobre su futuro.



Fig. 3.11. Proyecto de nueva fortificación de 1811.

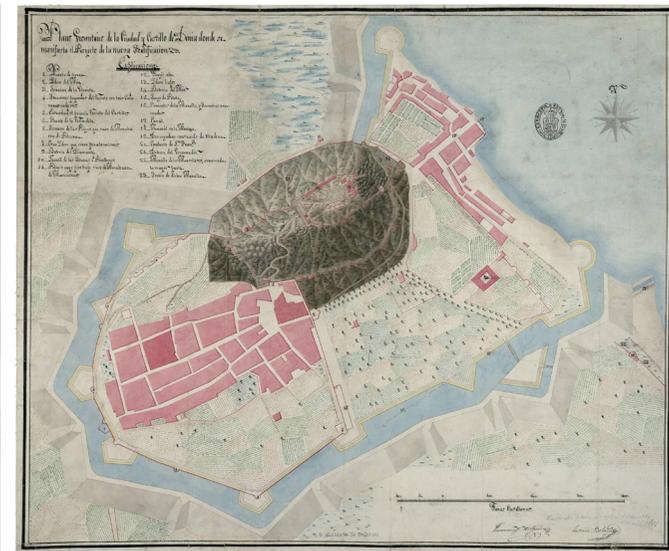


Fig. 3.12. Proyecto de nueva fortificación de 1811.

14 CALVO PUIG, 2006, pp.141-142.

Finalizada la guerra, comienza la reconstrucción de la ciudad de Denia y se retoman los proyectos de mejora y defensa de la ciudad. En 1845 el Castillo de Denia se declara como punto fuerte de tercera clase, no obstante, ello no impide que en 1859, se ordene el abandono y demolición de la fortaleza, pasando los restos del Castillo a manos privadas, en donde se transforma el antiguo albacar en terrazas, para dedicarlas al cultivo de la vid moscatel.

Entre 1867 y 1873 se derriban las murallas del arrabal para permitir la expansión de la ciudad, y en 1892 comienzan las obras de ampliación del puerto, extrayendo la piedra de la ladera norte de la montaña, dándole la configuración actual a la montaña y provocando serias patologías a las murallas del castillo las cuales han tenido que ser reforzadas para evitar su derrumbe.

En 1947 tras un largo proceso de expropiación, el Castillo pasa a ser propiedad municipal, en donde se realizan varias actuaciones, entre ellas la plantación de la pinada que configuraran la visión actual del castillo.



Fig. 3.13. Fotografía aérea de la ladera norte del Castillo, principios de siglo XX.

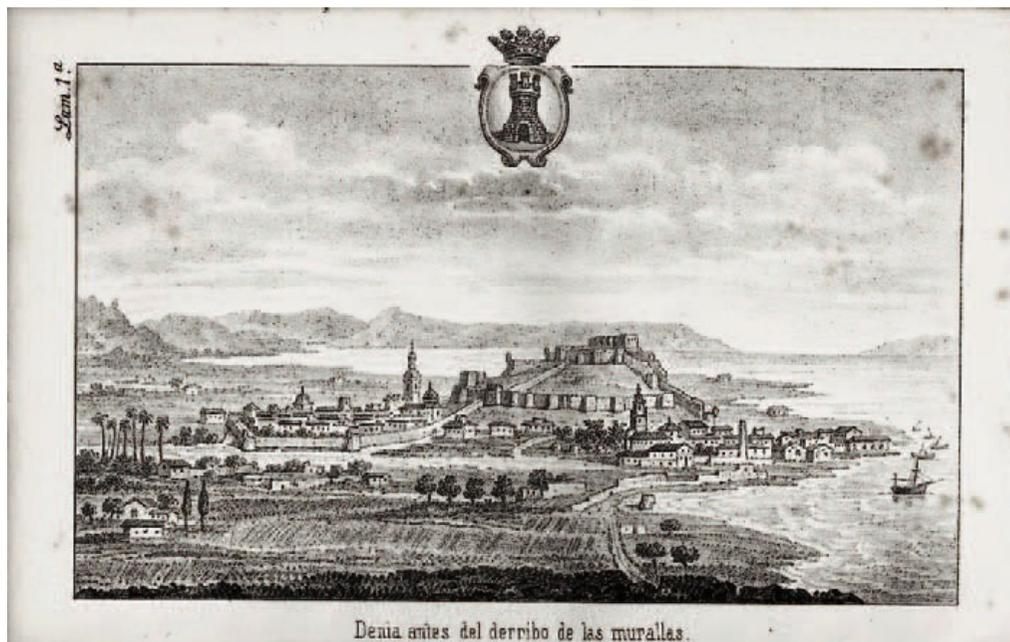


Fig. 3.14. Vista de la ciudad de Denia antes del derribo de las murallas de 1867-1873.

3.2 Cartografía histórica de la Vila Vella de Denia. La iglesia

En la actualidad tanto la iglesia como la Vila están desaparecidas, y de su recuerdo tan solo quedan los muros del albacar. Las últimas excavaciones arqueológicas están sacando a la luz las cimentaciones y arranques de los muros de la Vila Vella. La zona excavada comprende la mitad este del albacar de donde se han recuperado tanto objetos como sillares y dovelas de la iglesia.

De las fuentes escritas que se ha tenido acceso, se conoce de la existencia de una iglesia dentro de la Vila, pero no especifican su situación y mucho menos aportan una descripción de cómo podría ser, por ello se ha hecho una búsqueda de los planos históricos de Denia, con la intención de poder ubicar la iglesia dentro de la Vila y deducir su forma y dimensiones. A continuación se muestran los principales planos encontrados, ordenados cronológicamente.

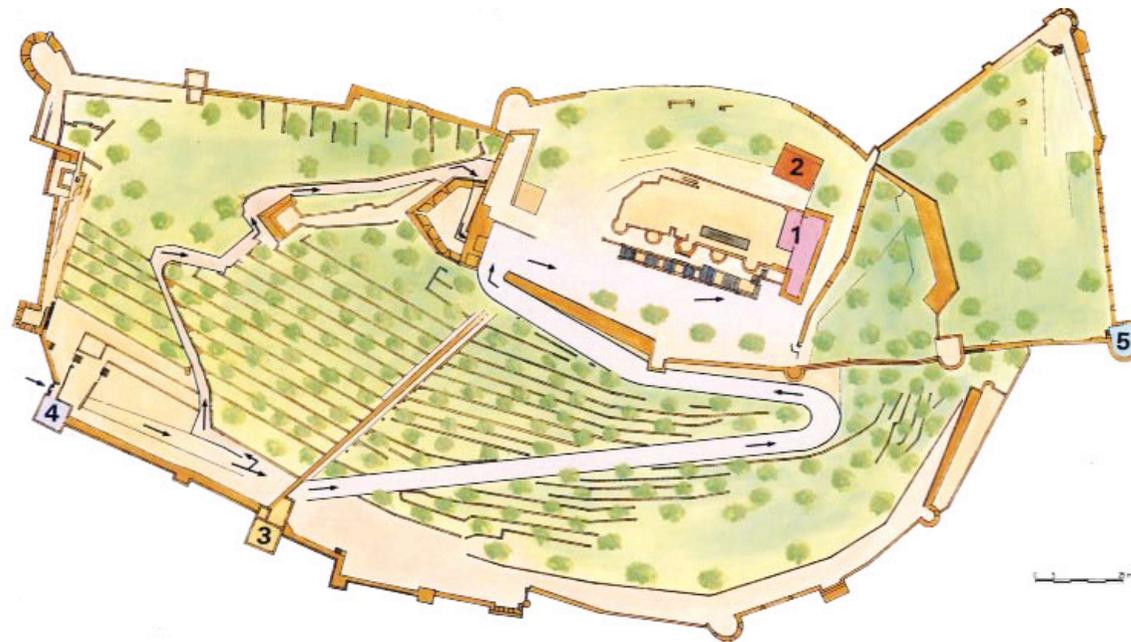


Fig. 3.15. Plano actual del Castillo de Denia.



Fig. 3.18. Plano de Vespasiano Gonzaga 1575.

En el plano de Vespasiano Gonzaga de 1575, está representada desde una vista aérea en perspectiva, la ciudad de Denia de la época, en él se puede ver la imagen de la ciudad formada por el arrabal a los pies de la colina, la Vila y el Castillo, con sus dos puertos. Al fondo aparece la ciudad de Cullera, identificable solo por la anotación del autor. Dentro de la Vila, Vespasiano representa a la iglesia como la construcción más alta, destacándola del resto de la masificación de casas, la dibuja con una cubierta a dos aguas en la que se insinúa una cruz en lo alto. La fachada principal, está formada por el acceso y un óculo, estando situada en posición inversa a la que debería de tener. Esta disposición de la cubierta hace suponer que debería de tratarse de una iglesia de reconquista con arcos diafragma¹⁵ característica de la primera mitad del siglo XIV, en donde se necesitaban crear con rapidez lugares para el culto cristiano en los territorios reconquistados.

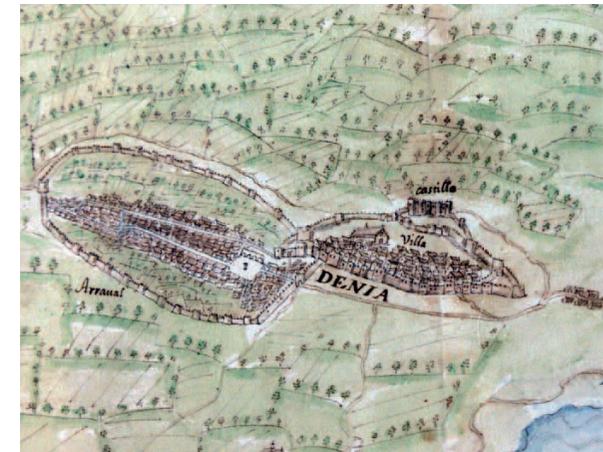


Fig. 3.16. Detalle de la ciudad de Denia.



Fig. 3.17. Detalle del Castillo y Vila de Denia. En el cual se aprecia la iglesia en una posición destacada dentro de la Vila.

¹⁵ Josep A. Gisbert Santonja, la iglesia de Santa María de la Vila Vella, conferencia del 22 de noviembre de 2012, Denia.

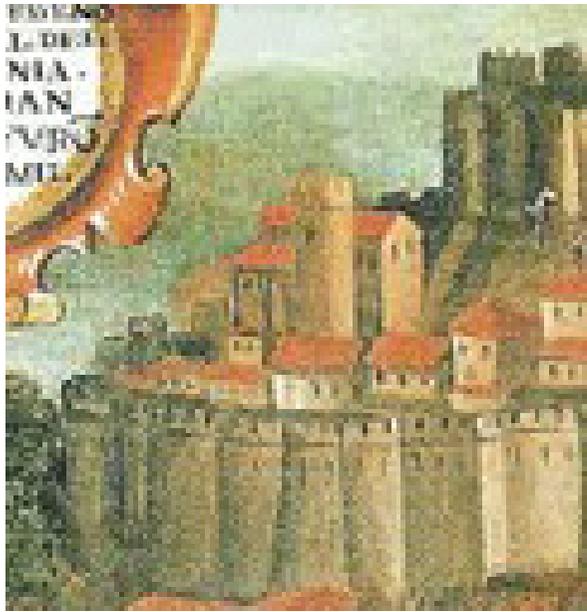


Fig. 3.19. Detalle de la iglesia del cuadro de Vicent Mestre.



Fig. 3.20. L'Expulsió al port de Dènia. Embarc de moriscos en el Grao de Dènia. Vicente Mestre 1613.

El cuadro de Vicent Mestre pintado en 1613, es una representación de la ciudad de Denia vista desde el mar, en el momento de la expulsión de los moriscos. Se caracteriza por la fidelidad y detalle de los edificios. Nuevamente, la iglesia destaca entre el resto de edificaciones de la Vila, aparece representada de nave única, con su cubierta a dos aguas y a su lado una torre de planta aparentemente circular, la cual no se apreciaba en el anterior plano de Vespasiano, detrás de la torre, hay un anexo a la iglesia de menor altura que podrían ser las capillas.

Durante la guerra de sucesión se realiza una cartografía más exacta de Denia, realizada por militares franceses para la ocupación de la ciudad. De entre ellos se destaca el "PLAN de la ville et chasteau de DENIA dans le royaume de Valence", de 1708, de Atlas Massé y el "PLAN de DENIA avec son attaque a la base ville" también de 1708 y autor desconocido.

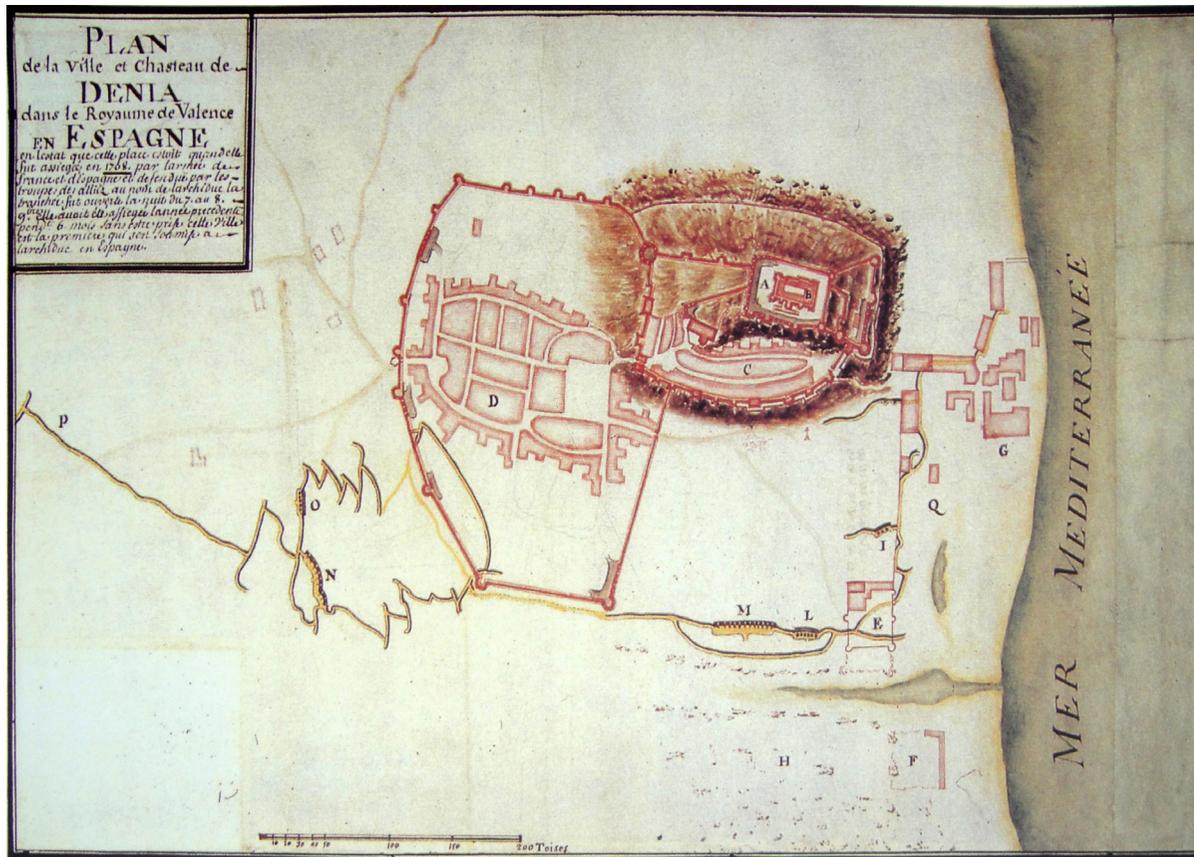


Fig. 3.23. Plan de la Ville et chasteau de Denia. Atlas Massé 1708.

En el Plano de Massé, se recoge una vista de la ciudad de Denia y la ubicación de las trincheras y baterías desde donde efectuaron el ataque, se trata de un croquis en donde las proporciones no son las correctas, no obstante tiene el suficiente detalle para discernir cada elemento y poder ubicarlo correctamente. Se aprecia a la iglesia seccionada en planta, de nave única y planta rectangular, en donde la torre se encuentra unida a ella, con una forma ochavada. La ubicación de la iglesia se sitúa debajo del bastión conocido como La Punta del Diamante, ocupando la posición más alta dentro de la Vila Vella.

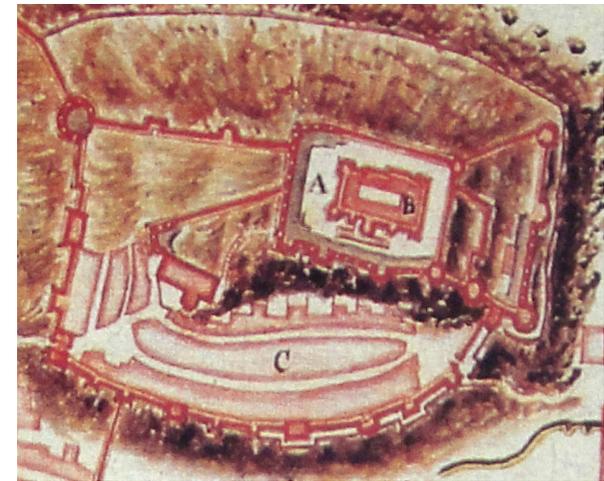


Fig. 3.21. Detalle de la Vila Vella del plano de Atlas Masse.



Fig. 3.22. Detalle de la iglesia de Atlas Masse.



Fig. 3.24. Detalle de la Vila Vella del plano de "attaque a la basse Ville".



Fig. 3.25. Detalle de la iglesia del plano de "attaque a la basse Ville".



Fig. 3.26. Plano de Denia "AVEC SON ATTAQUE A LA BASSE VILLE". 1708.

En el plano de "attaque a la basse Ville" es una mejora del plano de Massé, destaca por su precisión, y la definición de los trazados de las calles y los muros. La iglesia aparece dibujada con un tratamiento diferente al resto. Es una vista en planta aérea con sus cubiertas trazadas, tiene una forma rectangular a la que le salen dos volúmenes a ambos lados de la nave, pudiendo ser las capillas que también se observan en el cuadro de Mestre, aparece la torre unida a la iglesia con una forma circular u ochavada, siendo difícil de diferenciar en el plano. Además grafía unos elementos anexos a la iglesia a los cuales da el mismo tratamiento de color que al resto de viviendas, haciendo difícil su interpretación de si se tratan de edificaciones próximas o de elementos de la iglesia. En cuanto a la ubicación, la iglesia se encuentra debajo del bastión de la Punta del Diamante, como grafía también Massé, pero con mayor precisión y detalle.

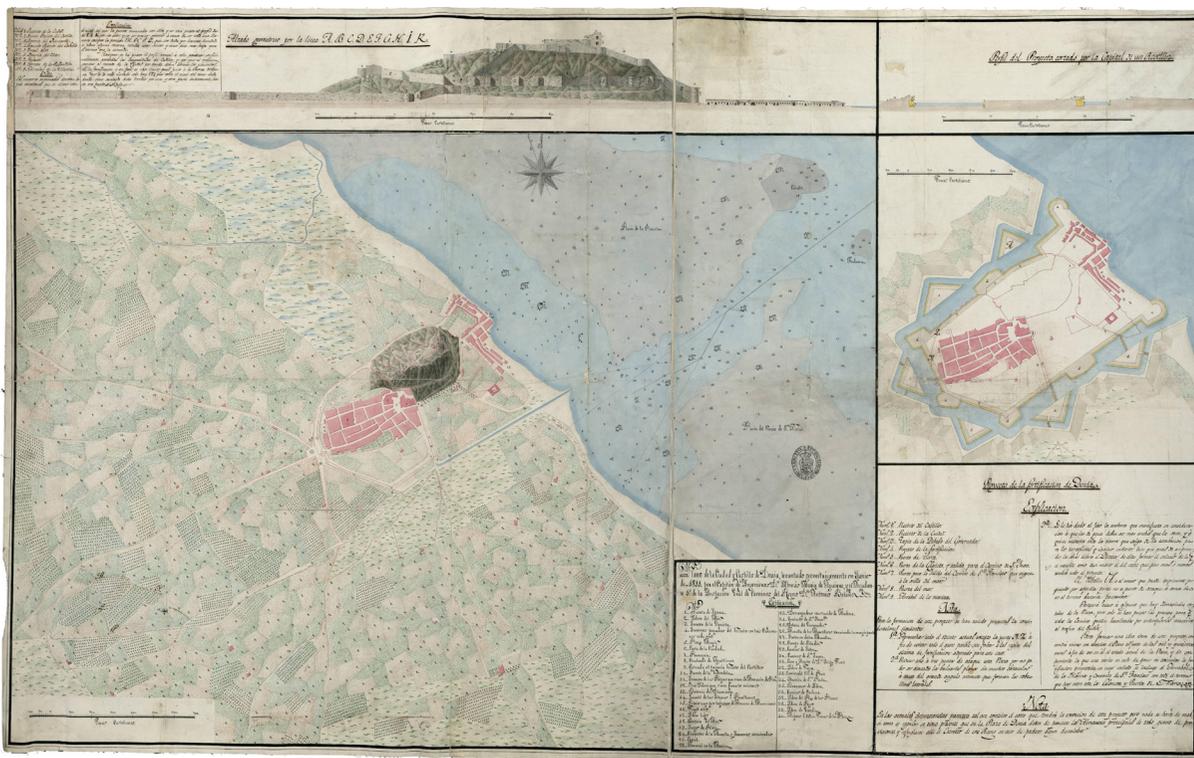


Fig. 3.29. Plano de la Ciudad y Castillo de Denia, de Thomás María de Aguirre y Antonio Bolano, junio de 1811.

De los levantamientos realizados en 1811, para la fortificación de Denia realizados por Thomas María de Aguirre y Antonio Bolano, hay que destacar la visión del momento, en la cual, la villa aparece completamente arrasada tras la Guerra de Sucesión, no quedando ningún rastro de ella. La iglesia debería estar debajo del Bastión de la Punta de Diamante, no encontrándose ningún elemento grafiado, no obstante, aun debían quedar restos importantes de ella, como se recoge en las descripciones realizadas por Madoz en 1847¹⁶. De este plano se observa la construcción de un muro interior de defensa, que divide el albacar en dos, el cual no aparece en ninguno de los anteriores planos, por lo que debió ejecutarse tras la Guerra de Sucesión aprovechando los restos de la Vila Vella y de la iglesia, y así lo confirma una inspección visual realizada, en la que se han encontrado diferentes piezas que pueden identificarse con facilidad a la iglesia.



Fig. 3.27. Detalle de la ciudad de Denia del levantamiento de Thomas María de Aguirre y Antonio Bolano en 1811.

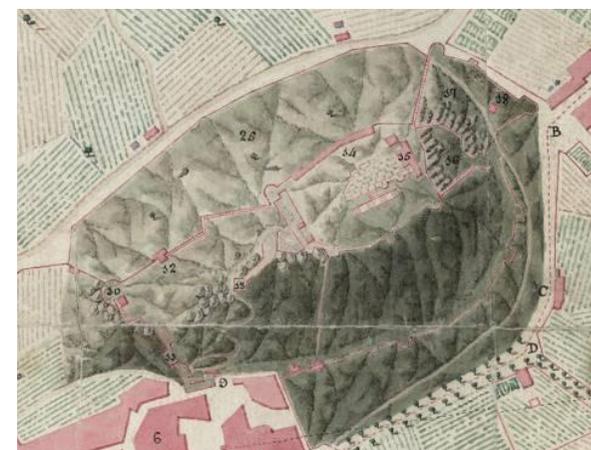


Fig. 3.28. Detalle del Castillo y Vila de Denia. En el cual ya no aparecen ningún rastro de la ciudad y de la iglesia.

16 CALVO PUIG, 2006, p. 19.



Fig. 3.30. Ubicación del muro defensivo creado con los restos de la Vila Vella y la iglesia. Se encuentra ubicado muy próximo a la posición de la iglesia, partiendo a la Vila por la mitad, por lo que no resulta extraño la gran cantidad de sillares de la iglesia encontrados en el muro.



Fig. 3.31. Restos de dovelas y sillares de la iglesia de la Vila Vella, encontrados a lo largo del muro de defensa creado entre los años 1700-1800. Dichas piezas son fácilmente identificables por la presencia de espigas para el mejor agarre del mortero, formas aplantilladas o por la presencia de marcas de cantería.

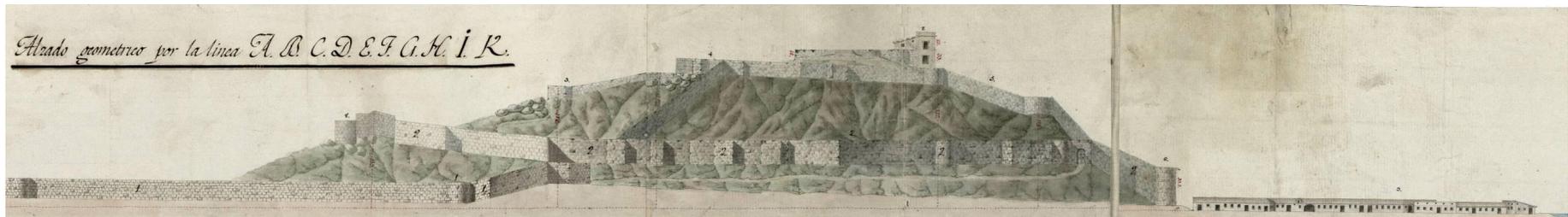


Fig. 3.32. Alzado de la ladera sur del Castillo del plano de Tomás María de Aguirre y Antonio Bolano, junio de 1811. En el alzado están representadas las murallas del castillo y del Albacar, se distinguen perfectamente el bastión de la Punta de Diamante y el muro defensivo construido después de la Guerra de Sucesión (periodo de la guerra en Denia 1705-1708), no aparece grafiada ninguna edificación a excepción de los restos del castillo en lo alto del Alcázar.

De las informaciones obtenidas de la cartografía histórica se puede confirmar la existencia de una iglesia dentro de la Vila Vella, la cual estaba ubicada en lo más alto del albacar, por debajo del bastión conocido como la Punta del Diamante. En cuanto a la forma, no se puede deducir más que tenía forma rectangular, de nave única y capillas a los lados, la cubierta era a dos aguas y con una gran pendiente y la existencia de una torre anexa a su cara sur. Lo que lleva a pensar que muy posiblemente se tratara de una iglesia de reconquista con arcos diafragma, dado el periodo de su construcción de principios de siglo XIV.

Dicho esto, resulta difícil encajar una bóveda nervada dentro de una iglesia de reconquista, no obstante, es de destacar en el plano de “attaque a la basse Ville” de 1708, en el que aparecen grafiadas una serie de construcciones anexas a la iglesia, con un tramado diferente a esta, las cuales podrían tratarse de simples edificaciones o también de ampliaciones de la misma iglesia.

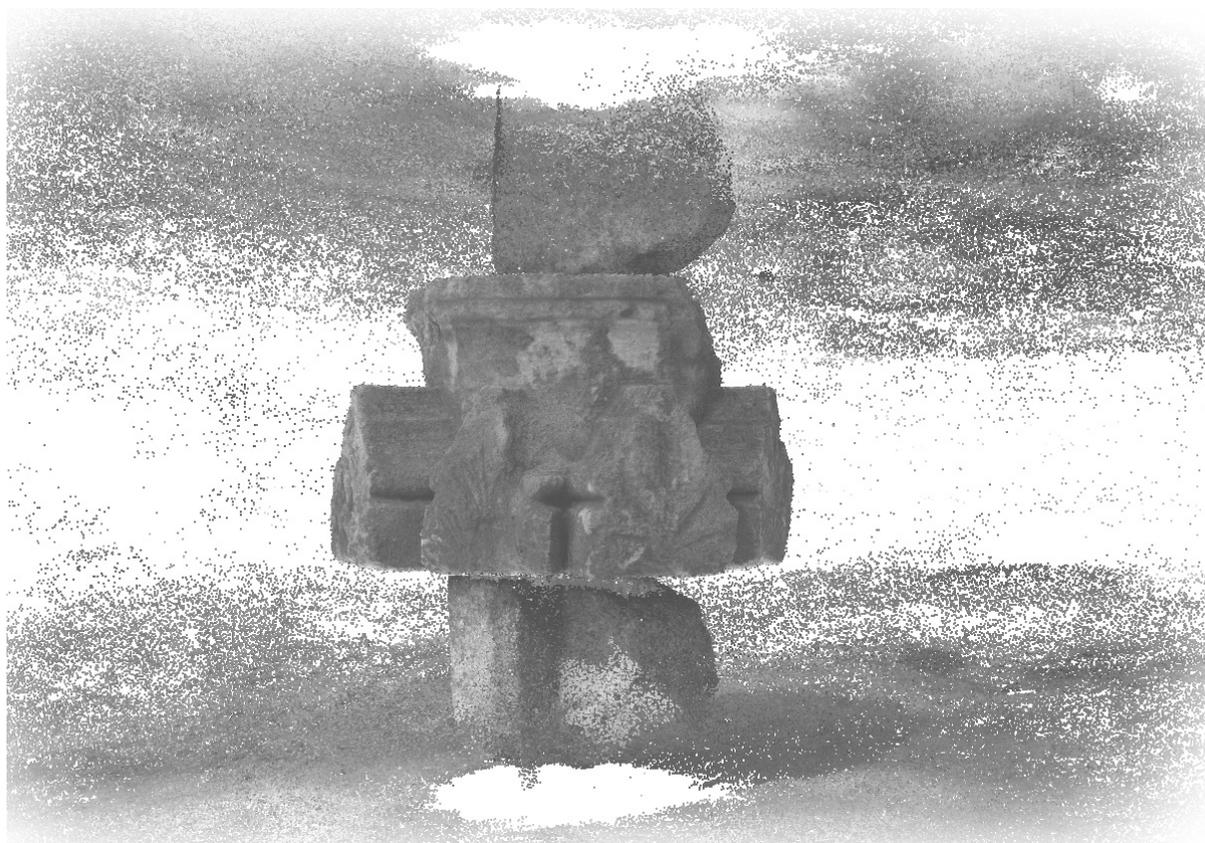
Parece lógico pensar, dada la importancia y riqueza de la ciudad de Denia, que la iglesia de la Vila Vella debió sufrir tanto modificaciones como ampliaciones durante los 400 años de existencia que tuvo, en los cuales se construirían nuevas capillas y recintos para mejora y adecuar el culto a las nuevas necesidades de cada época o simplemente como muestra de poder y esplendor. Una de estas nuevas construcciones estaría cubierta por una bóveda nervada, formada por las dovelas y claves de estudio.



Fig. 3.33. Detalle de la iglesia del cuadro de Vicent Mestre.



Fig. 3.34. Detalle de la iglesia del plano de “attaque a la basse Ville”.



CAPÍTULO 4.
TOMA DE DATOS Y RESTITUCIÓN DE LAS PIEZAS

4.1 Los restos arqueológicos

En la actualidad la Vila Vella de Denia se encuentra completamente desaparecida, en su lugar existen una serie de bancales, con pinos plantados en la segunda mitad del S.XX, en un intento de acondicionar el lugar, para resguardar al visitante de los rayos de sol. Los pocos restos que van apareciendo de la Vila Vella, son expuestos en estas terrazas sin un orden aparente, para el deleite del visitante.

Según fuentes del área de arqueología y museos de Denia, se han localizado una dispersión de más de 400 sillares pertenecientes a la iglesia, repartidos en las reparaciones de los muros de defensa y en la última transformación de la Vila Vella, con la creación de los abancalamientos para el cultivo de la vid. La datación comparativa de estos sillares se sitúa a principios del siglo XIV coincidiendo con la fundación de la Vila Vella de 1308.



Fig. 4.03. Vista aérea del castillo de Denia.



Fig. 4.04. Piezas colocadas en los bordes de los bancales.



Fig. 4.05. Piezas colocadas en anexo del bancal segundo.



Fig. 4.06. Piezas colocadas en la paredes de los bancales.

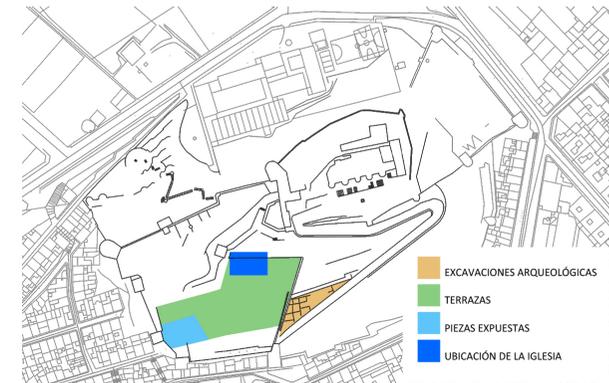


Fig. 4.01. Plano del castillo de Denia, con las zonas



Fig. 4.02. Exposición de piezas recuperadas en bancal 2.

Por ello, uno de los primeros trabajos llevados a cabo, ha sido un reconocimiento del lugar, identificando aquellas piezas que por sus características pudieran pertenecer a la iglesia, y a su vez, a alguna de sus bóvedas. A estos restos, se les han asignado un identificativo respecto al lugar que están expuestos. El código que se les ha asignado hace referencia a la posición de la pieza, en cuanto al nivel del bancal, si está próxima al borde, a la pared o en un anexo y en qué orden se encuentran desde el camino de acceso. Las piezas encontradas se detallan en la siguiente tabla.

FOTO	DESIGNACIÓN	LOCALIZACIÓN	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS	FOTO	DESIGNACIÓN	LOCALIZACIÓN	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS
	B1B.2	BANCAL PRIMERO BORDE SEGUNDA PIEZA	602x319x201	PERDIDA DE SECCIÓN EN BASE Y CABEZA.		B2P.4	BANCAL SEGUNDO PARED CUARTA PIEZA	606x405x244	PERDIDA DE SECCIÓN EN LECHOS. ROZA CILÍNDRICA EN CABEZA.
	B2A.1	BANCAL SEGUNDO ANEXO PRIMERA PIEZA	484x383x512	PERDIDA DE SECCIÓN EN EL 75% DE LA BASE. ORIFICIO PASANTE EN CUERPO CENTRAL.		B3B.1	BANCAL TERCERO BORDE PRIMERA PIEZA	617x335x224	PERDIDAS DE SECCIÓN EN BASE Y PARTE SUPERIOR. RESTOS DE MORTERO DE CAL EN LATERALES POR OTROS USOS.
	B2B.1	BANCAL SEGUNDO BORDE PRIMERA PIEZA	650x416x418	PERDIDA DEL 60% DE LA SECCIÓN. ORIFICIO PASANTE EN CUERPO CENTRAL.		B3B.2	BANCAL TERCERO BORDE SEGUNDA PIEZA	664x344x225	LEVES PERDIDAS DE SECCIÓN EN ESQUINAS. RESTOS DE MORTERO DE CAL EN LATERALES POR OTROS USOS.
	B2P.1	BANCAL SEGUNDO PARED PRIMERA PIEZA	568x370x259	LEVES PERDIDAS DE SECCIÓN EN ESQUINAS. RESTOS DE MORTERO DE CAL EN LATERALES POR OTROS USOS.		B3B.3	BANCAL TERCERO BORDE TERCERA PIEZA	653x389x200	LECHO CON DOBLE INCLINACIÓN Y APROXIMACIÓN DE ROZA DE TABIQUERÍA. LEVES PERDIDAS DE SECCIÓN.
	B2P.2	BANCAL SEGUNDO PARED SEGUNDA PIEZA	696x343x216	LEVES PERDIDAS DE SECCIÓN EN ESQUINAS. RESTOS DE MORTERO DE CAL EN LATERALES POR OTROS USOS.		B4B.1	BANCAL CUARTO BORDE PRIMERA PIEZA	590x359x222	PERDIDA DE SECCIÓN EN BASE. RESTOS DE MORTERO DE CAL EN LATERALES POR OTROS USOS.
	B2P.3	BANCAL SEGUNDO PARED TERCERA PIEZA	606x375x270	LEVES PERDIDAS DE SECCIÓN EN ESQUINAS. RESTOS DE MORTERO DE CAL EN LATERALES POR OTROS USOS. CONSERVA RESTOS DE LADRILLO.		B4B.2	BANCAL CUARTO BORDE SEGUNDA PIEZA	626x333x225	PERDIDA DE SECCIÓN EN BASE. RESTOS DE MORTERO DE CAL EN LATERALES POR OTROS USOS.

Fig. 4.07. Tabla de la ubicación de las dovelas y características generales.

4.2 La materialidad

El material utilizado en la talla de las piezas, es una toba calcárea de color amarillento, con una gran porosidad, debido al proceso continuo de formación de dicha piedra en el que se van depositando los cristales de carbonato cálcico sobre la vegetación, en función del tipo de vegetación, será de mayor o menor tamaño la porosidad de la piedra. Esa porosidad hace que sea un material idóneo para la construcción, dado su bajo peso, resistencia y dureza, además de resultar una piedra de fácil labra, pero por el contrario, al ser un material tan poroso al humedecerse en exceso, por filtraciones o goteras, hará que se incremente el peso de la construcción pudiendo llevar a la ruina al edificio.

La procedencia de dicha piedra es casi con total certeza de la “cova tallada” de la que también se le atribuye, la piedra extraída para la construcción de la iglesia de San Bartolomé de Jávea, se trata de una gruta artificial excavada como cantera para la extracción de dicha piedra calcárea, se encuentra entre Denia y Jávea a una distancia de 5,6 kilómetros por mar, hasta el actual puerto Denia, que sería la ruta utilizada para el transporte de las piedras. La gruta actualmente ya no se utiliza como cantera, pero aún conserva el embarcadero tallado en la entrada y en su interior está grabado sobre la piedra una inscripción que dice “PHILIPUS III HISP REX CAVERNAM HANC PENETRAVIT AN MDXCIX” Felipe III visito esta cueva en 1599¹⁷.



Fig. 4.11. Embarcadero de la Cova.



Fig. 4.12. Exterior de la Cova Tallada.



Fig. 4.13. Interior de la Cova Tallada.



Fig. 4.14. Inscripción de Felipe III.



Fig. 4.08. Muestra de toba calcárea, recogida en la Cova Tallada para su comparación con las dovelas encontradas en el castillo de Denia.



Fig. 4.09. Ruta marítima de acceso a la Cova Tallada desde Denia.

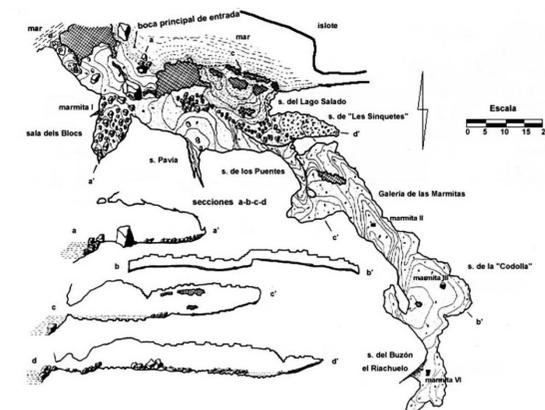


Fig. 4.10. Plano topográfico del interior de la Cova Tallada.

