



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TESIS DOCTORAL

La bóveda en la arquitectura maya

Laura Gilabert Sansalvador



DIRECTOR
Gaspar Muñoz Cosme

Noviembre de 2018



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TESIS DOCTORAL

La bóveda en la arquitectura maya

AUTORA

Laura Gilabert Sansalvador

DIRECTOR

Gaspar Muñoz Cosme

Universidad Politécnica de Valencia

Programa de Doctorado en Arquitectura, Edificación, Urbanística y Paisaje

Noviembre de 2018

*Als meus pares,
Jose Miguel i Maria Milagro,
pel seu suport incondicional.*

Índice

Introducción.....	13
1. Antecedentes.....	19
1.1. La tecnología constructiva de aproximación de hiladas.....	19
1.2. El concepto de “falsa bóveda”.....	20
1.3. El uso de la técnica de aproximación de hiladas en otras culturas.....	23
1.3.1. En la arquitectura megalítica prehistórica del Mediterráneo...	23
1.3.2. En el Antiguo Egipto.....	25
1.3.3. En Micenas.....	26
1.3.4. Etruscos y romanos.....	28
1.3.5. Abandono y permanencia en el Mediterráneo.....	31
1.3.6. En el sudeste asiático.....	32
1.3.7. En las culturas americanas prehispánicas.....	36
1.3.8. Reflexión final.....	37
2. Estado de la cuestión.....	39
2.1. Los estudios sobre la bóveda maya.....	39
2.1.1. La bóveda en las crónicas y en las primeras exploraciones...	39
2.1.2. Primeras referencias en Europa.....	45
2.1.3. El inicio de los estudios arquitectónicos.....	48
2.1.4. La bóveda en la investigación reciente de la arquitectura maya	52

2.2. Antecedentes de clasificación de la bóveda maya.....	53
2.2.1. Clasificaciones formales mediante gráficos comparativos.....	53
2.2.2. Clasificaciones de índole constructiva.....	68
2.2.3. Los tipos de bóvedas en los estudios estilísticos.....	69
2.2.3.1. Las bóvedas en los estilos arquitectónicos del Puuc	
2.2.3.2. Las bóvedas en los estudios de la arquitectura del Norte de Yucatán	
2.2.3.3. Las bóvedas en los estudios de los estilos Río Bec y Chenes	
2.2.3.4. El estudio de las bóvedas de la arquitectura de Petén	
2.3. Reflexión final.....	77
3. Objetivos.....	81
4. Metodología.....	83
5. Toma de datos.....	87
5.1. El trabajo de campo.....	89
5.2. Sistematización y procesado de la información en gabinete.....	95
5.3. Caracterización de la muestra de bóvedas estudiadas.....	97
6. Una base de datos de bóvedas mayas.....	107
6.1. El banco de datos de bóvedas mayas.....	107
6.1.1. Estructura.....	107
6.1.2. Definición de las variables consideradas.....	108
6.1.2.1. Información del sitio arqueológico	
6.1.2.2. Información del edificio	
6.1.2.3. Información de cada bóveda registrada	
6.1.3. Búsquedas y extracción de datos.....	132
6.2. El archivo digital de documentación gráfica.....	133
6.3. El gestor de referencias bibliográficas.....	135

7. Análisis arquitectónico de la bóveda maya.....	137
7.1. Aspectos formales y geométricos.....	137
7.1.1. Forma y geometría en planta.....	137
7.1.2. Forma y geometría de la sección transversal: las semibóvedas.	143
7.1.3. Forma y geometría de la sección longitudinal: los testeros...	154
7.2. Aspectos constructivos y estructurales.....	157
7.2.1. Materiales constructivos y herramientas de albañilería.....	157
7.2.2. Sistemas constructivos.....	161
7.2.3. La estereotomía de la piedra.....	167
7.2.3.1. Tipos de dovelas	
7.2.3.2. La estereotomía de los muros testeros	
7.2.3.3. La estereotomía en las bóvedas escalonadas	
7.2.4. El proceso constructivo de los edificios abovedados.....	179
7.2.4.1. Los travesaños o morillos	
7.2.5. El sistema estructural de la bóveda maya.....	197
7.2.5.1. Análisis de la estabilidad	
7.2.5.2. Cuestiones constructivas que afectan a la estabilidad	
7.2.5.3. La estabilidad de la estructura durante el proceso constructivo	
7.3. Aspectos funcionales.....	207
7.3.1. El espacio interior en la arquitectura maya.....	207
7.3.1.1. Accesos y circulación	
7.3.1.2. Proporción y percepción del espacio	
7.3.1.3. Elementos constructivos y de mobiliario interior	
7.3.1.4. La representación del espacio interior en las fuentes iconográficas	
7.3.2. Funciones del espacio abovedado.....	220
7.4. Aspectos simbólicos.....	232
7.4.1. Las tapas de bóveda pintadas.....	232
7.4.2. La casa como arquetipo en la arquitectura maya.....	233
7.5. Propuesta de clasificación de la bóveda maya.....	238

8. Origen, evolución y variantes geográficas de la bóveda maya.....	243
8.1. La bóveda en las diferentes regiones del área maya.....	247
8.1.1. La bóveda en Petén.....	254
8.1.2. La bóveda en los sitios de la cuenca del río Usumacinta.....	257
8.1.3. La bóveda en el área de Río Bec.....	259
8.1.4. La bóveda en los Chenes.....	260
8.1.5. La bóveda en el área Puuc.....	263
8.1.6. La bóveda en el Norte de Yucatán.....	270
9. La conservación de los edificios abovedados mayas.....	275
9.1. Análisis del estado de conservación actual.....	275
9.2. Procesos de deterioro hasta el colapso de las estructuras abovedadas...	279
9.2.1. Factores intrínsecos al sistema constructivo.....	280
9.2.2. Agentes de deterioro externos.....	286
9.3. Actuaciones de restauración en los edificios abovedados mayas.....	288
9.4. Propuesta de criterios generales para la excavación, conservación y restauración.....	293
10. Conclusiones.....	299
Bibliografía.....	309
Agradecimientos.....	337
Apéndice	
Listado de figuras.....	341
Listado de tablas.....	363
Resumen.....	365
<i>Resum</i>	367
<i>Abstract</i>	369
Anexo. Catálogo de bóvedas mayas	
Tomo I. Tierras Bajas Mayas del Sur.	
Tomo II. Tierras Bajas Mayas del Norte.	

Introducción

Esta tesis doctoral aborda la investigación de la bóveda maya, uno de los elementos constructivos más paradigmáticos de la arquitectura de esta fascinante civilización antigua. En las épocas de mayor esplendor y durante aproximadamente diez siglos, los mayas utilizaron la bóveda basada en el sistema de aproximación de hiladas horizontales como cubierta de numerosos templos y palacios monumentales construidos con piedra. Esta larga tradición constructiva muestra la unidad y continuidad que tuvieron las técnicas constructivas en esta cultura, y ofrece además la oportunidad de analizar los avances tecnológicos que se produjeron a lo largo del tiempo y las distintas variantes geográficas que se desarrollaron.

El estudio de la arquitectura maya, aun siendo la manifestación artística más característica y representativa de esta cultura mesoamericana, no se ha tratado tradicionalmente de forma específica y especializada. Las investigaciones arqueológicas han adolecido en numerosas ocasiones de falta de una visión arquitectónica que abordara el análisis de los vestigios desde el punto de vista constructivo y estructural, y hoy en día hay escasos estudios que profundicen sobre los rasgos propiamente arquitectónicos de los numerosos edificios antiguos que existen en el área maya. Su estudio es clave no sólo para avanzar en el conocimiento de la cultura maya, sino también para diseñar adecuadas estrategias de protección y conservación de este patrimonio cultural reconocido a nivel mundial y que, sin embargo, en muchos casos se encuentra en grave riesgo de conservación.

En este marco general, la investigación de la bóveda maya se revela como un estudio imprescindible. El análisis de los antecedentes y del estado de la cuestión nos han permitido constatar que su estudio no se había abordado hasta el momento desde un punto de vista arquitectónico, teniendo en cuenta aspectos no sólo formales sino también geométricos, estructurales y constructivos, y considerando los problemas actuales de conservación de los edificios abovedados. Por ello, se planteó como objetivo de la presente investigación el analizar

la bóveda maya desde el punto de vista arquitectónico, teniendo en cuenta sus variantes regionales y su evolución temporal, para proponer una clasificación general que permitiera definir todas sus variables. A partir del conocimiento profundo de este elemento constructivo se plantean una serie de criterios y estrategias para la conservación de los edificios abovedados mayas, todo ello con el objetivo último de contribuir al conocimiento y a la salvaguarda de este patrimonio arquitectónico.

Mediante un amplio y minucioso trabajo en campo se han recopilado numerosos datos de bóvedas de un gran número de sitios arqueológicos de las Tierras Bajas Mayas, y se han introducido en una base de datos diseñada *ad hoc* que permite archivar, analizar y comparar todas sus características. El análisis en profundidad de este corpus de bóvedas nos ha permitido, además de proponer una clasificación general de la bóveda maya, analizar la evolución y los avances que se produjeron en la construcción abovedada a lo largo del tiempo, así como las diferencias regionales existentes, que en muchos casos han determinado los rasgos característicos de los diferentes estilos de la arquitectura maya. El análisis de las características de las bóvedas permite establecer hipótesis sobre las relaciones y las posibles transferencias del conocimiento constructivo entre unas regiones y otras, lo que contribuye al conocimiento del desarrollo y la historia cultural de la civilización maya.

Mi relación con el fascinante mundo de la arquitectura maya se inicia en 2010 en el seno del Proyecto La Blanca, dirigido por Cristina Vidal Lorenzo y Gaspar Muñoz Cosme, director de esta tesis doctoral. Gracias a una beca de colaboración otorgada por el Ministerio de Educación y Ciencia tuve la oportunidad de incorporarme al equipo multidisciplinar e interuniversitario que investiga, desde el año 2004, el sitio de La Blanca, en el Petén guatemalteco, un enclave con una arquitectura de colosales dimensiones. Entre 2010 y 2012 colaboré en los trabajos de restitución gráfica de los levantamientos realizados en campo y tuve asimismo la oportunidad de participar en la preparación y la edición de los paneles y el catálogo de la exposición *Tikal. Más de un siglo de Arqueología*, auspiciada por el Ministerio de Cultura y Deportes de Guatemala e inaugurada en Tikal en diciembre de 2012. Este fue mi primer contacto con las impactantes fotografías de finales del siglo XIX de Alfred Maudslay y Teobert Maler, que mostraban monumentales templos y palacios devorados por la frondosa selva de Petén.

El interés y la inquietud por la conservación del patrimonio habían ido aumentando durante mi formación como arquitecta en la Universidad Politécnica de Valencia. Una vez finalizados los estudios tuve la oportunidad de especializarme en este campo mediante la realización del Máster Universitario

en Conservación y Restauración del Patrimonio Arquitectónico en la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, con el apoyo de una beca para estudios de posgrado de La Caixa. Esta formación específica despertó en mí el interés por la disciplina de la historia de la construcción. A través de su estudio pude constatar que la mayoría de los avances y las diferentes tipologías, formas y estilos que se han desarrollado durante la historia de la arquitectura tienen su razón de ser en la técnica, en el detalle, en los procedimientos de preparación y colocación en obra de los distintos materiales empleados y, en definitiva, en la tecnología constructiva.

Con esta visión inicié mis estudios de doctorado en la Universidad Politécnica de Valencia en 2013 para investigar los sistemas constructivos de la arquitectura maya y en concreto, la bóveda por avance de hiladas. Recopilé una abundante documentación bibliográfica y empecé a adentrarme en el estudio de la cultura maya y en la investigación de su arquitectura, que cada vez me resultaba, y me sigue resultando, más apasionante. Tuve la oportunidad de viajar al área maya por primera vez a principios de 2015 para participar en la temporada de campo del Proyecto La Blanca y, posteriormente, realizar la primera toma de datos específica sobre bóvedas mayas a través de un amplio recorrido por más de treinta sitios arqueológicos de Guatemala, México y Honduras.

Para continuar con la investigación, a finales de 2015 me incorporé al proyecto de I+D+i “Arquitectura maya. Sistemas constructivos, estética formal y nuevas tecnologías” (BIA2014-53887-C2-1-P), financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, a través de un contrato predoctoral de Formación de Personal Investigador (BES-2015-071296). El objetivo principal de este proyecto es el estudio y la investigación científica de la arquitectura maya mediante el análisis de los criterios compositivos, las soluciones formales, las tipologías arquitectónicas, los sistemas constructivos y los materiales que fueron utilizados por los mayas en la construcción de sus edificios. Todo ello con el fin de establecer las bases que permitan una correcta conservación, restauración y puesta en valor del patrimonio arquitectónico maya.

La participación en los trabajos en el sitio de La Blanca como miembro del equipo de arquitectura durante las temporadas de campo de 2015, 2016 y 2017 ha sido asimismo clave para el desarrollo de esta investigación. Por un lado, como experiencia en los trabajos de levantamiento, conservación y restauración paralelos a la excavación arqueológica. Por otro lado, la investigación de la arquitectura de La Blanca ha servido como prueba experimental del análisis de las bóvedas y como base para el diseño y la optimización de la metodología de toma de datos aplicada en otros sitios.

Tras el estudio de la información de las bóvedas recogida en la primera campaña de toma de datos de 2015, pude realizar varias estancias en Centroamérica para recopilar más documentación de forma directa y en campo. Entre 2016 y 2017 realicé varios viajes a Guatemala y México gracias a las ayudas para estancias en el extranjero del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y al Programa de Becas de Movilidad Académica de la Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado. Durante varios meses recopilé una abundante documentación sobre numerosos edificios abovedados mayas de diferentes estilos, zonas geográficas y épocas. En paralelo al trabajo de campo realicé una minuciosa labor de clasificación y sistematización de todos los datos recogidos para su posterior análisis comparativo.