17 Información extraída de lascavernas.blogspot.com.es/2011/05/la-cova-tallada.html, en mayo 2012.

Dependiendo de la geometría de cada dovela se ha hecho de dos a tres tomas, girando de posición a la pieza, para posteriormente unir las y así, poder restituir la pieza entera.

Cada toma fotográfica está formada por una serie de fotografías continuas, con los mismos parámetros de cámara, rodeando a la pieza, de manera que se generan unos anillos a distintos niveles, creando una envolvente esférica que recoge todos los detalles de las piezas. Dicho anillo tiene el radio necesario para utilizar una distancia focal no inferior a 20 mm y con la precaución de que la pieza quede centrada en cada fotografía, respetando unos márgenes laterales en donde la fotografía tiene una mayor distorsión radial. Dado el número elevado de fotografías se descarta el uso del formato RAW.



Fig. 4.21. Diferentes posiciones de las piezas para cada una de las tomas fotográficas.

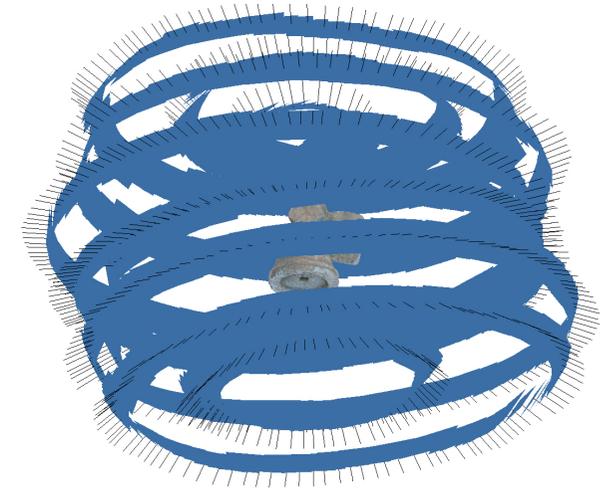


Fig. 4.20. Envolvente esférica de las diferentes tomas fotográficas.

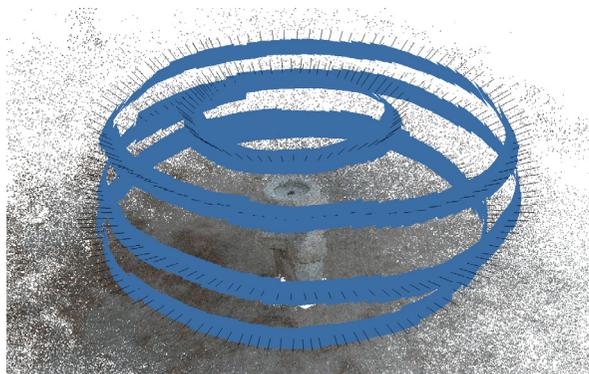


Fig. 4.22. Toma fotográfica de la clave secundaria en la posición 1.

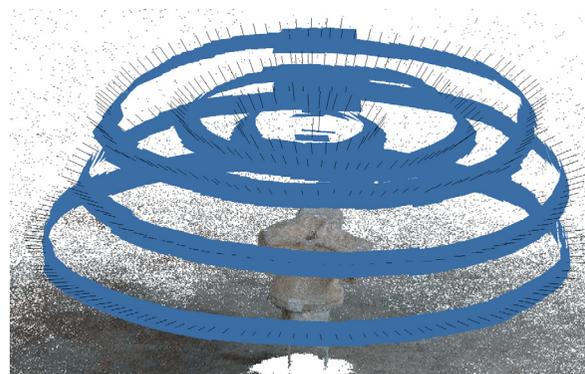


Fig. 4.23. Toma fotográfica de la clave secundaria en la posición 2.



Fig. 4.24. Anillos horizontales formados por las diferentes fotografías de la pieza B2A.1.

En la siguiente tabla se recoge toda la información de la toma fotográfica: indicando los medios utilizados para cada toma, así como el número de lotes, fotografías y los tiempos empleados para obtenerlas. Siendo un total de 5.771 fotografías, con un tiempo total de 635 minutos.

FOTO	CARACTERÍSTICAS			TOMA DE DATOS FOTOGRAFICOS					
	DESIGNACION	LOCALIZACIÓN	DIMENSIÓN	MODELO CÁMARA	FOCAL	NÚMERO FOTOS	LOTES	FOTOS POR LOTE	TIEMPO TOMA FOTOS
	B1B.2	TERRAZA PRIMERA BORDE PIEZA 2	602x319x201	CANON EOS 400D OBJETIVO 18-55 mm CON TRIPODE Y DISPARADOR AUTOMATICO	25 mm	394	2	251 143	51 min
	B2A.1	TERRAZA SEGUNDA ANEXO	484x383x512	CANON EOS 400D OBJETIVO 18-55 mm CON TRIPODE Y DISPARADOR AUTOMATICO	34 mm	923	2	453 470	71 min
	B2B.1	TERRAZA SEGUNDA BORDE PIEZA 1	650x416x418	CANON EOS 400D OBJETIVO 18-55 mm CON TRIPODE Y DISPARADOR AUTOMATICO	35 mm	390	2	182 208	51 min
	B2P.1	TERRAZA SEGUNDA PARED PIEZA 1	568x370x259	CANON EOS 50D OBJETIVO 17-85 mm SIN TRIPODE	30 mm	522	3	191 188 143	34 min
	B2P.2	TERRAZA SEGUNDA PARED PIEZA 2	696x343x216	CANON EOS 50D OBJETIVO 17-85 mm SIN TRIPODE	47 mm	591	3	224 221 146	44 min
	B2P.3	TERRAZA SEGUNDA PARED PIEZA 3	606x375x270	CANON EOS 50D OBJETIVO 17-85 mm SIN TRIPODE	41 mm	412	3	155 129 128	45 min

Fig. 4.25. Tabla con los datos de la toma fotográfica.

FOTO	CARACTERÍSTICAS			TOMA DE DATOS FOTOGRAFICOS					
	DESIGNACION	LOCALIZACIÓN	DIMENSIÓN	MODELO CÁMARA	FOCAL	NÚMERO FOTOS	LOTES	FOTOS POR LOTE	TIEMPO TOMA FOTOS
	B2P.4	TERRAZA SEGUNDA PARED PIEZA 4	606x405x244	CANON EOS 400D OBJETIVO 18-55 mm CON TRIPODE Y DISPARADOR AUTOMATICO	28 mm	500	2	288 212	52 min
	B3B.1	TERRAZA TERCERA BORDE PIEZA 1	617x335x224	CANON EOS 50D OBJETIVO 17-85 mm SIN TRIPODE	41 mm	389	3	122 129 138	26 min
	B3B.2	TERRAZA TERCERA BORDE PIEZA 2	664x344x225	CANON EOS 400D OBJETIVO 18-55 mm CON TRIPODE Y DISPARADOR AUTOMATICO	34 mm	410	3	222 88 100	92 min
	B3B.3	TERRAZA TERCERA BORDE PIEZA 3	653x389x200	CANON EOS 400D OBJETIVO 18-55 mm CON TRIPODE Y DISPARADOR AUTOMATICO	34 mm	464	3	154 163 147	107 min
	B4B.1	TERRAZA CUARTA BORDE PIEZA 1	590x359x222	CANON EOS 50D OBJETIVO 17-85 mm SIN TRIPODE	41 mm	374	3	113 130 131	34 min
	B4B.2	TERRAZA CUARTA BORDE PIEZA 2	626x333x225	CANON EOS 50D OBJETIVO 17-85 mm SIN TRIPODE	41 mm	402	3	143 132 127	28 min

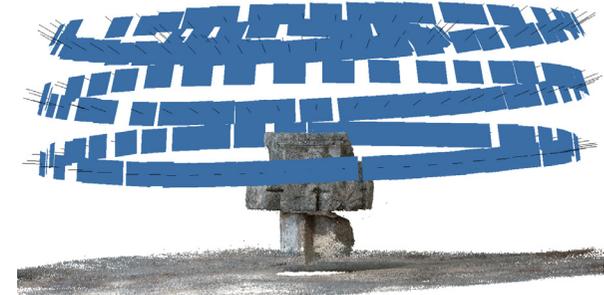


Fig. 4.26. Anillos horizontales formados por las diferentes fotografías de la pieza B2B.1.

4.3.2 Procedimiento de cálculo

Finalizada la toma fotográfica, se ha procedido a realizar el cálculo de los modelos. En primer lugar se ha ordenado la información en carpetas según la pieza y el número de lote, lo que agilizará el posterior trabajo, dado el alto número de fotografías. Una vez dentro de la aplicación de "Photoscan" generaremos tantos grupos de trabajo como lotes tengamos por pieza y procederemos a la alineación de las cámaras. Los parámetros elegidos, han sido: Calidad Alta y emparejamiento de imágenes genérico, con un máximo de 80.000 puntos de identificación por imagen. Para el cálculo de la malla se ha realizado en Calidad Media con Rasgos Acusados, sin límite en cuanto al número de polígonos y se utilizó la aceleración por GPU. Por último se han calculado las texturas para poder colocar adecuadamente los marcadores sobre las dianas y poder escalar del modo más preciso posible.

Los tiempos de cálculo se han recogido en una tabla. Hay que tener en cuenta para su interpretación que se han utilizado dos tipos diferentes de cámaras: una Canon EOS 400D, con una resolución de 10,1 Megapíxeles y una Canon EOS 50D, con una resolución de 15,1 Megapíxeles. Dependiendo de la cantidad de fotografías, número de píxeles, nitidez de las imágenes, textura del elemento y del fondo, los tiempos variarán considerablemente. De este modo, para el cálculo de la alineación de las cámaras, con una toma media de 155 fotografías tomadas a 15,1 Mpx, se han necesitado 612 minutos (B2P.3 lote 1), mientras que el mismo número de fotografías, tomadas a 10,1 Mpx se han necesitado 354 minutos (B3B.3 lote 1). No obstante estos tiempos variarán en función de la nitidez, fondo y textura, como ya hemos dicho, de ahí, la diferencia de tiempo en el cálculo de la dovela B4B.2 lote 1 con 143 fotografías a 15,1 Mpx y un tiempo de 285 minutos.

El equipo empleado para los cálculos ha sido un Intel Core i7 870 (2.93GHz) a 16GB de RAM, Tarjeta Gráfica ATI RADEON HD 5870 (870MHz).



Fig. 4.27. Distintas fases del cálculo dentro de Photoscan. Cálculo de la alineación, cálculo de la mesh y texturizado.

FOTO	CARACTERÍSTICAS	TOMA DE DATOS FOTOGRAFICOS					PHOTOSCAN			
	DESIGNACION SEGÚN LOCALIZACION	MODELO CÁMARA	FOCAL	NÚMERO FOTOS	LOTES	FOTOS POR LOTE	TIEMPO ALINEACIÓN	CALIDAD	TIEMPO PROCESADO	TIEMPO TOTAL
	B1B.2	CANON EOS 400D OBJETIVO 18-55 mm CON TRIPODE Y DISPARADOR AUTOMATICO	25 mm	394	2	251	180 min	MEDIA ACUSADA	478 min	1.100 min (18h)
						143	267 min		175 min	
	B2A.1	CANON EOS 400D OBJETIVO 18-55 mm CON TRIPODE Y DISPARADOR AUTOMATICO	34 mm	923	2	453	573 min	MEDIA ACUSADA	1.684 min	4.853 min (80h)
						470	841 min		1.755 min	
	B2B.1	CANON EOS 400D OBJETIVO 18-55 mm CON TRIPODE Y DISPARADOR AUTOMATICO	35 mm	390	2	182	470 min	MEDIA ACUSADA	363 min	1.944 min (32h)
						208	560 min		551 min	
	B2P.1	CANON EOS 50D OBJETIVO 17-85 mm SIN TRIPODE	30 mm	522	3	191	687 min	MEDIA ACUSADA	534 min	2.553 min (42h)
						188	569 min		362 min	
						143	96 min		305 min	
	B2P.2	CANON EOS 50D OBJETIVO 17-85 mm SIN TRIPODE	47 mm	591	3	224	183 min	MEDIA ACUSADA	529 min	1.540 min (25h)
						221	119 min		513 min	
						146	55 min		141 min	
	B2P.3	CANON EOS 50D OBJETIVO 17-85 mm SIN TRIPODE	41 mm	412	3	155	612 min	MEDIA ACUSADA	262 min	1.595 min (23h)
						129	135 min		200 min	
						128	165 min		221 min	

Fig. 4.28. Tabla con los tiempos descompuestos para el cálculo de cada pieza dentro de Photoscan.

FOTO	CARATERÍSTICAS DESIGNACION SEGÚN LOCALIZACION	TOMA DE DATOS FOTOGRAFICOS				PHOTOSCAN				
		MODELO CÁMARA	FOCAL	NÚMERO FOTOS	LOTES	FOTOS POR LOTE	TIEMPO ALINEACIÓN	CALIDAD	TIEMPO PROCESADO	TIEMPO TOTAL
	B2P.4	CANON EOS 400D OBJETIVO 18-55 mm CON TRIPODE Y DISPARADOR AUTOMATICO	28 mm	500	2	288	242 min	MEDIA ACUSADA	606 min	1.408 min (23h)
						212	156 min		404 min	
	B3B.1	CANON EOS 50D OBJETIVO 17-85 mm SIN TRIPODE	41 mm	389	3	122	265 min	MEDIA ACUSADA	316 min	1.680 min (28h)
						129	165 min		254 min	
						138	331 min		349 min	
	B3B.2	CANON EOS 400D OBJETIVO 18-55 mm CON TRIPODE Y DISPARADOR AUTOMATICO	34 mm	410	3	222	201 min	MEDIA ACUSADA	471 min	1.460 min (24h)
						88	197 min		110 min	
						100	354 min		127 min	
	B3B.3	CANON EOS 400D OBJETIVO 18-55 mm CON TRIPODE Y DISPARADOR AUTOMATICO	34 mm	927	3	154	354 min	MEDIA ACUSADA	200 min	1.319 min (22h)
						163	429 min		148 min	
						147	57 min		131 min	
	B4B.1	CANON EOS 50D OBJETIVO 17-85 mm SIN TRIPODE	41 mm	374	3	113	154 min	MEDIA ACUSADA	156 min	1.003 min (16h)
						130	150 min		205 min	
						131	144 min		194 min	
	B4B.2	CANON EOS 50D OBJETIVO 17-85 mm SIN TRIPODE	41 mm	402	3	143	285 min	MEDIA ACUSADA	285 min	1.398 min (23h)
						132	167 min		225 min	
						127	194 min		242 min	

4.3.3 Tratamiento de la malla

Finalizados todos los cálculos, el siguiente paso ha sido el tratamiento de las mallas, en la limpieza y unión de las diferentes partes. Para ello, entre los diferentes programas que se encuentran en el mercado, se ha optado por el uso de “Rapidform XOR3” software de ingeniería inversa que facilita dicho tratamiento y limpieza, y sobre todo el posterior análisis de la geometría de las mallas.

Por tanto el primer paso ha sido la limpieza de la malla, eliminando aquellos elementos que no son deseables como partes de la peana o falsas restituciones, por errores de información en las fotografías al presentar zonas sobreexpuestas o fuertes sombras. En esta fase, es conveniente eliminar más superficie de la zona dañada para evitar así posibles errores; al disponer de varias tomas, la falta de superficie de una malla se suplirá con la unión de la otra toma.

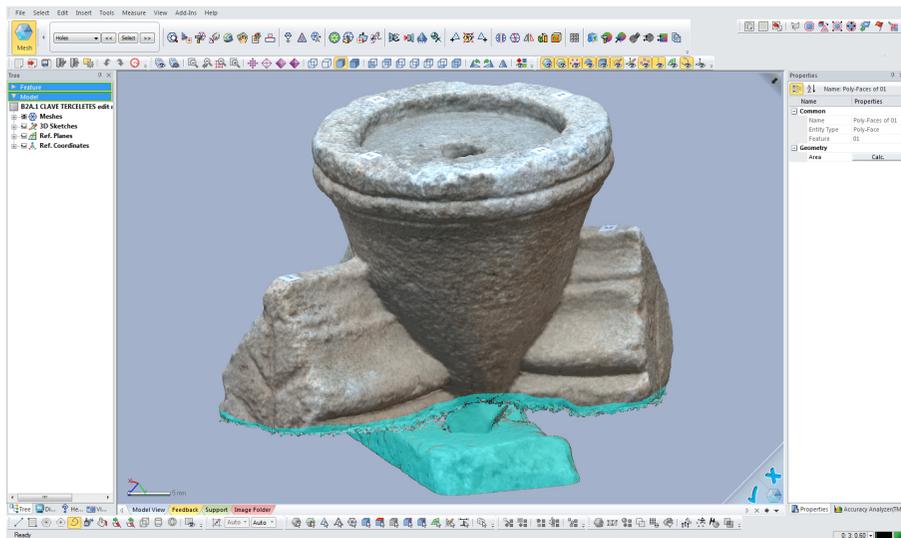


Fig. 4.29. Limpieza de la mesh, eliminación de partes no deseadas y errores por falta de información, del lote 1 de la pieza B2A.1.

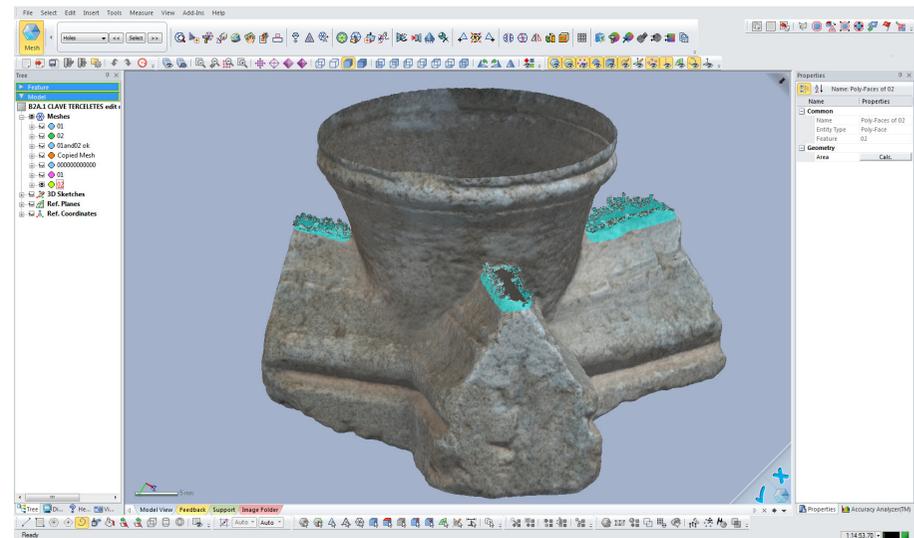


Fig. 4.30. Limpieza de la mesh, eliminación de partes no deseadas y errores por falta de información, del lote 2 de la pieza B2A.1.

El siguiente paso es una limpieza pormenorizada de los polígonos, donde el programa de forma automática corregirá aquellos polígonos que se encuentren aislados, tengan una forma irregular, se encuentren desconectados dos o más de sus lados o que tengan un tamaño demasiado pequeño.

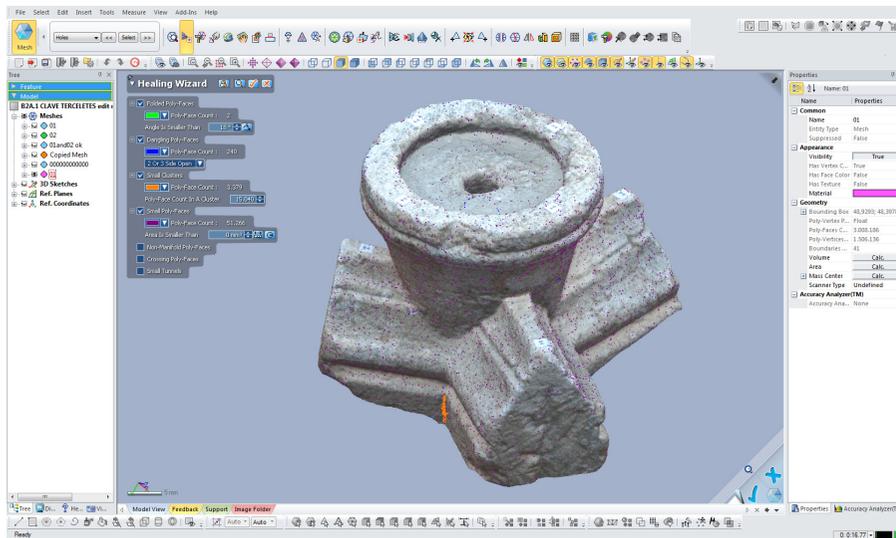


Fig. 4.31. Limpieza pormenorizada de la mesh, del lote 1 de la pieza B2A.1.

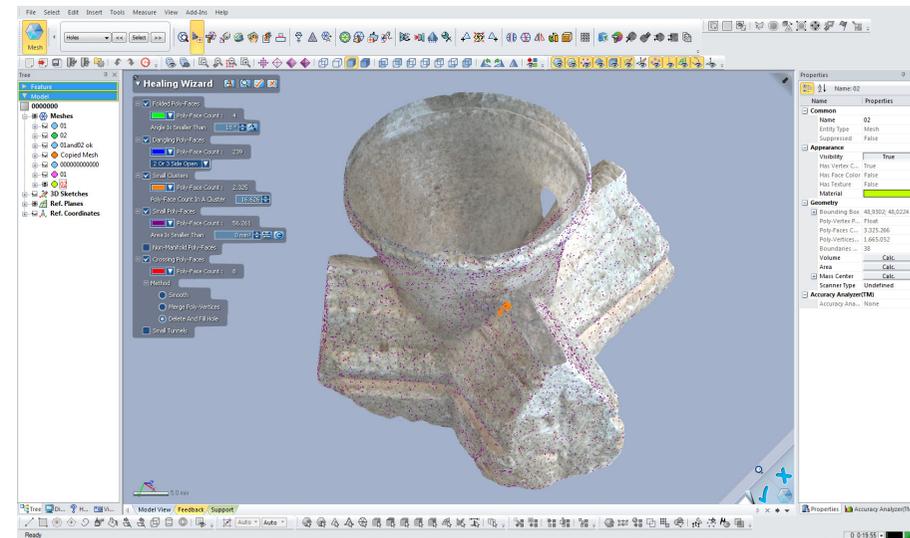


Fig. 4.32. Limpieza pormenorizada de la mesh, del lote 2 de la pieza B2A.1.

Finalizada la limpieza de cada una de las mallas, de los distintos grupos, se deberán alinear y fusionar en un único modelo, para formar la pieza completa, dado que cada parte tiene una orientación diferente al no haberlas referenciado entre sí, en "Photoscan". Posteriormente se deberá de orientar de nuevo la pieza completa a un sistema de coordenadas que facilite el posterior trabajo de análisis.

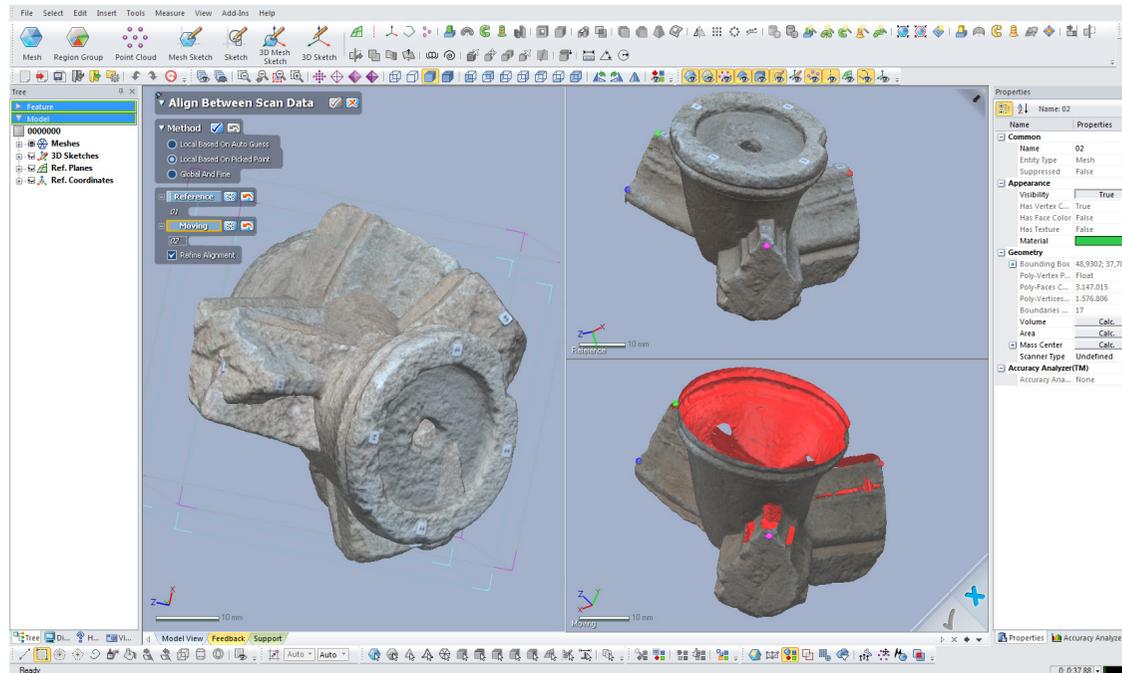


Fig. 4.35. Proceso de alineación de los lotes que forman la pieza B2A.1.

Este proceso se ha llevado a cabo con las 12 piezas recuperadas de la iglesia, en el caso de las dovelas de cruceros, terceletos y ligaduras, se han utilizado tres tomas, debido a la geometría de las piezas, en las cuales resultaba imposible restituir el modelo con una doble toma al no poder estabilizar la dovela sobre la peana utilizada en la toma fotográfica.

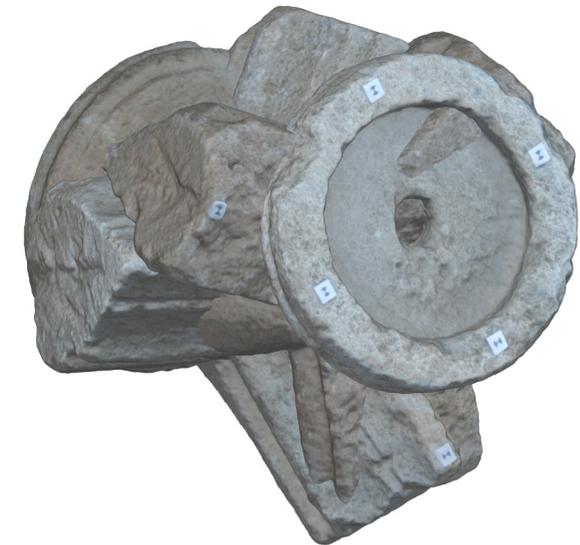


Fig. 4.33. Lotes previo a la alineación de la pieza B2A.1.



Fig. 4.34. Pieza B2A.1 alineada y fusionada.



CAPÍTULO 5.
ANÁLISIS - DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LAS SILLARES

5.1 Obtención de los elementos necesarios para el análisis

Llegados a este punto se está en disposición de comenzar el análisis de la geometría de las piezas. Gracias a las potentes herramientas de gestión de la aplicación de Rapidform, la cual permite seccionar las piezas, generando las polilíneas necesarias para determinar sus formas y ejes principales, exportándolo a "AutoCAD" o "Rhinoceros", donde se analizará en conjunto. Para ello, el primer paso básico es generar una serie de planos, que posteriormente se usarán para obtener las secciones del modelo.

En el análisis de las claves, se han realizado una serie de cortes a lo largo de los nervios por su punto medio. Determinando así sus ejes principales, ángulos entre nervios y las plantillas que los forman.

Para el análisis de las dovelas se ha trazado el plano medio de cada pieza, el cual permite obtener el radio de cabeza, los ángulos de sus lechos y la sección radial necesaria para poder obtener su plantilla en verdadera magnitud.

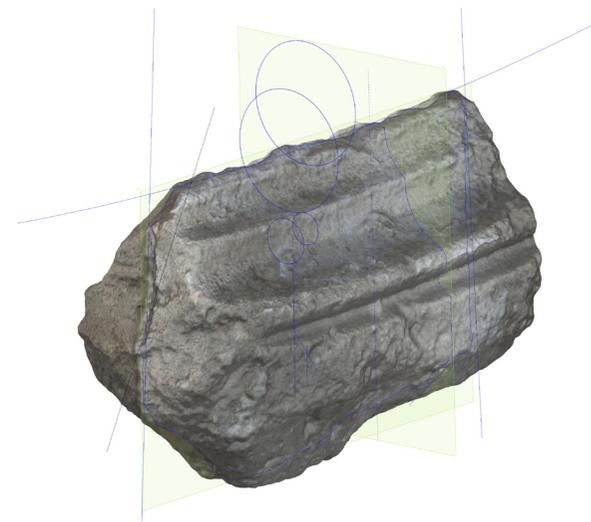


Fig. 5.01. Análisi de los ejes y radios de la dovela B4B.1.

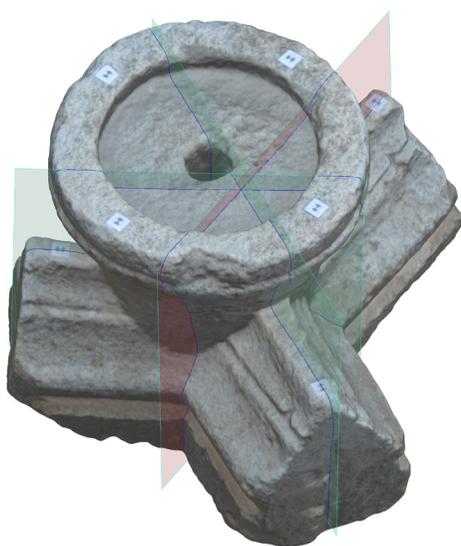


Fig. 5.03. Análisi de los ejes de B2A.1.

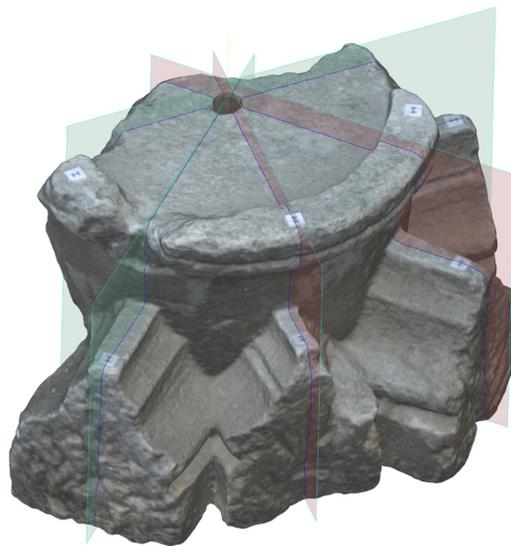


Fig. 5.04. Clave principal.

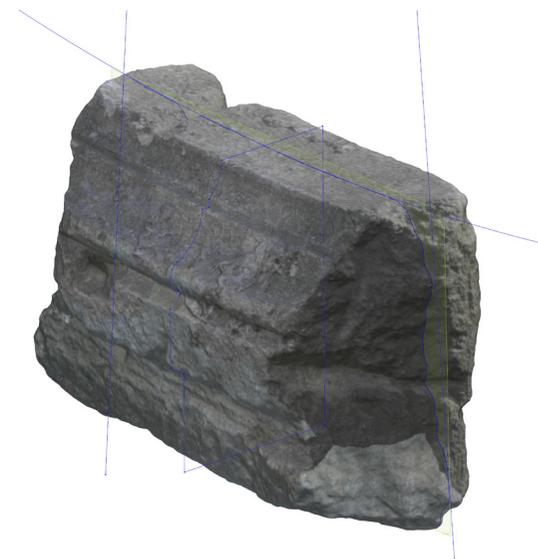


Fig. 5.02. Análisi de los ejes y radios de la dovela B2P.4.

En la siguiente tabla se recogen todos los radios de cabeza obtenidos de las dovelas.

FOTO	DESIGNACION	LOCALIZACIÓN	ELEMENTO	RADIO
	B1B.2	TERRAZA PRIMERA BORDE PIEZA 2	DOVELA DE CABEZA	3,367 m
	B2P.1	TERRAZA SEGUNDA PARED PIEZA 1	DOVELA DE LIGADURA O TERCELETE	4,825 m
	B2P.2	TERRAZA SEGUNDA PARED PIEZA 2	DOVELA DE LIGADURA O TERCELETE	4,556 m
	B2P.3	TERRAZA SEGUNDA PARED PIEZA 3	DOVELA DE CRUCERO	4,809 m
	B2P.4	TERRAZA SEGUNDA PARED PIEZA 4	DOVELA DE CABEZA	3,372 m

FOTO	DESIGNACION	LOCALIZACIÓN	ELEMENTO	RADIO
	B3B.1	TERRAZA TERCERA BORDE PIEZA 1	DOVELA DE LIGADURA O TERCELETE	4,799 m
	B3B.2	TERRAZA TERCERA BORDE PIEZA 2	DOVELA DE LIGADURA O TERCELETE	4,532 m
	B3B.3	TERRAZA TERCERA BORDE PIEZA 3	DOVELA DE LIGADURA O TERCELETE	4,536 m
	B4B.1	TERRAZA CUARTA BORDE PIEZA 1	DOVELA DE CRUCERO	4,822 m
	B4B.2	TERRAZA CUARTA BORDE PIEZA 2	DOVELA DE CRUCERO	4,791 m

Fig. 5.05. Tabla de las dovelas recuperas, con los radios de cabeza obtenidos del análisis en “Rapidform”.

5.2 Descripción y análisis de las piezas

5.2.1 Las claves

Las claves son los elementos de unión entre nervios. En un principio nacen como una forma de disimular los encuentros entre los diferentes nervios, ya que a un mismo punto pueden concurrir varios tipos de nervios con plantillas diferentes que provocarían una irregularidad en el encuentro por diferencias de nivel¹⁸. Las primeras claves son simples cilindros verticales que van evolucionando con el tiempo en cuerpos troncocónicos y estos últimos en formas acampanadas en donde el eje de la campana se inclina hacia el centro de la bóveda¹⁹.

Clave polar o clave principal (ref. B2B.1)

A pesar de haber perdido más del 50% de su sección se puede desvelar sin mayor misterio el resto de nervios que la componían, trazando sobre ella la prolongación de los nervios (fig. 5.07).

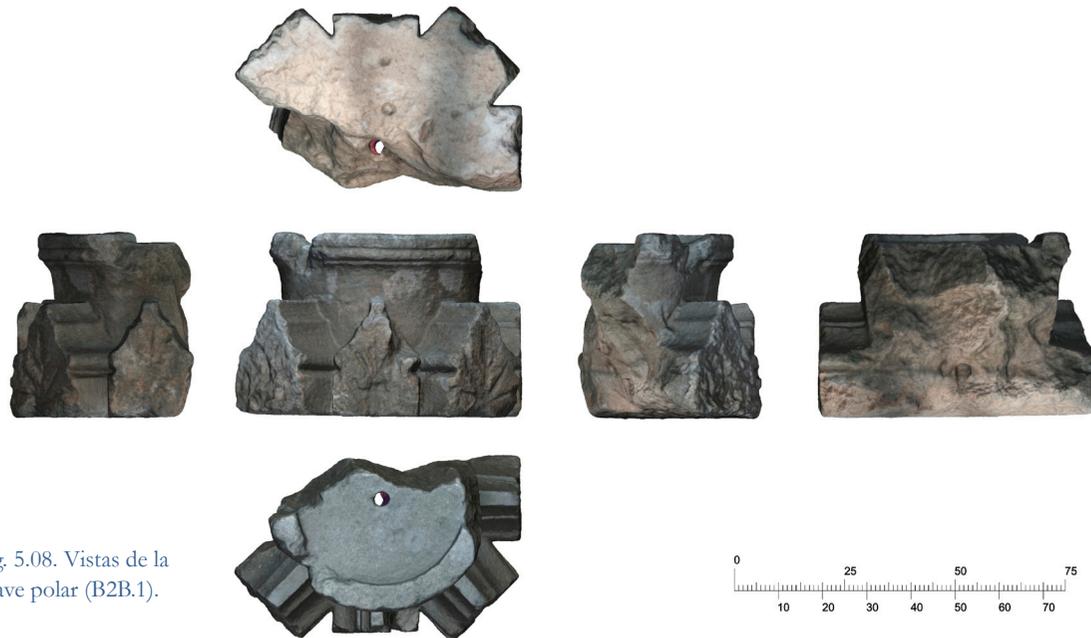


Fig. 5.08. Vistas de la Clave polar (B2B.1).

18 RABASA DIAZ, 2000, pp.105-106

19 NAVARRO FAJARDO, 2006, pp. 199



Fig. 5.06. Clave polar (B2B.1).

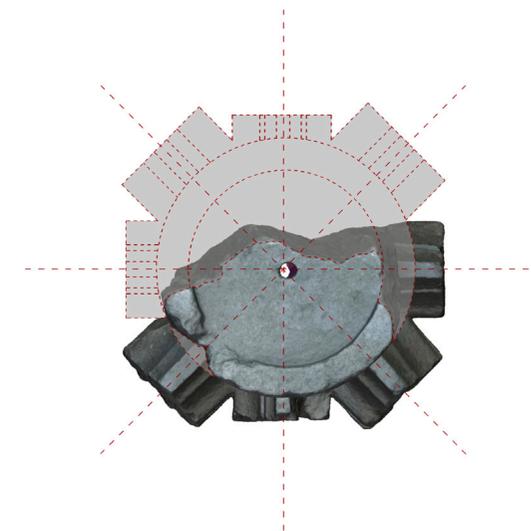


Fig. 5.07. Reconstrucción de las partes perdidas de la clave polar (B2B.1).



Fig. 5.09. Clave secundaria (B2A.1).

Se trata de una clave de 8 nervios: 4 cruceros (diagonales) y 4 ligaduras (ortogonales). Tanto los cruceros como las ligaduras tienen el arranque de cabeza en el mismo plano. La campana es simétrica con una perforación ligeramente descentrada que la recorre verticalmente con una desviación de 1°.

La tortera es lisa sin adornos salvo por un escalón en el borde con molduras, su diámetro es de 51,9 cm. El trasdós de la clave es plano con una labra más tosca formando un plano paralelo con la tortera, la altura total de la pieza es de 41,2 cm. Presenta en general un estado bastante desgastado con faltas importantes en los nervios.

Las plantillas de cruceros y ligaduras son muy similares, presentando una variación en las molduras de un pequeño escalón entre mediacañas, la altura de ambas es la misma, siendo la anchura ligeramente diferente, lo que indica que los nervios más gruesos pertenecen a los cruceros, dato que confirmará el análisis de la clave de terceletes.



Fig. 5.10. Plantillas de los nervios de la clave polar (B2B.1).

Clave de terceletes o clave secundaria (ref. B2A.1)

Es una clave de tres nervios, dos nervios simétricos mirando hacia abajo, los terceletes y un tercer nervio mirando ligeramente hacia arriba, la ligadura. La campana es simétrica y al igual que la clave polar su tortera es lisa con un escalón en el borde con molduras, tiene una perforación en el centro que la recorre verticalmente con una desviación de 2°. Su trasdós es la parte que peor estado presenta, con faltas importantes en los nervios de terceletes, la ligadura está intacta y con el trasdós plano, se aprecia en este la traza de su eje (fig. 5.11). Todo parece indicar que la superficie de trabajo era un plano perpendicular a la campana en vez de un plano horizontal a la clave colocada, lo cual dificulta su puesta en obra al no tener un plano de referencia, pero reduciendo así su peso propio al no existir material pétreo fuera del ámbito visible de la bóveda.

Tiene la misma plantilla en los tres nervios, respondiendo a la plantilla con escalón intermedio entre mediacañas. Lo que confirma la plantilla del crucero, siendo la más ancha. Los terceletes y ligaduras comparten la misma moldura.

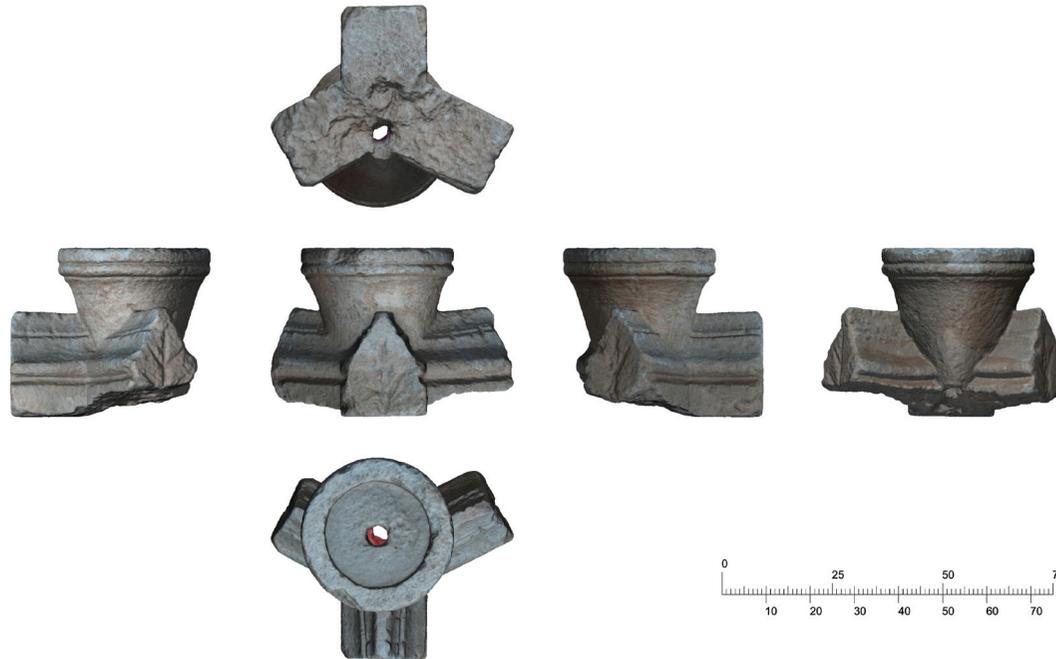


Fig. 5.12. Vistas de la Clave secundaria (B2A.1).



Fig. 5.13. Plantillas de los nervios de la clave secundaria. (B2A.1).



Fig. 5.11. Trasdós de la clave secundaria, en donde se aprecia la marca del cantero del eje de la ligadura.

5.2.2 Las dovelas

Las dovelas son las piezas en forma de cuña que componen un arco, su forma y dimensión dependerá de la plantilla que se utilice para su talla y de la curvatura del nervio. Sus lechos han de ser radiales al arco que pertenecen.

Clasificación de las dovelas

Una vez definidas las plantillas que forman los nervios cruceros, terceletes y ligaduras, se puede comenzar a clasificar al resto de dovelas, teniendo especial cuidado con los terceletes y las ligaduras, ya que su plantilla es la misma y la única diferencia está en el radio de la curvatura de la montea.

Una primera clasificación atendiendo únicamente a sus plantillas, en donde, los cruceros son las dovelas más fáciles de identificar al tratarse de la única pieza que no dispone de un escalón intermedio entre cañas, el resto de dovelas pertenecerán a terceletes y ligaduras. Quedando un último grupo de piezas que al presentar solo una cara aplantillada y la otra cara ser un plano de labra tosca, las identificaremos como arcos de cabeza que irán empotradas en los muros de la capilla.

FOTO	DESIGNACIÓN	PLANTILLA	ELEMENTO	FOTO	DESIGNACIÓN	PLANTILLA	ELEMENTO	FOTO	DESIGNACIÓN	PLANTILLA	ELEMENTO
	B2P.3		DOVELA DE CRUCERO		B2P.1		DOVELA DE TERCELETE O LIGADURA		B1B.2		DOVELA DE CABEZA
	B3B.1		DOVELA DE CRUCERO		B2P.2		DOVELA DE TERCELETE O LIGADURA		B2P.4		DOVELA DE CABEZA
	B4B.1		DOVELA DE CRUCERO		B3B.2		DOVELA DE TERCELETE O LIGADURA				
	B4B.2		DOVELA DE CRUCERO		B3B.3		DOVELA DE TERCELETE O LIGADURA				

Fig. 5.14. Clasificación de las plantillas atendiendo a su plantilla.

Después de esta primera aproximación, se realiza una segunda clasificación atendiendo a sus radios de cabeza, en donde, se establece definitivamente el tipo de dovela a que pertenece cada pieza.

Una vez conocidos los radios de cabeza de las dovelas, se puede empezar a hacer una idea de las dimensiones que tenía la bóveda, obteniendo un dato muy importante: la dovela B2P.1 que inicialmente se había identificado dentro del grupo de los terceletes, por tener la misma plantilla que estos, al medir su radio de cabeza no corresponde con la medida de estos arcos, si no que su radio coincide con los cruceros, por tanto se trata de una dovela de ligadura, lo cual da a entender que no solo se trata de una bóveda de rampante curvo sino que además es una bóveda de traza esférica o baída.

FOTO	DESIGNACIÓN	PLANTILLA	ELEMENTO	RADIO
	B2P.3		DOVELA DE CRUCERO	4,809
	B3B.1		DOVELA DE CRUCERO	4,799
	B4B.1		DOVELA DE CRUCERO	4,822
	B4B.2		DOVELA DE CRUCERO	4,791
	B2P.1		DOVELA DE LIGADURA	4,742

FOTO	DESIGNACIÓN	PLANTILLA	ELEMENTO	RADIO
	B2P.2		DOVELA DE TERCELETE	4,556
	B3B.2		DOVELA DE TERCELETE	4,532
	B3B.3		DOVELA DE TERCELETE	4,536
	B1B.2		DOVELA DE CABEZA	3,367
	B2P.4		DOVELA DE CABEZA	3,372

Fig. 5.15. Clasificación de las dovelas atendiendo a su plantilla y radio de cabeza.

5.2.2.1 Dovelas de cruceros

Los nervios cruceros son aquellos que recorren a la bóveda diagonalmente, de la intersección de ellos surge la clave polar. Estos nervios nacen de los enjarjes, pudiendo tener continuidad hasta el siguiente enjarje o simplemente morir en la clave polar en el caso de bóvedas con trazados irregulares.

Dovela B2P.3

La dovela se conserva en su integridad, tiene los cantos romos y aristas redondeadas debido a los golpes que ha sufrido a lo largo del tiempo. En sus caras laterales tiene adosados restos de mortero de cal y restos de ladrillo, por haber sido reutilizada en otra fábrica. Presenta canales para la lechada de mortero en forma de espiga en los lechos y unas rozas de 8 cm de ancho, en sus dos caras laterales, siendo en una más evidente, para el encuentro con la plementería de ladrillo.



Fig. 5.16. Dovela de crucero B2P.3.



Fig. 5.17. Vistas de la dovela de crucero B2P.3.

Dovela B3B.1

La dovela tiene pérdidas importantes en torno a un 15%, en uno de sus extremos y parte superior, que no impide la identificación de su moldura, pero sí dificulta la extracción de su radio de cabeza. Aparecen restos de mortero de cal en una de sus caras que indicando otros usos de la pieza. Canales para la lechada de mortero en forma de espiga. Se conservan en buen estado las rozas para el encuentro con la plementería de ladrillo.



Fig. 5.18. Dovela de crucero B3B.1.



Fig. 5.19. Vistas de la dovela de crucero B3B.1.

Dovela B4B.1

La dovela tiene una falta importante en uno de sus extremos y pérdidas generales. Se vislumbra el talón del enjarje con la traza radial y horizontal. Al igual que otras piezas aparecen restos de mortero de cal en una de sus caras indicando que ha sido reutilizada. Canales para la lechada de mortero en forma de espiga. Solo se deduce una de las rozas para el encuentro de la plementería de ladrillo.



Fig. 5.20. Dovela de crucero B4B.1



Fig. 5.21. Vistas de la dovela de crucero B4B.1.

Dovela B4B.2

La dovela tiene pérdidas generales y puntuales, localizadas en parte superior e inferior y en uno de sus extremos aproximadamente un 15% del total. Tiene restos de mortero de cal adosados a uno de sus laterales. Canales para la lechada de mortero en forma de espiga. Rozas perimetrales para el encuentro con la plementería de ladrillo.



Fig. 5.23. Vistas de la dovela de crucero B4B.2.



Fig. 5.22. Dovela de crucero B4B.2.

5.2.2.2 Dovelas de ligadura

Los nervios de ligadura son los elementos de unión entre la clave polar y las claves secundarias, por tanto nacen y mueren en las claves.

Dovela B2P.1

La dovela presenta pérdidas importantes de sección y en general en la cabeza, donde ha perdido más del 50% de su sección, dificultando la extracción del radio de cabeza. Presenta grandes restos de mortero de cal en sus dos caras. Canal para la lechada de mortero en forma de espiga. Rozas perimetrales para el encuentro con la plementería de ladrillo.



Fig. 5.24. Dovela de ligadura B2P.1.



Fig. 5.25. Vistas de la dovela de ligadura B2P.1.

5.2.2.3 Dovelas de tercelete

Los nervios de terceletes son arcos secundarios que nacen desde la jarja y mueren en las claves secundarias. En trazados más complejos, pueden multiplicarse su número, apareciendo los contraterceletes.

Dovela B2P.2

La dovela tiene perdidas generales y aristas desgastadas. Ha perdido parte de su base y uno de los extremos presenta una pérdida importante de material con forma de corte a 60°. Tiene adosados a sus caras restos de mortero de cal como en las anteriores piezas. Canal para la lechada de mortero en forma de espiga. Rozas perimetrales para el encuentro con la plementería de ladrillo.

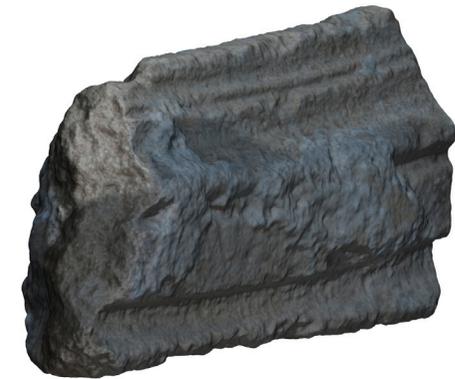


Fig. 5.26. Dovela de tercelete B2P.2.

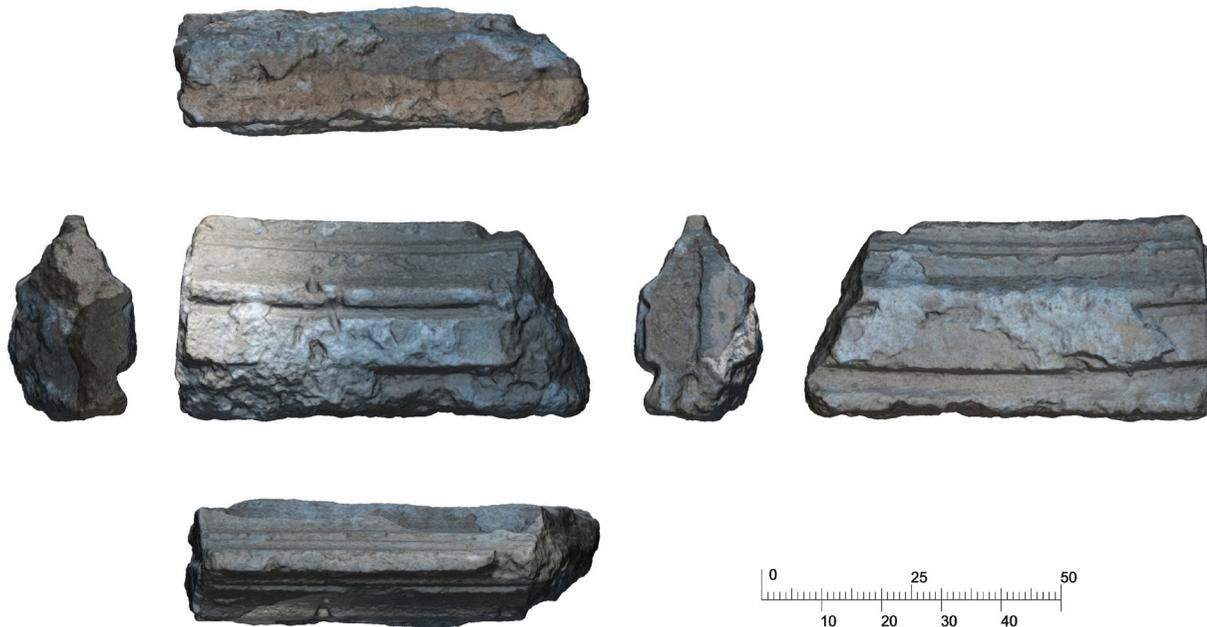


Fig. 5.27. Vistas de la dovela de tercelete B2P.2.

Dovela B3B.2

La dovela tiene pérdidas generales en uno de sus laterales y en esquinas de base. Una de sus caras está casi oculta por los restos de mortero de cal y trozos de ladrillo que tiene adosados. Se intuyen los canales para la lechada de mortero en forma de espiga, dado el alto desgaste de sus lechos. Rozas perimetrales para el encuentro con la plementería de ladrillo.



Fig. 5.28. Dovela de tercelete B3B.2.



Fig. 5.29. Vistas de la dovela de tercelete B3B.2.

Dovela B3B.3

La dovela tiene perdidas generales y un estado de conservación bastante deficiente. En una de sus caras casi ha desaparecido las molduras. Se vislumbra el talón del enjarje con la traza radial y horizontal. Trazado no radial de la roza de la plementería en una de sus caras indicando el arranque de la plementeria.Y desbastado en cuña de la otra cara para su encaje al lado del crucero. Canales para la lechada de mortero en forma de espiga.



Fig. 5.30. Dovela de tercelete B3B.3.



Fig. 5.31. Vistas de la dovela de tercelete B3B.3.

5.2.3.4 Dovelas de arcos de cabeza

Los arcos de cabeza o nervios formeros, son aquellos que recorren perimetralmente a la bóveda, estos nervios nacen de las jarjas y van empotrados en las paredes, no hay que confundirlos con los fajones o perpiaños que son nervios que separan dos bóvedas diferentes.

Dovela B1B.2

La dovela presenta pérdidas generales de sección y sobre todo en su base, afectando a uno de sus lechos en un 40%. Labrado a una cara. Trazado no radial de la roza de la plementería en una de sus caras indicando el arranque de la plementería. Canal para la lechada de mortero en forma de espiga.



Fig. 5.32. Dovela de arco de cabeza B1B.2.



Fig. 5.33. Vistas de la dovela de arco de cabeza B1B.2.

Dovela B2P.4

La dovela presenta pérdidas generales en todas sus caras, destacando tres perforaciones esféricas en su cara labrada y otra cilíndrica en su cabeza posiblemente fruto de otros usos. Ha perdido ambos lechos, reconociéndose en uno de ellos trazos de los canales para la lechada de mortero en forma de espiga. Labrada a una cara. Roza perimetral para el encuentro de la plementería con aproximación en uno de sus extremos.



Fig. 5.34. Dovela de arco de cabeza B2P.4.

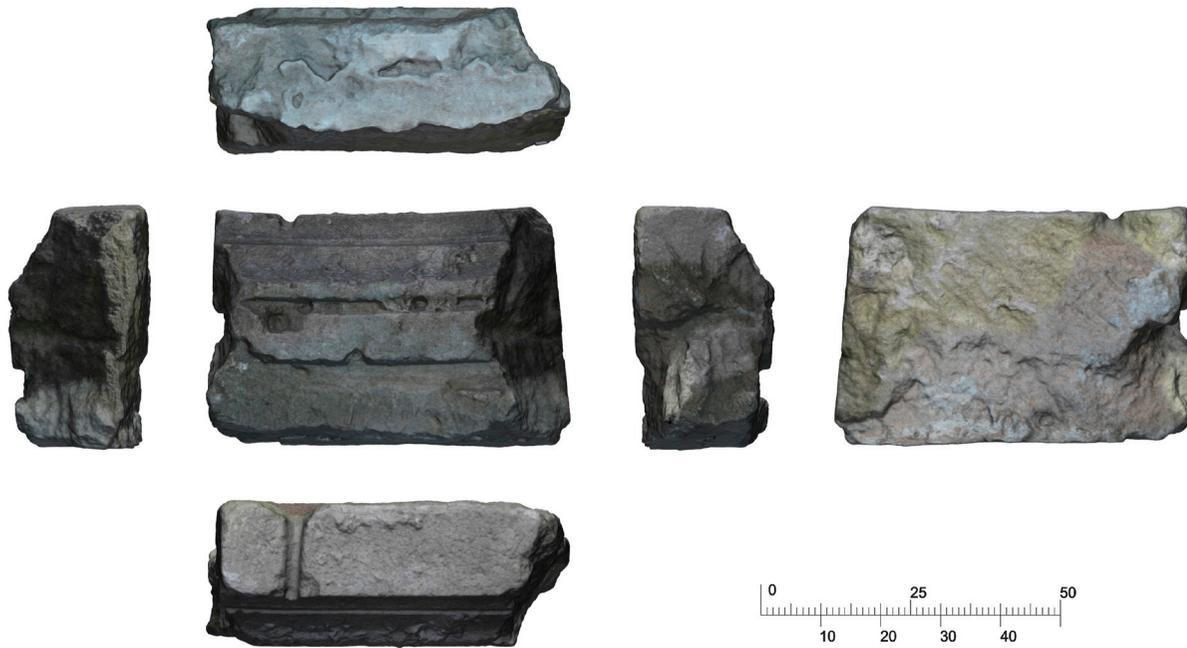
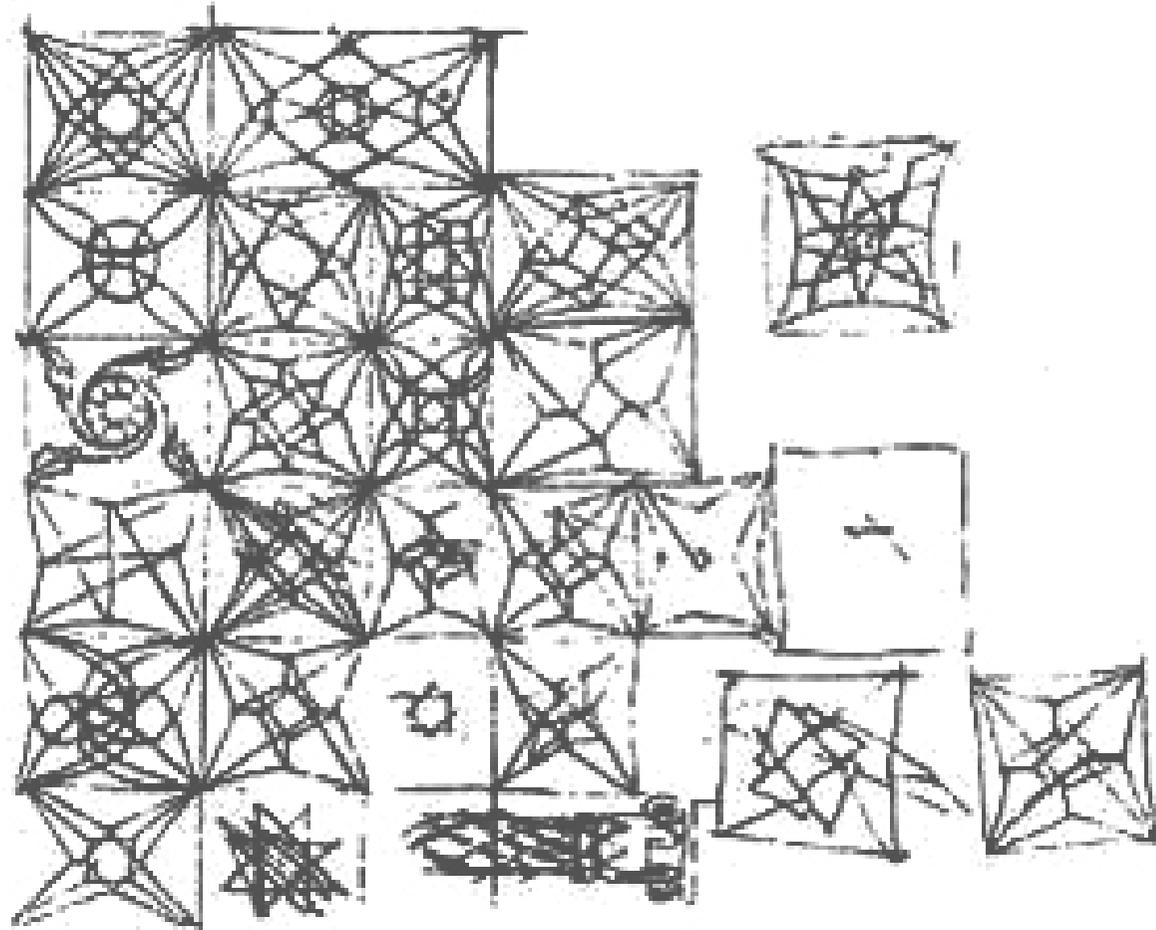


Fig. 5.35. Vistas de la dovela de arco de cabeza B2P.4.



CAPÍTULO 6.
HIPÓTESIS SOBRE EL TRAZADO DE LA BÓVEDA

Como en toda construcción siempre existen pequeñas desviaciones e imperfecciones y más si se habla de elementos que han sido tallados a mano, por ello para poder trabajar correctamente, se tiene que generar un modelo idealizado lo más fiel posible al modelo real, el cual permita obtener una primera aproximación de la bóveda, que posteriormente se irá afinando con las dimensiones y deformaciones reales. La primera tarea será por tanto, homogeneizar los radios de cabeza de los distintos grupos de piezas, tomando como medida la media de sus radios, quedando de la siguiente forma: cruceros 4,805 metros, terceletes 4,541 metros, ligaduras 4,805 metros y arcos de cabeza 3,369 metros.

6.1 Tipología de la bóveda

El siguiente paso, será obtener las trazas de la bóveda, y para ello, es necesario averiguar previamente que forma tenía la planta, desafortunadamente no se dispone de ningún registro escrito o gráfico que pueda servir de guía u orientación acerca de las trazas de la iglesia de la Vila Vella de Denia, no obstante se cuenta con la ventaja de poseer dos de las claves de la bóveda: la clave polar y la de terceletes. Con el análisis de las proyecciones horizontales de los ejes de la clave principal más el apoyo de las proyecciones de la clave de terceletes se podrá plantear una hipótesis válida de su forma y las trazas que la formaban.



Fig. 6.02. Cabecera de la iglesia del monasterio del Corpus Christi de Lluxent.

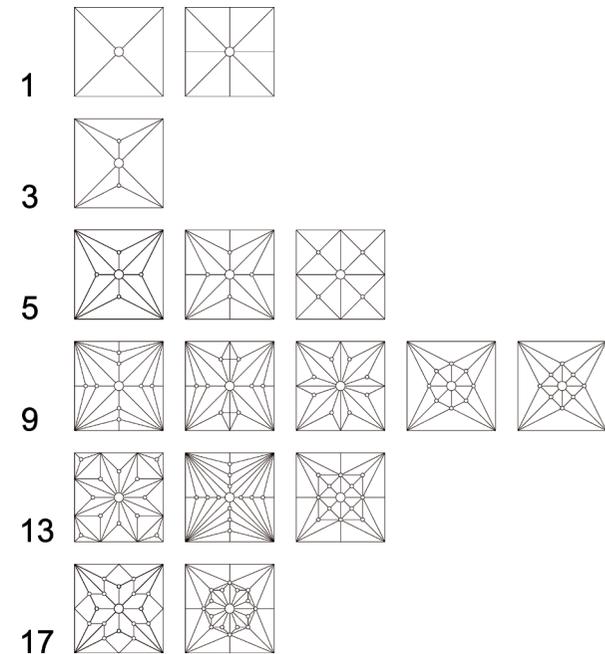


Fig. 6.01. Diferentes trazados geométricos utilizados en la Comunidad Valenciana. Ordenados por número de claves.

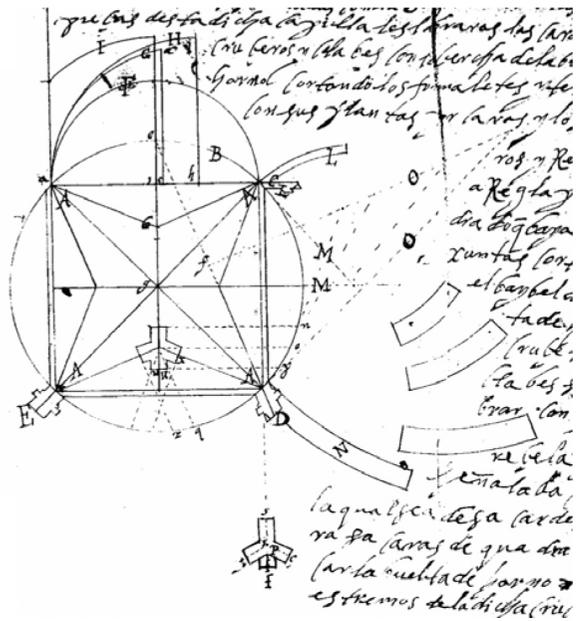


Fig. 6.03. Trazado de una bóveda de cinco claves con terceletes del manuscrito de Hernan Ruiz.

Volviendo a la descripción de las claves, resulta, que la clave polar está formada por ocho nervios: cuatro cruceros y cuatro ligaduras, y la clave secundaria está formada por tres nervios: dos terceletes y una ligadura. La solución más lógica para unir estas dos claves en una bóveda, sería una bóveda de cinco claves formada por cruceros, terceletes y ligaduras, en donde estas últimas terminan en la clave de terceletes. Dado que la clave polar está formada solo por cuatro nervios cruceros, es lógico deducir que solo existirán cuatro enjarjes, por lo que su planta estará formada por un paralelogramo, pudiendo ser cuadrada, rectangular o incluso trapezoidal, solución que confirmará el análisis de las claves con los ángulos de los planos medios de sus nervios. Por tanto se descarta cualquier otra forma poligonal.

Al no disponer de más restos de la bóveda, será el punto de partida, descartando también, otras soluciones como la bóveda de nueve claves con contraterceletes, como es el caso de la capilla del Salvador del claustro de la Catedral de Segorbe, o la bóveda de diecisiete claves con terceletes, en la nave de la iglesia de Santa María Onteniente, evolución de una bóveda estrellada de cinco claves con terceletes. A pesar de cumplir con el número de nervios que salen de cada clave, son soluciones que se emplean para cubrir grandes luces, por el gran número de nervios que la forman y dados los radios obtenidos de las piezas recuperadas, cuesta imaginar unas soluciones tan complejas, en donde los nervios estarían demasiado próximos los unos a los otros, y tampoco se ha recuperado restos que den pie a este trazado.



Fig. 6.04. Capilla del Salvador en el claustro de la Catedral de Segorbe.



Fig. 6.05. Tramo de los pies de la nave de la iglesia de Santa María de Onteniente.

6.2 Forma de la capilla

Se parte del supuesto que la capilla ha de ser un paralelogramo, como se ha indicado anteriormente, en donde queda por verificar la forma exacta, para ello se utilizan los ángulos de los planos medios de los nervios de la clave polar, en la posición que le correspondería dentro de la bóveda, de otro modo se podría cometer errores que conllevarán al fracaso.

Tras trazar los ejes principales de la clave sobre el modelo, se observa que en la resultante de la intersección de los ejes de los nervios, nace una línea que atraviesa verticalmente a la pieza, quedando el orificio de la tortera descentrado en 1º (fig. 6.07) como ya hemos indicado anteriormente en la descripción de la pieza, y el orificio del trasdós perfectamente centrado, lo que indica que se comenzó su labra por el trasdós de la clave, ya que es donde estarían trazados los ejes por el cantero para su labra²⁰, llamada superficie de operaciones, marcas que han desaparecido con el paso del tiempo debido a la erosión y continuos golpes.

Para la correcta extracción de los ángulos, la pieza ha de encontrarse perfectamente alineada. En este caso al tratarse de la clave polar, es fácil deducir que la tortera debe ser horizontal a su posición en la bóveda y todos los planos medios de los nervios verticales. Así de este modo se obtiene que los ángulos entre cruceros son de 90° y los ángulos entre ligaduras de 90°, existiendo pequeñas desviaciones entre los ángulos que forman los cruceros y las ligaduras de 1°, que se presuponen desviaciones debidas a la labra de la piedra por lo que se puede afirmar con total certeza que su planta era cuadrada o al menos esa era la intención del maestro, no hay que olvidar que se trata de un elemento pétreo tallado a mano en donde las pequeñas deformaciones se absorben durante la ejecución de la bóveda.

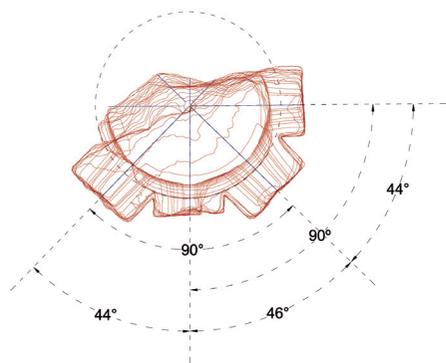


Fig. 6.08. Ángulos de los planos medios de los nervios de la clave polar.

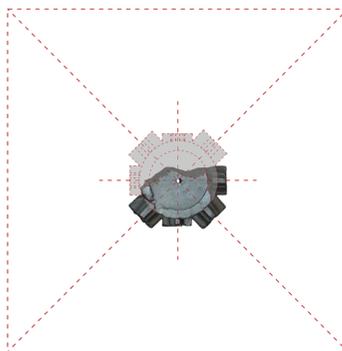


Fig. 6.09. Forma cuadrada de la capilla de la bóveda.

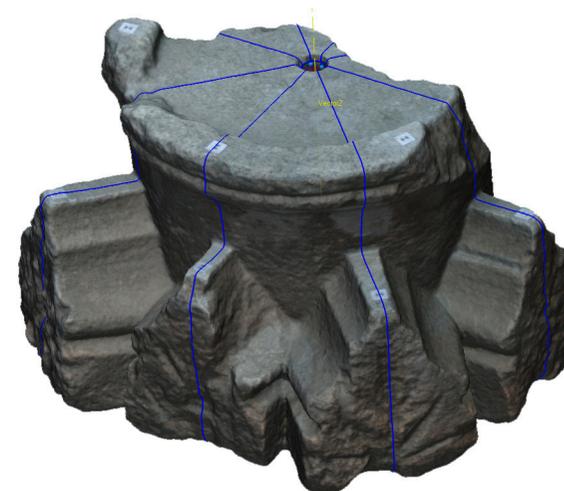


Fig. 6.06. Trazado de los ejes de los planos medios de los nervios de la clave polar.

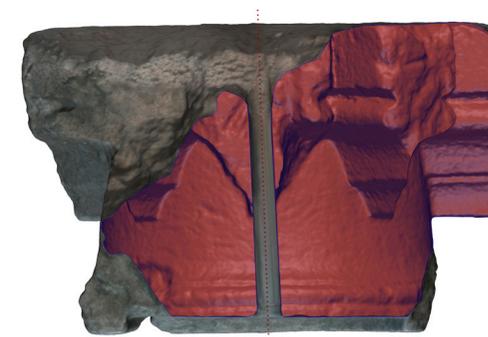


Fig. 6.07. Sección de la clave polar por la mitad de su cuerpo central, quedando a la vista la perforación central.

20 RABASA DIAZ, 2000, pp. 116-121.

6.3 Trazados reguladores



Fig. 6.10. Trazado de los ejes de los planos medios de los nervios de la clave secundaria.



Fig. 6.11. Sección de la clave secundaria por la mitad de su cuerpo central.

La clave de terceletes, al trazar los ejes de los plano medios de los nervios se observa que la intersección que forman entre ellos no coincide con la perforación de la pieza, no solo no pasa por el centro de la campana, sino que además tiene una dirección diferente (fig. 6.11). Además, al intentar alinear la clave con la directriz de la campana en posición vertical, se observa que la ligadura está mirando hacia abajo, lo cual es imposible ya que la clave polar es la pieza que ocupa una posición más alta y la clave de terceletes debe quedar por debajo de esta, por tanto su ligadura debe apuntar siempre hacia arriba, al ser el nervio de unión entre ambas. Todo ello indica que la clave de terceletes tiene una posición inclinada respecto a la directriz de la campana, orientada hacia el centro del radio de la ligadura, y como coincide con el radio de los cruceros, será también el centro de la bóveda. Solución decorativa muy utilizada en los territorios de la corona de Aragón a diferencia de la zona de Castilla en donde la clave se suele alinear verticalmente.

Para determinar su posición exacta no se puede utilizar su lecho de trabajo a diferencia de otras técnicas de labra, en donde se prevé el trasdós de la clave horizontal en relación a la pieza colocada²¹, lo cual facilita su labra y agiliza su puesta en obra: permitiendo un mejor control a la hora de su colocación y verificación posterior (fig. 6.12). Aquí nos encontramos que su trasdós es perpendicular a la generatriz de la campana o paralelo a la tortera y como se acaba de ver no es posible ubicar la clave en esta posición.



Fig. 6.12. Clave secundaria de la sacristía del monasterio de Simat de la Valldigna. Trasdós de la clave horizontal a la pieza colcada.

²¹ RABASA DIAZ, 2000, p. 115.

A pesar de ser dos trazados muy parecidos, la diferencia en grados de separación de sus nervios terceletes, es muy alta, pudiendo ser de $126,86^\circ$ (127°) o de $134,99^\circ$ (135°). Permitiendo así identificar con facilidad qué trazado se empleó en el diseño de la bóveda.

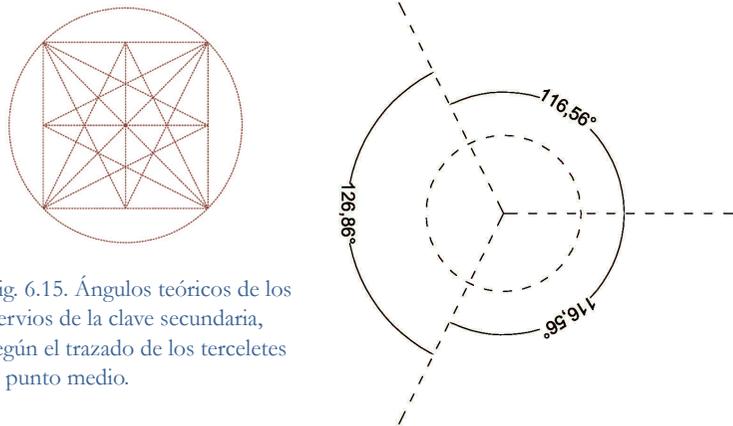


Fig. 6.15. Ángulos teóricos de los nervios de la clave secundaria, según el trazado de los terceletes al punto medio.

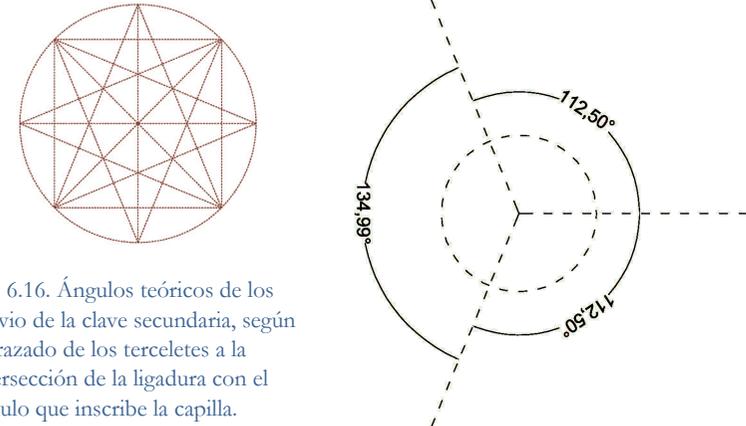


Fig. 6.16. Ángulos teóricos de los nervio de la clave secundaria, según el trazado de los terceletes a la intersección de la ligadura con el círculo que inscribe la capilla.

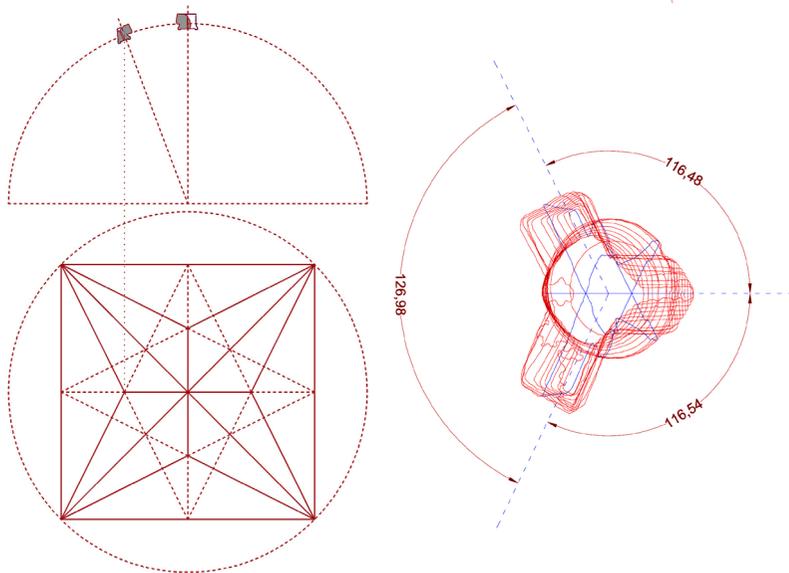


Fig. 6.17. Alineación de la clave secundaria B2A.1 al trazado de los terceletes al punto medio, dirigiendo su eje principal al centro de la bóveda.