El texto que se presenta a continuación es pues el resultado de varios años de intenso trabajo e investigación que han sido enriquecidos por las aportaciones de los compañeros y colegas que me han acompañado durante este recorrido y sobre todo por el apoyo y la guía del director de esta tesis doctoral.

Estructura del documento

El presente documento se estructura en cinco grandes bloques que describen el proceso de la investigación: estado de la cuestión, objetivos, metodología, resultados y conclusiones.

La primera parte comprende los capítulos 1 y 2. El primero recoge una introducción sobre los principios de la tecnología de avance de hiladas y una reflexión sobre el término “falsa bóveda”, asignado tradicionalmente a estas construcciones. Asimismo, en este preludio se expone el estudio realizado sobre los antecedentes de la utilización de esta tecnología en otras culturas. El segundo capítulo incluye los resultados de la investigación realizada sobre la literatura existente acerca de la bóveda maya y el análisis del estado de la cuestión.

A partir de las conclusiones de este primer bloque se han establecido los objetivos de la investigación y la metodología diseñada para alcanzarlos, lo que se expone en los capítulos 3 y 4.

En el quinto capítulo se detalla el trabajo de toma de datos realizado y en el capítulo 6 se presenta la estructura y el contenido de la Base de Datos de Bóvedas Mayas, una herramienta creada ex profeso para registrar, archivar y comparar todos los datos tomados sobre las bóvedas. La información recopilada se incluye en el *Catálogo de bóvedas mayas*, anexo a este volumen, que constituye la base de la presente investigación.

El análisis pormenorizado de toda esta información y los resultados de la investigación se desarrollan en los capítulos 7, 8 y 9, en los que se estudian detalladamente todos los aspectos de la bóveda maya, sus variantes regionales, su evolución temporal y los temas relativos a la conservación de este patrimonio, y se propone una clasificación general de la bóveda maya según varios criterios de carácter funcional, formal y constructivo.

En último lugar se incluye el capítulo de conclusiones, donde se realiza un balance de los alcances de esta investigación, que puede resultar una aportación interesante para el avance del conocimiento científico de la arquitectura maya.

1. Antecedentes

El sistema de bóveda utilizado por los antiguos mayas se basa en la técnica constructiva de aproximación de hiladas horizontales, por lo que tradicionalmente se le ha asignado el calificativo de “falsa bóveda”. Como preludeo a esta investigación específica sobre la bóveda en la arquitectura maya se presenta, en este primer capítulo, un estudio acerca de esta técnica constructiva, del concepto de “falsa bóveda” y sobre la utilización de este sistema en otras culturas.

1.1. La tecnología constructiva de aproximación de hiladas

Con el deseo de permanencia y los primeros asentamientos se inicia, en los albores de la civilización, la construcción con fábrica (Huerta 2004, p. 1). Ante el problema de cubrir espacios habitables con un material duradero como la piedra, el hombre empieza a desarrollar en tiempos remotos la tecnología de aproximación de hiladas.

Tal y como expresa Luis Moya Blanco (1987, p. 98), “parece evidente que la forma más natural y primitiva de cubrir un espacio es colocar una pieza horizontal sobre dos apoyos verticales”, lo que supondría la invención del dintel. Con la voluntad de cubrir espacios mayores y ante la escasez de piedra o madera de tamaño adecuado, el dintel puede descomponerse en dos piezas apoyadas entre sí formando una “V” invertida que salve la longitud del vano. Para facilitar más la puesta en obra, se pueden utilizar hiladas de piedras pequeñas que avanzan sucesivamente sobre el vano a cubrir; es entonces cuando aparecen la bóveda y la cúpula por aproximación de hiladas (figura 1). Se trata esta pues de una solución intuitiva que consiste en disponer hiladas horizontales de piezas que vuelan una sobre la otra y van avanzando progresivamente hacia el interior del espacio hasta cerrarlo con una última losa o tapa. La estabilidad del sistema se basa en el correcto contrapesado de cada una de las hiladas, bien mediante su propio peso o bien con un relleno colocado en la parte posterior que contrarresta el vuelco de las hiladas hacia el interior de la estancia.

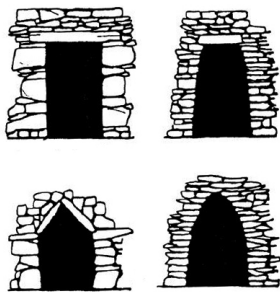


Figura 1. Varios tipos de embocaduras de barracas de piedra en seco del interior de la Comunidad Valenciana. Modificado de M. García Lisón y A. Zaragoza Catalán (2000, p. 37).

El principio básico de la técnica de aproximación de hiladas es conducir correctamente las cargas verticales hasta los apoyos y evitar los empujes horizontales. El voladizo sucesivo de cada fila es posible por la horizontalidad de las juntas, lo que permite que teóricamente sólo se transmitan cargas verticales a los soportes (Besenval 1984, p. 39; Como 2007, p. 85). La construcción de una bóveda o una cúpula mediante este sistema tiene dos ventajas fundamentales: la primera es que admite dovelas sin talla y la segunda que permite un proceso constructivo sencillo sin la necesidad de cimbras. Sin embargo, requiere de gran espesor y peso, y presenta evidentes limitaciones de forma y, sobre todo, de luz.

Es importante señalar la diferencia conceptual que existe entre una cúpula y una bóveda por avance o aproximación de hiladas horizontales. Como veremos más adelante, en las culturas mediterráneas encontramos generalmente cúpulas por aproximación, muchas veces de planta circular. Normalmente en estos casos la cúpula se construye disponiendo las dovelas en helicoides ascendente, de forma que avanzan progresivamente hacia el interior y hacia adelante hasta clausurar el espacio con una losa final de cierre (figura 2). Sin embargo, en otras ocasiones y en varias culturas se ha utilizado esta tecnología para cubrir espacios rectangulares o lineales con bóvedas de directriz recta, cuyas dovelas, dispuestas en hiladas horizontales, solamente avanzan en una dirección: hacia el interior de la estancia. Los mayas construyeron bóvedas con este sistema, formadas por dos lienzos convergentes y simétricos, rematados en la parte superior por una hilada de piezas de tapa y en los extremos por testeros o hastiales que cierran el espacio (figura 3).

1.2. El concepto de “falsa bóveda”

El término que comúnmente se utiliza en español para denominar a las bóvedas por aproximación de hiladas es el de “falsa bóveda”¹. Félix Escrig, en *Las grandes estructuras de los edificios históricos: desde la antigüedad hasta el gótico*, critica que en nuestro idioma se utilice esta palabra peyorativa para calificar a las bóvedas y cúpulas por avance de hiladas, uno de los descubrimientos estructurales más antiguos ante el problema de “sostener las piedras en el vacío” (Escrig 1997, p. 13).

El término “falso” se ha utilizado tradicionalmente para diferenciar el arco de aproximación del arco de medio punto, considerado como el “arco verdadero”. En el arco de medio punto, cuyo origen se sitúa en Mesopotamia hace 6.000 años según varios autores², la clave tiene función estructural, las dovelas trabajan

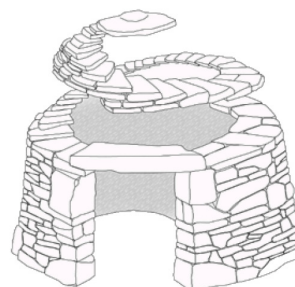


Figura 2. Secuencia constructiva de una cúpula por aproximación de planta circular. Tomada de F. Vegas, C. Mileto y V. Cristini (2009, p. 84).

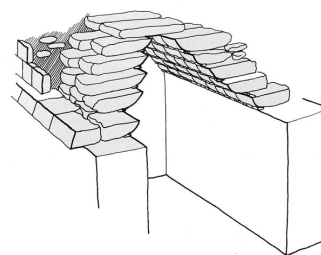


Figura 3. Representación esquemática de una bóveda por aproximación de hiladas maya. Tomada de A. Hohmann-Vogrin (2001, p. 199).

¹ Bóveda: (Arq.) Obra de fábrica arqueada que sirve para cubrir el espacio entre dos apoyos y forma el techo a la cubierta de una construcción. Falso: (adj.) Fingido o simulado. Falsa bóveda: (Arq.) Forma primitiva de bóveda, obtenida por aproximación sucesiva de hiladas. (Diccionario de la Real Academia Española, www.dle.rae.es, consultado el 13/11/2017).

² A. Choisy (1899), L. Moya Blanco (1987, p. 97), F. Ortega Andrade (1996, p. 402), J. P. Adam (2002, p. 173) y S. Huerta (2004, p. 1).

únicamente a compresión y las juntas entre éstas son radiales, por lo que generalmente exige la utilización de medios auxiliares o cimbras para su construcción³. Además, una de las características más importantes desde el punto de vista estático es que en el arco de medio punto, y por tanto en la bóveda de cañón, se generan empujes horizontales en los apoyos. La ausencia de estos empujes es precisamente, según Luis Moya Blanco (1987, p. 99), la razón por la que se ha considerado tradicionalmente como más primitivas a las estructuras adinteladas y a las construidas por aproximación de hiladas. La independencia estructural de los dos lados en un arco por aproximación es otra de las diferencias fundamentales respecto al arco de medio punto, que configura en sí mismo una unidad estructural (Como 2007, p. 85). Seguramente el arco llamado “verdadero” es un sistema más complejo y avanzado y un hallazgo no tan evidente, pues grandes culturas como la egipcia, la maya o la jemer no lo emplearon por lo general en su monumental arquitectura de piedra, como veremos más adelante.

En otros idiomas, aunque también se utiliza el término “falso” para esta tecnología, las bóvedas y cúpulas construidas con técnicas de aproximación disponen de un término específico: *corbelled* en inglés y *encorbellement* en francés⁴, por lo que este tipo de bóveda se denomina *corbelled vault* y *voûte en encorbellement*, respectivamente. En el caso de las cúpulas se utilizan los términos *corbelled dome* y *dôme en encorbellement*. La traducción directa de estos términos al español podría ser “bóveda en ménsula”, término propuesto por la edición en español del *Architectural and Building Trades Dictionary* (Putnam y Carlson 1991, p. 71) e incluido en el Tesauro en español de Arte y Arquitectura⁵ (AAT) del Getty Research Institute como alternativo a “falsa bóveda”, aunque no se utiliza normalmente. Como otras alternativas a “falso arco” este tesauro propone “arco volado” o “arco acartelado”, aunque tampoco son términos de uso común.

En el *Diccionario de arquitectura y construcción* (Camino Olea et al. 2001, p. 103) se define la bóveda como un “elemento de simple o doble curvatura, destinado a cubrir un espacio”. Tras la definición se ofrecen más de cien locuciones que especifican tipologías de bóvedas, entre las que se hallan “bóveda fingida”, que se refiere a la “construida en yeso y colgada del verdadero techo resistente” o “bóveda falsa”, definida como “la que no funciona como bóveda, consiguiéndose su apariencia mediante la antigua técnica de aproximación progresiva de hiladas horizontales”. Así, parece evidente que el término “falsa” se utiliza principalmente para diferenciar el comportamiento estructural de una bóveda por aproximación del de una bóveda de cañón.

Según Roland Besenval (1984, p. 34), la horizontalidad de las juntas de la bóveda por avance de hiladas es el factor por el que se le conoce como “falsa

³ Probablemente debido a la escasez de madera (Adam 2002, p. 173) ya en la antigua Mesopotamia se desarrollaron sistemas para construir bóvedas de cañón sin cimbras, como por ejemplo por arcos sucesivos de ladrillos en planos inclinados (Moya Blanco 1987, p. 97).

⁴ Según J. P. Adam (2002, p. 210) de *corvus* o *corbeau* (cuervo), “nombre que designa cada ménsula en vuelo, también llamada *corbin* por analogía con el pájaro posado sobre la parte superior de un muro”.

⁵ www.aatespanol.cl/taa/tesauro [consultado el 14/11/2017].

bóveda”, un término peligroso y ambiguo según este autor, pues no distingue si se refiere a la técnica de puesta en obra en voladizo progresivo y sin cimbras, o a una situación concreta de transmisión de los empujes.

En el caso de la arquitectura maya, la técnica por aproximación de hiladas es tan arquetípica que en algunos diccionarios se propone como alternativa a “arco falso” el término “arco maya”⁶. Tal es la confusión, que fuera del ámbito americanista existe un debate, a nivel conceptual, sobre si los mayas construían bóvedas o no, por el hecho de que a la bóveda por aproximación de hiladas horizontales se le denomina “falsa bóveda”.

En virtud de la tarea que desempeñan como cubierta de un espacio habitable, a los sistemas de cubiertas de fábrica de la arquitectura maya se les ha llamado tradicionalmente bóvedas o arcos (Villalobos 2001, p. 9). En el ámbito de los estudios mesoamericanos no hay dudas sobre esta denominación, tal y como se expresa en la definición de bóveda del *Diccionario de arquitectura mesoamericana* de Paul Gendrop (1997, p. 34): “Obra de fábrica usualmente generada por un arco de forma determinada, que sirve para cubrir el espacio comprendido entre dos apoyos constituidos por muros o columnas [...]”.

En el desarrollo de la presente investigación veremos que la tecnología de la bóveda experimentó una gran evolución en el área maya. Aunque su ejecución se basa en el principio de la técnica de avance de hiladas, existe una amplia variedad de soluciones constructivas y su comportamiento estructural no siempre se corresponde con el de las bóvedas por aproximación, en las que todo el espesor de la fábrica está formado por juntas horizontales. En muchos casos las dovelas de las bóvedas mayas forman una unidad solidaria con el relleno y cada una de las semibóvedas se comporta como un volumen monolítico (Hohmann 2017, p. 122).