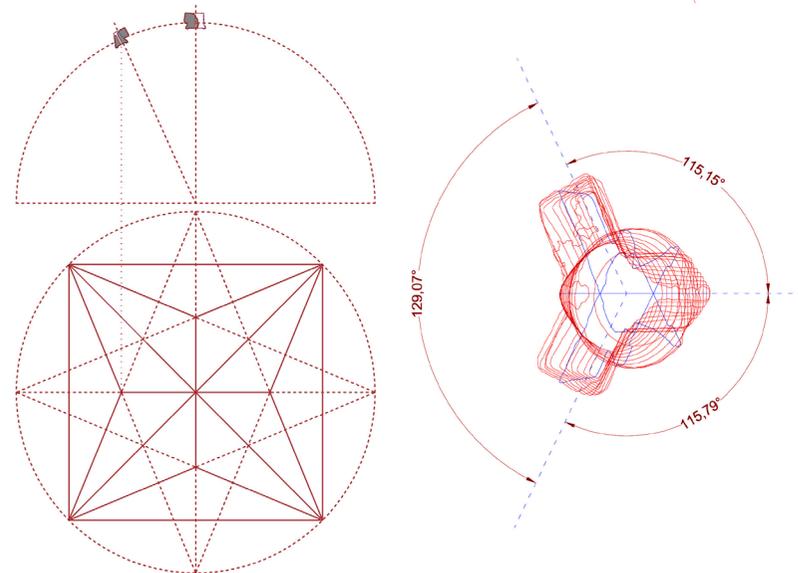


Fig. 6.18. Alineación de la clave secundaria B2A.1 al trazado de los terceletes a la intersección de la ligadura con el círculo que inscribe la capilla dirigiendo su eje principal al centro de la bóveda.

Alineando la clave de terceletes a los dos trazados más comunes de la época, se aprecia que sus ángulos se adaptan perfectamente al trazado en el que la clave de terceletes está a una cuarta parte del lado de la bóveda, siendo sus ángulos finales de $126,98^\circ$ - $116,54^\circ$ - $116,48^\circ$ (fig. 6.17).

Las desviaciones de sus ángulos frente al modelo teórico son mínimas, por lo que se tomarán los ángulos del modelo ideal para el estudio: $126,86^\circ$ - $116,56^\circ$ - $116,56^\circ$.

Por tanto tenemos la forma y el trazado regulador que se empleó en la bóveda, no obstante con este primer análisis de los ángulos de las claves de la bóveda, no proporciona sus dimensiones exactas, para ello, aún es necesario determinar las monteas de los nervios y analizar cada grupo de dovelas para ir resolviendo sus encuentros y así de este modo obtener la dimensión real que tenía la bóveda.

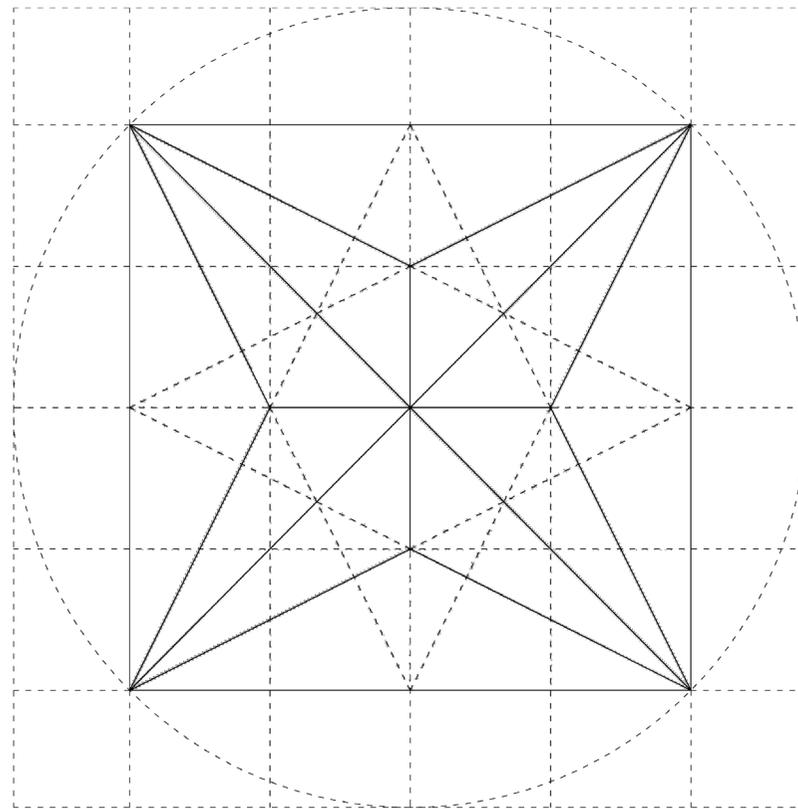
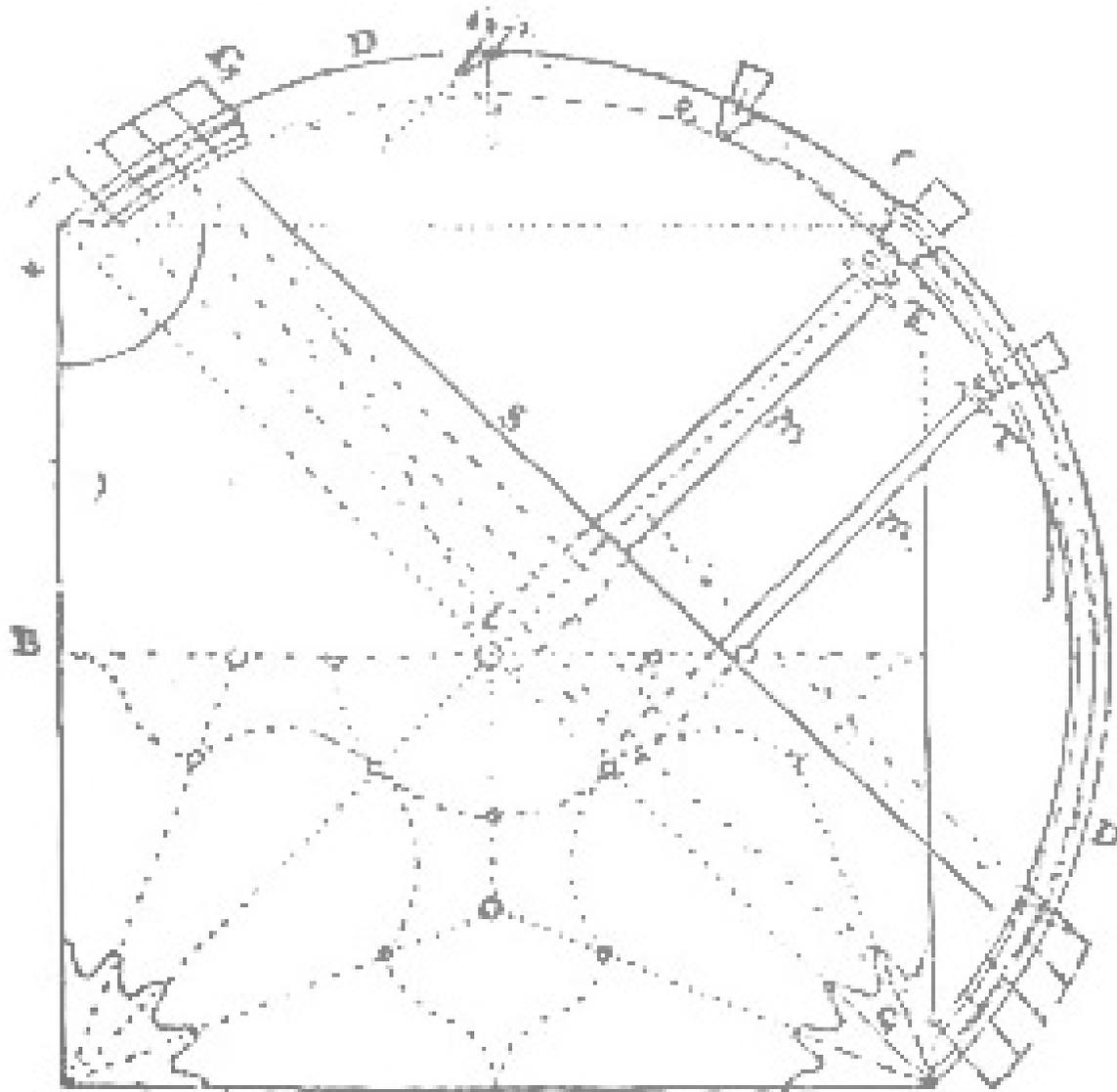


Fig. 6.19. Trazado que se empleó en la construcción de la bóveda de la Vila Vella de Denia, deducido a partir de los ejes de los planos medios de los nervios de las claves.



CAPÍTULO 7.
LA MONTEA DE LA BÓVEDA Y ANASTILOSIS VIRTUAL DE LOS ELEMENTOS DE LA BÓVEDA

7.1 La montea

Dentro de los múltiples significados de la palabra montea, se puede definir como las proyecciones verticales de la bóveda, se trata de una simplificación de los nervios que forman la bóveda. Su importancia radica en que era el dibujo con el que proyectaba y daba las órdenes a pie de obra el maestro, ya que las plantas y alzados se resolvían con esquemas geométricos simplificados²² que solo el maestro conocía, entendía y sabía resolver.

Se extraen a partir de las trazas, que son las proyecciones horizontales de la bóveda y que dependerán de la tipología de bóveda que se trate. En este caso de una semiesfera, o bóveda baída, dato que se conoce del análisis de los radios de las dovelas en donde, tanto los cruceros como las ligaduras tienen el mismo radio, por lo que la única solución es que se trate de un casquete esférico. Resulta relativamente fácil a día de hoy obtener las proyecciones en verdadera magnitud de los secciones de cada una de las proyecciones horizontales sobre esta semiesfera, no ocurriendo lo mismo en aquellos tiempos en donde era un secreto celosamente guardado y que solo se transmitía de padres a hijos.

A continuación se describe el proceso para la obtención de las trazas y monteas de una bóveda estrellada de 5 claves con terceletes sobre planta cuadrada y forma semiesférica: en primer lugar se ha de dibujar el espacio que se quiere cubrir, en este caso un cuadrado, se unen los vértices del cuadrado obteniendo los nervios cruceros y en su intersección se situara la clave polar, siendo el punto más elevado de la bóveda, a continuación se unen los puntos medios de cada lado de la nave, haciendo que pasen por el centro del cuadrado, obteniendo los nervios de las ligaduras. Para obtener los nervios terceletes, dependerá sobre todo del gusto de cada maestro, en este caso, se trazan uniendo cada vértice con el punto medio del lado opuesto de la bóveda, como se comprobó al analizar los ángulos de la clave de terceletes, y en su encuentro con los nervios de ligaduras se colocarán las claves secundarias muriendo ambos nervios en ellas.

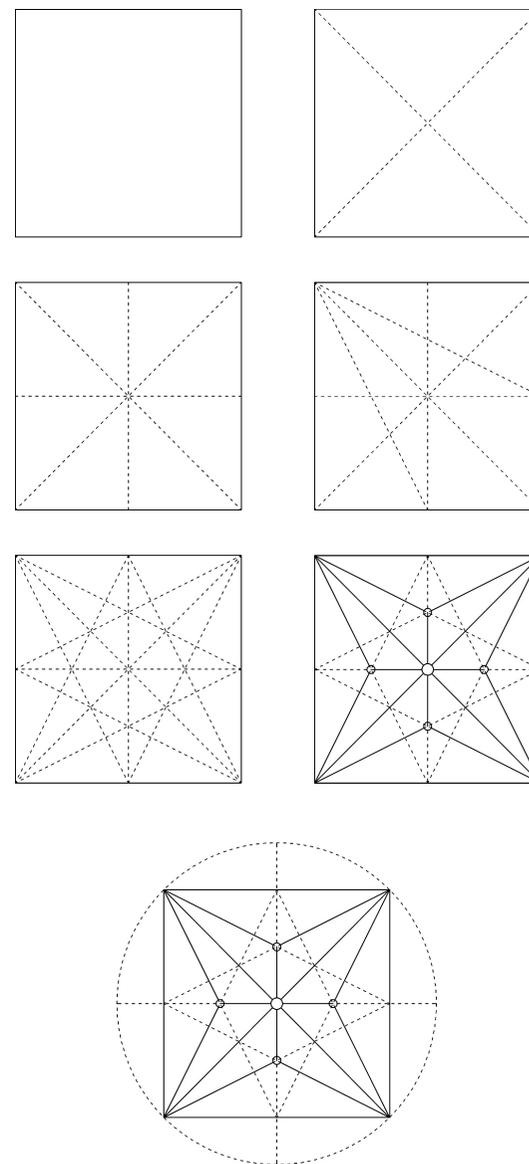


Fig. 7.1. Proceso de obtención de las trazas de la bóveda de la Vila Vella de Denia.

22 NAVARRO FAJARDO, 2006, p. 51.

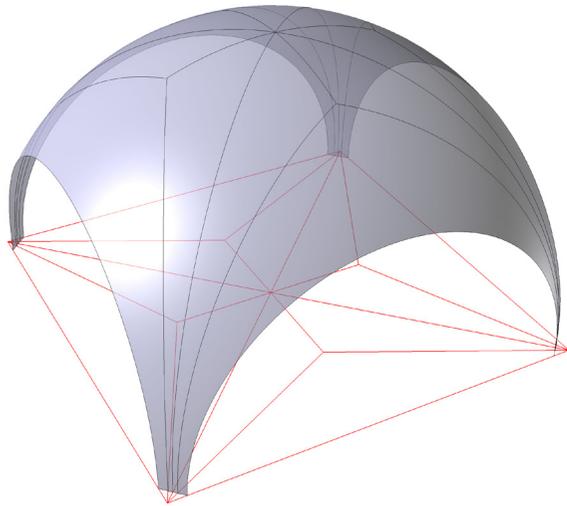


Fig. 7.2. Esquema 3D de las trazas y monteas de la bóveda.

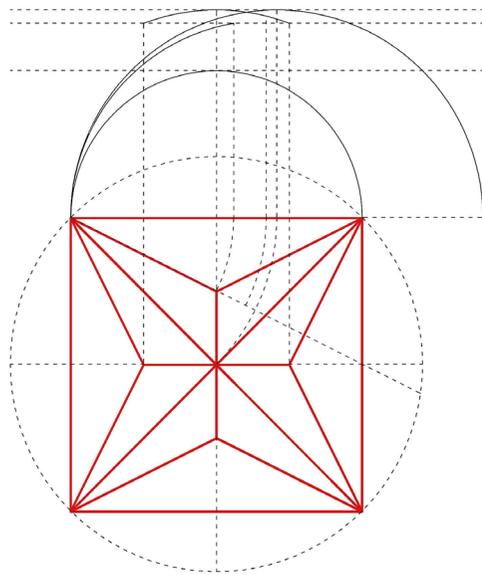


Fig. 7.3. Trazas y monteas de la bóveda.

Para obtener las monteas de los nervios, basta con el abatimiento de sus proyecciones horizontales sobre uno de los lados de la bóveda, en este caso al tratarse de una bóveda semiesférica, todos los arcos serán de medio punto, aunque pueden existir variaciones en los arcos de cabeza, en donde en ocasiones, se continúan ejecutando ligeramente apuntados, pero analizando el radio obtenido de las dos dovelas no dejan lugar a dudas de que eran arcos de medio punto o con un mínimo apuntamiento.

Como ya se ha indicado, la traza y montea que se ha obtenido, solamente es un esquema simplificado de la bóveda, puesto que ni se encuentra a escala, ni recoge con detalle los encuentros de los nervios, de la altura y forma en la que atestan estos con la clave, ni proporciona información de la jarja, en lo referente a la disposición de cada uno de los nervios en el enjarje más allá del ángulo que deben guardar entre ellos. Todos estos datos se obtendrán del análisis geométrico de cada dovela.

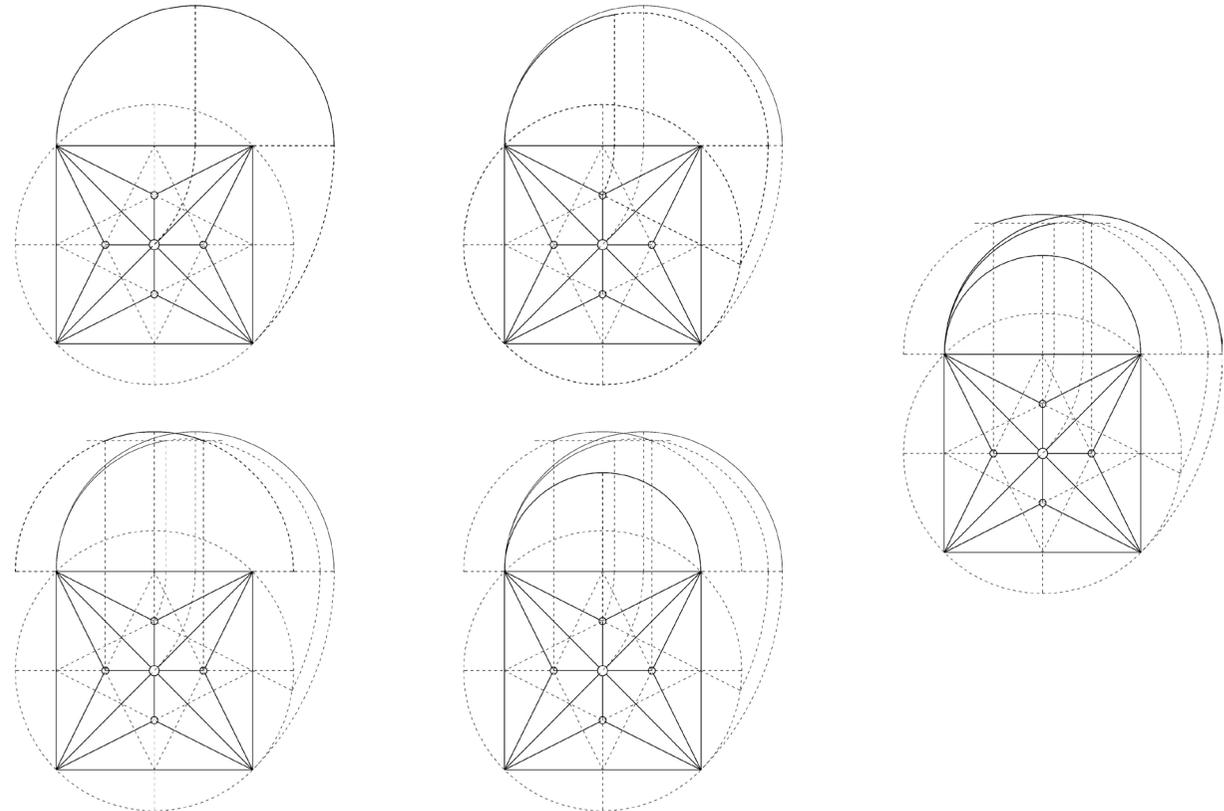


Fig. 7.4. Proceso de obtención de las monteas de la bóveda de la Vila Vella de Denia.

7.2 Análisis de la geometría de las dovelas

7.2.1 Nervios cruceros

Se dispone de cuatro dovelas de cruceo, con las siguientes denominaciones B2P.3, B3B.1, B4B.1 y B4B.2. En donde las piezas B2P.3, B3B.1 y B4B.2 son dovelas intermedias del arco sin ninguna característica física que indique la posición que podían ocupar en la bóveda. No obstante la pieza B4B.1 (fig. 7.07) presenta una serie de características que la hacen única, delatando su posición en la montea del nervio: presenta un doble asiento en uno de sus lechos y además en las caras laterales que están más próximas al lecho de doble asiento se pierde la traza de la tabiquería, estrechándose la pieza en forma de cuña para acoger a los dos terceletos que le vienen a cada lado. Todo ello hace pensar que se trata de la primera dovela después del enjarje.

Se tiene una pieza, con un doble asiento: uno será el asiento del arco, con un lecho radial a este y el otro el asiento del enjarje, quedando este en posición horizontal (fig. 7.08). De este modo no solamente se tiene la posición exacta de la dovela B4B.1, sino que además, proporciona la altura final del enjarje, momento en el cual los nervios se separan para formar piezas aisladas. Dado que no se han podido recuperar ninguna pieza del enjarje, se ha supuesto que las dimensiones de las piezas que lo componen deben de estar acordes a las dovelas de los nervios, resultando cuatro piezas de tamaño similar.

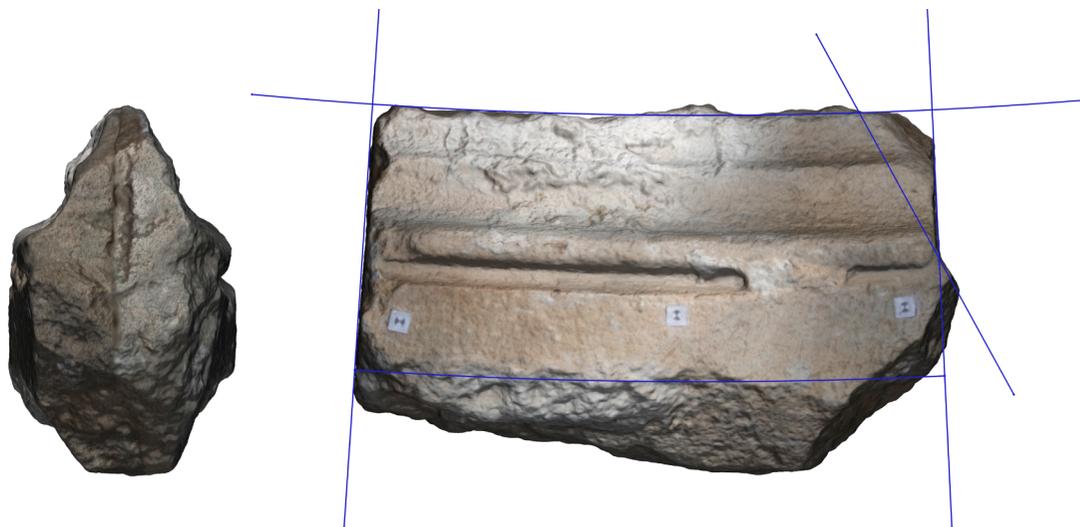


Fig. 7.07. Dovela de cruceo B4B.1, análisis de los ejes principales mediante la aplicación de Rapidform. En la que uno de sus lechos presenta un doble asiento, aun deducible a pesar de haber perdido gran parte de la sección que lo forma.

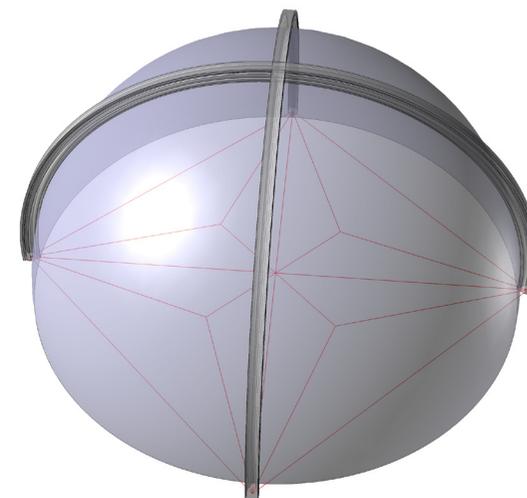


Fig. 7.05. Vista perspectiva de los nervios cruceros.

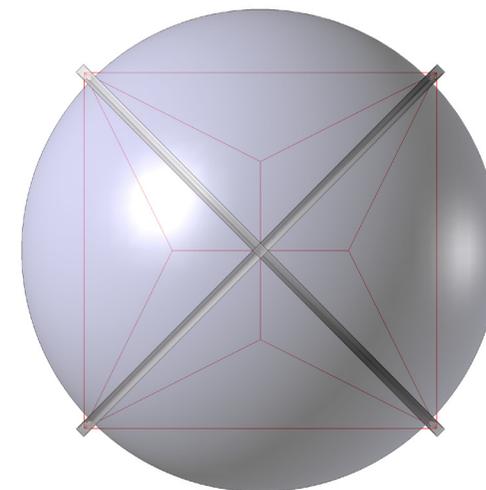


Fig. 7.06. Vista en planta de los nervios cruceros.

Se ha colocado la clave polar en el centro del arco, con su eje vertical hacia el centro del arco, que será el centro de la bóveda, alineando los nervios de la clave a la dirección que les corresponde.

Una vez ubicada la dovela, se ha colocado el resto de dovelas en posición consecutiva a esta, dada la imposibilidad de conocer la posición exacta que ocupaban dentro de los arcos cruceros, al no disponer de ningún rasgo característico, y se ha extrapolado el arco para sacar el número de piezas totales que lo componían, finalizando con la reconstrucción virtual del mismo.

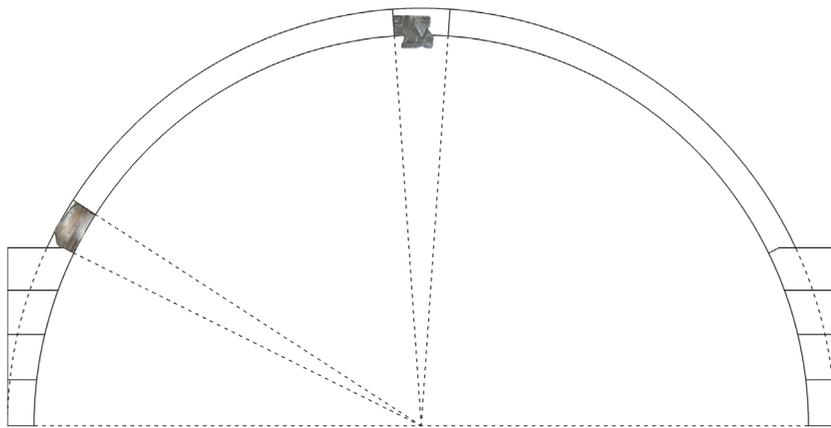


Fig. 7.08. Anastilosis de la dovela B4B.1. Con doble lecho horizontal y radial, indicando la altura final de la jarja.

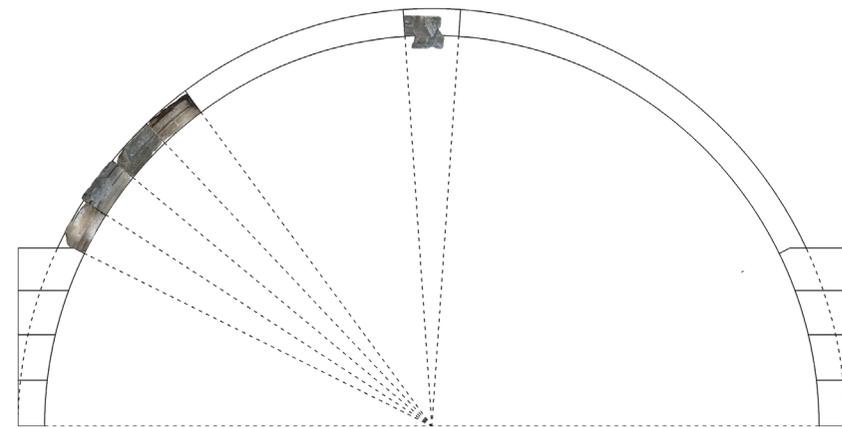


Fig 7.09. Anastilosis de las dovelas de crucero recuperadas.

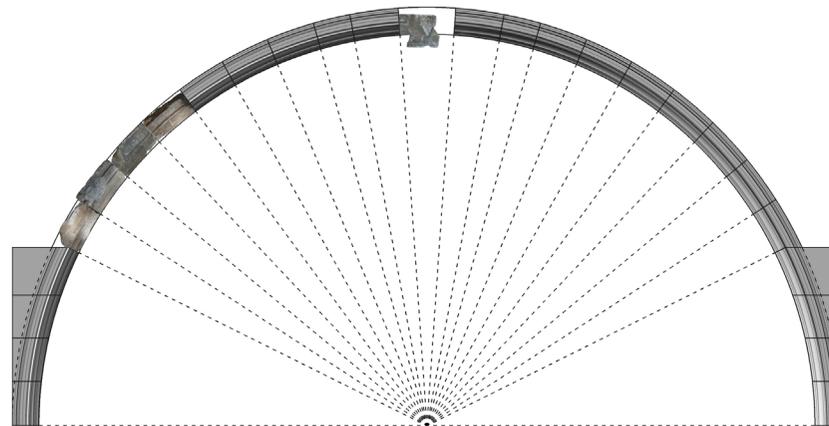


Fig. 7.10. Reconstrucción virtual del crucero con la anastilosis de las dovelas recuperadas.

7.2.2 Nervios de ligaduras

En cuanto a la ligadura, no tiene mayor complicación que ajustarla dentro del ámbito radial de la clave polar y la de terceletes. Pudiendo ocupar cualquier posición dentro del mismo, al tratarse de piezas repetitivas, sin ninguna característica concreta que la posicione. En este punto se ha ubicado la clave de terceletes, atendiendo al radio de cabeza de su ligadura, del eje que se forma en la intersección de los tres nervios de la clave y del eje del lecho de la ligadura, estos dos ejes estarán dirigidos al centro de la bóveda, permitiendo posicionar correctamente la clave de terceletes. Del mismo modo que se ha hecho con el nervio crucero, se ha extrapolado el número de dovelas que componen la ligadura.

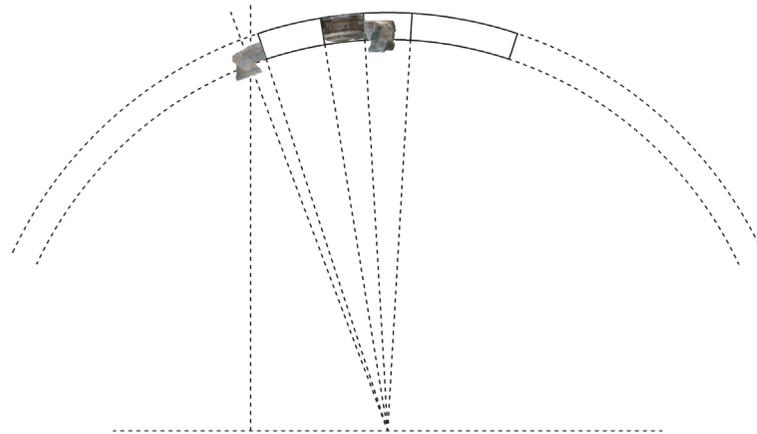


Fig. 7.13. Anastilosis de la dovela de ligadura recuperada.

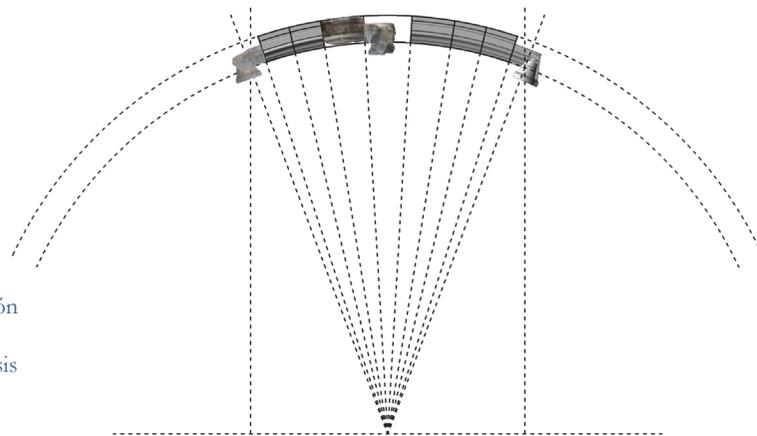


Fig. 7.14. Reconstrucción virtual del nervio de la ligadura con la anastilosis de la dovela de ligadura recuperada.

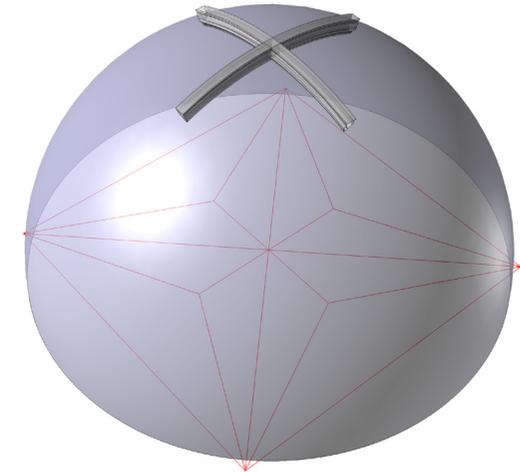


Fig. 7.11. Vista perspectiva de los nervios de las ligaduras.

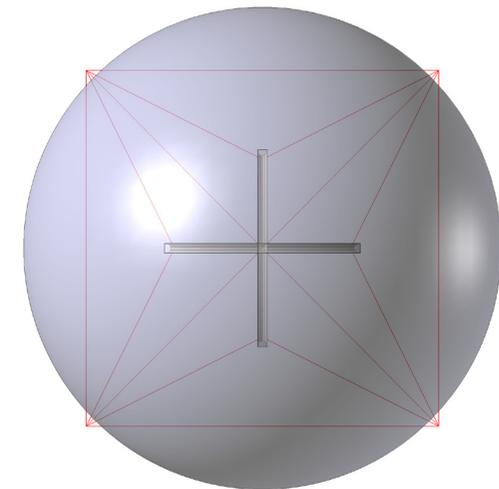


Fig. 7.12. Vista en planta de los nervios de las ligaduras.

7.2.3 Nervios terceletes

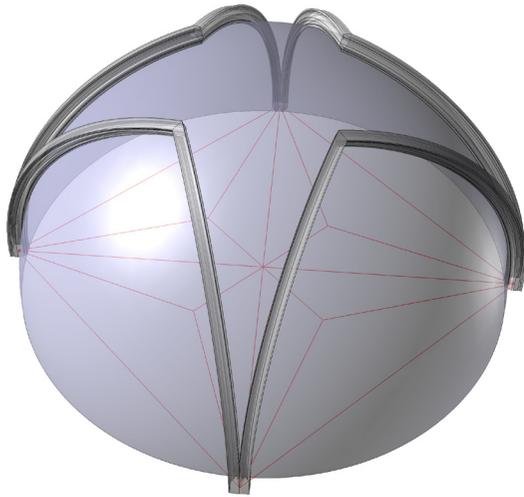


Fig. 7.15. Vista perspectiva de los nervios terceletes.

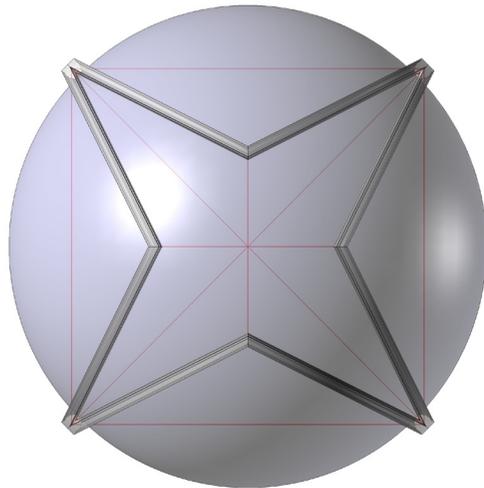


Fig. 7.16. Vista en planta de los nervios terceletes.

Para la colocación de las dovelas de terceletes, se hacía extremadamente difícil trazar su monte, al no disponer de información de la jarja de arranque de la bóveda, ni poder ubicar el nacimiento del nervio dentro de la traza de la bóveda, puesto que existen múltiples posibilidades, desde un arranque limpio del muro, sin necesidad de capiteles como es el caso del claustro del convento de la trinidad (Fig. 7.17) o el arranque desde un capitel (fig. 7.18), siendo esta solución la más utilizada en las construcciones de bóvedas, pero puede presentar una gran variedad de posibilidades en cuanto a su forma y dimensiones.



Fig. 7.17. Arranque del claustro del convento de la Trinidad en Valencia.



Fig. 7.18. Arranque de la nave de la ermita de Santa Anna en Xativa.



Fig. 7.19. Arranque del refectorio del convento de Santo Domingo de Orihuela.

Para ello se partió como punto de partida de la clave de terceletes, la cual, ya se encuentra posicionada en su sitio y con la inclinación correcta. Los nervios de terceletes de la clave, facilitan un punto en el espacio por el cual tiene que pasar necesariamente la monte del tercelete. Quedando por averiguar la posición exacta de su traza, de la cual solo conocemos el ángulo que forma con el crucero.

Partiendo del plano de arranque que proporcionan los cruceros, se proyecta la traza del crucero y de la ligadura, a este plano sobre el eje de las ligaduras, también se le proyecta la clave de terceletes, resultado de la intersección del radio de la ligadura con el eje que se forma de la intersección de los tres nervios de la clave de terceletes, obteniendo así el punto A sobre las trazas. Conociendo el ángulo que forma el tercelete con la ligadura de $126,86^\circ$, se puede dibujar su traza sobre A (fig. 7.20 y 7.21), y en la intersección con el crucero se obtiene el vértice de las trazas, por simetría se construyen el resto de

proyecciones hasta cerrar las trazas de la bóveda. De este modo ya tenemos sus trazas en verdadera magnitud.

Teniendo la proyección exacta del tercelete solo queda averiguar el centro de su radio y para ello una vez más se necesita de la clave de terceletes. Conociendo el radio del tercelete que tiene que ser de 4,541 metros, se pincha como “centro del compás” sobre el nervio tercelete de la clave secundaria dándonos su centro exacto sobre la traza (fig. 7.22).

Del siguiente esquema se deduce que la montea del cruceiro no nace de la intersección de las trazas, del mismo modo que el tercelete tampoco, presentando una disposición radial. Por lo que el arranque de la jarja no nace del muro, sino que debe nacer sobre un capitel o una columna fasciculada.

Conocida la montea del nervio, solo queda colocar las tres dovelas sobre este. Para ello se dispone de las piezas B2P.2 y la B3B.2 que son dovelas sin ningún rasgo característico por lo cual pueden ocupar cualquier posición dentro del arco, pero la dovela B3B.3, tiene un doble asiento en uno de sus lechos (fig. 7.24), uno de sus asientos será radial al arco y el otro asiento debe ser horizontal a la jarja (fig. 7.27), al igual que ocurría con la dovela de cruceiro B4B.1, también presenta un rebaje en una de sus caras para el encuentro del nervio cruceiro y en la otra cara tiene una aproximación hacia la cabeza de la roza para la tabiquería. Todo ello confirma que se trata de la primera dovela del nervio después de la jarja.

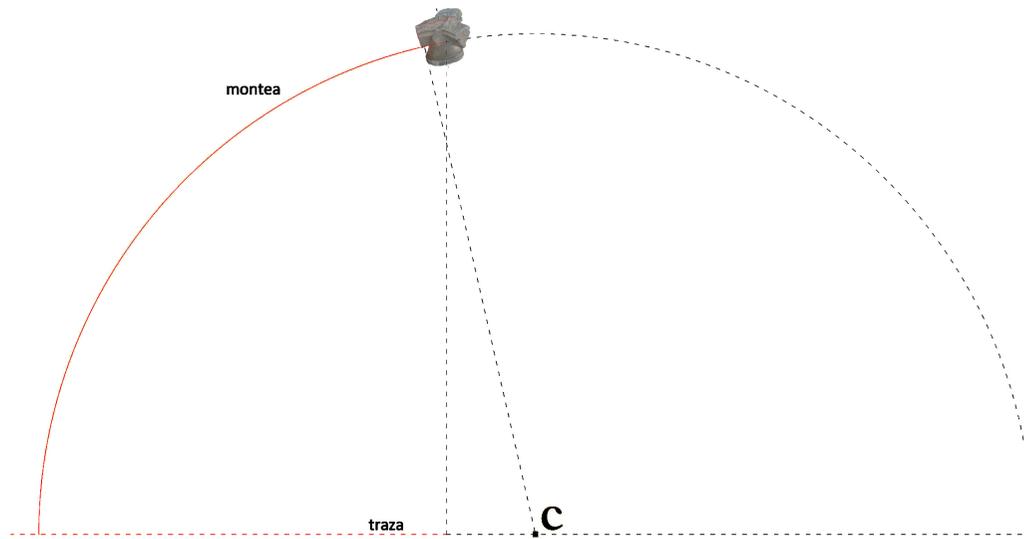


Fig. 7.22. Obtención del centro del radio del tercelete a partir de la clave secundaria y de su traza.

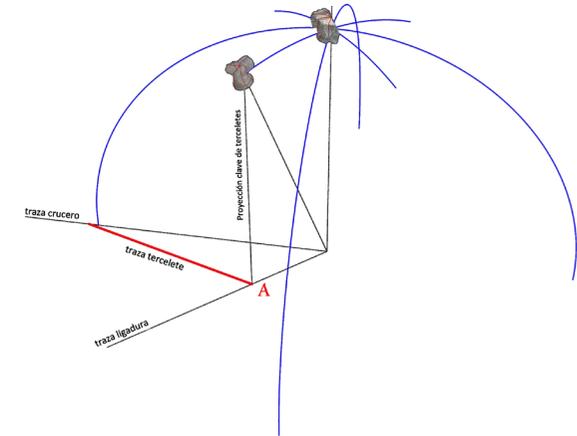


Fig. 7.20. Extracción de la traza del tercelete mediante la proyección de la clave secundaria sobre el plano de arranque de la bóveda.

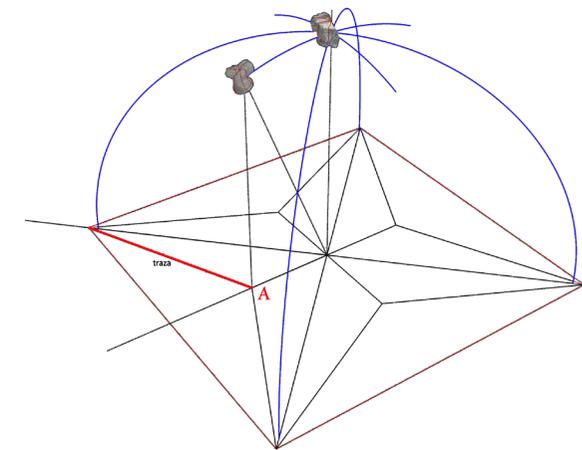


Fig. 7.21. Obtención de las trazas de la bóveda en verdadera magnitud, con la posición de la plantilla del cruceiro sobre el arranque.

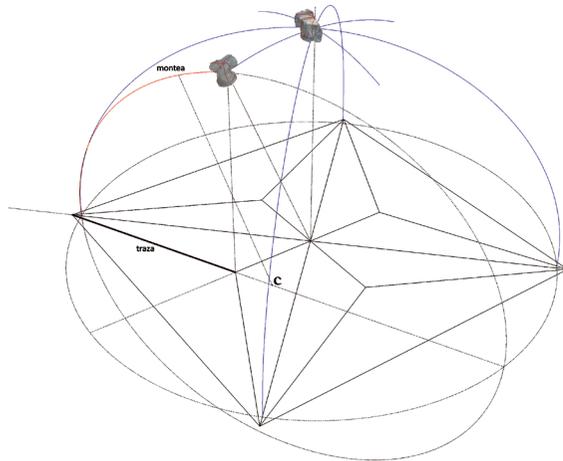


Fig. 7.23. Esquema 3D de la obtención de la traza y monte de los terceletes.

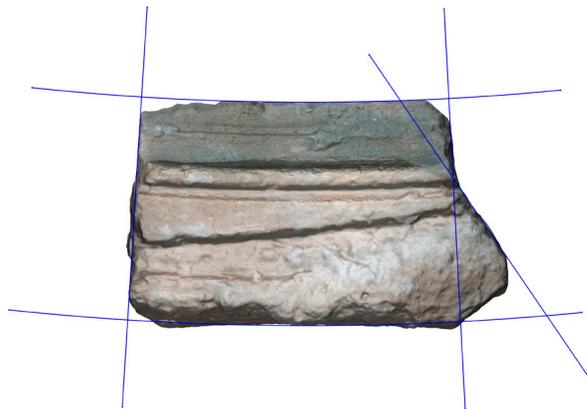


Fig. 7.24. Dovela de tercelete B3B.3. Análisis de los ejes principales mediante la aplicación de Rapidform, presenta uno de sus lechos con un doble asiento, para el encuentro con la jarja.

Analizando el tramo del nervio de la clave secundaria con el encuentro del nervio tercelete, se observa que las dovelas no están orientadas verticalmente sino que están esviadas hacia el centro de la bóveda (fig. 7.25). Los nervios representados en color azul están esviados hacia al centro de la bóveda, mientras que los nervios de color rojo están orientados verticalmente hacia el centro de su traza. Como se puede observar, los nervios con dirección vertical no enlazan correctamente con la clave de terceletes, por lo que se confirma la inclinación del eje directriz de los terceletes. Dicho esviaje de la moldura, por pequeño que sea, se tendrá que tener en cuenta en la orientación de las dovelas para su correcta anastilosis y posterior reconstrucción, o si no, no encajaran correctamente con las claves secundarias.

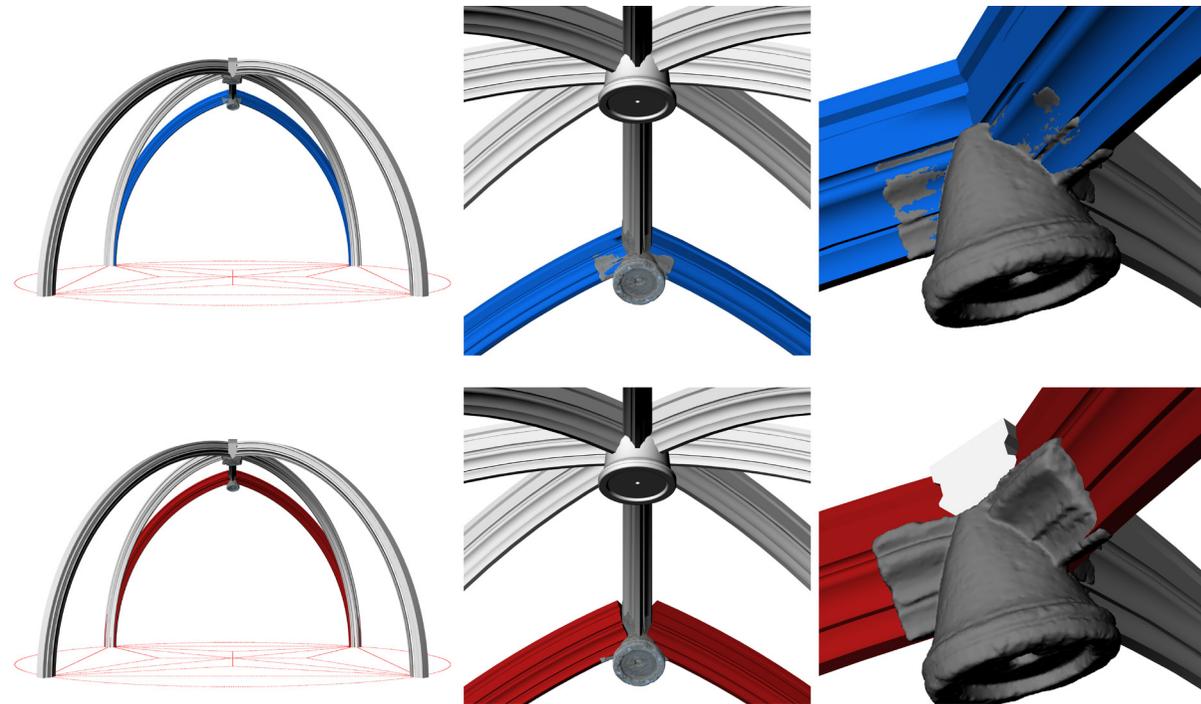


Fig. 7.25. Trazado de los nervios terceletes en el encuentro de la clave secundaria, a los cuales se les ha dado diferente orientación a la plantilla del tercelete. Representados en color azul, los nervios terceletes con la plantilla orientada al centro de la bóveda y en color rojo, con la plantilla orientada al centro del arco tercelete.

Se comienza colocando la dovela B3B.3, a la que le añadiremos el resto de dovelas y finalmente se reconstruye el resto del nervio hasta la clave de terceletes.

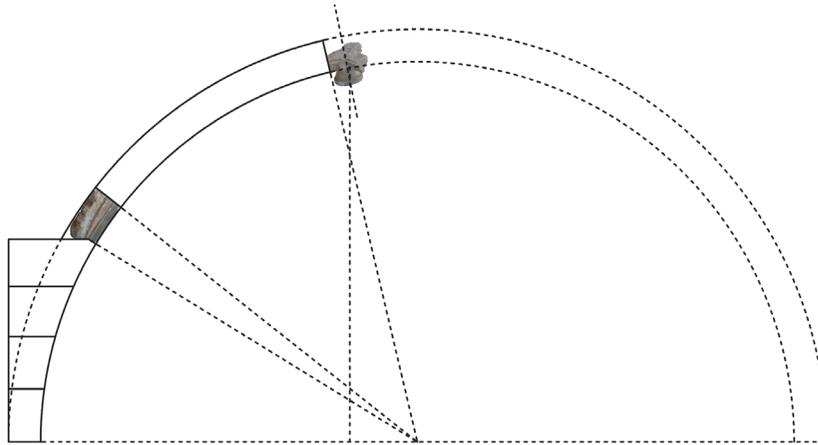


Fig. 7 27. Anastilosis de la dovela de terceletes B3B.3. Con doble lecho horizontal y radial, indicando la altura final de la jarja.

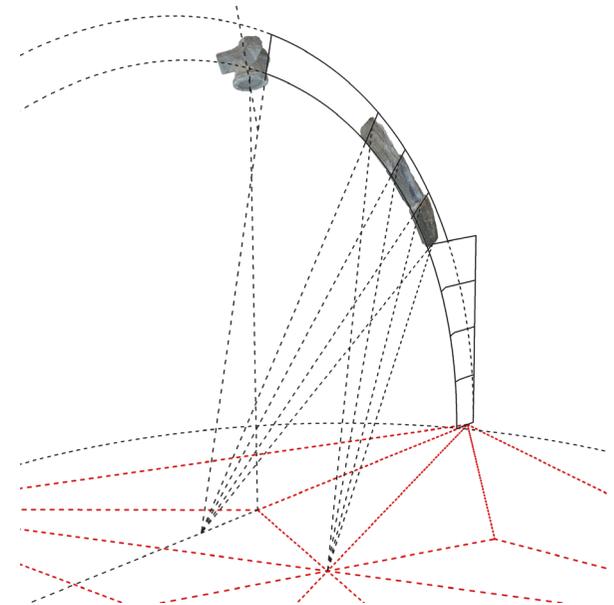


Fig. 7.26. Representación en 3D de la colocación de las dovelas de terceletes con su plantilla orientada al centro sobre un trazado radial al tercelete.

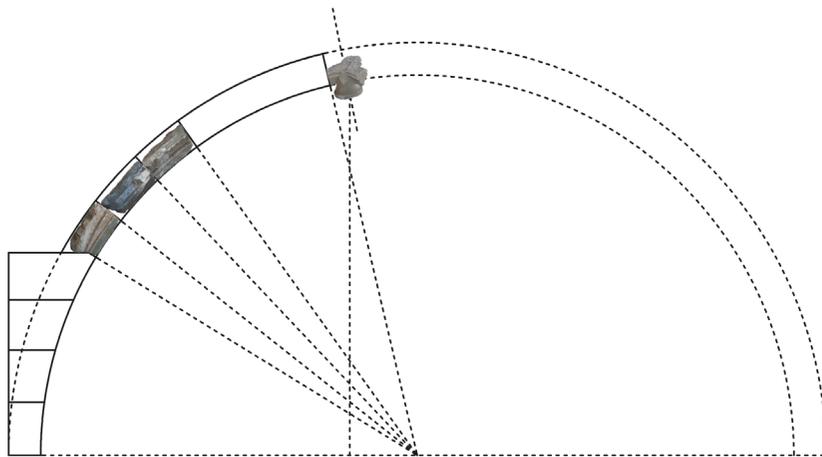


Fig. 7 28. Anastilosis de las dovelas de terceletes recuperadas.

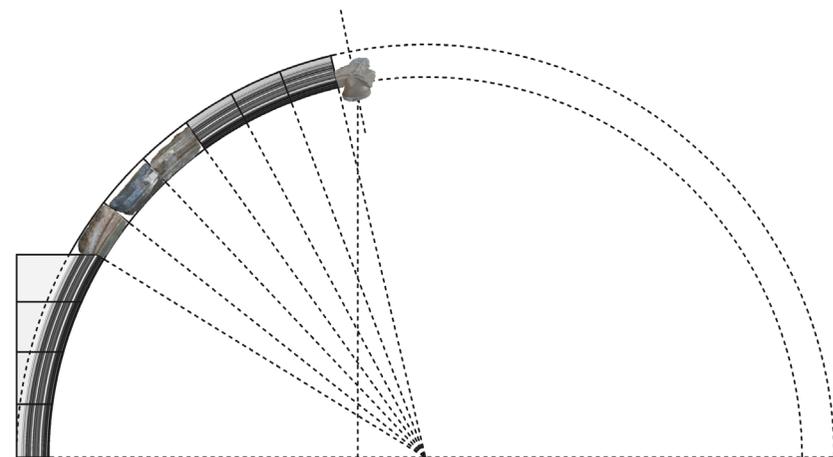


Fig.7 29. Reconstrucción virtual del tercelete con la anastilosis de las dovelas recuperadas.

7.2.4 Nervios formeros o arcos de cabeza

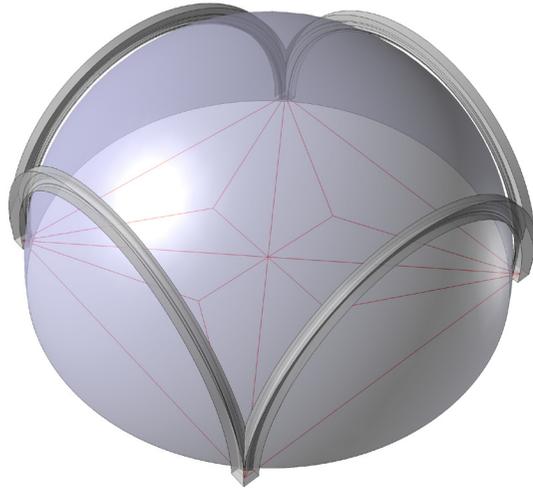


Fig. 7.30. Vista perspectiva de los nervios formeros.

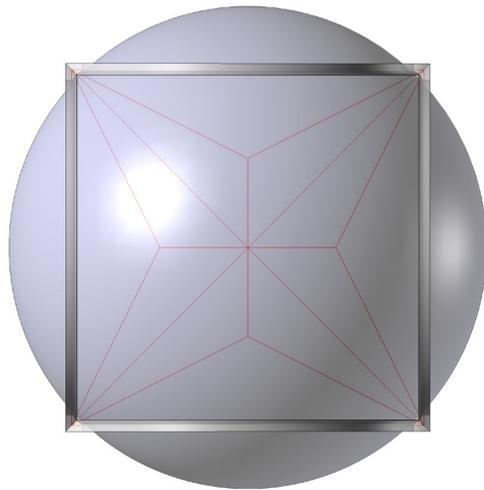


Fig. 7.31. Vista en planta de los nervios formeros.

Por último quedan los arcos de cabeza o formeros, para ello se tienen dos dovelas, la B1B.2 y B2P.4. De las que inicialmente se ha obtenido su radio de cabeza de 3,369m. Observando las piezas, se aprecia que la dovela B2P.4 no tiene ningún rasgo característico que dé una pista de la posición que podría ocupar dentro de la bóveda, no obstante, en el análisis de la dovela B1B.2 (fig. 7.32) aparecen dos rasgos que facilitan su ubicación, en primer lugar se produce una aproximación de la roza de tabiquería hacia uno de sus extremos, y además este lecho tiene una inclinación diferente a la radial. Estas características hacen presuponer que se trata, al igual que en los otros casos, de la primera dovela después de la jarja. Pero con la peculiaridad de que en este caso no tiene un doble lecho para el asiento con la jarja, y si se intenta colocar la dovela con su asiento en posición horizontal, ocupa una posición tan baja que estaría dentro de la jarja, en una zona en la cual no existe plementería (fig. 7.33), mientras que la pieza tiene labrada una muesca para ella y además en la jarja los nervios se encuentran unidos en un único sólido seccionado solo en planos horizontales para poder trabajar con ellos. Tampoco cabe la posibilidad de un arco aislado de la bóveda ya que se tendría que alejar las piezas, desplazándolas a una posición fuera de la bóveda, siendo también una solución difícil de entender en una bóveda baída. Por ello lo más obvio es pensar, como ya se ha dicho, que se trata de la primera dovela después de la jarja, en donde su lecho no es horizontal ya que la pieza tendría un asiento muy débil que podría fracturarse y además a esta altura el apoyo no sería correcto, pudiéndose producir desplazamientos de la pieza por los empujes del arco, por ello debieron optar por una solución intermedia en donde el ángulo de su lecho, en la posición de la pieza colocada, esté entre la radial y la horizontal.



Fig. 7.32. Dovel de arco de cabeza B1B.2. Análisis de los ejes principales mediante la aplicación de Rapidform, presenta uno de sus lechos con un ángulo diferente a la radial.

Para su ubicación se ha utilizado de la altura de la primera dovela de cruceros y de terceletes, los cuales han dado la altura de la jarja permitiendo posicionar la dovela B1B.2 y acto seguido se ha colocado la segunda dovela de que se dispone, reconstruyendo finalmente el arco que lo formaba extrapolando el número de piezas totales que lo componen.

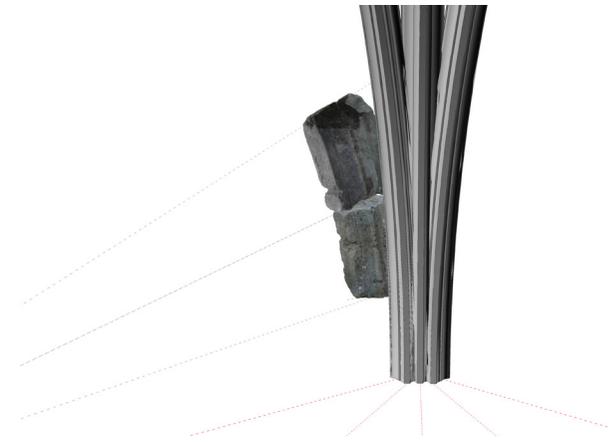


Fig. 7.33. Supuesta posición de las dovelas de arcos de cabeza recuperadas si se interpreta el lecho de la pieza B1B.2 como horizontal. Solución no válida.

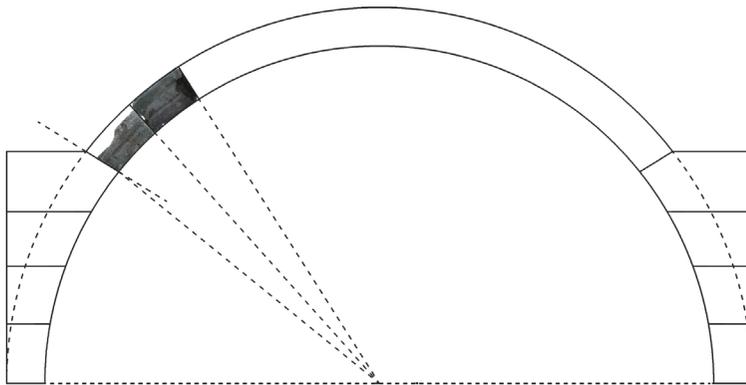


Fig. 7.34. Anastilosis de las dovelas de arcos de cabeza recuperadas.

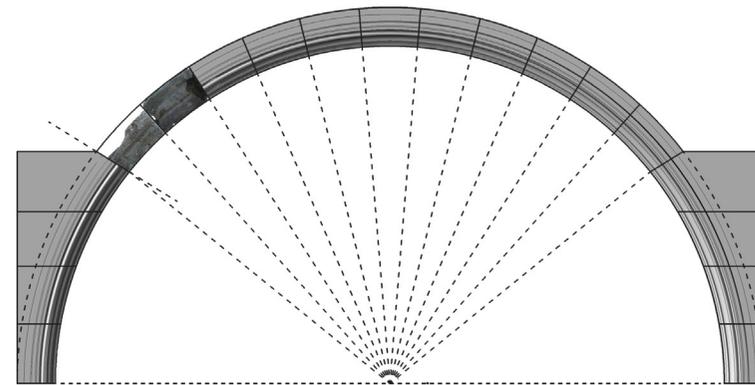


Fig. 7.35. Reconstrucción virtual del formero con la anastilosis de las dovelas recuperadas.

7.3 Anastilosis virtual de la bóveda

De este modo, a pesar de tener pequeños fragmentos de la bóveda original, se dispone de la información suficiente para poder establecer una hipótesis válida de la forma y dimensiones de la bóveda. La clave polar junto con la de terceletes han definido la forma y trazas de la bóveda y el análisis de las dovelas han proporcionado los radios de los nervios, que han servido para determinar las dimensiones y la tipología de bóveda baída.

Una vez determinada la posición de todas las piezas recuperadas, se han dispuesto en el espacio en la situación determinada en el análisis, añadiéndoles sus monteas para una mejor lectura de los nervios, obteniendo así, la anastilosis virtual de las piezas que se han recuperado de la bóveda. Este primer paso nos servirá de guía en la siguiente fase para la reconstrucción virtual. A partir de este punto se empiezan a apreciar todos los detalles geométricos que se han ido describiendo anteriormente, como los rebajes en los laterales de la dovela de cruceo B4B.1, para ir preparando el encuentro con los dos nervios de terceletes, o las aproximaciones de las rozas para la tabiquería de la dovela de terceletes B3B.3 y la dovela de cabeza B1B.2.

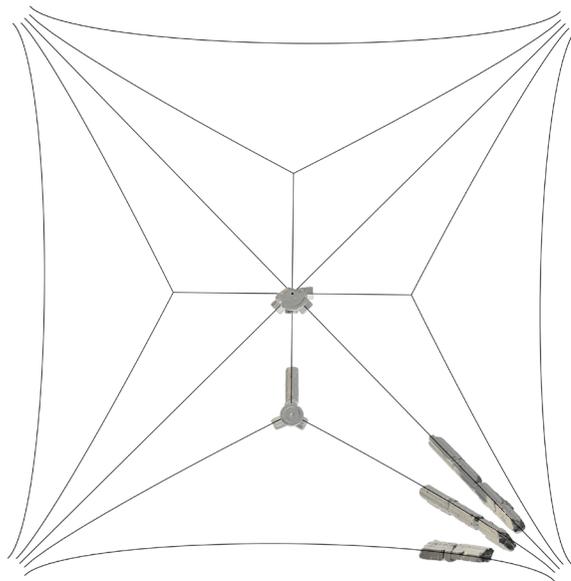


Fig. 7.36. Perspectiva cenital de la anastilosis de las piezas recuperadas de la bóveda de la Vila Vella.

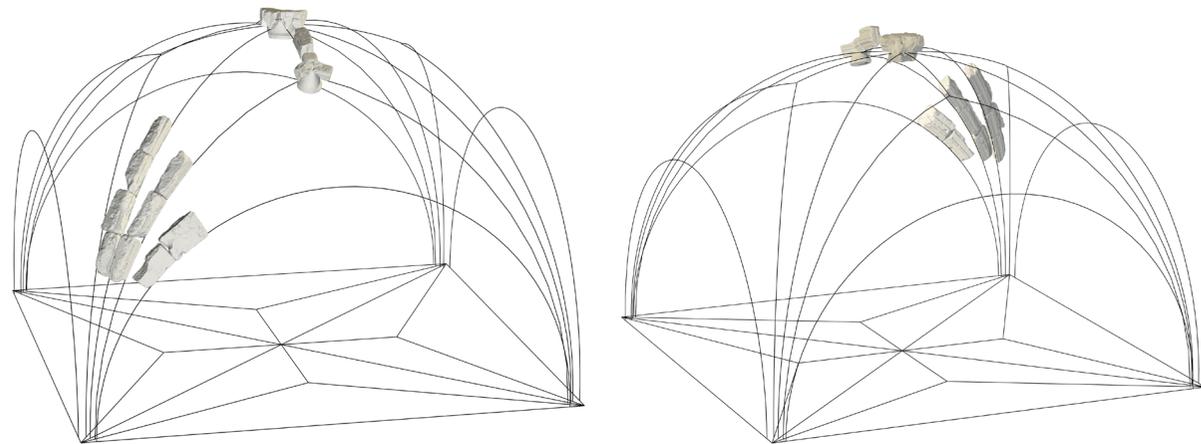
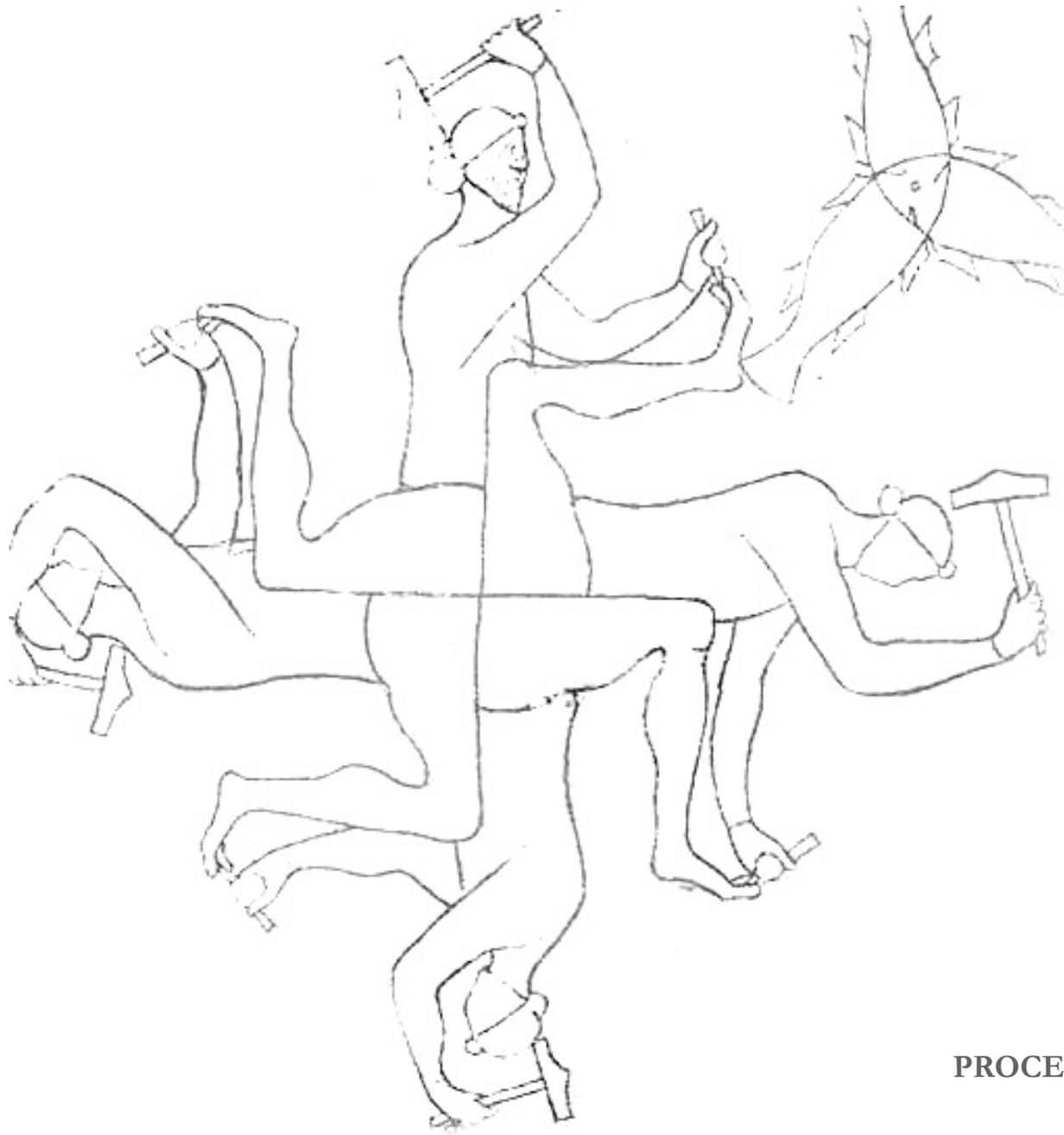


Fig. 7.37. Vistas 3D de la anastilosis virtual de las dovelas recuperadas de la bóveda de la Vila Vella de Denia.

En la siguiente tabla se hace una relación del número de piezas recuperadas de la bóveda, frente al número teórico de piezas que debería estar formada. Resulta interesante comprobar, como se ha podido llegar a un resultado con tan solo 12 piezas de las 161 que la formaban, solo un 7% del total. Esto ha sido debido, a que las construcciones abovedadas son un proceso sistemático pero a la vez flexible²³, y a que se ha podido recuperar una pieza de cada tipo del rompecabezas, y además, afortunadamente entre ellas se encontraban las primeras dovelas que se unen a la jarja, ampliando enormemente la información de la bóveda y pudiendo establecer una hipótesis sólida.

	PIEZAS TOTALES	PIEZAS RECUPERADAS	%
CLAVE POLAR	1	1	100%
CLAVE TERCELETES	4	1	25%
CRUCEROS	36	4	11%
LIGADURAS	12	1	8%
TERCELETES	48	3	6%
ARCOS DE CABEZA	44	2	5%
JARJAS	16	0	0%
TOTAL	161	12	7%

²³ ALONSO RODRIGUEZ, CALVO LOPEZ, 2007, pp.2-3,22-23



CAPÍTULO 8.
PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA BÓVEDA

8.1 Introducción al proceso constructivo de la época

La construcción de una bóveda de crucería es un proceso que se rige en unos sistemas establecidos pero que a su vez permiten una cierta flexibilidad, la cual ha dado lugar a la gran variedad de bóvedas que hoy en día podemos admirar. En este proceso, el maestro es el único conocedor del rompecabezas que forma la bóveda y su mejor herramienta para llevarla a buen fin, son las trazas y monteas. De ellas obtiene toda la información que necesita para ir guiando a los talladores a la obtención y posterior colocación de las piezas.

Todo comienza en la cantera, por lo general ubicada lo más próxima a la obra. Se van extrayendo los bloques macizos, ligeramente más grandes que las dimensiones que se necesitan, evitando así perder el bloque durante su transporte a la obra. Una vez han sido trasladados al lugar donde se va a construir la bóveda, se comienza inmediatamente la labra, siguiendo las directrices marcadas por el maestro. Dentro del grupo de talladores, existían diferentes castas en función de la complejidad del corte, reservándose las piezas más complejas solo a los canteros más experimentados. Las piezas son talladas ya con su forma final y molduras antes de su colocación, no obstante si estas eran demasiado complejas o delicadas se remataban una vez colocadas evitando así poder dañarlas.

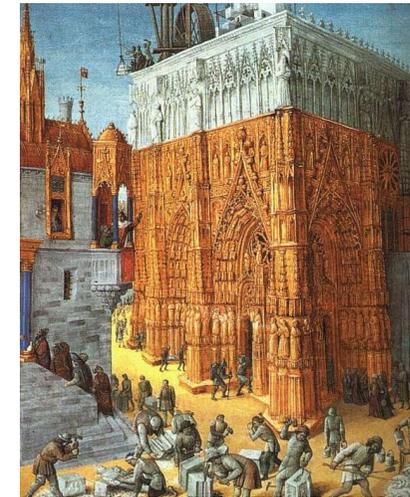


Fig. 8.01. Miniatura de Fouquet (Siglo XV) “La construcción del templo de Jerusalén”.

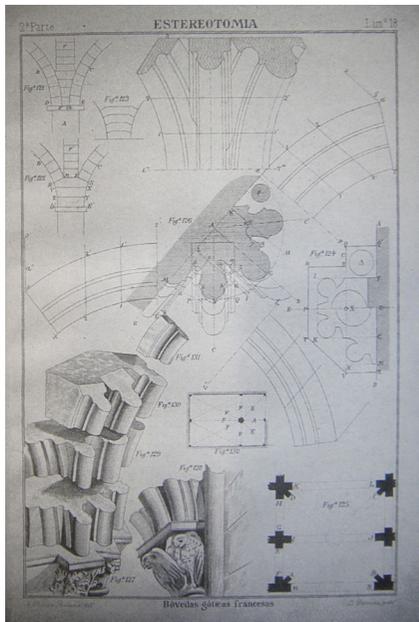


Fig. 8.03. Desarrollo de una jarja. A. Rovira.

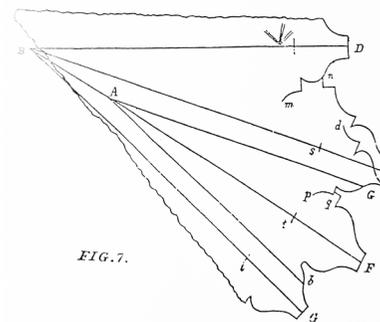
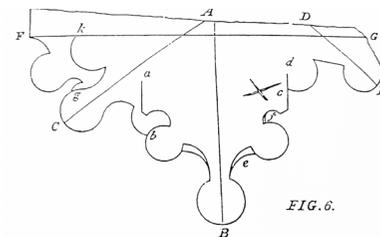


Fig. 8.04. Trazado de un enjarje. R. Willis.

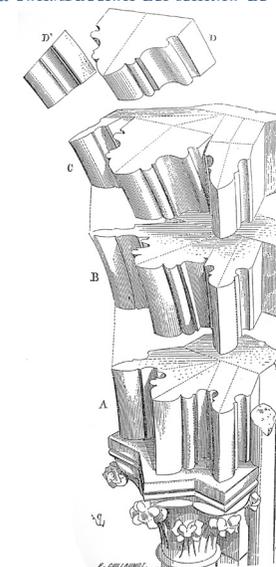


Fig. 8.02. Enjarje de una bóveda de crucería, E.E. Viollet-le-Duc.

8.2 Piezas del arranque, el enjarje

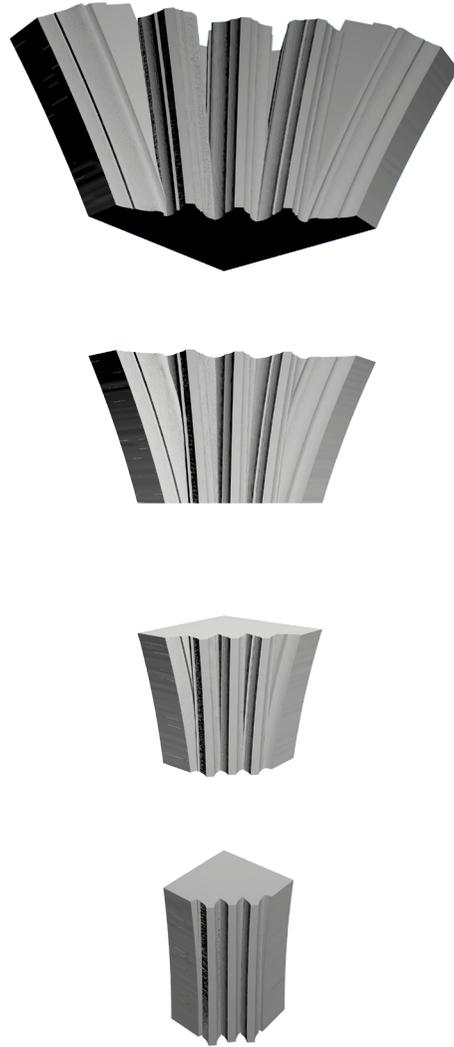


Fig. 8.05. Despiece de la jarja, en las posibles partes que la componen.

La jarja es la suma de los distintos arranques de los nervios que convergen a un mismo apoyo²⁴, son por tanto las primeras piezas a colocar en la construcción de una bóveda, las cuales se van ejecutando conforme crecen los muros, quedando unidas a estos. Son las piezas en las que se apoyan las dovelas que definirán los arcos. La jarja podía nacer directamente del muro, estar apoyada sobre un capitel o sobre su columna.

La jarja estaba formada por cuatro piezas de gran tamaño, en donde los nervios se encuentran entrelazados los unos con los otros. La altura final de la jarja del estudio, está definida por las dovelas B4B.1, B3B.3 y B1B.2, punto a partir del cual nacen los nervios aislados. La disposición de los nervios sobre la jarja es radial como se vio en el capítulo anterior, al deducir la posición de los terceletes, y por tanto, los nervios quedan sobresaliendo del muro en el arranque, todo ello hace suponer que nacía desde cuatro capiteles, dada la sección sobresaliente del enjarje. Un ejemplo de este tipo lo encontramos en la sacristía de la Iglesia de la Asunción de nuestra Señora de Vistabella.