Por todo lo expuesto, en este estudio consideramos que el término “bóveda” define un elemento constructivo y no un concepto estructural, por lo que no utilizaremos el calificativo de “falsa” para ningún tipo de bóveda, sino que se utilizarán términos que apelan a su sistema de puesta en obra o a sus características estructurales: bóveda por aproximación de hiladas, en voladizo o en ménsula, de juntas horizontales, monolítica... etc. y se utilizará el término “dovela” para las piedras, talladas o no, que conforman las bóvedas, sin diferenciar a qué esfuerzos están sometidas en cada caso. El término “bóveda maya” sólo indica la pertenencia del elemento constructivo a esta cultura antigua o a su ámbito territorial pues, como veremos, en la arquitectura maya existe un amplio abanico de soluciones formales y constructivas de bóvedas, y pueden definirse varias tipologías atendiendo a diferentes criterios.

⁶ Tesoro en español de Arte y Arquitectura (AAT) del Getty Research Institute.

1.3. El uso de la técnica de aproximación de hiladas en otras culturas

La bóveda por avance de hiladas es uno de los elementos constructivos más característicos de la antigua civilización maya, no sólo por su uso continuado y extensivo en todo el territorio de las Tierras Bajas Mayas, sino también porque fue la cultura maya la que desarrolló, en mayor grado, este tipo de cubierta de fábrica de piedra en Mesoamérica. Pero lógicamente esta técnica no fue exclusivamente utilizada en el área maya, sino que diferentes civilizaciones mediterráneas, asiáticas y americanas también la emplearon desde tiempos remotos y en algunos casos hasta prácticamente la actualidad como una solución de sencilla puesta en obra: “[...] á manera de bóvedas construídas por hiladas voladizas [...], propias de todos los pueblos y de todos los períodos” (Puig i Cadafalch 1901b, p. 316).

Tal y como apunta Augustus Ledyard Smith, la tecnología de avance de hiladas es un ejemplo interesante para analizar, desde el punto de vista antropológico, cómo culturas alejadas y en diferentes medios adoptan soluciones similares ante necesidades y problemas parecidos (Smith 1962, p. 202). A continuación realizaremos un recorrido a través de algunos ejemplos notables del uso de esta técnica en varias culturas, pertenecientes a diferentes épocas y latitudes. Esta muestra no pretende ser exhaustiva, sino más bien una visión general con algunos ejemplos para mostrar la amplitud del uso de esta tecnología y la diversidad de soluciones existentes en el desarrollo de este sistema.

1.3.1. En la arquitectura megalítica prehistórica del Mediterráneo

En la arquitectura megalítica del Mediterráneo, la estrategia de disponer hiladas sucesivas en voladizo hacia el interior de la estancia, contrapesando correctamente, debió permitir acortar las grandes losas horizontales que cerraban los espacios interiores. Seguramente, para poder ampliar la luz y la altura de éstos y también para facilitar la puesta en obra, pasaron de las construcciones adinteladas con grandes monolitos, en las que se cubre toda la luz con una única losa (figura 4), a colocar varias hiladas horizontales de piedras de menor tamaño que avanzan una sobre la otra. Es lo que Jean Pierre Adam define como “la desmultiplicación del principio del dintel”, por la que “al no contar con un material capaz de abarcar una gran longitud sin quebrarse, se reduce el alcance de este único dintel mediante una serie de soportes desplomados unos sobre otros, creando así el voladizo” (Adam 2002, p. 179).

Un ejemplo singular son las estructuras talayóticas que se conservan en la isla de Menorca. La más conocida es la Naveta des Tudons, una construcción funeraria de dos plantas datada en torno al 1500 a.C. (Escrig 1997, p. 13). Se

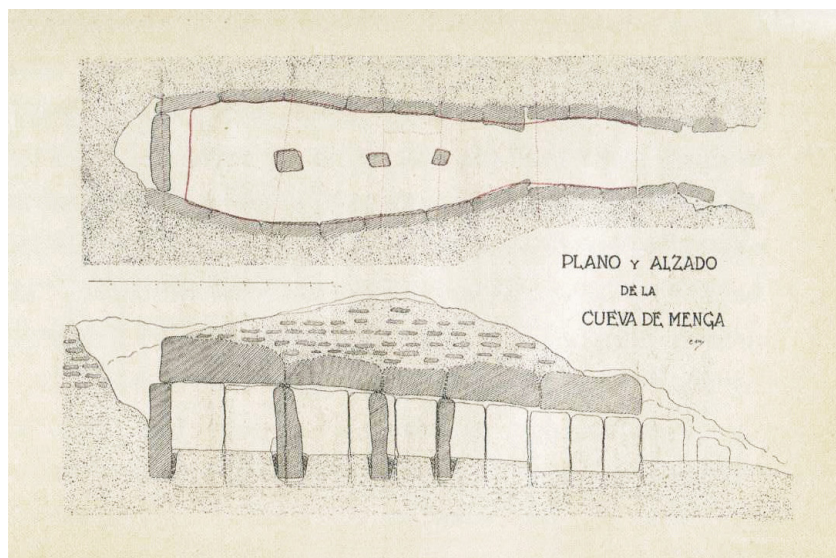


Figura 4. Planta y sección de la Cueva de la Menga en Antequera, datada en el 2500 a.C. Dibujo de Cayetano de Mergelina tomado de J. E. Márquez Romero y J. Fernández Ruiz (2009, p. 85).

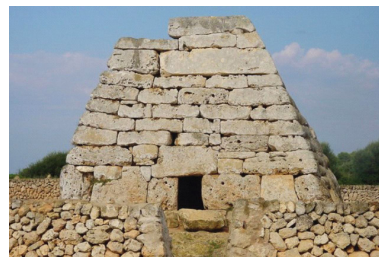


Figura 5. Fotografía actual de la Naveta des Tudons. Tomada de J. S. Gornés Hachero (2016, p. 71).

trata de una edificación ciclópea con planta en forma de nave de 14,00 m de longitud, 6,40 m de anchura y 3,60 m de altura, que se construyó desplomando las paredes hacia el interior (figura 5). El espacio interior resultante es una estancia alargada de unos 2,00 m de luz máxima cubierta por una losa horizontal (figura 6). Fue restaurada en 1959 y actualmente es el monumento prehistórico más visitado de la isla (Gornés Hachero 2016, p. 70).

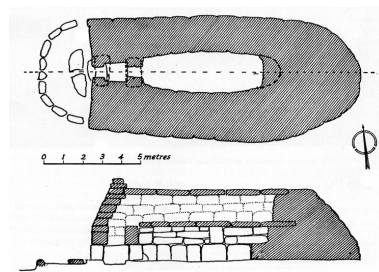


Figura 6. Planta y sección longitudinal de la Naveta des Tudons. Tomada de C. Veny (1974).

Una tipología muy común en toda Europa es la construcción tipo *tholos* o “tumba de pasillo”, formada por un corredor de acceso a una cámara circular cubierta con una cúpula por aproximación. Normalmente estas estructuras

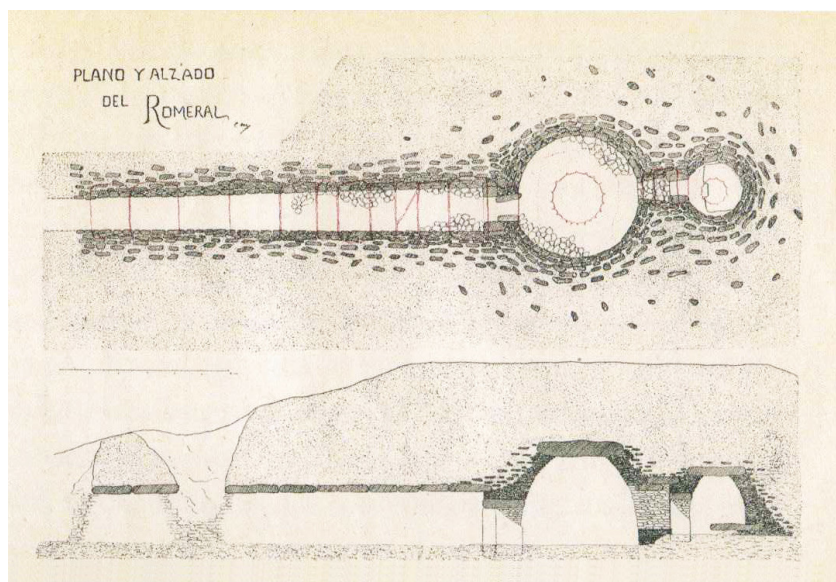


Figura 7. Planta y sección de la Cueva del Romeral de Antequera. Dibujo de Cayetano de Mergelina tomado de J. E. Márquez Romero y J. Fernández Ruiz (2009, p. 85).

están enterradas, pues la cúpula está contrapesada por un relleno que forma un túmulo en el terreno. Un ejemplo destacado es la Cueva del Romeral en Antequera (Málaga), declarada Patrimonio Mundial por la UNESCO en 2016 (figura 7). De uso funerario, data de hace 4.500 años y su sala central tiene 5,20 m de diámetro y 3,90 m de altura (Escrig 1997, p. 13).

1.3.2. En el Antiguo Egipto

Una de las grandes civilizaciones antiguas que utilizó la técnica de avance de hiladas fue la egipcia, aunque sólo de forma puntual y principalmente para cubrir galerías y cámaras funerarias con bóvedas escalonadas. Aunque la arquitectura egipcia es fundamentalmente arquiteada, los pobladores de las tierras del Nilo desarrollaron innovaciones y particularidades en la tecnología de aproximación de hiladas.

En varias obras como la Pirámide Roja o la Pirámide Acodada, construidas durante el tercer milenio a.C. por el faraón Snefru, aparecen varias cámaras cubiertas con majestuosas bóvedas escalonadas (figura 8), que alcanzan hasta los 15 o los 17 m de altura, respectivamente (Monnier 2017, p. 36). En la Pirámide de Meidum, atribuida también a este primer faraón de la cuarta dinastía, se han hallado cámaras con bóvedas escalonadas como espacios de alivio o descarga sobre los dinteles de los corredores que discurren por el interior del gran volumen de la pirámide hasta llegar a la cámara funeraria principal (figuras 9 y 10), cubierta también con una bóveda escalonada por avance de hiladas (Dormion y Verd'hurt 2000).



Figura 8. Primera antecámara de la Pirámide Roja en Dahshur. Tomada de F. Monnier (2017, p. 36).

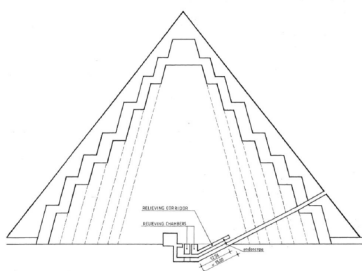
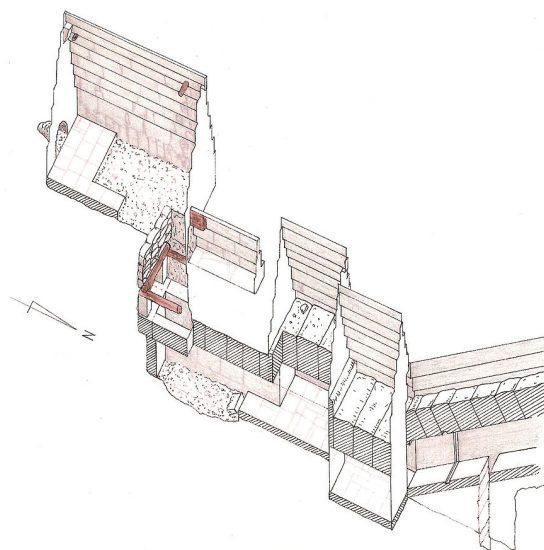


Figura 9. Sección esquemática de la Pirámide de Meidum. Tomada de G. Dormion y J. Y. Verd'hurt (2000, p. 17).

Figura 10. Vista axonométrica del corredor adintelado de la Pirámide de Meidum con las cámaras escalonadas superiores de alivio. Dibujo de Franck Monnier.



Su hijo y sucesor Keops también utilizó esta técnica para su gran complejo funerario construido en el 2570 a.C.: la Gran Pirámide de Giza, una de las siete maravillas del mundo antiguo. La Gran Galería de acceso a la cámara funeraria es un pasaje ascendente de 48 m de longitud y 8,60 de altura (figura 11). A partir de los dos metros de altura aproximadamente, siete hiladas de grandes sillares vuelan una sobre la otra hacia el interior formando una bóveda por aproximación escalonada (Choisy 1899, p. 30), y cuya directriz no es horizontal.

Posteriormente los egipcios utilizaron la bóveda en forma de “V” invertida y formada por grandes losas rectangulares apoyadas entre sí (figura 12), lo que permitió el aumento de la luz de los espacios pero también limitó su altura (Monnier 2017). Su puesta en obra debió requerir avances técnicos sin precedentes debido al colosal tamaño de las losas de granito empleadas (El-Naggar 2005; Monnier 2014).

1.3.3. En Micenas

Uno de los ejemplos de arco por aproximación más conocidos de la antigüedad lo encontramos en la Puerta de los Leones, entrada a la ciudadela de Micenas. Construida en el siglo XIII a.C., cuenta con dos monolitos y un gran dintel que cubre una luz de casi tres metros (Stierlin 2009, p. 19-23). Sobre éste, se construye un arco por aproximación que permite dejar una apertura que descarga el dintel y donde se coloca la conocida placa de piedra con dos leonas talladas (figura 13).

Aunque en la arquitectura micénica se encuentran ejemplos de arcos de medio punto y bóvedas de cañón (Ortega Andrade 1996, p. 402), también se desarrolló en gran medida la técnica por aproximación de hiladas horizontales, tanto en bóvedas como en cúpulas. De hecho, la tipología de *tholos* cubierto con cúpula por aproximación alcanza su máximo esplendor en el Tesoro de Atreo de Micenas, datado en el 1325 a.C. (Ortega Andrade 1993, p. 56). Esta paradigmática cúpula de 14,60 m de diámetro y 13,40 m de altura (Como 2009) revela un gran dominio de la técnica y, tal y como indica Choisy (1899, p. 231), un avanzado conocimiento de la estereotomía, que permite la ejecución de la gran cúpula sin la utilización de cimbras y logrando una gran regularidad en el mapa de juntas y en la superficie del intradós (figuras 14 y 15). Al igual que en la Puerta de los Leones, un arco por aproximación descarga el enorme dintel de piedra situado sobre la entrada, una losa de más de ocho por cinco metros (Stierlin 2009, p. 28).

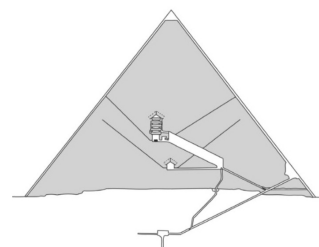


Figura 11. Sección por la Gran Galería de la pirámide de Keops en Giza. Modificado de F. Monnier (2011, p. 94).



Figura 12. Entrada a la Pirámide de Keops en Giza. Tomada de F. Monnier (2017, p. 37).

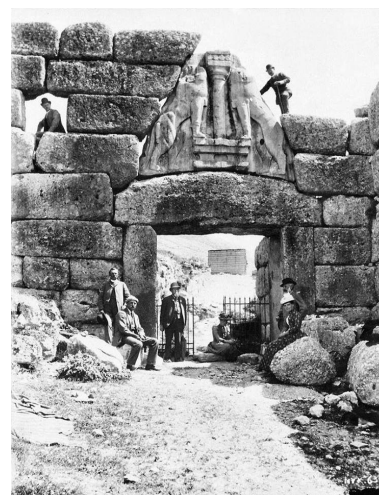


Figura 13. La Puerta de los Leones de Micenas en 1885. Tomada de H. Schliemann (2012).

Figura 14. Acceso al túmulo e interior de la cámara del Tesoro de Atreo. Imágenes tomadas de T. Como (2007, p. 18, 40).

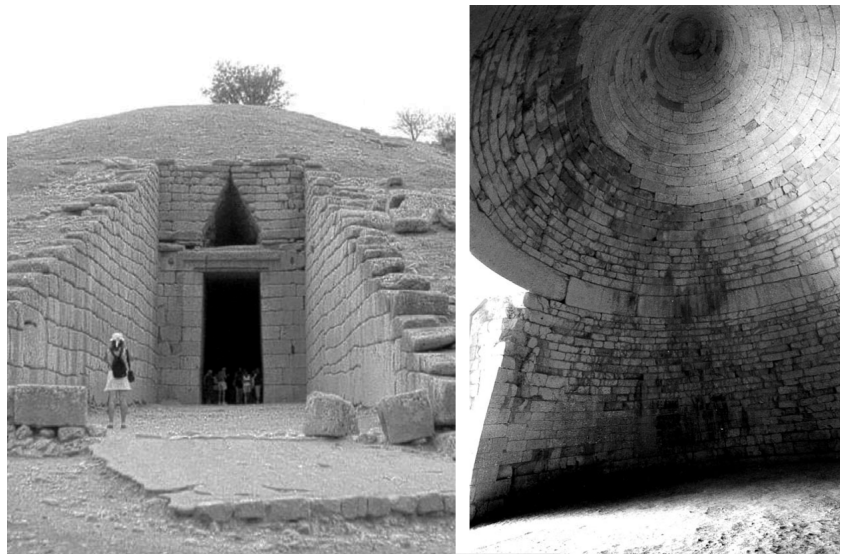


Figura 15. Planta y sección del Tesoro de Atreo. Modificada de T. Como (2007, p. 18).

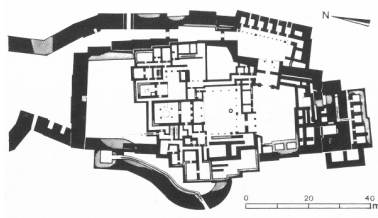
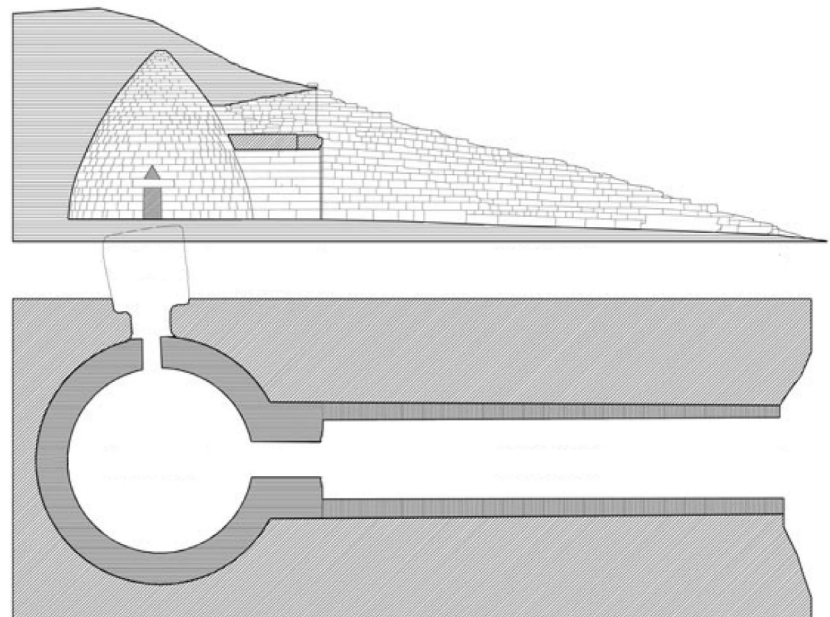


Figura 16. Plano de la planta baja del palacio de Tirinto según S. Lloyd (1973, p. 213).



Figura 17. Galerías de las casamatas del palacio de Tirinto. Tomada de S. Lloyd (1973, p. 214).



En Micenas, además de cúpulas, encontramos bóvedas por aproximación de carácter megalítico. Por ejemplo, en las galerías fortificadas del palacio de Tirinto (figura 16), construido en el siglo XIII a.C. (Lloyd 1973, p. 213). Estas galerías, cuyo intradós tiene forma de “V” invertida, se construyeron con grandes y toscas dovelas colocadas en hiladas horizontales y acomodadas mediante piedras menores o ripios (figura 17).

1.3.4. Etruscos y romanos

La cultura etrusca se desarrolló en la actual región de Toscana desde el siglo XIII a.C. y alcanzó su máximo esplendor alrededor del 650 a.C. Sus manifestaciones artísticas más tempranas muestran influencias orientales y griegas (Ortega Andrade 1996, p. 399) y, tal y como veremos, sus técnicas constructivas son herencia de la etapa griega arcaica y de la arquitectura micénica (Ortega Andrade 1993, p. 57). La arquitectura de la antigua Etruria que mejor se ha conservado es la de carácter funerario, construida en piedra y según diferentes tipologías, como hipogeos, edículos o túmulos, en los que se han encontrado profusas decoraciones en pintura mural y ricos ajuares (Puig i Cadafalch 1901b, p. 312-334; Ortega Andrade 1993, p. 57).

En la zona norte de la actual región del Lacio, al norte de Roma, el suelo está generalmente formado por toba volcánica, un material blando que permitió que se desarrollara abundantemente la tipología de hipogeo, una tumba subterránea excavada en la piedra. En áreas más septentrionales como en los alrededores de la actual ciudad de Florencia, donde las condiciones geológicas no eran tan favorables y eran más comunes la piedra calcárea, la arenisca o los mármoles, se utilizó en mayor medida la tipología funeraria de *tholos* heredada de la tradición micénica (Ortega Andrade 1993, p. 60; 1996, p. 400-401).

En el Museo Arqueológico Nacional de Florencia (figura 18) pueden visitarse varias tumbas etruscas que fueron desmontadas, trasladadas desde sus lugares de origen y reconstruidas en el jardín del edificio entre el 1900 y el 1903⁷.



Figura 18. Jardín del Museo Arqueológico Nacional de Florencia.

⁷ La operación fue llevada a cabo por el arqueólogo Luigi Adriano Milani y con el apoyo del arquitecto Giuseppe Castellucci. Con un carácter educativo y divulgativo, esta acción se enmarca en un contexto histórico de numerosas excavaciones, en el que la conservación de los monumentos aislados resultaba difícil y su traslado parecía la mejor manera de preservar la memoria y la identidad de una nación recién formada (Taloní y Berardi 2016).

Figura 19. Celda de la necrópolis del Crocifisso del Tufo, reconstruida en el Museo Arqueológico de Florencia.

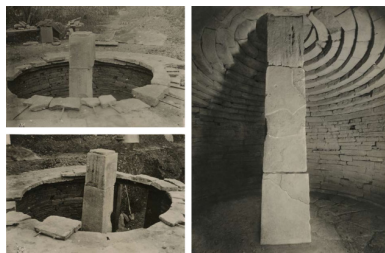


Figura 20. *Tholos* de Casal Marittimo, reconstruido a principios del siglo XX en el Museo Arqueológico de Florencia. Tomadas de M. Taloni y E. Berardi (2016, p. 10-12).



Figura 21. Corredor abovedado de la tumba de Regolini Galassi en Cervetri. Tomada de A. Boëthius (1994, p. 95).



Algunos ejemplos son cámaras de planta rectangular cubiertas por bóvedas por aproximación formadas por grandes dovelas de toba volcánica con la pendiente del intradós labrada: son ejemplos la celda proveniente de la necrópolis del Crocifisso del Tufo (figura 19) y una de las tres celdas de la Tumba de Veio, datada en el siglo VII a.C. (Marino 2000, p. 41). También se muestran ejemplos de la tipología de *tholos* cubierto con túmulo. Un ejemplo es el de Casal Marittimo, fechado en el 600 a.C. (Boëthius 1994, p. 96) y cubierto por una cúpula de unos tres metros de diámetro (Marino 2000, p. 41) formada por hiladas de anillos superpuestos de piezas de travertino con aristas vivas (figura 20). Se remata con una losa o tapa superior asegurada por un soporte vertical central que, según Félix Escrig (1997, p. 34), debió tener un carácter más simbólico que estructural.

Otro esquema de sepulcro subterráneo muy común en la arquitectura etrusca eran las tumbas de corredor abovedadas. Estaban formadas por un estrecho pasillo cubierto con una bóveda por aproximación que daba acceso a varias cámaras funerarias. Son ejemplos de ello la tumba Regolini Galassi en Cervetri (650 a.C., figura 21) o la Tumba de la Montagnola (600 a. C., figura 22) en Sesto Fiorentino, en la que, según F. Ortega (1996, p. 404), se muestra la influencia de las galerías abovedadas micénicas de Tirinto.

Los etruscos conocieron y utilizaron la técnica constructiva del arco de medio punto de juntas radiales traída de la antigua Mesopotamia (Ortega Andrade 1996, p. 402), tal y como aún puede verse en algunos ejemplos como la Puerta de Júpiter de Falerii Novi (siglo III a.C.) o las puertas

etruscas en las murallas de Volterra o Perugia (Adam 2002, p. 173). Transmitieron este conocimiento a los romanos, quienes desarrollaron el arco y la bóveda de cañón hasta conseguir un dominio absoluto, y los introdujeron en todos los ámbitos de la arquitectura y de las obras públicas. Hay pocos ejemplos de arcos y bóvedas por aproximación en la construcción romana, sin embargo, podemos encontrar algún caso en las canalizaciones urbanas o en la arquitectura megalítica de las fortificaciones primitivas. Uno de ellos es la puerta en la muralla de Arpino, del siglo V a.C., que se resuelve con un arco por aproximación de grandes y toscas dovelas (figura 23). Tiene una luz de 1,90 m y una altura libre de 4,20 m (Adam 2002, p. 179). Otros ejemplos son la puerta Saracena de la Acrópolis de Signia o la Pentagonale de Ferentino.

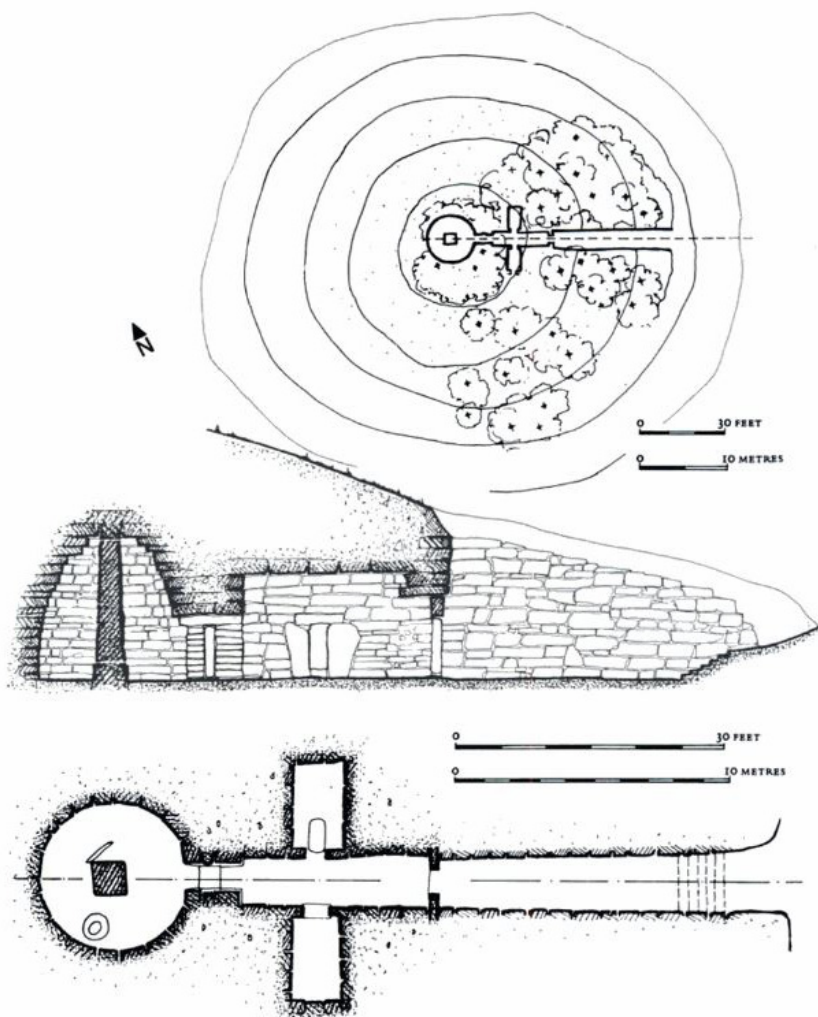


Figura 22. *Tholos* de la Montagnola en Sesto Fiorentino. Tomada de A. Boëthius (1994, p. 97).