Por lo general, los lechos de las piezas que componen el enjarje son horizontales y solo a la última pieza se le da una pequeña inclinación radial en la zona de los nervios, para mejorar el asiento de las dovelas. En el caso de estudio, se trata de un doble asiento, donde la primera parte de la dovela, que queda a la vista, descansa radialmente sobre la jarja y la parte posterior apoya horizontalmente, quedando oculta.

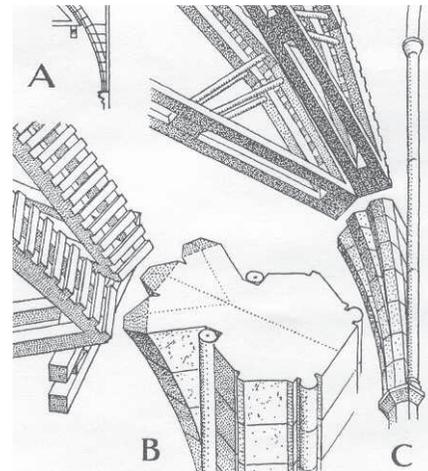


Fig. 8.06. "Tas de Charge" J. Fitchen.



Fig. 8.07. Jarja sobre capitel de la Sacristía de la iglesia de Vistabella.

24 NAVARRO FAJARDO, 2006, p. 167.

El procedimiento para la talla de estas piezas fue descrito por Robert Willis en 1.842, consiste en dibujar sobre un bloque macizo los ejes de la bóveda, en donde se añaden las plantillas de cada nervio con la longitud que le corresponde para cada altura, este proceso se realiza en la parte superior e inferior del bloque, desbastando la piedra con las únicas referencias de las trazas marcadas y de las saltarreglas y baiveles para ir verificando los ángulos y las curvaturas de los nervios. Al no existir ningún dibujo detallado que resuelva las uniones e intersecciones de los nervios, el cantero ha de ser lo suficientemente hábil para ir deduciéndolas según va tallando la pieza²⁵. Dicha solución constructiva conlleva un error en la geometría de las piezas puesto que se utilizan las mismas plantillas de los nervios, la cual está en verdadera magnitud para una posición en el que el corte es oblicuo, es decir, la plantilla está diseñada para una posición radial mientras que los lechos del enjarje son horizontales y por lo tanto no es la misma sección. Estas deformaciones aunque pequeñas, están presentes y los maestros de la nueva estereotomía ya las conocían como es el caso del autor Joseph Gelabert, el cual propone una solución para resolver dichas deformaciones: consiste en la no terminación de la labra de los nervios de las piezas del enjarje, hasta que estas no se encuentren colocadas en su posición, dejando el perfil de los nervios más alargado, para una vez colocadas, terminarlas in-situ y así de este modo asegurar la geometría del nervio²⁶ (figura 8.10).

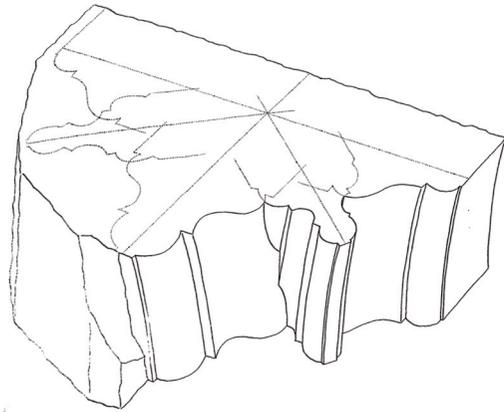


Fig. 8.09. Proceso de labra de un enjarje por E. Rabasa.

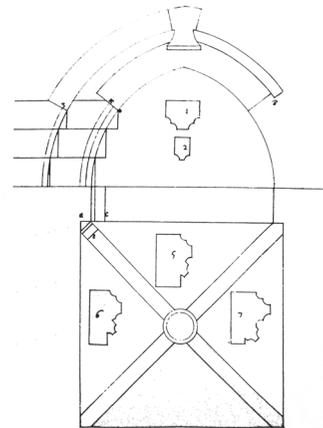


Fig. 8.10. Alargamiento de las piezas del enjarje para su posterior corrección durante el montaje. J. Gelabert (De L'Art de Picapedrer).

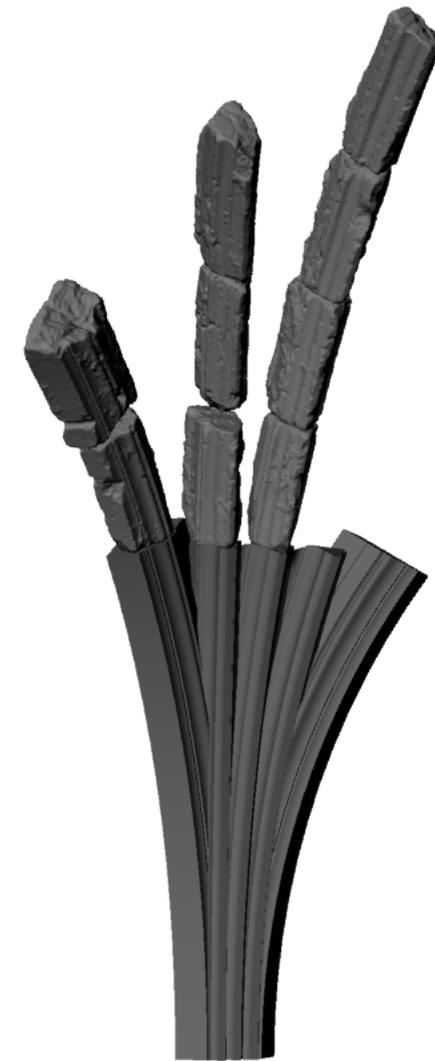


Fig. 8.08 Reconstrucción virtual de la jarja con la anastilosis de las dovelas.

25 NAVARRO FAJARDO, 2006, pp. 54-55 y 167.

26 RABASA DÍAZ, 2000, p. 103.

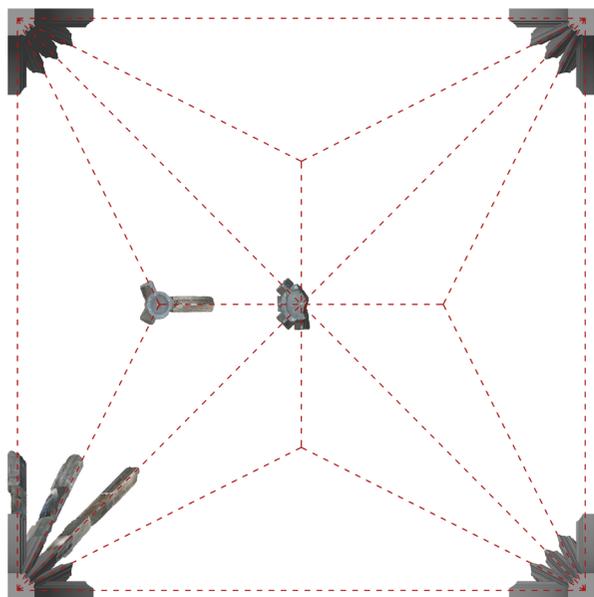


Fig. 8.11. Vista cenital de las jarjas reconstruidas de la bóveda, con la anastilosis de las piezas recuperadas.

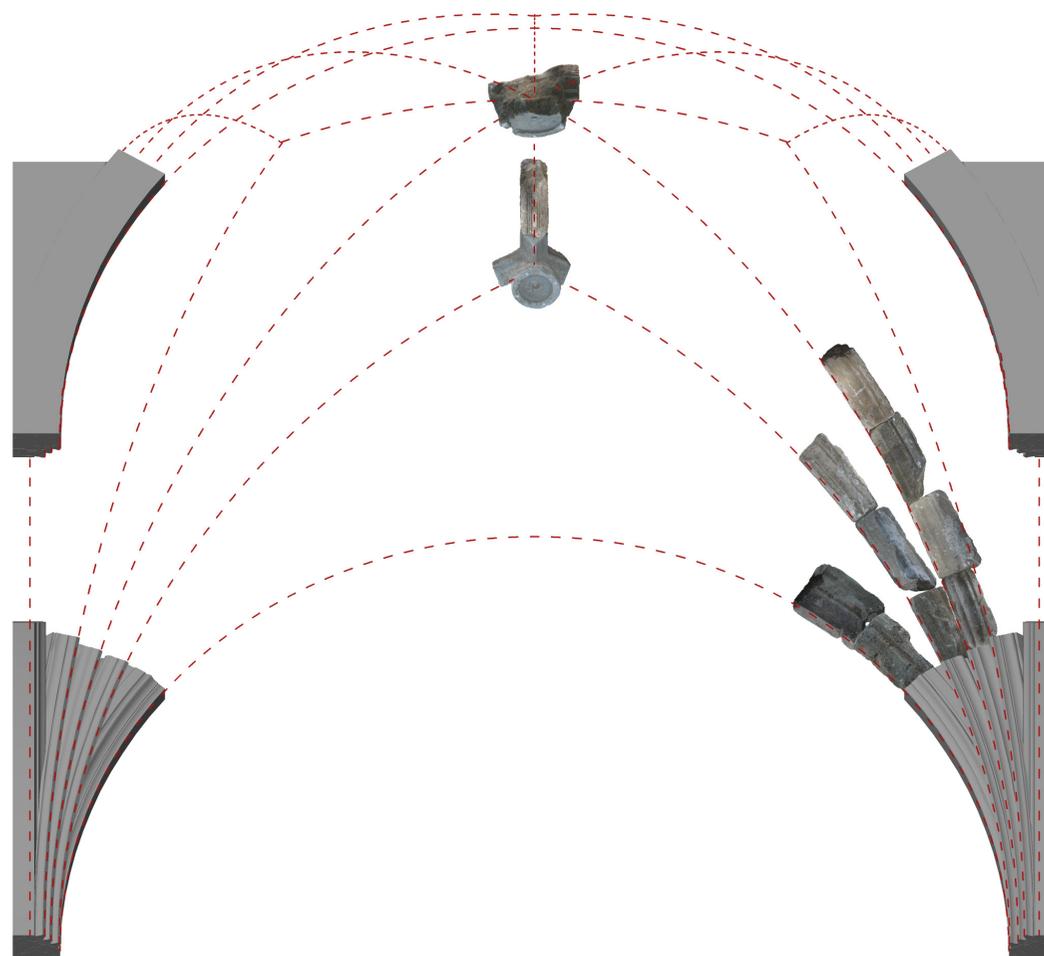


Fig 8.12. Vista en perspectiva de las jarjas reconstruidas de la bóveda, con la anastilosis de las piezas recuperadas.

8.3 Los nervios y sus plantillas

La bóveda está formada por nervios cruceros, ligaduras, terceletes y formaletes. Sus plantillas son muy similares entre sí, existiendo dos tipos: la de los cruceros, ligeramente más ancha con 22 cm, formada por dos medias cañas y un bocel, o como lo describe el maestro Gelabert “dos copades i un sonfrañy”²⁷. La moldura de terceletes, ligaduras y formaletes, está formada también por dos medias cañas y un bocel pero con un escalón entre las medias cañas, su anchura es de 19 cm para los terceletes y ligaduras, mientras que las formas solo presenta labrada la mitad de la plantilla, ya que el resto de la pieza va encajada en el muro. Se disponen de dos piezas de arcos de cabeza con una diferencia de anchura de 5 cm, los cuales quedan absorbidos dentro de los muros. La altura de la plantillas es la misma en los tres casos, siendo las formas más altas, pero solo en su parte oculta tras la plementería. Estas proporciones son acordes a la práctica de la época, donde a los arcos se dimensionan por su anchura, a los cruceros se les presupone que soportan el mayor esfuerzo, seguidos de los terceletes y por último las formas, como refleja Gil de Hontañón en su descripción “de lo que le toca a cada miembro” en capítulo 6 de su compendio (ff. 22v-26v) en el cual explica la anchura que deben tener los nervios en función del lado de la capilla²⁸, haciendo una analogía de los dedos la mano, comparándolos con las nervaduras. Aunque las dimensiones de nuestras plantillas no se corresponden con las proporciones del lado de la capilla que el propone, en donde serían los cruceros de 1/24 y los terceletes de 1/28, por lo que, las plantillas deberían tener un ancho de 29,6 cm los cruceros y los terceletes de 25,4 cm, siendo las molduras más esbeltas, pero sí, en la relación entre ellas, siendo los cruceros más anchos que el resto.

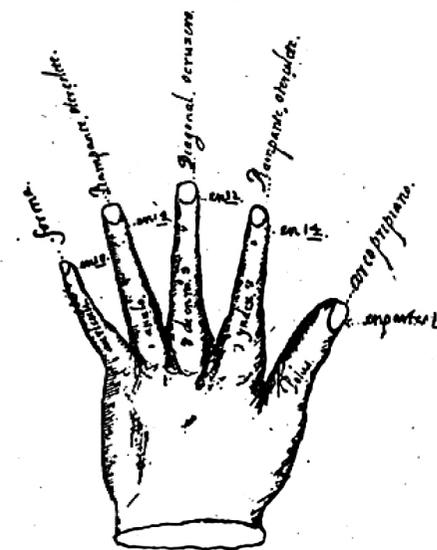


Fig. 8.13. Dibujo de Gil de Ontañón.



Fig. 8.14. Dovelas recuperadas dentro del a Vila Vella.

²⁷ NAVARRO FAJARDO, 2006, p. 155.

²⁸ Ibi, pp. 143-145.

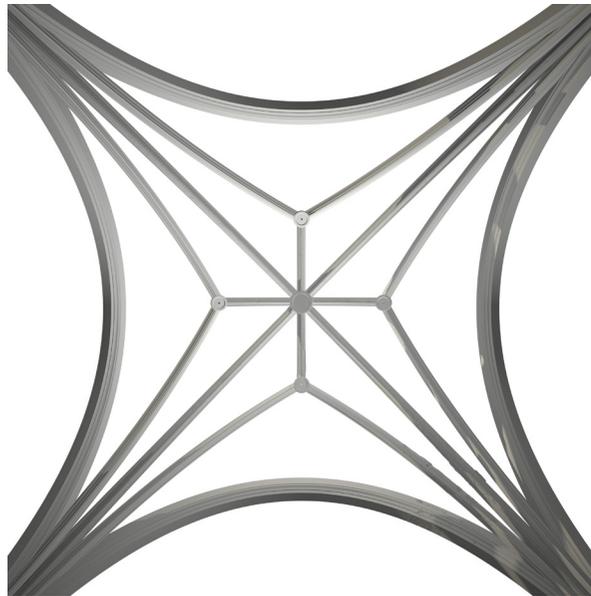


Fig. 8.15. Perspectiva cenital de los nervios de la bóveda.

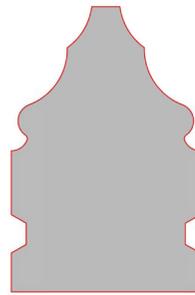


Fig. 8.16. Plantilla de crucero.

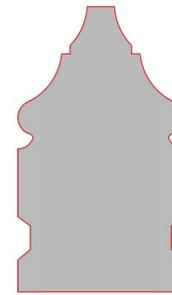


Fig. 8.17. Plantilla tercelte y ligadura.

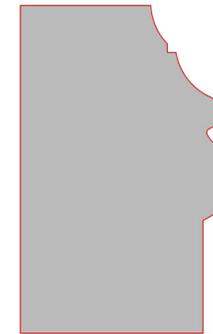


Fig. 8.18. Plantilla de Formas.

La reconstrucción virtual de los nervios es un proceso sencillo, conocida la montea y la plantilla del nervio es fácil obtenerlos, no obstante los nervios terceltes, encierran una cierta complejidad, su plantilla en lugar de tener una alineación vertical, esta se encuentra alineada hacia el centro de la bóveda, siendo ortogonales al casquete esférico, haciendo más complejo la obtención de las dovelas, las cuales debieron de ser talladas a partir del complejo sistema de la plantilla de intradós²⁹ (doble curvatura). Mientras que para el proceso de tallado de un nervio con alineación vertical, basta con dibujar la plantilla en los lechos e ir devastando la pieza, hasta que se encuentren los dibujos de los lechos y con la ayuda de un baivel con el que se irían verificando la curvatura y ángulos de los lechos. Esta inclinación de los terceltes se hace más evidente en la unión con la clave secundaria, en la que solo encajaran con la inclinación apropiada, como vimos en el capítulo anterior.



Fig. 8.19. Unión de los terceltes con la clave secundaria.

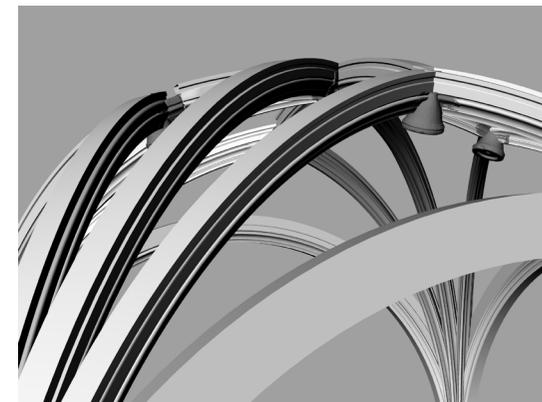


Fig. 8.20. Reconstrucción virtual de los nervios.

²⁹ RABASA DÍAZ, 2000, p. 186.

8.4 Las claves

Las claves son las piezas de unión entre los diferentes tipos de nervios. De la intersección de los nervios cruceros nace la clave polar y del encuentro entre los terceletes y ligaduras nace la clave secundaria o clave de terceletes. La bóveda de Denia, está formada por cinco claves, una polar y cuatro de terceletes, al ser de planta cuadrada tiene doble simetría, por lo que sus cuatro claves secundarias son iguales. La labra de las claves es uno de los procesos más complejos dentro de la construcción de una bóveda y solo está destinado a aquellos canteros más experimentados, el procedimiento de labra fue explicado por Robert Willis en 1842, para su ejecución se necesita conocer el número de nervios que atestan a ella y los ángulos que forman entre ellos, información que proporciona las trazas, y también es necesario conocer los ángulos de los lechos de los nervios, la cual se extrae de las monteas. Conocidos estos datos se llevan al bloque de piedra, pero primero hay que definir la superficie de operación sobre el bloque pétreo, generalmente se hace sobre una superficie horizontal en el trasdós de la clave, ya que una vez colocada en su sitio todas las trazas quedarán ocultas, a no ser que por sus dimensiones impida manipular a la pieza y este tenga que hacerse en el intradós de la clave, como es el caso de la clave polar de la capilla del Condestable de Burgos³⁰. Sobre la superficie de operación se trasladan los ejes de la clave, y a continuación se trazan paralelas a estos ejes con el espesor de los nervios, definiendo también las longitudes de estos y el espacio que ocupa el cuerpo central. Se comienza a desbastar el bloque siguiendo como referencias las líneas de los nervios dándoles una forma prismática y con la precaución de no invadir el espacio reservado para el cuerpo central, con un saltarregla se trasladan los ángulos de los lechos de cada nervio, y una vez tallados los lechos se trasladan las plantillas de los nervios a la altura que le corresponde a cada uno, y se finaliza la labra de la pieza prestando especial atención a los encuentros entre nervios y al cuerpo central³¹.

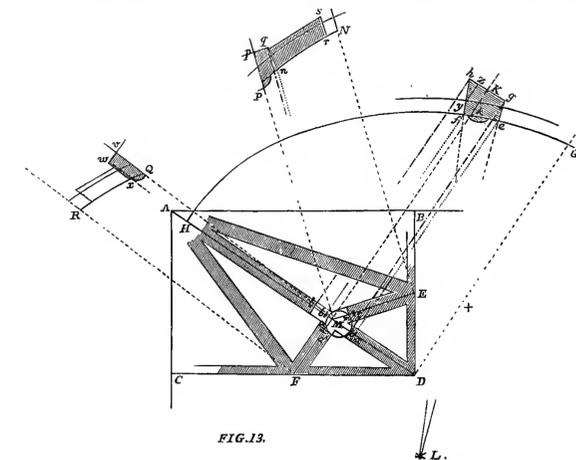


Fig. 8.21. Resolución de los encuentros de los nervios. R. Willis.



Fig. 8.22. Claves recuperadas dentro de la Vila Vella.

30 RABASA DÍAZ, 2000, pp. 118-121.

31 RABASA DÍAZ, 2000, pp. 112-116.

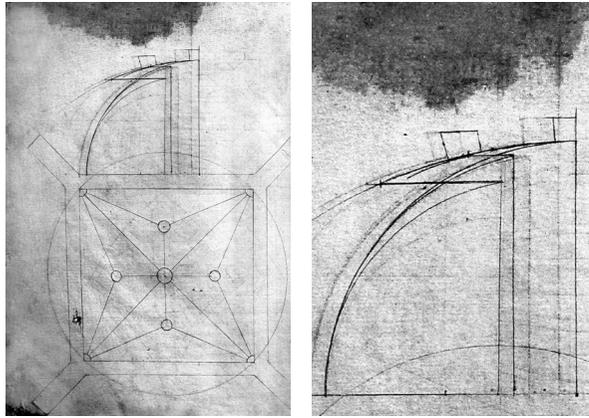


Fig. 8.23. Trazado de Hernan Ruiz, en donde proyecta el trasdós de la clave secundaria horizontal a la pieza colocada en su sitio.

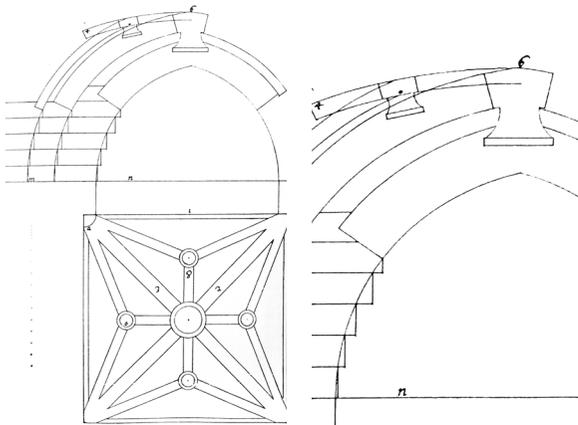


Fig. 8.24. Trazado de Joseph Gelabert, construcción de la clave secundario con su trasdós radial a la ligadura.

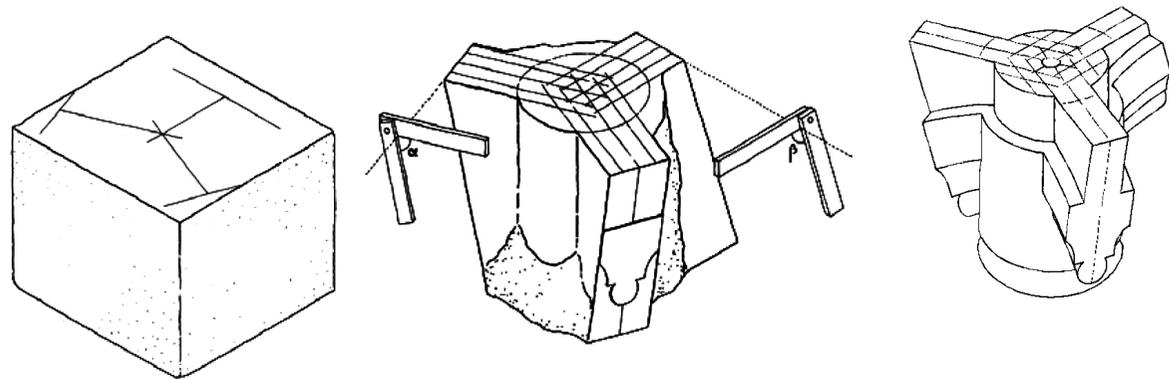


Fig. 8.25. Proceso de labra de una clave. E. Rabasa.

Este procedimiento implica que el trasdós de la clave sea un plano horizontal (fig. 8.23), en el caso de la clave polar así ocurre, pero no en la clave de terceletes, en donde la superficie de operaciones no forma un plano horizontal sino que está inclinado, formando un plano perpendicular al cuerpo central (fig. 8.24), con el consiguiente ahorro de material y peso propio de la clave, no obstante complica de sobremanera la talla de la pieza, a la que también hay que destacar, que los nervios terceletes están sacados mediante el sistema de la plantilla de intradós, consiguiendo de este modo una continuidad entre las molduras de los terceletes y de las ligaduras (figura 8.27) y la forma tronco cónica del cuerpo central, con su dirección al centro de la bóveda.

Ambas claves presentan una perforación que atraviesa a la pieza por su cuerpo central, el uso que se les daba a estas perforaciones está recogido en el compendio de Simón García, en donde dice: “sirven para limpiar la capilla o para colgar lámparas o para deshaçer los andamios de la dicha capilla” (f.25v). No obstante también pueden tener otro uso, la de espera para recibir la tortera de madera o yeso, que irán atadas al trasdós de la clave³².

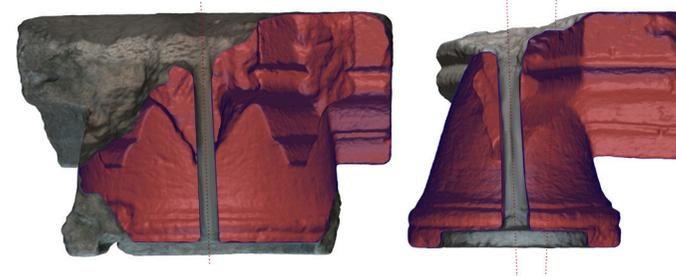


Fig. 8.26. Sección longitudinal de las claves por su centro, en la cual se aprecia la perforación del cuerpo central.

32 NAVARRO FAJARDO, 2006, p. 198.

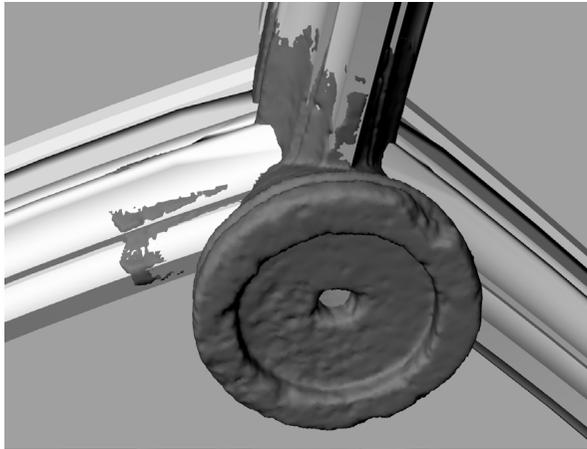


Fig. 8.29. Continuidad de los nervios sobre la clave secundaria recuperada (B2A.1).

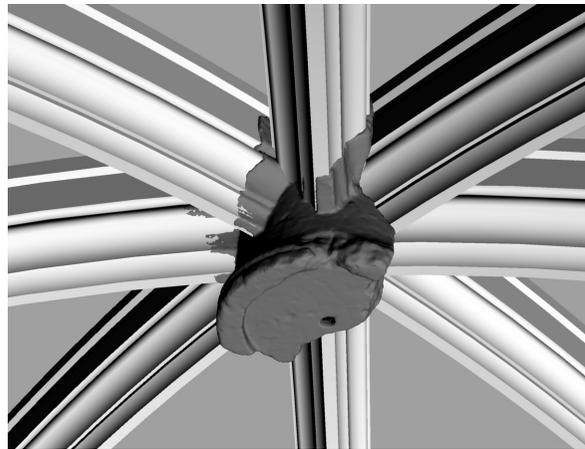


Fig. 8.30. Continuidad de los nervios sobre la clave principal recuperada (B2B.1).



Fig. 8.27. Clave secundaria recuperada en la Vila Vella.



Fig. 8.31. Reconstrucción virtual de las claves. Superposición de las mallas de las claves idealizadas con las claves recuperadas.



Fig. 8.32. Reconstrucción virtual del esqueleto de la bóveda.

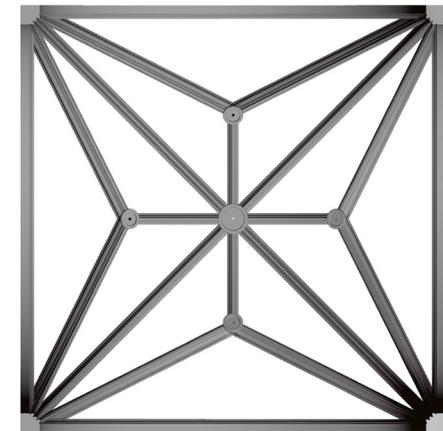


Fig. 8.28. Vista cenital de la reconstrucción virtual de los elementos pétreos de la bóveda.

8.5 La plementería



Fig. 8.33. Dovelas recuperadas de las excavaciones arqueológicas de la Vila Vella de Denia, en donde se aprecia la roza lateral para el encuentro con la plementería de ladrillo.

La bóvedas se cierran con paños de mampostería, sillarejo o ladrillo, su uso dependerá tanto de los medios económicos, tiempos de ejecución y la carga estructural que se le quiera dar a la bóveda. De entre estos materiales destaca el ladrillo el cual proporciona un bajo peso a la bóveda, una rápida y ágil puesta en obra, ya que no requiere de grandes medios auxiliares, ni encofrados completos. Todas estas características hacen que el uso del ladrillo como plemento sea una ventaja económica, al ser más asequible comparándolo con la talla y puesta en obra de una plementería de piedra. El uso del ladrillo no les preocupaba desde el punto de vista estético, ya que estas bóvedas estaban completamente recubiertas con una gruesa capa yeso, a la que se le enriquecía con dibujos geométricos, frescos o el tan conocido azul de fondo con estrellas doradas.

Del análisis de las dovelas se deduce una roza en los laterales de estas, la cual solo puede servir para el apoyo de la plementería, dadas sus escasas dimensiones de 4 cm. de alto y apenas 2 cm. de profundidad, solamente cabe la posibilidad de que encaje en ella un ladrillo, por lo que la bóveda estaba tabicada con ladrillo "tabicado". Otra característica que se ha observado pero esta vez de las claves es la no existencia de estas rozas, y además la escasa altura del trasdós en la clave polar y un recorte del trasdós de ambos nervios de terceletes de la clave secundaria, que en un principio se supuso una ruptura por el paso de tiempo, pero al trazar sobre ella la plementería se ha observado que muy probablemente estaría tallado con la intención de que los plementos pasen por encima de ella, y también de los nervios de la bóveda, formando una casquete esférico continuo que trabajaría solidariamente con los nervios.

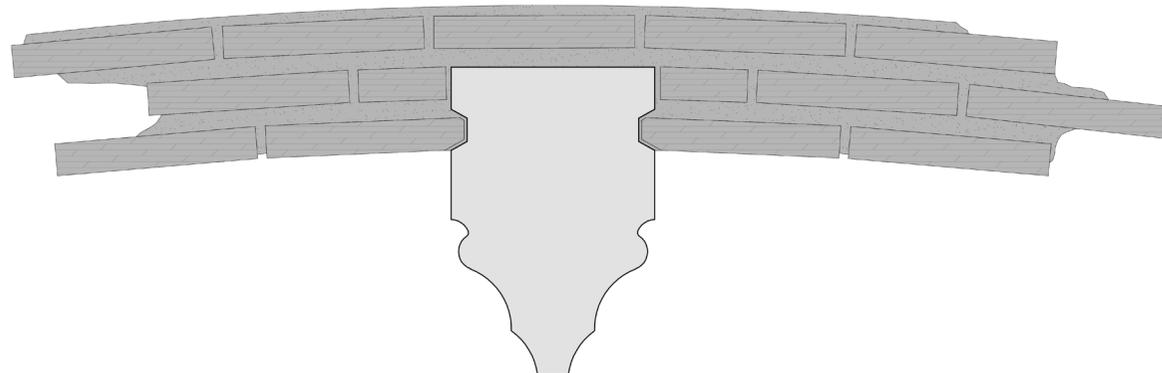


Fig. 8.34. Sección radial del nervio crucero, en la que se manifiesta la posible solución constructiva del encuentro entre el nervio con la tabiquería de ladrillo, en la que esta debería de sobrepasar a las plantillas de los nervios, formando un casquete continuo que solidarice a la construcción.

La disposición de la tabiquería sería por hiladas, comenzando su construcción desde las jarjas y se iría subiendo poco a poco, no requeriría de ningún tipo de encofrado para su colocación ya que cada pieza es prácticamente autoportante a los pocos segundos de su colocación, y la roza previamente labrada en los nervios les iría sirviendo tanto de apoyo como de guía.

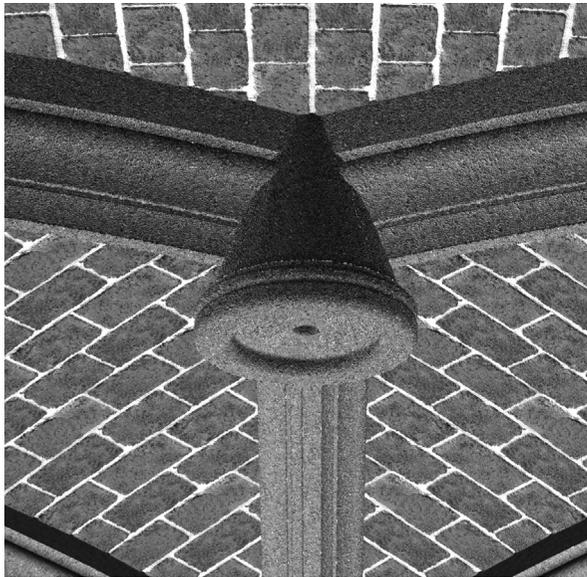


Fig. 8.37. Encuentro de la plementería con la clave secundaria.

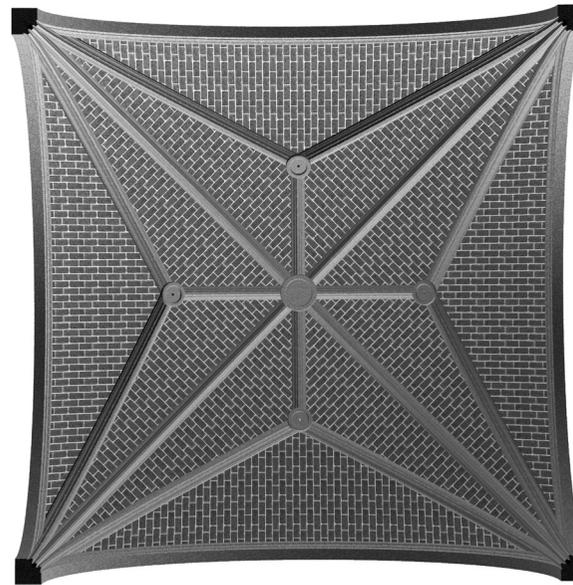


Fig. 8.38. Disposición de la plementería sobre los nervios de la bóveda.



Fig. 8.35. Recreación del proceso constructivo de una bóveda, sobre el trasdós de la cabecera de la iglesia de Santa María Magdalena de Vilafranca del Cid. En donde la plementería forma un casquete que envuelve a los nervios, quedando estos ocultos en su trasdós, asomándose únicamente las claves.



Fig. 8.36. Trasdós de las claves secundarias, asomándose a través de la plementería, en la cabecera de la iglesia de Santa María Magdalena de Vilafranca del Cid.

8.6 Reconstrucción virtual

Como ya se ha dicho, la bóveda estaría enyesada y ornamentada con pinturas, tanto en la plementería como en los nervios, pero al no disponer de ningún registro que describa como era su apariencia, se opta por dejar la bóveda con sus elementos estructurales desnudos.

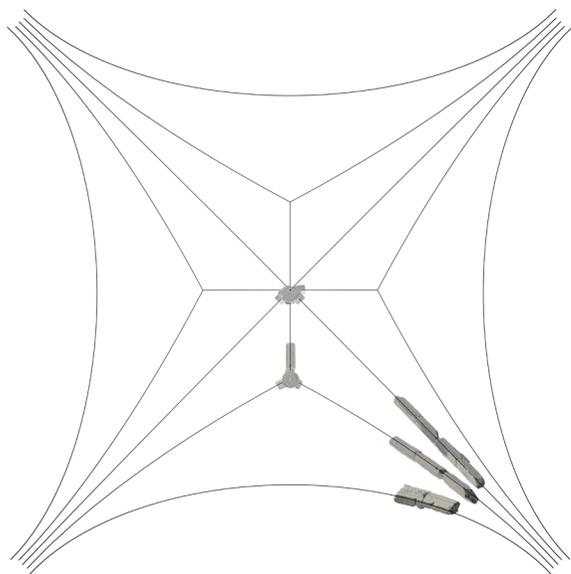


Fig. 8.39. Perspectiva cenital de la anastilosis de las piezas recuperadas.