Figura 23. Puerta de la muralla romana de Arpino. Tomada de J. P. Adam (2002, p. 179).

1.3.5. Abandono y permanencia en el Mediterráneo

Para Félix Escrig (1997, p. 24), los inconvenientes de esta técnica constructiva tales como su necesario espesor y peso y los grandes peraltes no parecerían razones suficientes para su obsolescencia, pero lo cierto es que, por lo general, las grandes culturas del Mediterráneo dejaron de utilizar esta técnica constructiva en su arquitectura culta. El sistema ha permanecido vivo en la arquitectura popular o vernácula, y pueden identificarse multitud de ejemplos en toda Europa, en diferentes usos, tipologías, soluciones y formas, y prácticamente hasta la actualidad. A continuación se muestran varios casos.

Un ejemplo singular de la utilización de cúpulas por aproximación son las cavas o pozos de nieve, unos grandes depósitos donde se acumulaba la nieve que posteriormente se vendía para la conservación de alimentos o para su uso gastronómico o terapéutico desde la Edad Media y hasta los siglos XVIII y XIX, antes del desarrollo de la energía eléctrica y la tecnología frigorífica (Cruz Orozco 2005). Existen cientos de estas construcciones en toda España y más de trescientas en la Comunidad Valenciana (Cruz Orozco 2005, p. 24), que se sitúan en puntos de gran altitud en zonas montañosas: en el interior de la provincia de Alicante, en la Sierra de Mariola, se conservan algunos ejemplos, como la Cava de Sant Blai o la del Buitre, en Bocairent (figura 24).

Una solución constructiva muy utilizada en la arquitectura rural es la técnica de piedra en seco. Hoy en día todavía se pueden encontrar en muchos

Figura 24. Exterior de la Cava del Buitre en Bocairent, Alicante. Fotografía de José Miguel Gilabert García, 2015.



lugares de la región mediterránea construcciones de piedra en seco, sin labrar, formando ribazos o muros para aterrizar campos agrícolas. Todas las regiones del arco mediterráneo occidental: Liguria, Provenza y Lengadoc, Cataluña y la Comunidad Valenciana, con diferente intensidad y características, presentan paisajes costeros aterrizados con técnicas de piedra en seco (Zaragozá Catalán 2000, p. 8). En sintonía con esta forma de paisaje construido, aparecen casetas o refugios para aperos de labranza del mismo material, que se resuelven mediante cúpulas de piedra en seco con técnica de saledizo (figura 25).



Figura 25. Refugio de piedra en seco en el Alto Maestrazgo. Tomada de A. Zaragozá Catalán (2000).

Es un ejemplo curioso de piedra en seco el de los conocidos *trulli* de Alberobello en Apulia (Italia), unas cúpulas por aproximación con perfil apuntado y de piedras calizas muy planas que, según la tradición, por la facilidad de su reconstrucción se desmontaban para evadir impuestos de la vivienda (Escrig 1997, p. 30). Son ejemplos similares las *bories* provenzales, de planta rectangular y con forma de barco colocado boca abajo, o bien con formas cónicas o apuntadas (Zaragozá Catalán 2000, p. 8). Así, existen numerosísimos ejemplos de construcciones de bóvedas y sobre todo de cúpulas por aproximación en toda la región mediterránea, lo que demuestra que esta técnica constructiva, por su versatilidad, sencillez y facilidad de puesta en obra, ha permanecido vigente hasta casi la actualidad. Hoy en día es un patrimonio arquitectónico de gran valor que, por ser de carácter popular y vernáculo, precisa de herramientas de protección y gestión adecuadas.

1.3.6. En el sudeste asiático

De la predominancia de la construcción por aproximación sobre la de medio punto y de la utilización del sistema de equilibrio por contrapeso en la arquitectura hindú hace referencia ya Choisy en el primer volumen dedicado a las culturas antiguas de su obra *Histoire de l'Architecture* (1899, p. 162-163). Con la expansión de la cultura india por el sudeste asiático a partir del siglo I a.C. (Bussagli 1974, p. 145), la bóveda y el arco por aproximación son adoptados por varias culturas. Un ejemplo de ello lo encontramos en el santuario de My Son en Vietnam (IV-XIII d.C.), perteneciente a la cultura Champa (figura 26).

Contemporáneamente a los mayas, los jemerres o *khmeres* utilizaron la bóveda por aproximación en la monumental arquitectura de los templos de Angkor. Esta civilización se extendió más allá de las fronteras de la actual Camboya y su período de esplendor tuvo lugar entre los siglos IX y XV d.C., cuando su capital, Angkor, llegó a ser la ciudad más próspera del sudeste asiático (Muñoz Cosme y Vidal Lorenzo 2001, p. 97).

Figura 26. Una de las estructuras del santuario de My Son en Vietnam. Fotografía: Gaspar Muñoz Cosme, 2009.



Figura 27. Bóveda por aproximación de bloques de piedra colocados a hueso en Bayon. Fotografía de Francesco Bandarin, tomada de Unesco (2005).

Al tratarse de civilizaciones contemporáneas y con algunos rasgos en común, algunos autores (Ekholm 1953; Errázuriz 2000) han intentado establecer vínculos culturales y conexiones físicas entre los jemer y los mayas, aunque hoy en día está generalmente aceptado que no tuvieron conexión, y estas teorías han pasado a considerarse más bien como especulaciones (Smith 1962, p. 202). Las semejanzas que pueda haber se dan, seguramente, porque el hombre, ante problemas similares, diseña y desarrolla soluciones parecidas. El rasgo común más relevante para nuestro estudio se halla en que, al igual que los mayas, los jemer utilizaron la bóveda de aproximación (figura 27), heredada de la arquitectura hindú (Rooney 1999, p. 100).

Una de las principales características de la arquitectura jemer es su relación con el agua: los templos se levantaban junto a complejas y sofisticadas infraestructuras de retención del agua donde ésta funcionaba, además de como un elemento defensivo, como un recurso espacial y visual. Utilizaron preferentemente la bóveda por aproximación en los edificios religiosos, que son los que han pervivido hasta nuestros días (figura 28). En las épocas más tempranas se construían con ladrillo tomado con mortero, labrado *in situ* y protegido con estuco (Muñoz Cosme y Vidal Lorenzo 2001, p. 98). Posteriormente los jemer construyeron sus edificios con piedra arenisca. Tallaban y decoraban los sillares una vez colocados en la posición final, por lo que se produce la independencia entre la iconografía y el mapa de juntas de la superficie (Muñoz Cosme y Vidal Lorenzo 2001, p. 98). Los sillares se encajaban unos sobre otros mediante el empleo de arena abrasiva en las superficies de apoyo hasta conseguir el acoplamiento. Se colocaban a hueso, lo que ha favorecido desplazamientos, deformaciones y la introducción de raíces que han deteriorado gravemente las

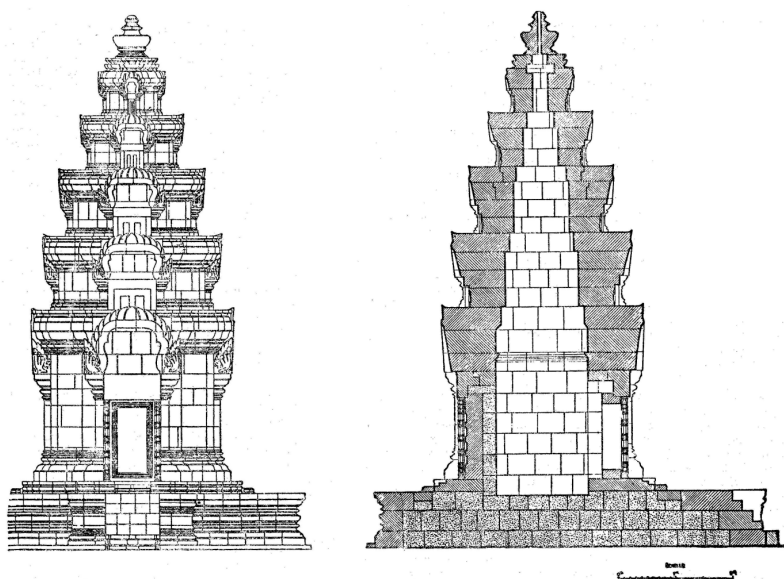


Figura 28. Alzado y sección de un *prasad* o torre-santuario tipo. Tomado de M. Glaize (2009, p. 22).



Figura 29. Edificio en Ta Prohm. Fotografía de Francesco Bandarin, tomada de Unesco (2005).

estructuras. El ejemplo más conocido por la presencia de grandes árboles que crecen en el interior de los muros es Ta Prohm (figura 29), donde las raíces no fueron extraídas de las estructuras y se dejaron *ex profeso* como testimonio del dominio de la vegetación sobre los templos de Angkor tras su abandono en el siglo XV (Muñoz Cosme y Vidal Lorenzo 2001, p. 100-101).

En el esquema típico de los conjuntos arquitectónicos de Angkor, el templo está confinado por uno o varios recintos cuadrados delimitados por grandes superficies de agua y cuyas entradas están remarcadas por *gopuras* o pabellones de entrada. La planta de estas ciudades se fue ampliando con el tiempo, hasta alcanzar la complejidad de la última gran capital del imperio: la gran ciudad de Angkor Thom (siglos XII-XIII d.C.). Este gran complejo está rodeado por doce kilómetros de murallas en los que se abren cinco grandes *gopuras* de planta cruciforme (figura 30), cubiertos con bóvedas por aproximación y coronados por torres con enormes rostros tallados en la piedra (Muñoz Cosme y Vidal Lorenzo 2001, p. 101-102).

En los templos más tardíos es característica la presencia de grandes galerías porticadas y cubiertas con bóvedas de aproximación que rodean todo el conjunto. El caso más celebre es el conjunto de Angkor Wat, construido en el siglo XII, que cuenta con tres galerías perimetrales concéntricas, la mayor de ellas con más de 200 m de lado (figura 31). Las más exteriores están formadas por una nave central abovedada, apoyada en una parte en muros ciegos, soportes de magníficos bajorrelieves, y flanqueada en la otra parte por una nave semiabovedada sobre pilares (figuras 32 y 33).



Figura 30. *Gopura* en el acceso norte a Angkor Thom. Fotografía de Tom Ravenscroft, tomada de I. Lomholt (2016).

Figura 31 Planta del conjunto central de Angkor Wat. Modificada de M. Glaize (2009, p. 58).

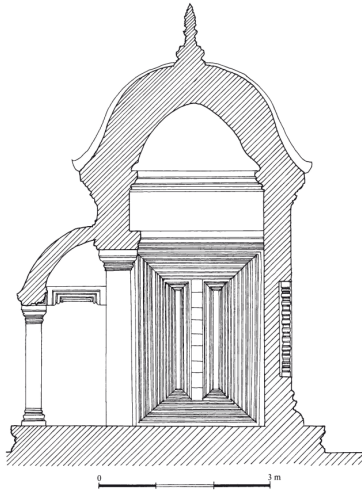


Figura 32. Sección de una de las galerías perimetrales de Angkor Wat. Tomada de J. Dumarçay (2005, p. 187).

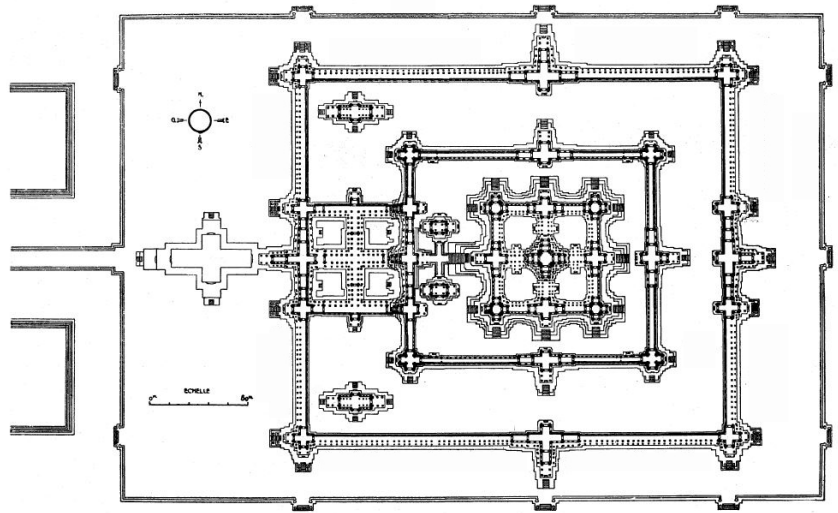


Figura 33. Galerías abovedadas de Angkor Wat. Fotografía de Francesco Bandarin, tomada de Unesco (2005).

Giorgio Croci y Alberto Viskovic (1999, p. 206) analizan las ventajas que podía tener para los jemerres el uso de la tecnología de la bóveda por aproximación: además de la mayor facilidad de la talla al tener las dovelas dos caras paralelas y de la puesta en obra sin cimbras, proponen que otra razón sería que estas bóvedas de juntas horizontales tienen un mejor comportamiento al agua que las de juntas radiales, en las que ésta puede penetrar más fácilmente en las construcciones a hueso.

1.3.7. En las culturas americanas prehispánicas

Hay escasas evidencias de la construcción de cubiertas de piedra en las poblaciones antiguas que habitaron América del Norte. Si bien existe alguna referencia a la identificación de tumbas cubiertas por cúpulas en sitios de los actuales estados de Carolina del Norte, Tennessee, Ohio, Pennsylvania y Mississippi (como se cita en Smith 1962, p. 202), parece una cuestión anecdótica y no se puede considerar que se produjo el desarrollo de esta tecnología en la América septentrional.

En cambio, en América del Sur sí existen evidencias de la utilización del sistema de aproximación de hiladas en el área andina, en zonas altas de Perú, Bolivia y el norte de Argentina, sobre todo en tipologías de arquitectura residencial o en enterramientos (figura 34), generalmente con cúpulas por aproximación construidas con piedras sin labrar y a veces arcos de saledizo sobre puertas, ventanas o nichos (Smith 1962, p. 216-218).

En Mesoamérica varias culturas emplearon la técnica de aproximación de hiladas, aunque no de manera tan generalizada como los mayas. Se han hallado bóvedas en saledizo en varios sitios del estado actual de Guerrero y del sur de Morelos, como por ejemplo en La Organera-Xochipala (figura 35), Oztotitlán, Tehuehuetla, Teopantecuanitlán y en Chilpancingo (Valverde Valdés, Liendo Stuardo y Gutiérrez León 2010, p. 62). Las halladas en Xochipala se atribuyen al período Clásico Tardío y a la cultura mezcala, sin embargo, en el sitio de Coovisur, también en Guerrero, se han hallado ejemplos de tumbas abovedadas más antiguas que pertenecerían a otras civilizaciones precedentes (Schmidt Schoenberg 2006). Algunos autores refieren evidencias en otros sitios mesoamericanos como La Venta (Werneke 2005, p. 107) o Xochicalco (Smith 1962, p. 213). Sin embargo, de todas las culturas prehispánicas la maya fue sin duda la que más desarrolló esta técnica, extendiéndola a prácticamente todo el territorio de las Tierras Bajas⁸, perfeccionándola durante siglos y adaptándola a diferentes materiales, situaciones y estilos arquitectónicos.

Una diferencia fundamental respecto a otras culturas es que generalmente los mayas no construyeron cúpulas sino bóvedas, en la gran mayoría de los casos con directriz recta, cerradas en sus extremos laterales por hastiales o testeros⁹. En las Tierras Altas Mayas, en cambio, la bóveda no fue utilizada salvo en pocos ejemplos. Smith (1962, p. 214) propone que podría haber dos razones para ello: la influencia mexica y las características sísmicas y volcánicas de este territorio. En esta área debieron resultarles más adecuadas las cubiertas de



Figura 34. Torres funerarias o chullpas en Chosi Kani, en el altiplano boliviano. Tomada de R. Kesseli y M. Pärssinen (2005, p. 397).



Figura 35. Pasillo abovedado en la Estructura 14 del sitio de Xochipala (Guerrero, México). Fuente: INAH.

⁸ El territorio de las Tierras Bajas Mayas incluye los actuales estados mexicanos de Yucatán, Quintana Roo, Campeche y parte de Tabasco y Chiapas, la totalidad del territorio de Belice y parte de los países de Guatemala, El Salvador y Honduras. Se denomina así porque, a diferencia de en las Tierras Altas Mayas, la altitud es limitada y cuenta con un clima húmedo tropical (Muñoz Cosme 2006, p. 17).

⁹ A. Ledyard Smith (1962, p. 216) cita la existencia de una cúpula en el sitio arqueológico de Aké, pero por el momento no hemos encontrado más referencias de cúpulas en el área maya.

madera y hoja de palma o los forjados planos de vigas de madera y mortero, utilizados también por las culturas del centro de México.

1.3.8. Reflexión final

Como vemos, la técnica de cubrir espacios mediante la aproximación progresiva de hiladas horizontales es una solución intuitiva que podría considerarse prácticamente universal, pues la utilizaron multitud de culturas a lo largo de la historia, en diferentes soluciones, tipologías y formas. En las épocas más antiguas aparece sobre todo asociada a usos funerarios y, posteriormente, civilizaciones que no desarrollaron el arco de medio punto y la bóveda de cañón, como la maya o la jemer, la utilizaron en prácticamente la totalidad de su arquitectura culta. En otras culturas que sí desarrollaron el considerado como “arco verdadero”, la técnica en saledizo ha permanecido en la arquitectura popular, como una solución de sencilla puesta en obra pero limitada sobre todo por sus restricciones de luz, espesor y forma.

La técnica constructiva de aproximación de hiladas horizontales surge con la necesidad de cobijo y permanencia, en el inicio de la civilización, y el ser humano la utiliza de manera intuitiva en diferentes formas y soluciones. Se trata de una tecnología fundamental para el análisis de la historia de la construcción y del hábitat y, por tanto, para el estudio de la historia de la arquitectura.

2. Estado de la cuestión

Para aproximarnos a las investigaciones precedentes sobre la bóveda maya se propone en este segundo capítulo un recorrido por las referencias a este elemento constructivo desde las crónicas del siglo XVI y los documentos de los viajeros que recorrieron Centroamérica en el siglo XIX hasta las investigaciones más recientes sobre la arquitectura maya. En la amplia bibliografía existente sobre esta cultura suele ser común encontrar referencias a la bóveda ilustradas con gráficos comparativos de diferentes secciones transversales que muestran la amplia variedad de soluciones existentes, principalmente a nivel formal. Es frecuente hallar clasificaciones de bóvedas según este criterio y, en algunos casos, se han establecido asimismo tipologías de indole constructiva. Ante ello, se ha considerado oportuno analizar de forma específica los antecedentes de clasificación de las bóvedas mayas, lo que se presenta en el apartado 2.2.

2.1. Los estudios sobre la bóveda maya

La bóveda ha sido tradicionalmente considerada como un elemento arquetípico y representativo de la arquitectura maya y, como tal, suele referenciarse en la amplia literatura existente sobre la cultura y el arte maya. Sin embargo, son más bien escasos los estudios específicos sobre la construcción maya y los análisis en profundidad sobre las características de las bóvedas.

2.1.1. La bóveda en las crónicas y en las primeras exploraciones

En las crónicas escritas por religiosos o militares durante la conquista y colonización española de la península de Yucatán entre los siglos XVI y XVIII aparecen ya referencias a algunos edificios de aquellas grandiosas ruinas que causaron la admiración de sus observadores. Así lo expresa Fray Diego de Landa en *Relación de las cosas de Yucatán*, publicada en 1566: “Que en Yucatán hay muchos edificios de gran hermosura que es la cosa más señalada que se ha descubierta en las Indias, todos de cantería muy bien labrada [...]” (De Landa 2011, p. 8).

Otros religiosos como Fray Lorenzo de Bienvenida o Fray Alonso Ponce también describieron con asombro las construcciones antiguas y las costumbres de los lugareños en el siglo XVI, lo que es ahora una valiosa fuente de información histórica y etnográfica. La descripción y las impresiones del recorrido por la Nueva España que realizó Fray Alonso Ponce entre 1584 y 1589 fueron plasmadas por su secretario Fray Antonio de Ciudad Real en el llamado *Tratado curioso y docto de las grandezas de la Nueva España: relación breve y verdadera de algunas cosas de las muchas que sucedieron al padre fray Alonso Ponce en las provincias de la Nueva España siendo comisario general de aquellas partes*. Los franciscanos Ponce y Ciudad Real describieron en el siglo XVI por primera vez las principales edificaciones del sitio de Uxmal (Ramírez Aznar 1983, p. 18-22; Barrera Rubio 2015, p. 9-10), la morfología y las decoraciones de su arquitectura y también las estancias interiores, las bóvedas y algunos detalles constructivos que observaron en las ruinas abandonadas de la región Puuc:

“Aquellas bóvedas, y todas las demás antiguas que se han hallado y descubierta en aquella provincia, no son en redondo, ni a media naranja, ni como otras que se hacen en España, sino ahusadas, como se suelen hacer las campanas de las chimeneas cuando se hacen en medio de un aposento, antes que se comience el cañón, porque por la una parte y por otra de lo ancho se van poco a poco recogiendo y ensangostando, hasta quedar por lo alto apartada la una pared de la otra como dos pies, después echan una cintilla que sale cuatro o cinco dedos de cada parte, y sobre esta atraviesan unas losas o lajas por lo llano, con que se cierra la bóveda, de manera que no hay en ella clave, sino que con el peso grande de piedras y argamasa que echan encima y que tiene a los lados, se cierra y queda fija y fuerte; los testeros de estas bóvedas van seguidos y derechos de alto a bajo. A la puerta de cada uno de los dichos aposentos de aquel cuarto, por la parte de dentro, había cuatro sortijas de piedra, dos a un lado y dos a otro, las unas abajo y las otras arriba, y todas salían de la misma pared. Destas decían los indios que colgaban las cortinas y ante-puertas los que habitaron aquellos edificios, y era muy de notar que ninguno de los aposentos, ni de todos los demás que allí había, tenían ventana ninguna, chica ni grande, y así estaban algo oscuros, especial cuando eran doblados uno dentro de otro, que aun en esto daba a entender aquella gente idólatra las tinieblas y obscuridad de errores en que estaba metida. Los umbrales altos de todas aquellas puertas eran de madera de chico zapote, que es muy fuerte y casi incorruptible, lo cual se echaba bien de ver en que los más dellos estaban enteros y sanos, con ser puestos allí de tiempo inmemorial, según dicho de los indios viejos;

Figura 36. Sección este-oeste del Palacio de Palenque dibujada por J. Frederick Waldeck. Tomada de Pasztory (2010).



Figura 37. Dibujo de Waldeck en el que muestra su encuentro con un personaje en el Palacio de Palenque. Tomada de Pasztory (2010).

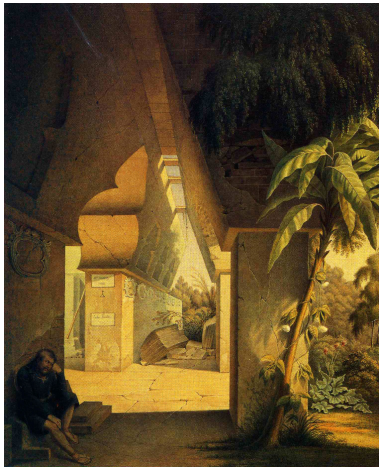
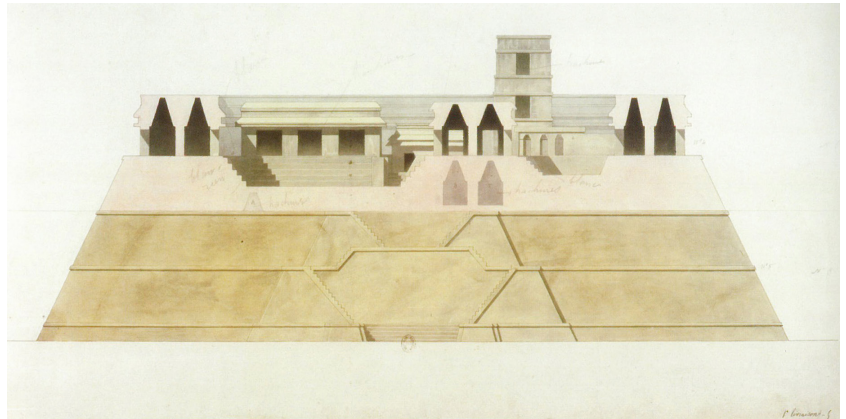


Figura 38. Autorretrato de Frederick Waldeck en la Casa A del Palacio de Palenque. Tomada de Baudez (1993, p. 90).



los umbrales de los lados eran de piedra labrada de grano maravilloso. Por las delanteras deste cuarto, así las que miran a la plaza y patio, como las que miran a fuera, hay muchas figuras de sierpes, ídolos y de escudos, y muchas celosías y enrejados, y otras muchas labores muy vistosas y galanas, especialmente si las miran desde algo lejos como pintura de Flandes, labradas todas en la misma piedra.” (Ciudad Real 1872, p. 456-457).

Durante el siglo XIX numerosos viajeros, coleccionistas y exploradores recorrieron el área maya fascinados por los vestigios arqueológicos y publicaron descripciones, dibujos, grabados y fotografías que han sido fuentes de incalculable valor para el estudio de la cultura y el arte maya. Lógicamente, en las descripciones de la arquitectura encontramos menciones a la bóveda y sus diferentes variantes y formas, así como representaciones de los espacios abovedados. Johann Frederick Waldeck (1766-1875) publicó varias vistas interiores y planimetrías de los palacios de Palenque y de Uxmal (figura 36), y mostró en una tabla comparativa las distintas formas de la sección transversal de algunas bóvedas de varios sitios¹⁰, recurso que han utilizado posteriormente muchos autores para mostrar el amplio abanico de formas de bóvedas que existen en el área maya, lo que analizaremos en el siguiente apartado. Las representaciones de la arquitectura de este autor eran además escenas costumbristas o narraban situaciones que él mismo vivió en las ruinas (figuras 37 y 38).

Los dibujos y grabados de la época más conocidos son sin duda los de Frederick Catherwood, que ilustraron las obras de John Stephens *Incidents of Travel in Central America, Chiapas and Yucatan* (1841) e *Incidents of Travel in Yucatan* (1843) y que posteriormente publicó en *Views of Ancient Monuments in Central America, Chiapas and Yucatan* (1844). Entre los magníficos grabados de Catherwood, algunos realizados con técnicas de cámara lúcida, encontramos

¹⁰ Véase la figura 58.

representaciones de algunas bóvedas, arcos y espacios interiores (figuras 39, 40 y 41). La realidad y fidelidad de estos dibujos ofrece información muy útil sobre el estado de conservación de los edificios a mitad del siglo XIX. En su época las publicaciones de Stephens dieron a conocer los monumentales vestigios que se ocultaban en la selva centroamericana, de una manera objetiva y con un lenguaje ameno.