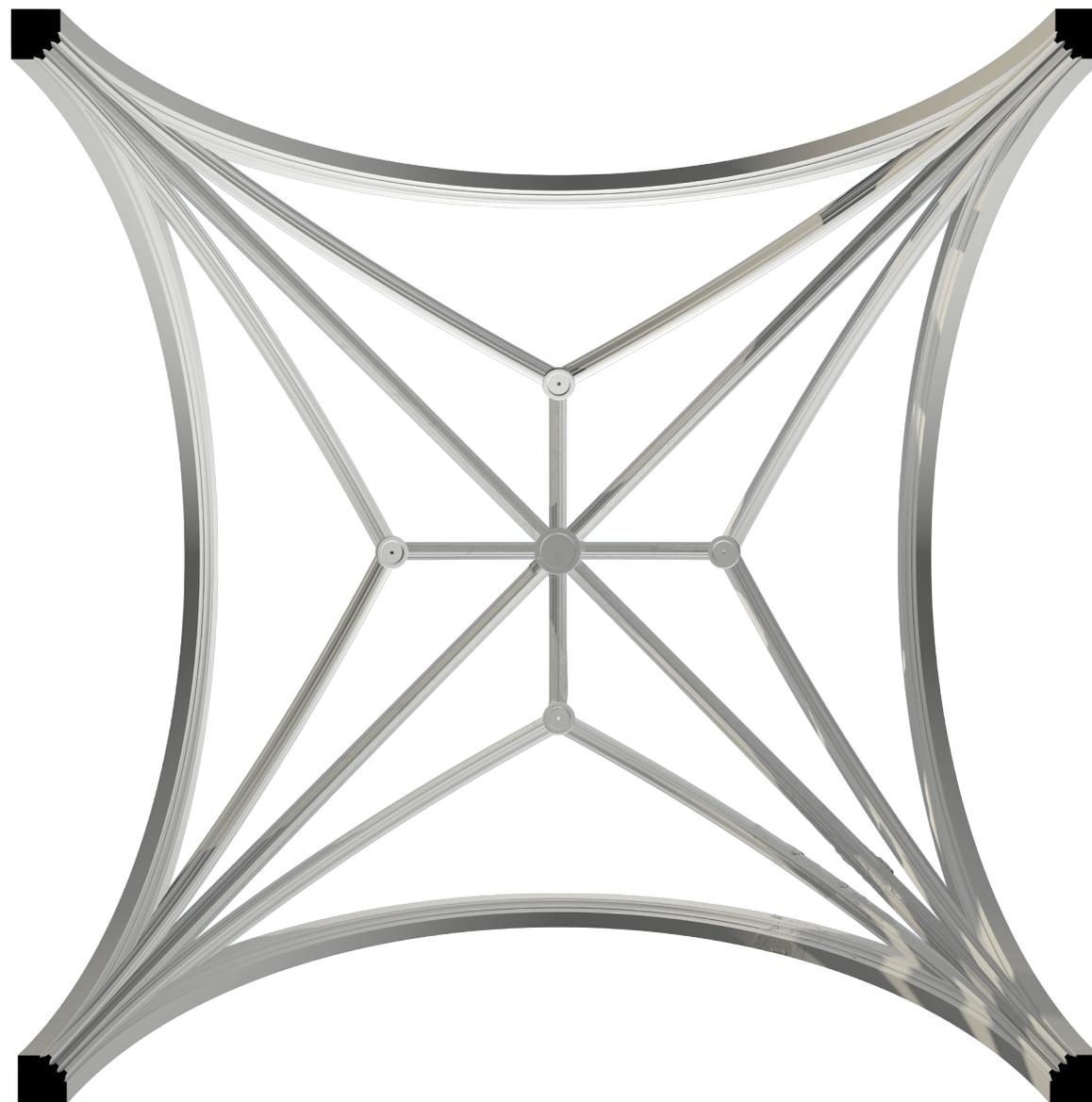


Fig. 8.40. Reconstrucción virtual de los nervios y claves de la bóveda.

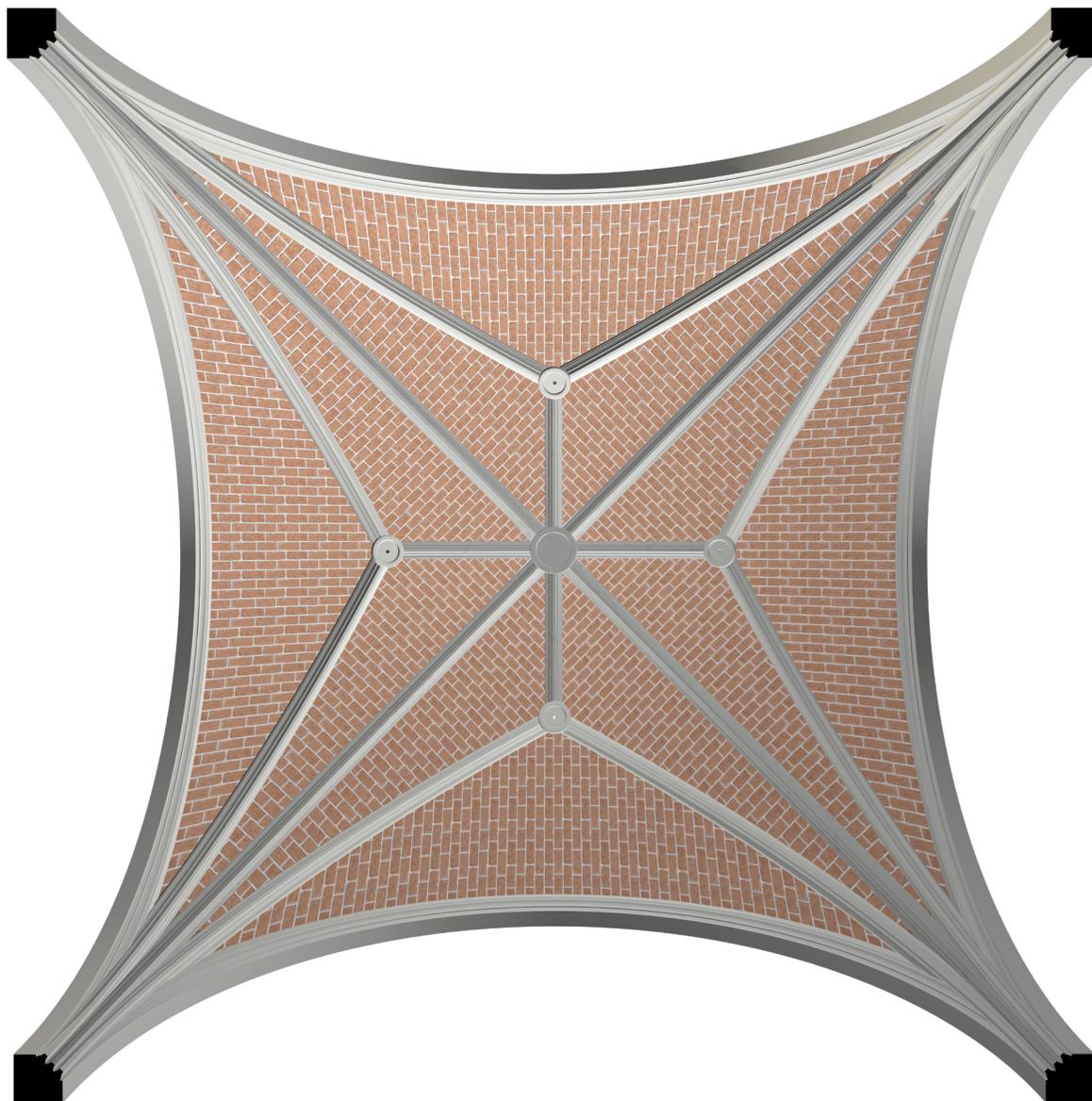


Fig. 8.43. Reconstrucción virtual de la bóveda con su plementería tabicada.

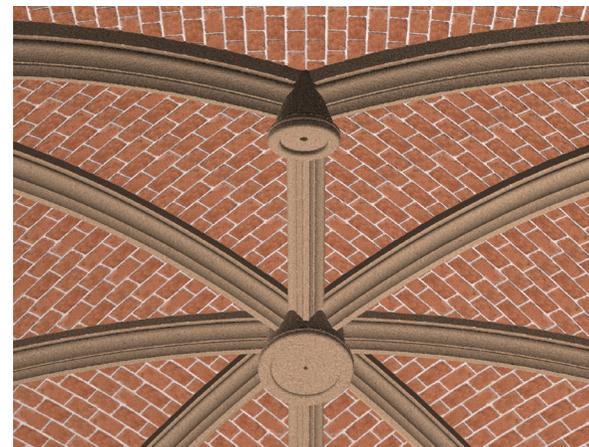
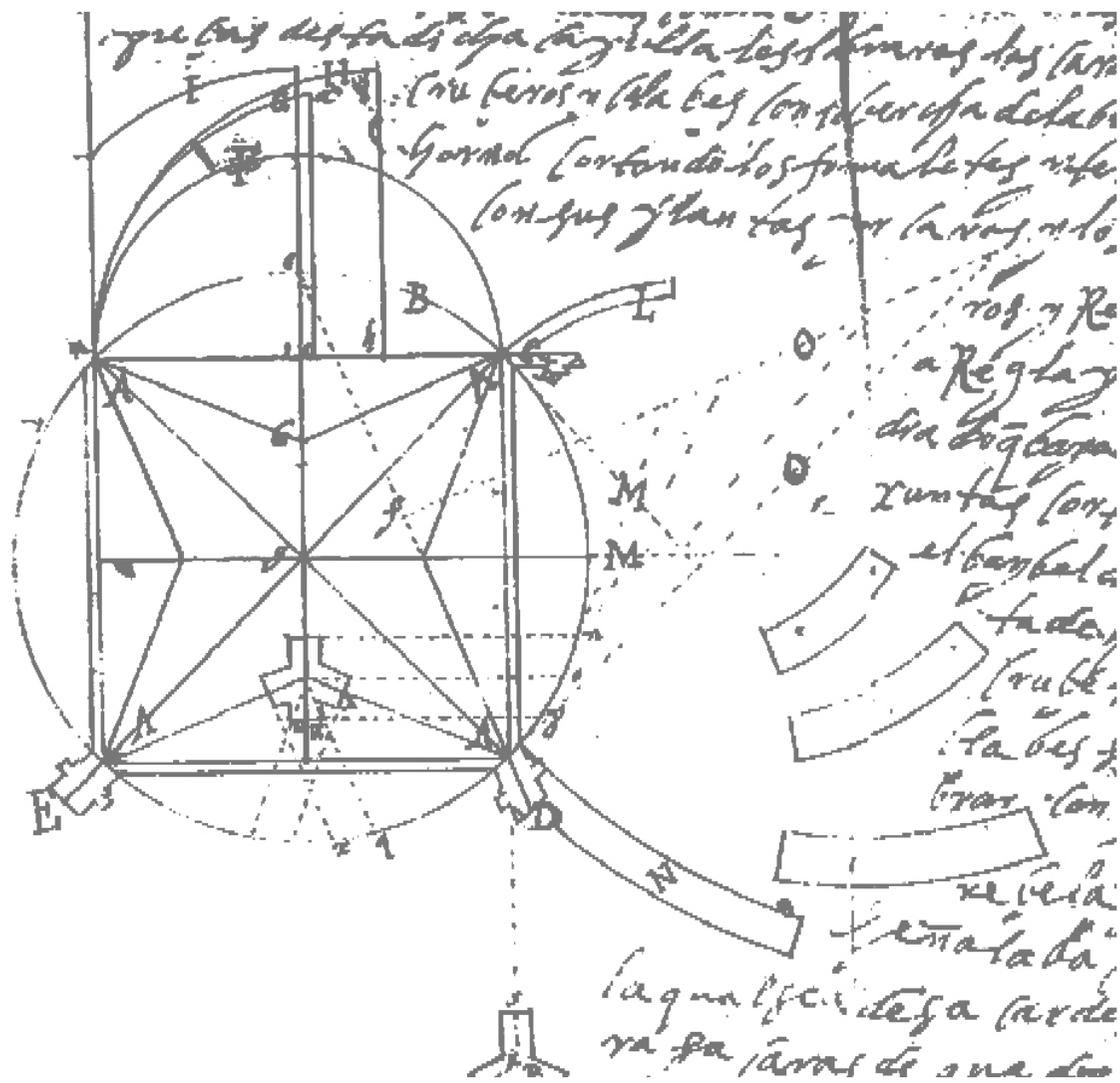


Fig. 8.41. Vista de la bóveda, detalle de los elementos de unión.



Fig. 8.42. Vista de la bóveda, detalle de los elementos de unión.



CAPÍTULO 9.

RELACIÓN DE TIPOS SIMILARES DENTRO DEL ANTIGUO REINO DE VALENCIA

9.1 La bóveda de 5 claves. La tratadística española

La bóveda de cinco claves con terceletes, es una de las soluciones más comunes y a la vez elegantes de diseñar una bóveda estrellada, por su simplicidad y limpieza en el trazado de los nervios. Su construcción se forma a partir de una estrella de 8 puntas la cual puede estar inscrita en un círculo o en un cuadrado, siendo estas dos soluciones las más empleadas por los maestros de la época.

En los tratados españoles, se recoge en cada uno de ellos, un único modo de resolver dicho trazado sin mencionar a los otros, no queriendo decir por ello, que solamente usarán un modo de resolver la bóveda de cinco claves, no obstante, este hecho refleja la importancia o predilección que tenía cada autor en el modo de resolver este tipo de bóveda.

A continuación se hace una relación de los principales tratadistas españoles y el método que reflejaron en sus tratados en la resolución de la bóveda estrellada de cinco clave y terceletes.



Fig. 9.01. Nave de la iglesia de Santa María Magdalena de Vilafranca del Cid.

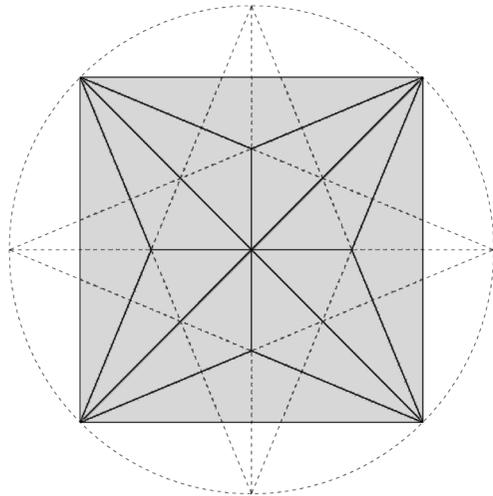


Fig. 9.02. Trazado geométrico con los terceletes inscritos a un círculo.

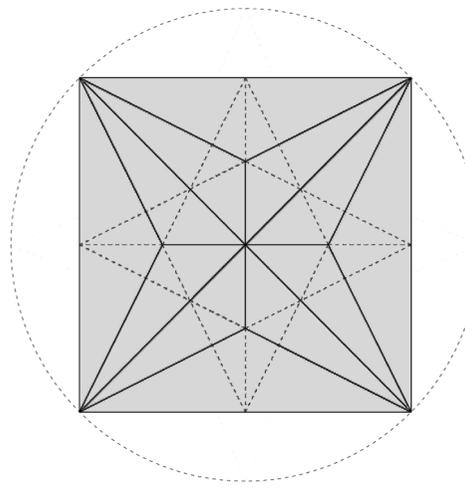


Fig. 9.03. Trazado geométrico con los terceletes inscritos a un cuadrado.

HERNÁN RUIZ EL JOVEN, Libro de arquitectura (c. 1545-1566)

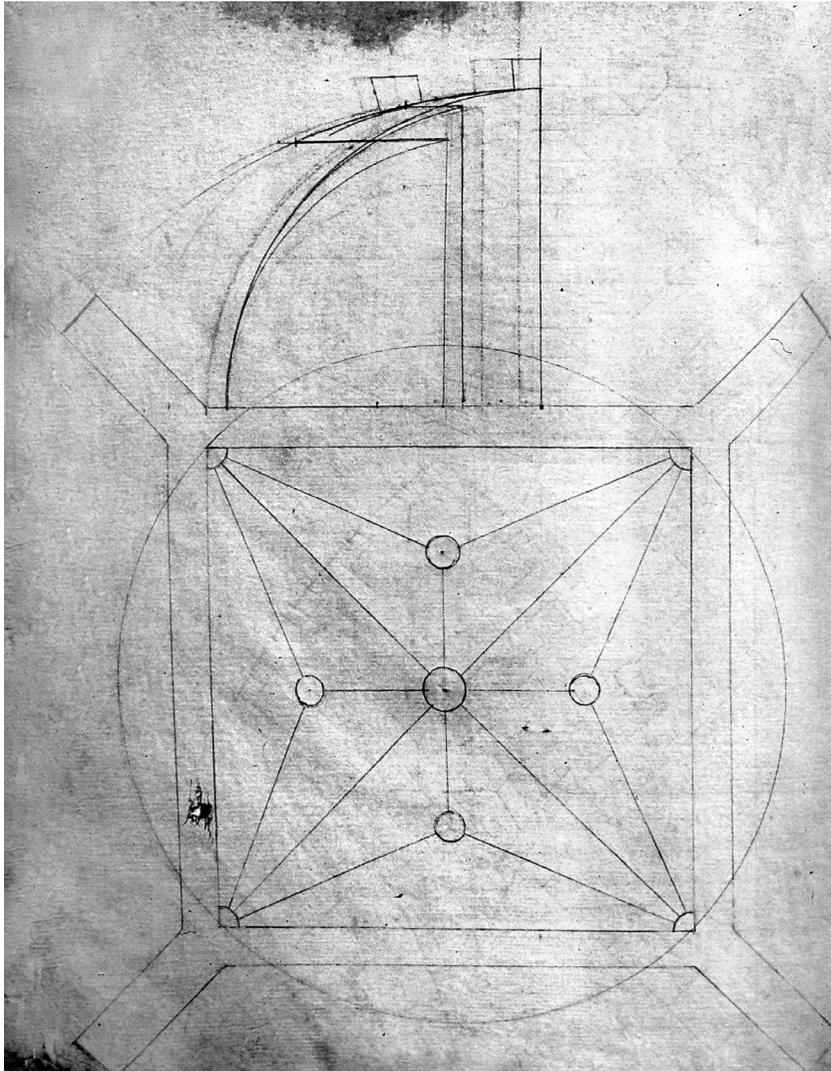


Fig. 9.04. Resolución de la bóveda con terceletes de Hernan Ruiz el Joven.

En la lámina, Hernán Ruiz dibuja una bóveda estrellada de cinco claves, donde sus terceletes se trazan hasta la intersección de las ligaduras con el círculo que circunscribe a la capilla, o como se ha definido anteriormente, una estrella de ocho puntas inscrita en un círculo. Para la construcción de los arcos de cabeza realiza un arrepentimiento trazándolos inicialmente con una montea de medio punto para después borrarla y trazarlos apuntados y así llegar a la altura que le corresponde con el radio de la ligadura que ha dibujado, ya que estos tienen un radio mayor a los cruceros, haciendo una falsa baída. Ubica los dos tipos de claves que tiene la bóveda sacando los ángulos de los lechos y graña el trasdós de las claves horizontal. Las monteas que dibuja son los arcos de cabeza, los arranques los sitúa sobre un capitel y el enjarje nace de este con disposición radial.

ALONSO DE VANDELVIRA, Libro de Traças y cortes de piedra (c. 1575-1591)

Alonso de Vandelvira, aunque no se trata exactamente de una bóveda estrellada de cinco claves su trazado es muy similar e interesante, en primer lugar, prescinde de todas las claves, realizando unos encuentros limpios entre nervios. Para el trazado inscribe a los terceletes al medio del lado opuesto de donde nacen los nervios de la capilla, una estrella de ocho puntas inscrita en un cuadrado. Los arcos de cabeza son de medio punto al igual que el resto de arcos, consiguiendo así una bóveda baída perfecta. Dibuja el espesor de los nervios e indica que estos, arrancan desde los muros, marcando las piezas del enjarje tanto en planta como en alzado. Las montañas trazadas son los radios de cabeza de cada nervio y por último dibuja los tres diferentes tipos de encuentros entre los nervios. Es un dibujo de una sencillez excepcional, el cual proporciona toda la información de la bóveda con unos simples trazos.

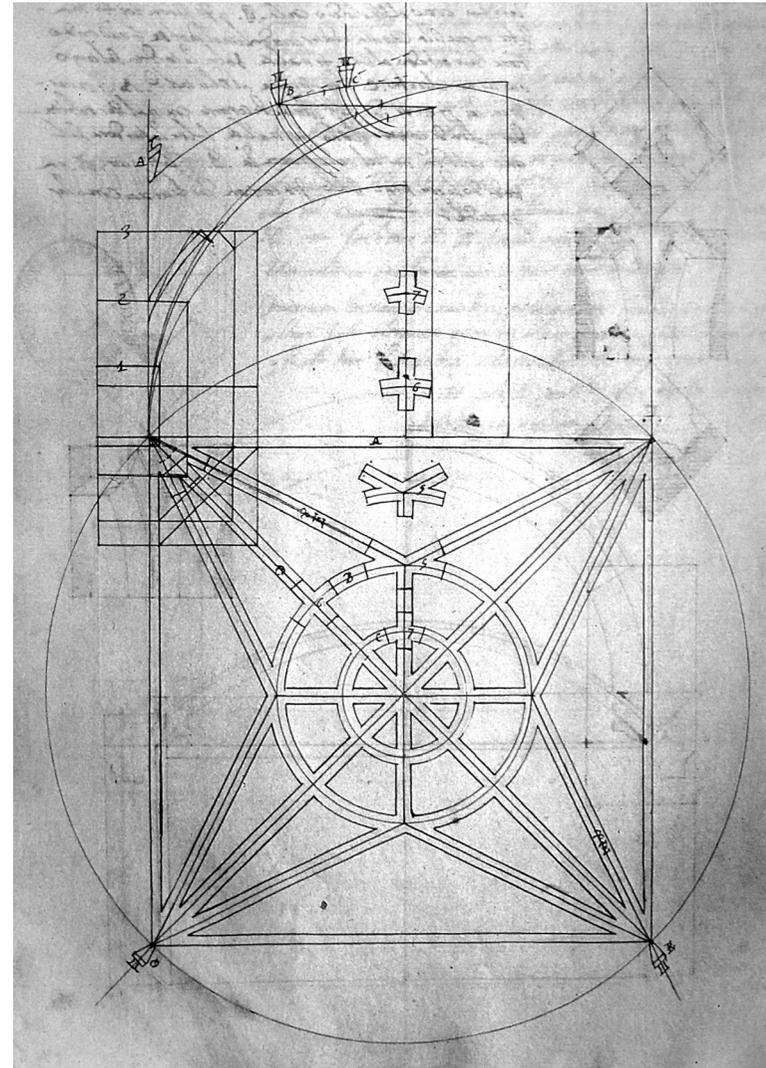


Fig. 9.05. Resolución de la bóveda con terceletes de Alonso de Vandelvira.

ALONSO DE GUARDIA, Apuntes en libro de Ludovico Dolce, (1566 postquem)

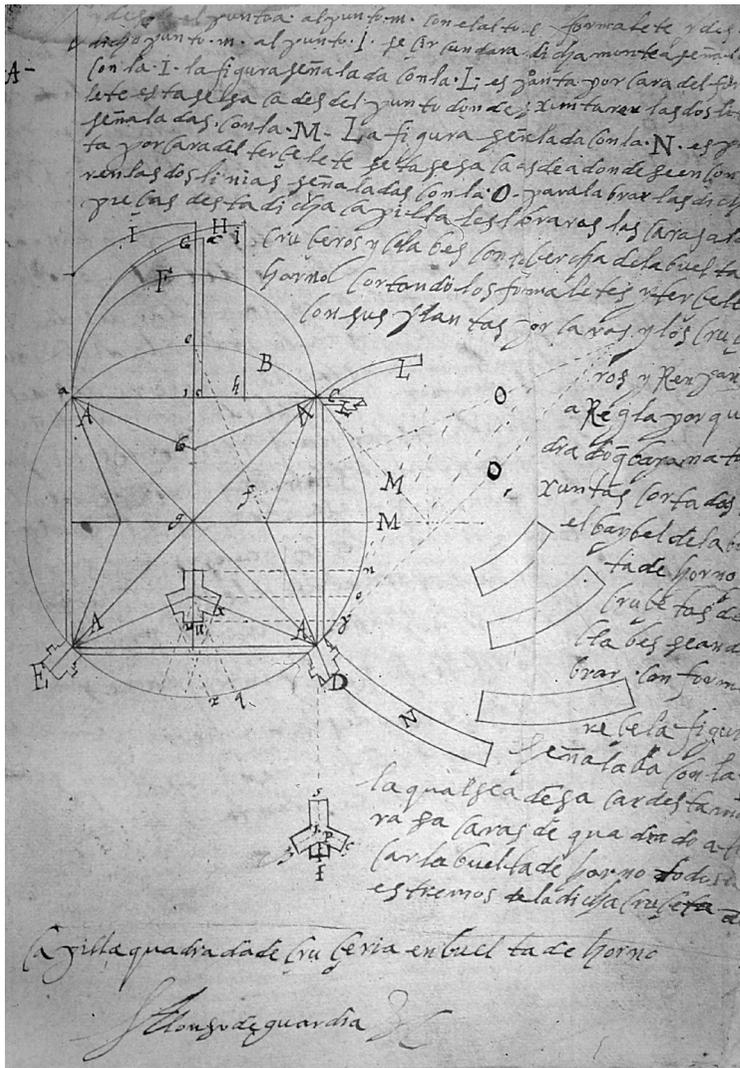


Fig. 9.06. Resolución de la bóveda con terceletes de Alonso de Guardia.

La lámina de Alonso de Guardia, no deja lugar a dudas, incluso nos traza en línea discontinua la prolongación del terceletete hasta la intersección de la ligadura con el círculo que circunscribe a la capilla, resultando la estrella de ocho puntas inscrita en un círculo. Dibuja las monteas de los arcos de cabeza de medio punto y la ligadura del mismo radio que el crucero, plasmando una bóveda baída perfecta en el que las ligaduras mueren en los arcos de cabeza. Al igual que hace Alonso de Vandelvira, prescinde de las claves, realizando encuentros limpios entre los nervios, graffia a los nervios arrancando directamente de los muros sin la necesidad de capitel alguno. Y realiza un despiece de los plementos, calculando sus curvaturas. Deja una anotación en la lámina, no solo de la explicación del trazado, sino además de la técnica de talla de las piezas de terceletes, indicando que estas han de ser talladas mediante su plantilla de intradós³³, para así asegurar la continuidad de los nervios en sus encuentros.

33 RABASA DIAZ, 2000, p.186.

FRAY ANDRES DE SAN MIGUEL, Tratado de arquitectura (c. 1600)

En el dibujo de Fray Andrés de San Miguel, nos plantea una doble solución, en primer lugar y con mayor importancia, una bóveda estrellada de cinco claves y terceletes, para la que traza a los terceletes, hasta la intersección de las ligaduras con el círculo que circunscribe a la capilla, haciendo la estrella de ocho puntas inscrita en un círculo. Y al lado de esta, y en menor importancia nos plantea una solución paralela de la capilla resuelta con una bóveda estrellada de nueve claves de terceletes y contraterceletes, de la que destacaremos el trazado de sus terceletes, los cuales dirige hacia el punto medio opuesto del lado a donde nacen, generando la estrella de ocho puntas inscrita en un cuadrado, una posibilidad de este trazado, sería en que en esta posición los terceletes se encuentran más próximos a la clave polar, dejando más espacio para los nervios contraterceletes, los cuales dirige a la mitad del espacio libre que queda entre la clave de terceletes y los arcos de cabeza. Y en último lugar nos presenta las monteas del primer trazado correspondiendo a arcos de medio punto que generan una bóveda baída perfecta.

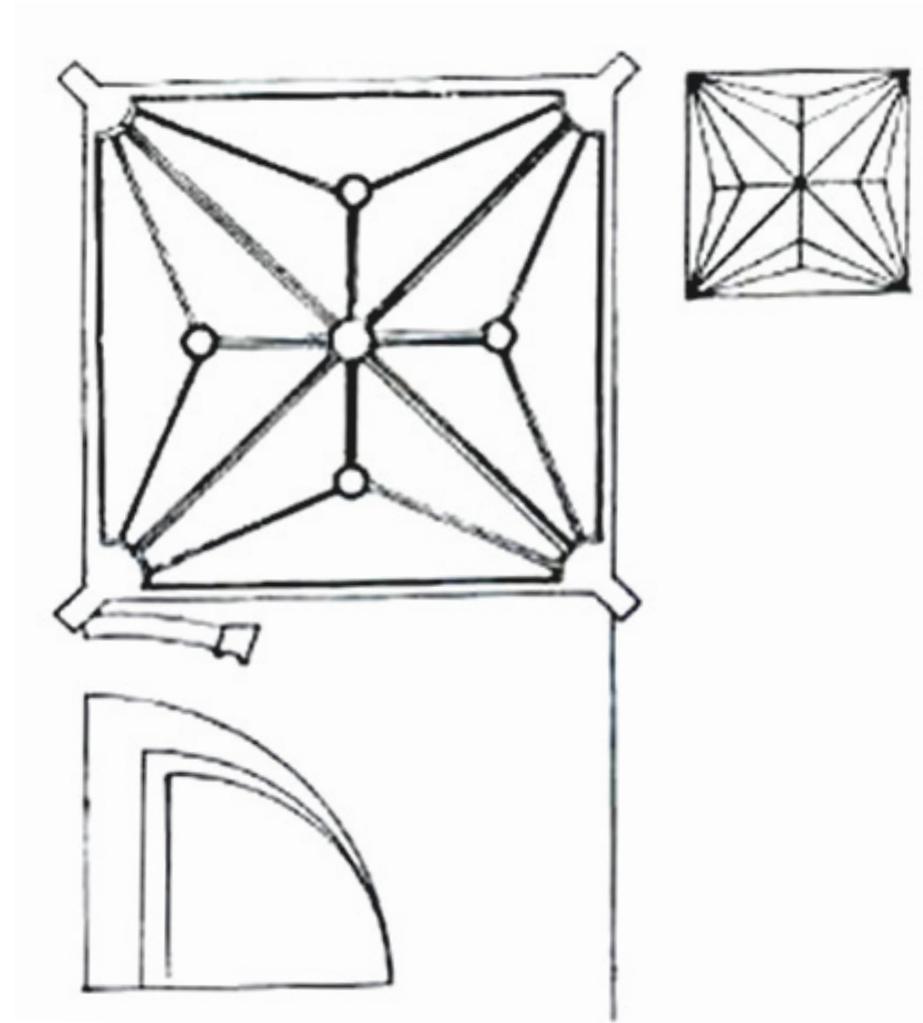
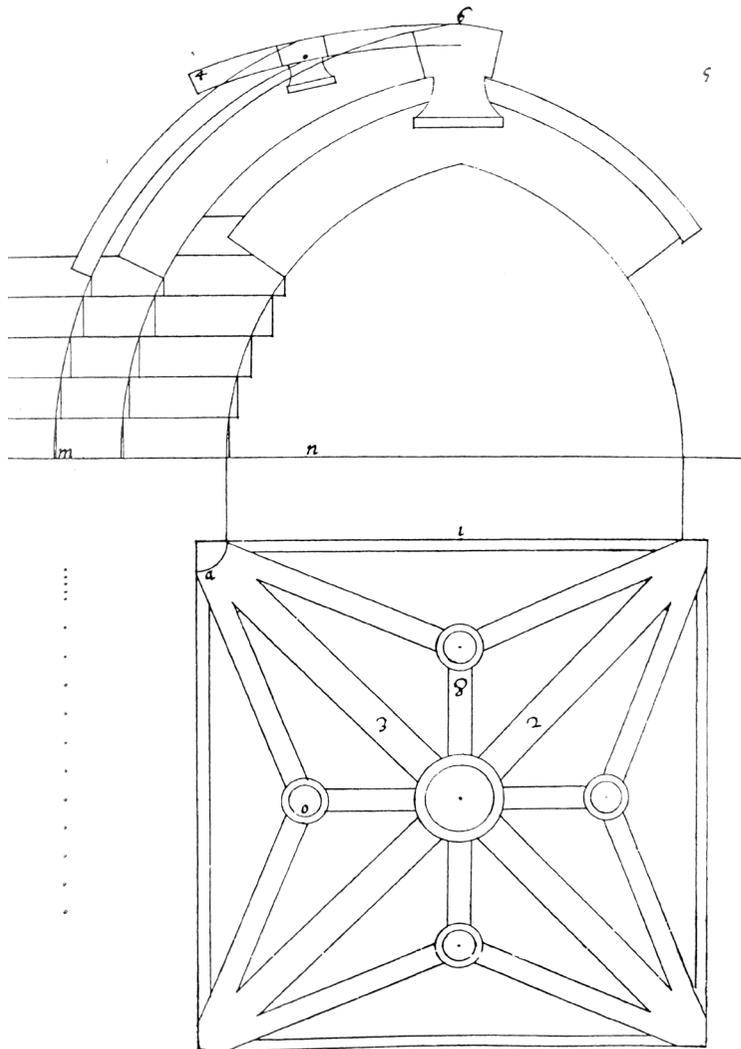


Fig. 9.07. Resolución de la bóveda con terceletes de Fray Andres de San Miguel.

JOSEPH GELABERT. Traçes de l'art de picapedrer (1653)



Gelabert traza una bóveda estrella de cinco claves y terceletes, grafiando el espesor y canto de los nervios. Dirige a los terceletes hacia la intersección de las ligaduras con el círculo que circunscribe a la capilla, formando una estrella de ocho puntas inscrita en un círculo. De su dibujo destaca que a pesar del periodo histórico en el que se encuentra, dibuja un trazado gótico con arcos apuntados, también son de mención las claves en forma de campana, en las que el cuerpo central de la clave secundaria está dirigido hacia el centro de la ligadura, y su trasdós imita la curvatura de la ligadura. Aparece un despiece del enjarje, el cual aparece sin terminar la talla de las piezas para indicar que se labrarán una vez colocadas y así afinar la curvatura de las piezas del enjarje³⁴.

Fig. 9.08. Resolución de la bóveda con terceletes de Joseph Gelabert.

34 RABASA DIAZ, 2000, p.103.

TOMAS VICENTE TOSCA, Compendio matemático (1707)

El padre Tosca, en su compendio matemático nos sorprende con la primera y última bóveda que se estampó en España en la Edad Moderna³⁵, dibuja una bóveda estrellada de cinco claves y terceletes, su trazado sale de la prolonga de los terceletes hasta la intersección de la ligadura con el círculo que circunscribe a la capilla, como nos hace ver en línea de puntos, trazando la estrella de ocho puntas inscrita en un círculo. Todas las montañas de sus arcos son de medio punto, formando una bóveda baída perfecta.

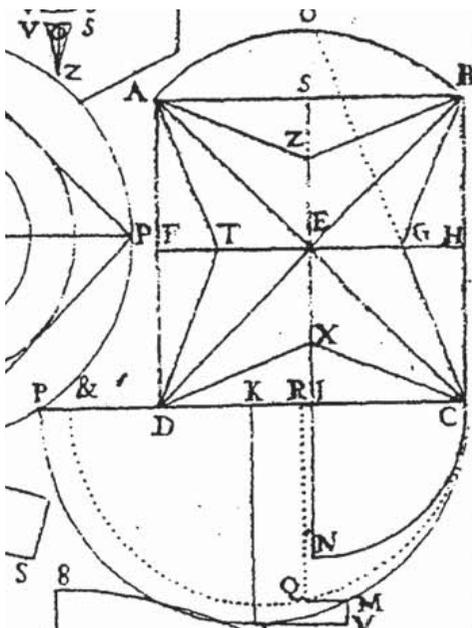


Fig. 9.09. Eftampa 16. Tomo 5 de Tomas Vicente Tosca.

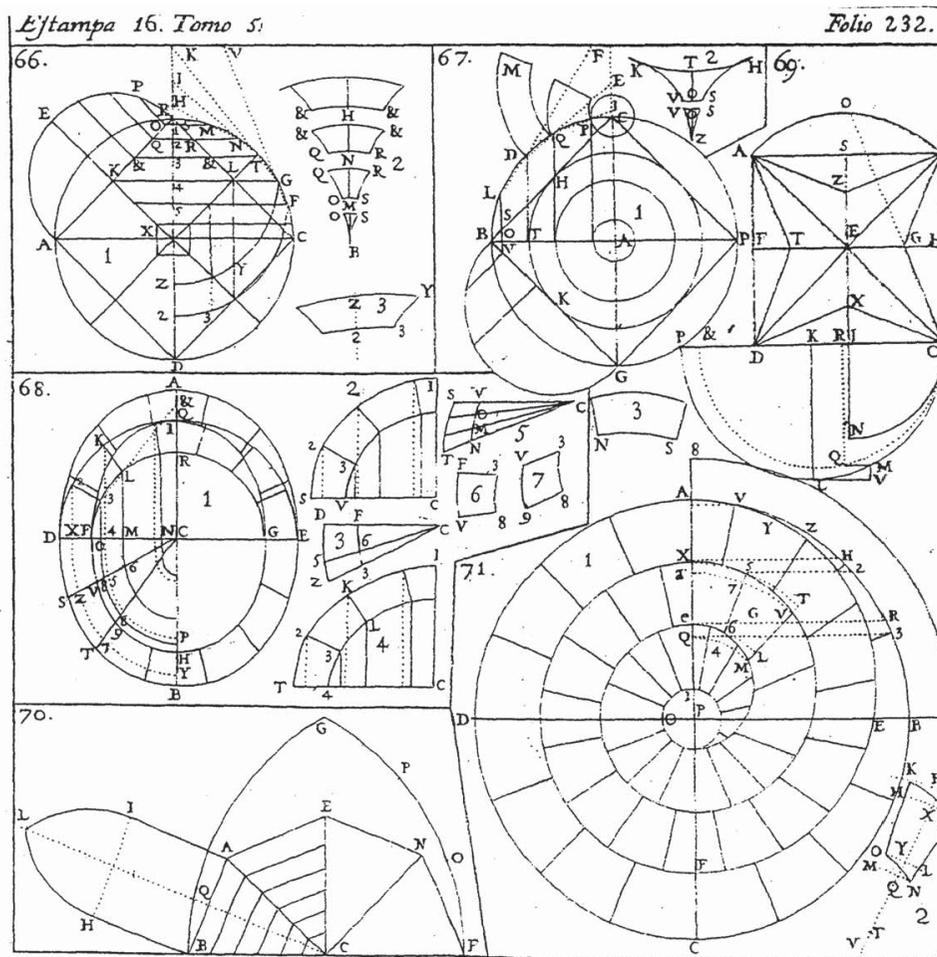


Fig. 9.10. Resolución de la bóveda con terceletes de Tomas Vicente Tosca.

35 NAVARRO FAJARDO, 2006, p.49.

JUAN DE PORTOR Y CASTRO, Varios (1708)

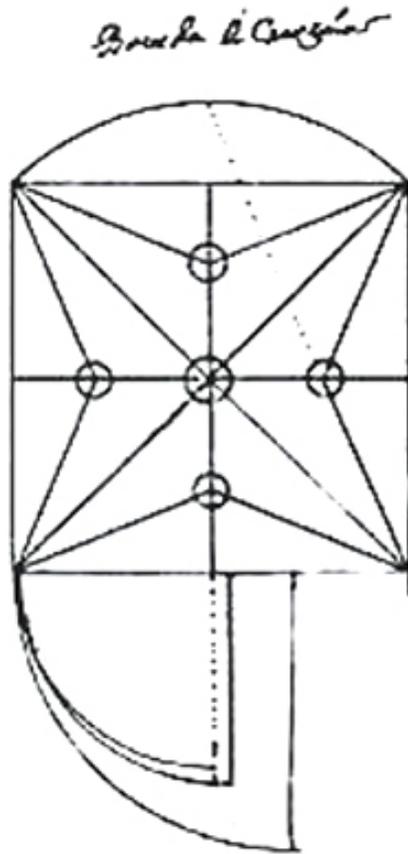


Fig. 9.11. Resolución de la bóveda con terceletes de Juan de Portor y Castro.