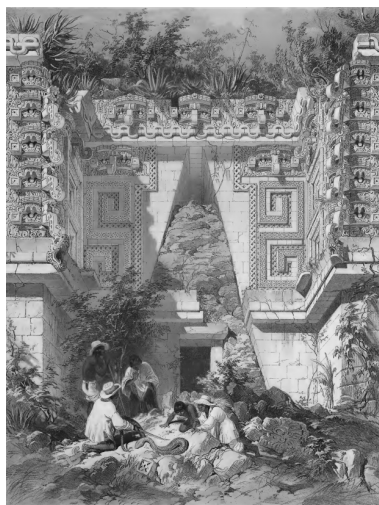
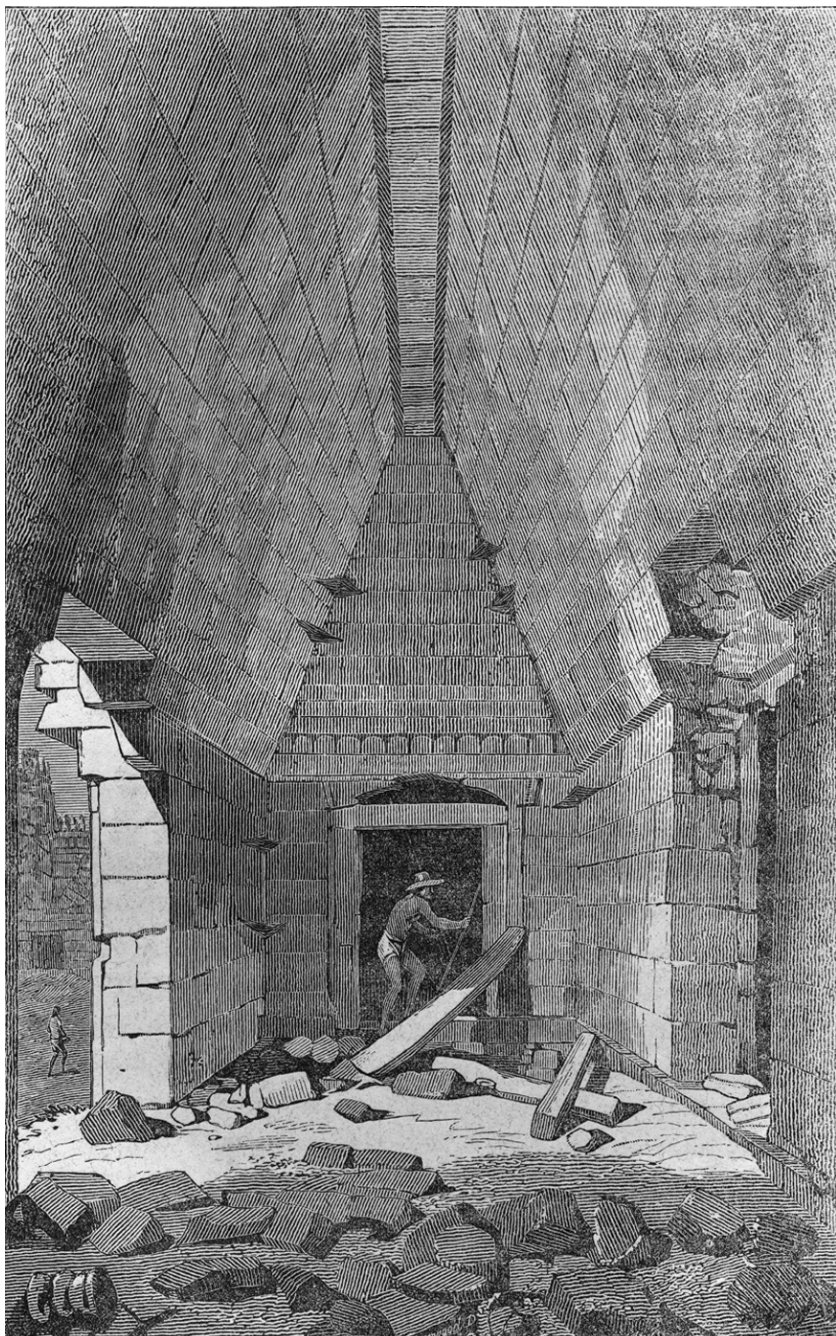


Figura 39. Vista de Frederick Catherwood (1844) de uno de los arcos del Palacio del Gobernador de Uxmal.



Figura 40. Dibujo de Frederick Catherwood (1844) del interior uno de los cuartos del edificio Codz Pop de Kabah.

Figura 41. Vista del interior de la estancia central del ala este del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal en la obra de John Stephens (1843, p. 309).

A partir del trabajo de John Stephens se empieza a tomar conciencia de que aquellas construcciones pertenecían a una civilización antigua propia de aquel territorio, y de que sus habitantes fueron los antepasados de la población que seguía viviendo allí. Hasta ese momento, la cultura maya había sido un enigma para los viajeros que habían llegado a la península de Yucatán, y se había especulado sobre la pertenencia de las ruinas a otras culturas antiguas, relacionándolas con Egipto, con las antiguas tribus de Israel o con culturas hindúes. Un ejemplo de ello lo encontramos en uno de los dibujos de Waldeck, en el que comprara diferentes elementos arquitectónicos y artísticos de varias culturas del viejo mundo, con el objetivo de demostrar su vinculación con el área maya. En el caso de la bóveda, la compara con las construcciones asirias y micénicas, tratando de buscar las conexiones entre las distintas civilizaciones (figura 42). Décadas más tarde se publicaron algunas obras que enfatizaban esta falsa relación de los monumentos mayas con otras culturas antiguas del Mediterráneo, como por ejemplo *The American Egypt: a record of travel in Yucatan*, de Arnold Channing y Frederick J. Tabor Frost (1909). Posteriormente, y ya con un conocimiento mucho más avanzado de la cultura maya, han existido teorías que defendían su relación e influencia de las culturas asiáticas (Ekholm 1953; Errázuriz 2000), aunque hoy en día está generalmente aceptado que, aunque existen similitudes en algunos conceptos, no se produjeron intercambios entre culturas antiguas de ambos lados del Pacífico.

Figura 42. Dibujo de Frederick Waldeck con referencias a elementos asirios, egipcios y micénicos. Tomado de Pasztory (2010).





Figura 43. El arco de Labná en uno de los grabados más conocidos de Frederick Catherwood (1844).

Una tipología arquitectónica que llamó especialmente la atención de varios exploradores y viajeros fue la de los arcos urbanos¹¹, que a su manera de ver eran como los arcos de triunfo de las ciudades europeas, y los plasmaron en numerosas representaciones y fotografías. Tal es el caso del arco de Labná, representado por Frederick Catherwood en una escena que incluye a los miembros de la exploración en primer plano (figura 43). Otro ejemplo destacado es el arco de Kabah. El primer dibujo de los restos de este arco se publica en la obra de Stephens (1843, p. 400) y, basado en éste, posteriormente también en la del explorador francés Désiré Charnay (figura 44).



Figura 44. El arco de Kabah en la obra de Désiré Charnay (1885, p. 322).

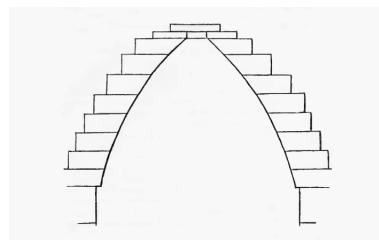


Figura 45. Forma más común del arco utilizado por los antiguos mayas según John Stephens (1843, p. 433).

En la obra de John Stephens *Incidents of Travel in Yucatan*, publicada en Nueva York en 1843, se incluyen varios apéndices sobre diversos temas específicos, entre los cuales cabe señalar uno dedicado al sistema de cubiertas de fábrica en la arquitectura maya, titulado *System adopted by the ancient builders of Yucatan in covering their rooms with stone roofs* (Stephens 1843, p. 429-434), pues probablemente sea el primer texto dedicado específicamente a la bóveda maya (figura 45). En este anexo Stephens define las principales características de la bóveda en saledizo usada por los antiguos mayas y la diferencia del “arco verdadero” haciendo hincapié en la horizontalidad de sus juntas y en las limitaciones de luz que presenta. Indica asimismo que la anchura más frecuente de los cuartos abovedados oscila entre seis y diez pies, es decir, entre 1,80 y 3,00 m (Stephens 1843, p. 429). En este temprano texto Stephens compara ya la utilización en el área maya de esta técnica constructiva de aproximación de hiladas con la de otras culturas antiguas de Europa y Asia, y proporciona

¹¹ Con el término “arco urbano” nos referimos a la tipología arquitectónica de arco monumental que se utilizó en la arquitectura maya para marcar accesos o puntos importantes y con un carácter marcadamente simbólico. Véase al respecto *El arco urbano en la arquitectura maya* (Gilbert Sansalvador, Peiró Vitoria y Martínez Vanaclocha 2017).

ejemplos ilustrados con dibujos de la antigua Grecia, de Roma y de Egipto. Destaca las similitudes en la utilización de la técnica pero defiende que resulta más probable que no se deban a un origen común o a una conexión entre estas lejanas civilizaciones, sino que se utilice en diferentes contextos al tratarse de un sistema sencillo e intuitivo a la hora de cubrir un espacio con piedra cuando no se dispone de bloques de gran tamaño que salven toda la luz de la estancia (Stephens 1843, p. 433).

2.1.2. Primeras referencias en Europa

Los resultados de aquellas primeras exploraciones al área maya causaron admiración e interés en el viejo continente, donde se tenía una sesgada e idealizada visión sobre estas lejanas y exóticas construcciones. A medida que aumentó la información y la documentación disponible, la desconocida arquitectura mesoamericana empezó a aparecer en los ambiciosos tratados generales de arquitectura y en obras completas de la historia del arte europeas de finales del siglo XIX y principios del XX, tal y como veremos a continuación con algunos ejemplos. En la mayoría de los casos los escritores nunca habían visitado los sitios que describían, y ofrecían una imagen de la arquitectura maya muy limitada y basada en los relatos, dibujos y fotografías publicados por los exploradores, dando a menudo una visión distorsionada y cargada de romanticismo (Schávelzon 1980, p. 331).

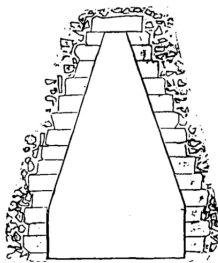
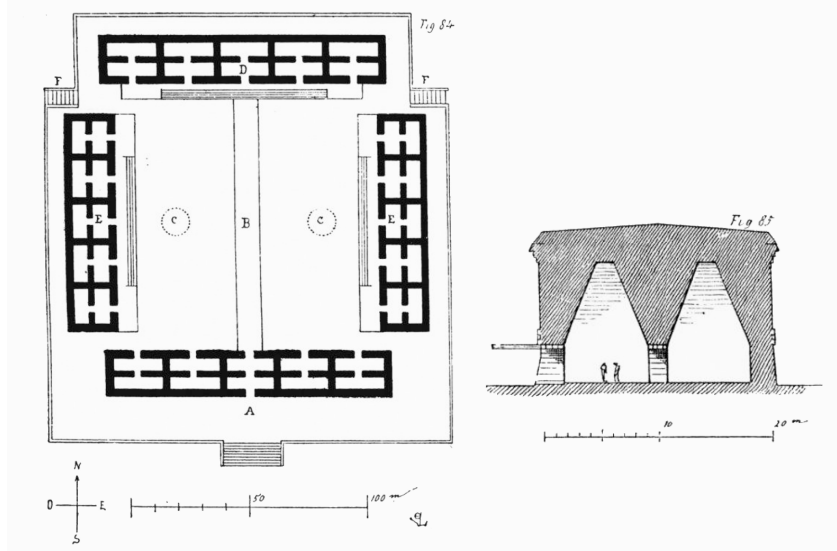


Figura 46. Sección de una bóveda de Chichén Itzá según Viollet-le-Duc (1863, p. 50).

Aunque su aportación al ámbito americanista es poco conocida, uno de los primeros escritores europeos interesados en la arquitectura maya fue el arquitecto, restaurador, teórico y defensor de la arquitectura histórica Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc (1814-1879). Basándose en las investigaciones y las fotografías de Désiré Charnay y como arquitecto del gobierno de Napoleón III, Viollet-le-Duc publica en 1863 *Cités et Ruines Américaines*. Como introducción a la descripción de los recorridos de Charnay por varias regiones de México, el autor ofrece un panorama general sobre la historia cultural y antropológica de América, incluyendo sus propias y particulares hipótesis sobre la diversidad racial en Mesoamérica, que relaciona directamente con los diferentes estilos constructivos y arquitectónicos (Schávelzon 1980). Posteriormente analiza y compara algunos de los edificios y decoraciones de los sitios de Izamal, Chichén Itzá, Uxmal, Palenque y Mitla, aportando dibujos y planos propios y haciendo referencia en todo momento a las fotografías de Charnay (figura 46). Cabe señalar que Viollet-le-Duc, ya en este momento, llamó la atención sobre la gravedad de la situación de saqueo y destrucción que estaban sufriendo lugares como Palenque, cuyo resurgimiento estaba provocando que numerosos relieves y objetos escultóricos fueran sustraídos



y trasladados a países extranjeros para ser incluidos en colecciones de anticuarios (Viollet-le-Duc 1863, p. 73; Schávelzon 1980, p. 333). En su obra publicada en 1875 sobre el origen y el desarrollo de la vivienda en la historia incluye un capítulo sobre la vivienda en el México antiguo (Viollet-le-Duc 1875, p. 278-292), en el que analiza y describe los palacios de Uxmal como espacios residenciales y lo ilustra con planos y reconstrucciones ideales que, aunque presentan errores y simplificaciones, son de gran interés desde un punto de vista historiográfico por el momento y el contexto en el que están realizados (figuras 47, 48 y 49).