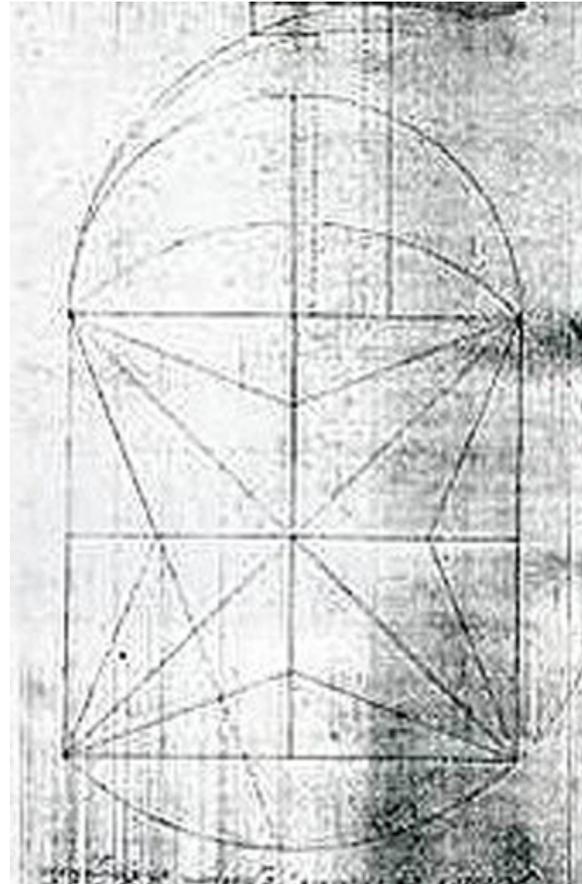


Fig. 9.12. Resolución de la bóveda con terceletes de Andres Julián de Mazarrasa.

El trazado de Portor y Castro, es idéntico al del padre Tosca, bóveda estrellada de cinco claves y terceletes. Prolonga a los terceletes hasta la intersección de la ligadura con el círculo que circunscribe a la capilla, como refleja en línea de puntos, trazando la estrella de ocho puntas inscrita en un círculo. Todas las montañas de sus arcos son de medio punto, formando una bóveda baída perfecta.

ANDRES JULIÁN DE MAZARRASA, Tratado de matemática (1750-1760)

En el trazado de Mazarrasa, dibuja una bóveda estrellada de cinco claves y terceletes, prolonga a los terceletes hasta la intersección de la ligadura con el círculo que circunscribe a la capilla, como nos indica con la línea discontinua, trazando la estrella de ocho puntas inscrita en un círculo. Todas las montañas de sus arcos son de medio punto, formando una bóveda baída perfecta.

9.2 Las bóvedas estrelladas de 5 claves en el Antiguo Reino de Valencia

La primera capilla que se conoce que fue construida en tierras valencianas con bóveda estrellada de terceletes y cinco claves, se encuentra en el lado Evangelio de la iglesia de Santa María del Puig, construida en 1305 sobre otra construcción precedente³⁶. En un principio su empleo solo abarcaba la construcción de pequeñas capillas como un proceso de toma de contacto, hasta que se trasladó su empleo para cubrir grandes superficies como las de las naves principales de las iglesias.



Fig. 9.15. Plano de la península con la ubicación de las bóvedas estrelladas de 5 claves.



Fig. 9.16. Plano del litoral mediterráneo con la ubicación de las bóvedas estrelladas de 5 claves.

Dentro del ámbito de la Comunidad Valenciana, se han buscado todas las bóvedas de cinco claves con rampante curvo, estableciendo la siguiente relación³⁷: en Valencia ciudad tenemos la capilla del lado evangelio de la Catedral de Santa María y la sacristía de la Iglesia del antiguo Convento del Carmen. En otras poblaciones: La capilla de San Antonio del Palau Condal de Cocentaina, la cabecera de la iglesia de San Bartolomé de Jávea, la cabecera de la iglesia del monasterio del Corpus Christi de Lluxent, el primer tramo del refectorio del convento de Santo Domingo de Orihuela, la capilla lado del evangelio de la iglesia del monasterio de Santa María del Puig, la capilla de la Catedral de Segorbe, la nave y coro de la

36 NAVARRO FAJARDO, 2006, p. 75. Véase ZARGOZA, 2000, p. 62.

37 Relación establecida gracias a la Tesis Doctoral de Juan Carlos Navarro Fajardo y del proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO. sumando un total de 57 edificios consultados.



Fig. 9.13. Nave de la iglesia de Vistabella.



Fig. 9.14. Sacristía de la iglesia de Vistabella.



Fig. 9.17. Nave de la iglesia de las Virtudes de Villena.

Iglesia de San Francisco de Torreblanca, la nave de la iglesia de Santa María Magdalena de Villafranca del Cid, la nave de la iglesia de Santa María de Villena, el segundo tramo de la nave y la sacristía de la Iglesia de Santiago de Villena, la nave del Santuario de Nuestra Señora de las Virtudes de Villena y la nave, capilla de cabecera y sacristía de la iglesia de la Asunción de Nuestra Señora del Vistabella del Maestrazgo. Destacar que existen dos modos de resolver los arcos de cabeza: una sería mediante el arco de medio punto como la sacristía de Vistabella, siendo más razonable su uso en el caso de bóvedas baídas y la segunda manera es realizando los arcos, ligeramente apuntados, como por es el caso de la cabecera de Jávea.

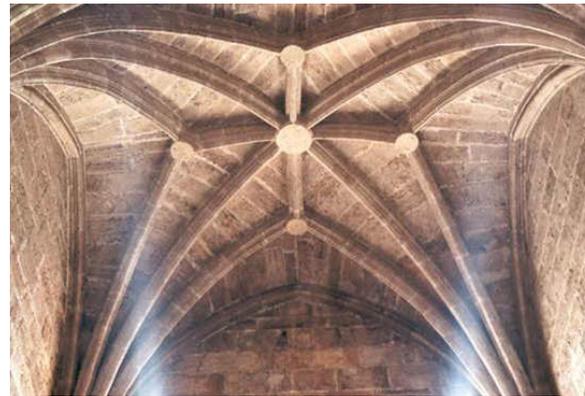


Fig. 9.19. Cabecera de la iglesia de San Bartolome de Javea.



Fig 9.20. Refectorio de Santo Domingo de Orihuela.



Fig. 9.18. Capilla de San Antonio del Palau Condal de Cocentaina.



Fig. 9.21. Sacristía de la iglesia de Santiago de Villena.

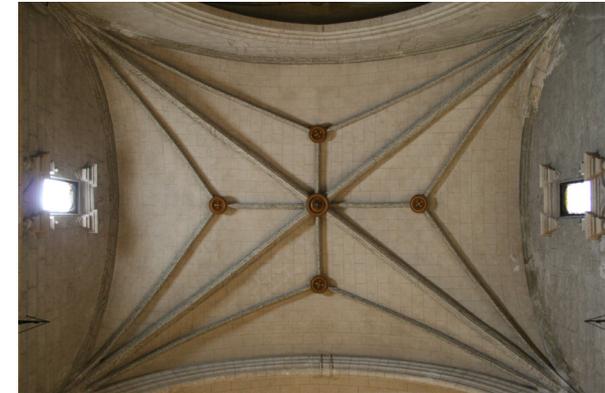


Fig. 9.22. Nave de Santa María de Villena.

9.3 Relación de plantillas similares en el Antiguo Reino de Valencia

Existe un gran número de plantillas para la formación de los nervios. Estas van evolucionando desde las formas más primitivas y toscas hasta las formas más complejas y refinadas, en función del gusto y medios de la época. Inicialmente se diseñaban formas cilíndricas o rectangulares, los cuales podían estar achaflanados. Estas plantillas se van alargando e incorporando elementos, como los baquetones de cabeza o incluso añadiéndolos en sus lados como en el salón columnario de la Lonja, se les añaden elementos de torsión y multiplicación de los boceles y cañas. Llegando ya a una estilización de las plantillas a formas triangulares con la desaparición del baquetón y por último las molduras al romano³⁸.



Fig. 9.26. Plano de la península con la ubicación de los edificios con las mismas plantillas.



Fig. 9.27. Plano del litoral Mediterráneo con la ubicación de los edificios con las mismas plantillas.

Dentro del área de la Comunidad Valenciana, se han buscado construcciones con el mismo tipo de plantillas, encontrándose las siguientes: en Valencia ciudad las encontramos en el acceso al Santo Cáliz de la Catedral de Valencia y en la cabecera y nave de la iglesia del convento del Carmen, en otras poblaciones las encontramos en: la cabecera de la iglesia parroquial de Utiel, la cabecera oculta de la iglesia de Porta Coeli, el monasterio de Santa María de Simat de la Valldigna, en la ermita de Santa Anna y en la ermita de la Virgen del Puig ambas en Xàtiva, la iglesia de Santa María de Ontinyent, la capilla de San Antonio de Cocentaina y la iglesia de Santiago de Villena³⁹. Siendo un tipo de plantilla bastante común dentro del ámbito valenciano, de la que existen multitud de variantes, pero aquí solo se han recogido aquellas con las mismas características.

38 NAVARRO FAJARDO, 2006, pp. 147-164.

39 Relación establecida gracias a la Tesis Doctoral de Juan Carlos Navarro Fajardo y del proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO

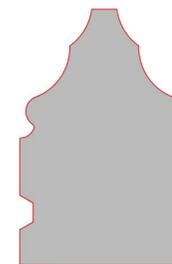


Fig. 9.23. Plantilla de los cruceles.

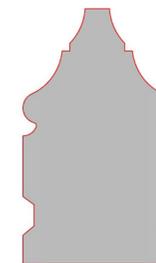


Fig. 9.24. Plantilla de los terceletes y ligaduras.



Fig. 9.25. Plantilla de los arcos de cabeza.

CONCLUSIONES

Gracias al apoyo y uso de las nuevas tecnologías y a los programas de restitución fotogramétrica se pueden realizar a día de hoy complejos levantamientos, en breves periodos de tiempo, en el que se agiliza la toma de datos y se abaratan los costes, consiguiendo un modelo preciso y detallado, con una extensa información del mismo.

Como medios para el levantamiento fotogramétrico es suficiente con una cámara digital, un trípode para impedir el movimiento en las imágenes y un flexómetro para la toma medidas de referencia y poder escalar el objeto restituído. Todos estos elementos suponen un equipaje ligero que puede ser trasladado a cualquier lugar sin mayores complicaciones, convirtiendo la fotogrametría en una herramienta versátil y siempre a tener presente en cualquier levantamiento.

Para el tratamiento de los datos obtenidos mediante técnicas fotogramétricas o escáneres es necesario el uso de programas específicos, siendo recomendables los programas de ingeniería inversa, los cuales permiten explotar toda la información recogida, mientras que con los sistemas y programas tradicionales, no es posible un análisis pormenorizado, dada la alta información que estos modelos contienen. No obstante, aún utilizando los programas adecuados, el tratamiento de estos levantamientos, requieren de un elevado trabajo de ordenador para poder procesar y depurar los datos hasta llegar al modelo final.

La anastilosis y reconstrucción virtual, son técnicas respetuosas con los restos arqueológicos y el entorno, permiten recrear los edificios desaparecidos, sin intervenir en las piezas recuperadas ni dañarlas en el proceso, es completamente reversible, además de poner en valor los restos hallados, siendo un apoyo museístico económico e idóneo que permite visitar virtualmente el yacimiento sin

tener que visitar físicamente el lugar, protegiéndolo de la erosión del público, en el caso que sea necesario, no requieren de grandes mantenimientos y su función didáctica puede ampliarse e ir actualizándose con futuros descubrimientos y nuevas tecnologías.

A pesar de disponer de unos pocos fragmentos de la bóveda original, solo un 7% del total, y de no disponer de ningún registro gráfico o escrito, acerca de la forma y dimensiones que tenía, se ha podido reconstruir virtualmente la bóveda, gracias al estudio y análisis de cada uno de los 12 fragmentos recuperados. El estudio de los ángulos que forman los planos medios de los nervios de la clave polar, junto con los de la clave secundaria, han revelado la forma cuadrada de la capilla y el trazado geométrico empleado por el maestro. El análisis del radio de las dovelas, ha confirmado la tipología de bóveda baída o casquete esférico, con la coincidencia del radio de los cruceros y el de las ligaduras, confirmado a su vez por los radios menores de los terceletes y las formas. Obteniendo así las trazas y monteas de la bóveda, necesarias para su construcción, que junto con el resto de características de las dovelas se han ido deduciendo la altura final de los enjarjes. La posición exacta de determinadas dovelas, así como el tipo de recubrimiento de la bóveda, formado por ladrillos cerámicos, la técnica de corte de la piedra para resolver la intersección de los nervios terceletes en la clave secundaria, produciéndose un encuentro limpio entre los nervios y la clave, sin discontinuidad en las molduras.

El uso de la tipología de bóveda baída, estilo definido como “a lo moderno” en donde el rampante de la bóveda se genera curvo y las plantillas de los nervios formadas por medias cañas y boceles, sin la presencia de baquetones, permiten datar la bóveda entre los siglos XVI y XVII, muy probablemente de principios del XVI, mientras que la construcción de la iglesia es de mediados del siglo XIV, construida como una iglesia de reconquista con arcos diafragma, en donde los tramos de la nave por regla general son rectangulares, mientras que la forma de la bóveda es cuadrada, lo que hace apuntar a que se trataba de una ampliación de la iglesia, siendo una capilla anexa a esta para adecuar a la iglesia al culto de la época o como manifestación del poder y riqueza de la ciudad en el momento de su ejecución.

Se desconoce la autoría de dicha bóveda, no obstante, se podría establecer una relación con los maestros del periodo y las características de la bóveda. El uso de la bóveda de terceletes de 5 claves, se encuentra bastante extendido por toda la comunidad valenciana, encontrándose ejemplos desde Castellón hasta Alicante, y construidas en periodos muy distintos, siendo complicado establecer una

relación de la autoría solo por su tipología de bóveda estrellada con terceletes, mientras que el empleo de las plantillas de los nervios está más centralizado en la provincia de Valencia y regiones fronterizas con el interior de Alicante, existiendo una mayor concentración en los alrededores de Denia. Otros aspectos importantes a destacar, es la talla de la clave secundaria y de los nervios de terceletes, en donde los nervios se han tallado con la labra del intradós, técnica muy compleja que pocos maestros emplearían, así como la forma acampanada del cuerpo central de la clave y el espacio reservado para el adorno de la tortera con la perforación pasante del cuerpo central. Todos estos elementos, son sin duda la firma personal de un grupo de maestros pertenecientes a una escuela específica y de renombre, que irían recorriendo las poblaciones, erigiendo construcciones similares. Como ejemplo relevante de una bóveda de similares características, tenemos la cabecera de la iglesia del monasterio del Corpus Christi de Lluxent del siglo XV, ubicada a pocos kilómetros de Denia.

En la actualidad continúan los trabajos de arqueología dentro de la Vila, aunque ralentizados por el periodo en el que nos encontramos. No obstante, este trabajo ha despertado el interés de los ciudadanos por recuperar parte de su memoria perdida, incentivando nuevos proyectos de arqueología dentro de la Vila y en especial por recuperar los restos de la desaparecida iglesia. Estas nuevas intervenciones, ofrecen la posibilidad de recuperar la forma y dimensiones de la planta de la iglesia, que junto con los numerosos restos de la iglesia que aún existen entre los muros del castillo o permanecen ocultos tras capas de sedimentos, permitirán la completa reconstrucción virtual de la iglesia.

Futuras líneas de investigación

El trabajo de investigación realizado ha supuesto la creación de una metodología aplicable al estudio y catalogación de los restos arqueológicos, dando como fruto la reconstrucción virtual de la bóveda de Vila Vella de Denia.

Siguiendo esta línea metodológica se plantea la posibilidad de continuar con las reconstrucciones virtuales de otras bóvedas y edificios relevantes del Antiguo Reino de Valencia, partiendo nuevamente del análisis de los restos arqueológicos y de los yacimientos, recuperando así una visión de la riqueza de nuestro patrimonio desaparecido.

Se pretende profundizar en las nuevas tecnologías de representación y musealización virtual, las cuales permiten al usuario final interactuar mejor con los restos arqueológicos, proporcionando una nueva visión del edificio y despertando su interés por descubrir el patrimonio perdido.

REFERENCIAS DE LAS IMÁGENES

CAPITULO 2. COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO PHOTOGRAMÉTRICO

Fig. 2.01. Referenciado de puntos homólogos en Photomodeler Scanner. Ábside de la catedral de Orihuela. Proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO.

Fig. 2.02. Referenciado de puntos homólogos en Photomodeler Scanner. Claustro del convento de Santo Domingo de Llombai. Proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO.

Fig. 2.03 Referenciado de puntos homólogos en Photomodeler Scanner. Primer piso de la torre de la Lonja, la cárcel de los comerciantes. Proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO.

Fig. 2.11. Imágenes obtenidas del tutorial de calibración facilitado por la página web de photomodeler. <http://www.photomodeler.com>.

CAPITULO 3. HISTORIA

Fig. 3.01. Imagen de Estrabon. Imagen obtenida de Potraits from the Dibner Library of the History and Science of Technology. <http://web.archive.org/web/20040823173700/http://www.sil.si.edu/digitalcollections/hst/scientific-identity/fullsize/SIL14-S006-12a.jpg>. (Enero 2013).

Fig. 3.02. Representación de la geografía de la península Iberica según Strábon. <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Iberia-Strabon-es.png>. (Enero 2013).

Fig. 3.03. Busto de Quinto Sertorio. http://www.mediahex.com/Quintus_Sertorius. (Enero 2013).

Fig. 3.04. Escultura de diosa Diana en el Museo del Louvre, Paris. [es.wikipedia.org/wiki/Diana_\(mitología\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Diana_(mitología)), fotografía de Marie-Lan Nguyen. (Enero de 2013).

Fig. 3.05. Vista meridional de la ciudad de Denia, Juan Fernando Palomino, lamina 9 del tomo IX del "Atlante Español descripción general de España" Madrid 1786. Biblioteca General Hispánica. [Bdh.bne.es/bnearch/detalle/102486](http://bdh.bne.es/bnearch/detalle/102486). (Enero 2013).

Fig. 3.06. Planta del recinto de la Vila Vella de Denia y del castillo de la misma en la forma antigua y nueva que se propone. Vespasiano Gonzaga. 1575. Archivo General de Simancas. Signatura: MPD,19,002. Ubicación anterior: GYM,00079,102.

Fig. 3.07. Puerto de Denia, de Francisco Antonio Cassaus. 1697. GISBERT SANTONJA, 2006, p.66.

Fig. 3.08. Plano del Castillo de Denia. Sebastián Caballero 1715. Archivo General de Simancas MPD,26,110. Ubicación anterior: SGU, 03475.

Fig. 3.09 y 3.10. Plano de la Plaza de Denia con las Baterías para su ataque. Pedro de Girat de Chaves. Benicarlo a 2 de diciembre de 1813. Sig P-m-11-53- hoja21ª. Archivo del Ministerio de Defensa.

Fig. 3.11. Plano de la Ciudad y Castillo de Denia / levantado geoméricamente en Junio de 1811 por el Capitan de Yngenieros Dn. Thomás María de Aguirre, y el Ayudante 1 de la Ynspección Gral. De Caminos del Reyno Dn. Antonio Bolano. Cartoteca del Centro Geográfico del Ejército. Colección: SG. Signatura: Ar.G-T.3-C.4-342.

Fig. 3.12. Plano Geométrico de la Ciudad y Castillo de Denia donde se manifiesta el proyecto de nueva fortificación, Thomás María de Aguirre y Antonio Bolano. 1811?. Cartoteca del Centro Geográfico del Ejército. Colección: SG. Ar.G-T.3-C.4-343.

Fig. 3.13. Fotografía aérea de la ladera norte del castillo, <http://enriquemontalar.com/mecanica-de-rocas-y-restauracion-el-recalce-de-la-torre-norte-del-castillo-de-denia/>, junio 2013.

Fig. 3.14. Litografía de la ciudad de Denia, antes del derribo de las murallas 1879. Litografía de Sanchis, con dibujo de Domingo Llorens Cervera. CHABAS, R., 1874. Lamina 1ª.

Fig. 3.15. Plano del Castillo con los principales itinerarios. GISBERT SANTONJA, J. A.: *El Castell de Dénia. Un proceso de abandono y de recuperación, Monumenta*, junio 2008. p. 2.

Fig. 3.16, 3.17 y 3.18. Plano en perspectiva de la plaza de Denia y de sus alrededores. Vespasiano Gonzalga 1575. Archivo General de Simancas. Signatura: MPD, 07, 120. Ubicación anterior: GYM, 00079, 102.

Fig. 3.19, 3.20 y 3.33 L'Expulsió al port de Dènia. Embarc de moriscos en el Grao de Dènia, Por Vicente Mestre 1613. Fundación Bancaja de Valencia. [Es.wikipedia.org/wiki/Expulsi3n_de_los_moriscos](http://es.wikipedia.org/wiki/Expulsi3n_de_los_moriscos). (Enero 2013).

Fig. 3.20, 3.21 y 3.22. Plan de la ville et chasteau de DENIA dans le Royaume de Valence en ESPAGNE. Atlas Massé. GISBERT SANTONJA, 2006, p.63.

Fig. 3.24, 3.25, 3.26 y 3.34. Plan de Denia avec son attaque á la base ville. 1708. Cartoteca del

Archivo General Militar de Madrid. Colección: SH. Signatura: A-1/9. Signatura anterior: B-2-23.
Signatura anterior: O-m-13-21. Signatura anterior: 2567.

Fig. 3.27, 3.28, 3.29, 3.30 y 3.32. Plano de la Ciudad y Castillo de Denia / levantado geoméricamente en Junio de 1811 por el Capitan de Yngenieros Dn. Thomás María de Aguirre, y el Ayudante 1 de la Ynspección Gral. De Caminos del Reyno Dn. Antonio Bolano. Cartoteca del Centro Geográfico del Ejército. Colección: SG. Signatura: Ar.G-T.3-C.4-342.

CAPITULO 4. TOMA DE DATOS Y RESTITUCIÓN DE LAS PIEZAS

Fig. 4.03. Vista aérea del castillo de Denia. Imagen obtenida de www.geonet.es/callejero/callejero.aspx?municipioINE=03-063. 2012.

Fig. 4.09. Ruta marítima desde “La Cova Tallada” a Denia. Imagen obtenida de Google Earth. 2013.

Fig. 4.10. Topografía de “La Cova Tallada”. Imagen obtenida del Catálogo de Cavidades de la Provincia de Alicante. www.cuevasalicante.com. 2012.

Fig. 4.13. Interior de “La Cova Tallada”. Imagen obtenida de <http://alcalali.blogspot.com.es/2011/05/cova-tallada.html>. 2013.

Fig. 4.14. Inscripción en el interior de “La Cova Tallada”. Imagen obtenida de <http://lascavernas.blogspot.com.es/2011/05/la-cova-tallada.html>. 2013.

CAPITULO 6. HIPÓTESIS SOBRE EL TRAZADO DE LA BÓVEDA

Fig. 6.02. Cabecera del monasterio del Corpus Christi de Lluxent. Navarro Fajardo, Juan Carlos, Bóvedas de la arquitectura gótica valenciana, Publicacions de la Universitat de Valencia, 2006, p. 75.

Fig. 6.03. Capilla del Salvador, claustro de la Catedral de Segorbe. *Ibi*, p. 77.

Fig. 6.04. Nave de la iglesia de Santa María de Onteniente. *Ibi*, p. 114.

Fig. 6.05. Bóveda de 5 claves y terceletes o *Capilla cuadrada de crucería en vuelta de horno*. Alonso de Guardia, *Manuscrito de arquitectura y cantería*, c. 1600. Biblioteca Nacional, Madrid, ER 4.196, f. 85 b.

Fig. 6.12. Claves de la sala capitular del Real Monasterio de Santa María de la valldigna, Simat de la Valldigna. Navarro Fajardo, Juan Carlos, *Bóvedas de la arquitectura gótica valenciana*, Publicacions de la Universitat de Valencia, 2006, P. 209.

Fig. 6.13. Bóveda de Terceletes. Alonso de Vandelvira, *Libro de trazas de cortes de piedras*, Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de Madrid, Lamina. 96v.

Fig. 6.14. Bóveda de terceletes. Hernán Ruiz, *Libro de Arquitectura*, Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de Madrid, f. 46v.

CAPITULO 7. ANASTILOSIS DE LAS PIEZAS Y MONTEAS

Fig. 7.17. Arranque del claustro del convento de la Trinidad. Fotografía de Juan Carlos Navarro Fajardo.

Fig. 7.18. Arranque de la nave de la ermita de Santa Anna de Xàtiva. Navarro Fajardo, Juan Carlos, *Bóvedas de la arquitectura gótica valenciana*, Publicacions de la Universitat de Valencia, 2006, p. 135.

Fig. 7.19. Arranque del refectorio del convento de Santo Domingo de Orihuela. Proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO.

CAPITULO 8. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA BÓVEDA

Fig. 8.01. Miniatura de Fouquet (Siglo XV) “La construcción del templo de Jerusalem” Imagen obtenida www.artifeixbalear.org/canteros.html. Fecha consulta 2013.

Fig. 8.02. Enjarje de una bóveda de crucería, E.E. Viollet-le-Duc, *Dictionnaire raisonné du mobilier français de l'époque Carolingienne à la Renaissance* (1858-75).

- Fig. 8.03.** Diseño de un enjarje, A. Rovira, Estereotomía de la Piedra (1899).
- Fig. 8.04.** Trazas en los lechos de un enjarje, R. Willis, On the construction of the vaults of the Middle Ages (1910).
- Fig. 8.06.** “Tas de charge” FITCHEN, J. 1981. The construction of Gothic Cathedrals: A Study of Medieval Vault Erection, Chicago: The University of Chicago Press.
- Fig. 8.07.** Sacristía de la iglesia de la Asunción de Nuestra Señora del Vistabella del Maestrazgo. Proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO.
- Fig. 8.09.** Marcas y labra de un sillar de enjarje. E. Rabasa Díaz, Forma y construcción en piedra (2000).
- Fig. 8.10.** Alargamiento del enjarje. J. Gelabert, De l'art del Picapedrer (1653).
- Fig. 8.13.** Analogía de los dedos de la mano comparándolos con los diferentes tipos de nervios en una bóveda, Rodrigo Gil de Hontañón, (García 1681. Ms Biblioteca Nacional). Imagen extraída de: HUERTA, S. 2004, P.219.
- Fig. 8.21.** Resolución de los encuentros de los nervios. FITCHEN, J. 1981. The construction of Gothic Cathedrals: A Study of Medieval Vault Erection, Chicago: The University of Chicago Press.
- Fig. 8.23.** Crucería de terceletes del manuscrito de Hernán Ruiz. RABASA DÍAZ, 2000, p. 124.
- Fig. 8.24.** “Capella de 5 claus quadrade”, Joseph Gelabert de l'Art del Picapedrer. RABASA DÍAZ, 2000, p. 191.
- Fig. 8.25.** Proceso de labra de una clave. RABASA DÍAZ, 2000, p. 115.
- Fig. 8.35. y 8.36.** Trasdós de la cabecera de de la iglesia de Santa María Magdalena de Villafranca del Cid. Proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO.

CAPITULO 9. BÓVEDAS DE 5 CLAVES. CASOS SIMILARES

Fig. 9.1. Nave de la iglesia de Santa María Magdalena de Villafranca del Cid. Proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO

Fig. 9.4. Bóveda estrellada de cinco claves y terceletes. Hernán Ruiz, *Libro de Arquitectura, Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de Madrid, f. 46v.*

Fig. 9.5. Bóveda de terceletes. Alonso de Vandelvira, Libro de trazas de cortes de piedras, Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de Madrid, Lamina. 96v.

Fig. 9.6. Bóveda de terceletes o *Capilla cuadrada de crucería en vuelta de horno*. Alonso de Guardia, *Manuscrito de arquitectura y cantería, c. 1600*. Biblioteca Nacional, Madrid, ER 4.196, f. 85 b.

Fig. 9.7. fray Andrés de San Miguel, tratado de arquitectura (c. 1600). Imagen facilitada por Juan Carlos Navarro Fajardo.

Fig. 9.8. “Capella de 5 claus quadrate” (fol. 130), J. Gelabert, De l’art del Picapedrer.

Fig. 9.9 y 9.10. Bóveda de terceletes. Tomas Vicente Tosca, fig.69 Eftampa 16. Tomo 5.

Fig. 9.11. Juan de Portor y Castro, varios (1708). Imagen facilitada por Juan Carlos Navarro Fajardo.

Fig. 9.12. Andrés Julián de Mazarrasa, tratado de matemática (1750-1760). Imagen facilitada por Juan Carlos Navarro Fajardo.

Fig. 9.13. Nave de la iglesia de la Asunción de Nuestra Señora del Vistabella del Maestrazgo. Proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO.

Fig. 9.14. Sacristía de la iglesia de la Asunción de Nuestra Señora del Vistabella del Maestrazgo. Proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO.

Fig. 9.15. Imagen obtenida a partir de <https://maps.google.es>

Fig. 9.16. Imagen obtenida a partir de <https://maps.google.es>

Fig. 9.17. Nave del Santuario de Nuestra Señora de las Virtudes de Villena. Imagen obtenida de <http://www.panoramio.com/photo/84697593?tag=Villena>.

Fig. 9.18. Capilla de San Antonio del Palau Condal de Cocentaina. Proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO.

Fig. 9.19. Cabecera de la iglesia de San Bartolomé de Jávea. Navarro Fajardo, Juan Carlos, Bóvedas de la arquitectura gótica valenciana, Publicacions de la Universitat de Valencia, 2006, p. 102.

Fig. 9.20. Refectorio del convento de Santo Domingo de Orihuela. Proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO

Fig. 9.21. Sacristía de la Iglesia de Santiago de Villena. Proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO

Fig. 9.22. Nave de la Iglesia de Santa María de Villena. Proyecto I+D+i HAR2009-13684 TRAZAS Y MONTEAS DE LA ARQUITECTURA. BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO VALENCIANO

Fig. 9.26. Imagen obtenida a partir de <https://maps.google.es>

Fig. 9.27. Imagen obtenida a partir de <https://maps.google.es>

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO RODRÍGUEZ, M. A., CALVO LOPEZ, J. (2007) "Una clave de bóveda de la iglesia de Santa Catalina de Valencia", Biblioteca Digital del proyecto europeo GothicMed, en el marco del programa Cultura 2000. www.gothicmed.com.
- BÉRCHEZ GÓMEZ, J. (1994) *Arquitectura renacentista valenciana (1500-1570)*, Ed. Bancaja, Valencia.
- CALVO PUIG, J. (2006) *Documentos para la Historia de Denia en el Siglo XIX: Descripciones, Política y Demografía*, Edición propia Imprenta Miranet Digital, Oliva.
- CAMÓN AZNAR, J. (1940) "La intervención de Rodrigo Gil de Hontañón en el manuscrito de Simón García", en *Archivo Español de Arte*, v. XIV. nº 45, pp. 300-305.
- CAPILLA TAMBORERO, E. (inédito) "El levantamiento arquitectónico como instrumento de documentación, representación e investigación en espacios desaparecidos. La bóveda de la sala capitular del monasterio de Santa María de la Valldigna (Valencia)", Tesina Final de Máster en conservación del Patrimonio Arquitectónico UPV curso 2007.
- CHABAS, R. (1874) *Historia de la Ciudad de Denia. Tomo 1*, Imprenta y librería de Pedro Botella, Denia .
- CHUECA, F. (1951) *La Catedral nueva de Salamanca*, Universidad de Salamanca, Salamanca.
- CUELI LOPEZ, J. T. (2011) *Fotogrametría practica. Tutorial Photomodeler*, Ediciones Tantín, Torrelavega.
- DENEUX, H. (1944) "De la construcción en tas de charge", en *Bulletin Monumental*. n. 102, pp. 241-256.
- DENG, G. (1999) "Practical Testing and Evaluating of the EOS PhotoModeler®, an OfftheShelf Digital Close Range Photogrammetric Software Package", en *Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report*, n. 201, University of New Brunswick.
- DOCCI, M., MAESTRI, D. (1994) *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Laterza, Bari.
- FALOMIR FAUS, M. (1996) *Arte en Valencia, 1472-1522*, Generalitat Valenciana, Valencia.
- FANTINI, F. (inédito) *Il modello di stadio da Villa Adriana. Indagine su un progetto incompiuto*. Tesis doctoral, Università degli Studi di Firenze, 2008.
- FERNÁNDEZ, J., (1996) "Geometría y función estructural en la cantería. La Cantería y la estereotomía de la piedra en el aprendizaje del arte de construir y otras consideraciones", en *Actas del Primer Congreso nacional de historia de la construcción* (Madrid, 19-21 sep. 1996), Ed. Instituto Juan Herrera, Madrid.
- GAIANI, M. (coord.) (2005) *La rappresentazione riconfigurata*, edizioni Poli.design, Milano.

- GARIN ORTIZ DE TARANCO, F.M., (1986) *Catálogo monumental de la provincia de Valencia*, Caja de Ahorros de Valencia, Valencia.
- GARIN ORTIZ DE TARANCO, F.M (1969), "Vinculaciones universales del Gótico valenciano" (*Lección inaugural curso 1969-70*), en *Anales de la Universidad de Valencia*, XLIV, Universidad de Valencia, Valencia.
- GELABERT, J. (1977) *De l'art de picapedrer*, Diputación Provincial de Baleares, Palma de Mallorca, ed. facsímil del manuscrito de 1653.
- GENTIL, J. M. (1994) "Sobre el proyecto de arquitectura en el Renacimiento. Traza y modelo en las "Vidas" de Giorgio Vasari", en *EGA: Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, nº 2, pp.70-81.
- GISBERT SANTONJA, J. A. (2008) "El Castell de Dénia. Un proceso de abandono y de recuperación", en *Monumenta Comunitat Valenciana. Anuario de Patrimonio Cultural*, n. 1, pp. 61-68.
- GÓMEZ MARTINEZ, J. (1998) *El gótico español en la Edad Moderna. Bóvedas de crucería*, Universidad de Valladolid, Valladolid.
- GÓMEZ-FERRER, M. (2002) *Vocabulario de arquitectura valenciana. Siglos XV al XVI*, Ayuntamiento de Valencia, Valencia.
- HEYMAN, J. (1995) *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica*, CEHOPU-Ministerio de Fomento-Instituto Juan de Herrera, Madrid.
- HOAG, J. D., (1985) *Rodrigo Gil de Hontañón. Gótico y Renacimiento en la arquitectura española del siglo XVI*, Xarait, Madrid.
- HUERTA FERNANDEZ, S.(2004) *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*, Instituto Juan Herrera, Madrid.
- KUBLER, G. (1992) "Los empujes de la bóveda de crucería según un cálculo del Gótico final", en *Anales de arquitectura*, n. 4, pp.156-165.
- LALBAT, C., MARGUERITTE, G., MARTIN, J. (1989) "De la stéréotomie médiévale: la coupe des pierres chez Villard de Honnecourt (II) " en *Bulletin Monumental*, n. 147, pp. 11-34.
- MARIAS, F. (1993) "Trazas, trazas, trazas: tipos y funciones del dibujo arquitectónico", en *Actas del Simposio: Juan de Herrera y su influencia*, Universidad de Cantabria-Fundación Obra Pía Juan de Herrera, Santander, p. 351-359.
- MOYA BLANCO, L. (2000), *Bóvedas tabicadas*, Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento, Madrid.
- NAVARRO FAJARDO, J. C. (2006.) *Bóvedas de la arquitectura gótica valenciana. Traza y monea*, Universitat de València,

Valencia.

NAVASCUÉS, P. (1971), "El 'manuscrito de arquitectura' de Hernán Ruiz, el Joven", *Archivo Español de Arte*, XLIV, Madrid, pp. 295-321.

PALACIOS GONZALO, J. C. (2009) *La cantería medieval. La construcción de la bóveda gótica española*, Editorial Munilla-Lería.

PALACIOS, J.C. (1990) *Trazas y cortes de cantería en el renacimiento español*, Madrid.

PASTOR, F. (2000), *Valencia*, Colegio Oficial de Arquitectos de la Comunidad Valenciana, Valencia.

RABASA DIAZ, E. (2000) *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XX*, Ediciones Akal S.A., Madrid.

RABASA DIAZ, E. (2000) *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*, Ediciones Akal S.A., Madrid.

RABASA DIAZ, E. (1996) "Técnicas góticas y renacentistas en el trazado y la talla de las bóvedas de crucería españolas del siglo XVI", en *Actas del Primer congreso nacional de historia de la construcción* (Madrid, 19-21 sep. 1996), Ed. Instituto Juan de Herrera, Madrid.

SANCHIS SIVERA, J. (1925) "Maestros de obras y lapicidas valencianos en la Edad Media", *Archivo de Arte Valenciano*, v. XI.

TOSCA, V., (1727) *Tratado de la Montea y Cortes de Cantería*. Ed. Facsímil, Editorial UPV, Valencia 2000.

VANDELVIRA, A (17--). *Tratado de arquitectura de Alonso Vandelvira*, Ed. Facisimil de manuscrito, Editorial Castalia, Albacete 1977.

ZARAGOZÁ CATALÁN, A. (2000) "Arquitectura gótica valenciana. Siglos XIII-XV", *Monumentos de la Comunidad Valenciana, Catálogo de Monumentos y Conjuntos declarados e incoados, Tomo I*, Generalitat Valenciana, Valencia..

ZARAGOZÁ, A. (1996) "El arte de corte de piedras en la arquitectura valenciana del cuatrocientos: Pere Compte y su círculo", *El Mediterráneo y el Arte Español* (Actas del XI Congreso del CEHA), Generalitat Valenciana y Ministerio de Educación y Cultura, Valencia.

Agradecimientos

Este trabajo no hubiera sido posible sin la estimable colaboración del M.I. Ayuntamiento de Denia y a la delegación de Cultura, Área de Arqueología y Museos de Denia, y en especial a Josep A. Gisbert Santonja, director del Museo Arqueológico de la ciudad de Denia.

Mi más profundo agradecimiento al profesor Filippo Fantini, por las numerosas horas que ha dedicado en instruirme en el funcionamiento de las aplicaciones y a las incansables preguntas que ha afrontado siempre con disposición. A Isabel Martínez-Espejo Zaragoza por prestarse amablemente en la realización de las registraciones con el escáner NexEngine. Y mi más sincero agradecimiento a todos los compañeros del Instituto de Restauración del Patrimonio por todas las experiencias y el tiempo compartido.

A mis tutores en la realización de este trabajo, Juan Carlos Navarro Fajardo y Francisco Hidalgo Delgado: grandes profesionales y amigos, por ayudarme a crecer como persona y profesional, depositando vuestra confianza en mí y a los que siempre tendré como un modelo a seguir.

A mi familia por soportar pacientemente hasta la culminación de este trabajo y a Serena Motta por darme ese pequeño-gran empujón que me faltaba.