Auguste Choisy, en su amplísima obra general *Histoire de l'architecture* publicada en 1899, dedica un capítulo a la arquitectura del Nuevo Mundo, en el que ofrece una visión general sobre los monumentos y una reflexión sobre la cronología y los orígenes de la arquitectura en el continente americano, centrada en la zona andina de Perú y en el área maya (Choisy 1899, p. 198-207), principalmente con referencias a los sitios de Palenque y Uxmal (figura 50). Aunque inicia el texto afirmando que “en el continente americano las manifestaciones artísticas se limitan a un territorio que no parece haya tenido comunicación directa ni con Asia ni con Europa [...]”, a continuación destaca las similitudes entre la arquitectura maya y la oriental: “[...] sobre todo en Yucatán una arquitectura erudita procedente, como el arte hindú, de la imitación de las construcciones de madera, y recordando por las riquezas de su estilo a la arquitectura florida que dominó en la India durante los siglos IX y X de nuestra era” (Choisy 1899, p. 198-199), y al final del capítulo plantea hipótesis sobre las posibles conexiones marítimas entre las culturas hindúes y Mesoamérica (Choisy 1899, p. 207).

Figura 47. Planta y sección del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal según Viollet-le-Duc (1875, p. 284-85).

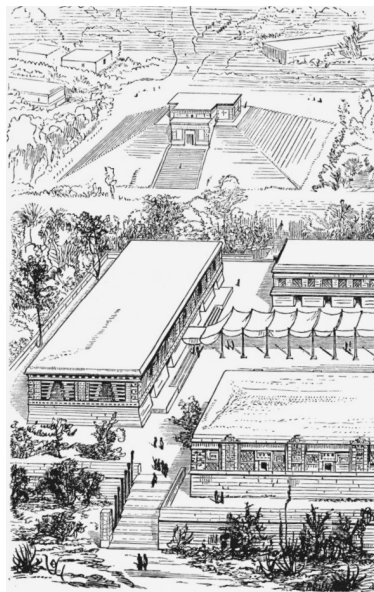


Figura 48. Reconstrucción ideal del Cuadrángulo de las Monjas y la Pirámide del Adivino de Uxmal según Viollet-le-Duc (1875, p. 333).

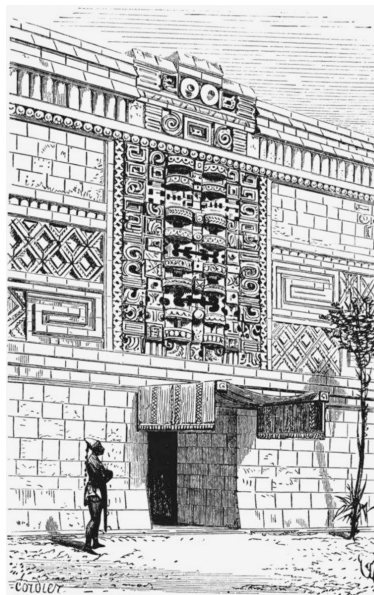


Figura 49. Reconstrucción ideal de la fachada del Ala Norte del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal según Viollet-le-Duc (1875, p. 337).

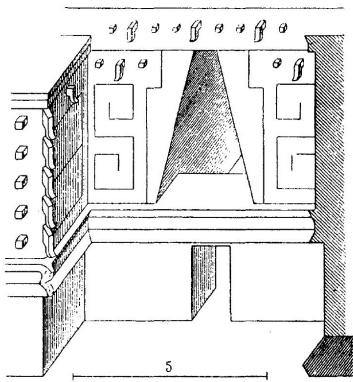
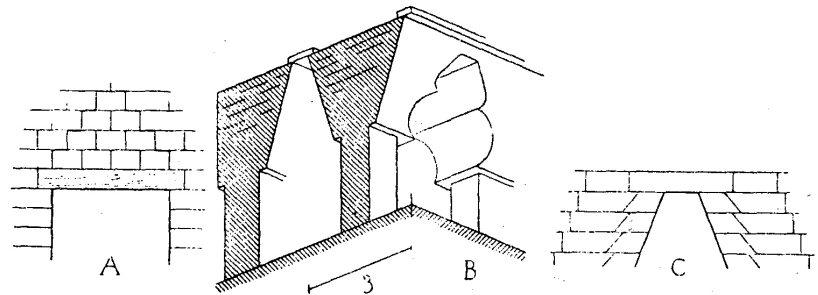


Figura 50. Dibujo de uno de los arcos del Palacio del Gobernador de Uxmal realizado por A. Choisy (1899, p. 205).

En la descripción de los sistemas constructivos Choisy define la bóveda por aproximación de hiladas horizontales de la arquitectura maya (*constructions par encorbellement*, figura 51), señalando las limitaciones de luz que presenta y la debilidad de los dinteles de madera en estas estructuras que, según él, podrían haberse resuelto con arcos de aproximación sobre los vanos de las puertas¹²: “huelga decir que en todas partes los dinteles se pudrieron, llevando consigo las hiladas que los sobrecargaban, y dejando la apertura con el aspecto que debería habersele dado, la de una construcción en voladizo” (Choisy 1899, p. 201).

Figura 51. Construcción por aproximación de hiladas en la arquitectura maya según A. Choisy (1899, p. 200).



Entre 1886 y 1901 se publica en Barcelona, en ocho volúmenes de formato enciclopédico, *Historia General del Arte: escrita e ilustrada en vista de los monumentos y de las mejores obras publicadas hasta el día*, bajo la dirección de los arquitectos catalanes Luis Doménech i Montaner y Josep Puig i Cadafalch, una obra que recoge en los tres primeros volúmenes la historia de la arquitectura universal conocida hasta el momento, con ilustraciones realizadas con la técnica de la cromolitografía. En el capítulo dedicado a la arquitectura americana, tras exponer el debate y las hipótesis que se barajaban en la época sobre su posible relación con la arquitectura de Oriente, se da una visión muy general y, lógicamente limitada, sobre la construcción y la arquitectura maya de Palenque, Copán y Uxmal, basada en la documentación de los viajeros y exploradores e ilustrada con dibujos de Frederick Catherwood y fotografías de Désiré Charnay. En cuanto a la bóveda, se indica que “tal como hicieron los egipcios y los griegos, cubrieron salas de regulares dimensiones; los muros se levantaban con paramentos verticales hasta cierta altura en que empezaban á construirse ataludados hasta casi tocarse, en cuyo punto cúbrelos una hilada de losas [...] No se ha hallado ejemplo alguno de bóveda ni arco adovelado. Mas con sus procedimientos simples levantan formas complicadas cónicas, cilíndricas” (Puig i Cadafalch 1901a, p. 782).

¹² Los mayas adoptaron esta solución en algunos casos, como por ejemplo en los principales edificios de Palenque.

2.1.3. El inicio de los estudios arquitectónicos

En la transición entre el siglo XIX y XX aparecen los primeros estudios sobre la arquitectura y la construcción maya realizados desde un punto de vista más científico. Una de las primeras obras que se desmarca de la visión de los viajeros y exploradores y que se constituyó como una de las principales referencias para los estudios posteriores es *Archeological studies among the ancient cities of Mexico*, publicada en dos partes en 1895 y en 1897 por William H. Holmes. Una de las principales innovaciones de esta obra respecto a las publicaciones anteriores radica en el material gráfico, que se aleja del carácter romántico y pintoresco de los grabados y dibujos realizados hasta el momento y presenta unas ilustraciones mucho más analíticas que acompañan a las descripciones: planos en planta, secciones constructivas, perspectivas y axonometrías muy detalladas (figura 52).

Holmes analiza y plantea diversas cuestiones sobre los materiales constructivos, el transporte y el trabajo de la piedra, las técnicas de albañilería e incluso sobre los instrumentos de medida que utilizarían los antiguos constructores mayas

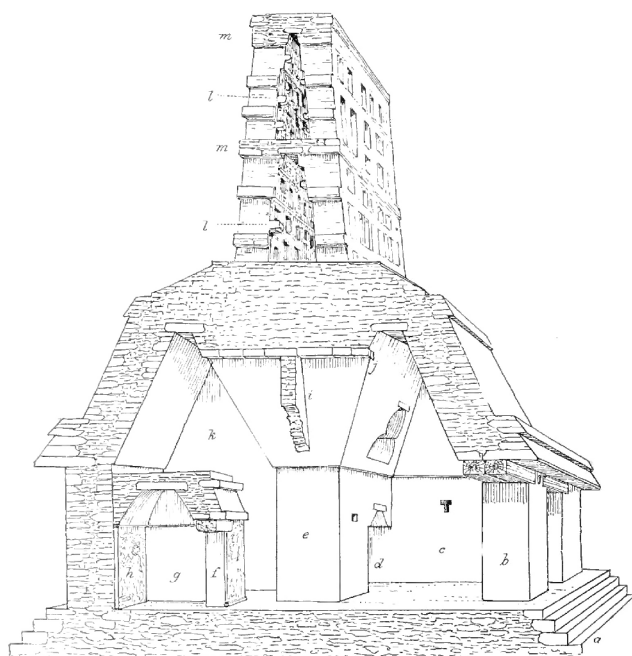


FIG 64. TRANSVERSE SECTION THROUGH MIDDLE OF TEMPLE OF THE CROSS, SHOWING PERSPECTIVE OF EAST HALF OF BUILDING.

- a. Stairway facing south.
- b. Pillar (restored) separating middle and east entrance.
- c. East end of front vault or vestibule.
- d. Doorway to east anteroom.
- e. Great doorway connecting front and back vaults.
- f. Doorway to tablet chamber. Lintel restored.
- g. East wall of tablet chamber.
- h. Former position of tablet of the Cross.
- i. Arch brace of masonry.
- j. Ceiling stones of doorway arch.
- k. Partition wall separating sanctuary from east anteroom.
- l. Steps (projecting stones) for ascending through openings in middle floor and roof.
- m, n. Middle floor and roof of comb.

Figura 52. Sección transversal del Templo de la Cruz de Palenque realizada por W. H. Holmes (1897, p. 201).

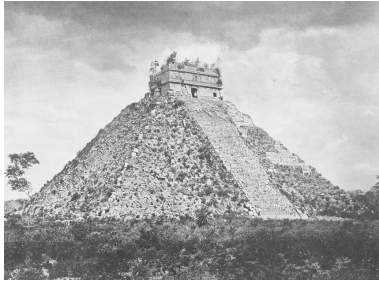


Figura 53. Fotografía de El Castillo de Chichén Itzá tomada por A. P. Maudslay (1902).

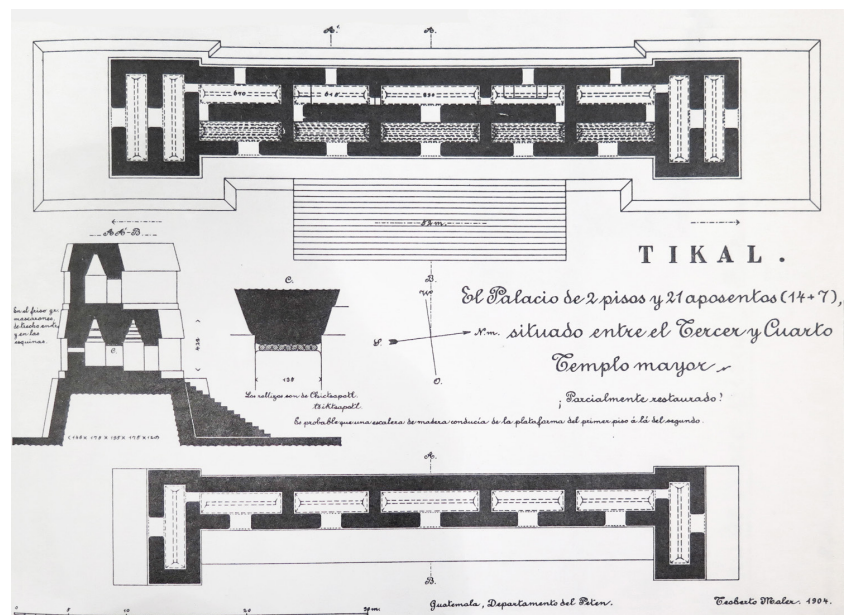


Figura 54. Fotografía de la Estructura 4 de Labná a principios del siglo XX, tomada de *Península Yucatán von Teobert Maler* (1997).

Figura 55. Planos del Palacio de las Ventanas de Tikal realizados por T. Maler en 1904. Tomado de Kutscher (1971).

(Holmes 1895, p. 24-31). Asimismo, dedica epígrafes específicos a la función de los edificios y a los distintos elementos constructivos que los componen: escalinatas, plataformas, muros, techos, puertas, columnas...etc. y también a las bóvedas y los arcos. Como veremos en el siguiente apartado, Holmes (1895, p. 51) publica uno de los primeros gráficos comparativos de secciones transversales de bóvedas, en el que incluye diferentes soluciones constructivas y estereotómicas¹³. Posteriormente este gráfico ha sido reutilizado, modificado y ampliado por numerosos autores para mostrar la variedad formal de las bóvedas. Tras los primeros capítulos de temática general, Holmes describe los edificios más relevantes de varios sitios arqueológicos, entre los que destacan Uxmal, Chichén Itzá y Palenque, incluyendo características tipológicas, formales y constructivas que ilustra con fotografías y detallados planos y dibujos (figura 52).

Otros dos autores que fueron precursores del estudio científico de la arquitectura maya antes de la institucionalización de los trabajos arqueológicos en el área fueron Teobert Maler y Alfred Percival Maudslay. Una de sus principales aportaciones fue la abundante documentación fotográfica que realizaron de la arquitectura de numerosos sitios (figuras 53 y 54). Esta información ha resultado muy útil en todas las investigaciones posteriores, pues muestra la arquitectura tal y como se había conservado en los inicios del siglo XX, antes de que se realizara cualquier tipo de intervención en los edificios (Maudslay 1902 ; Maler 1903, 1908, 1910, 1911, 1997). La extensa obra de Teobert Maler destaca además por incluir planimetrías del estado ideal, sobre todo plantas y secciones, de numerosos edificios, muchos de ellos abovedados, en las que se incluyen detalles constructivos, cotas



¹³ Véase la figura 59.

y anotaciones (figura 55). Estas planimetrías han sido retomadas por varios autores posteriores y en algunos casos aún hoy en día son los únicos planos publicados de algunos edificios.

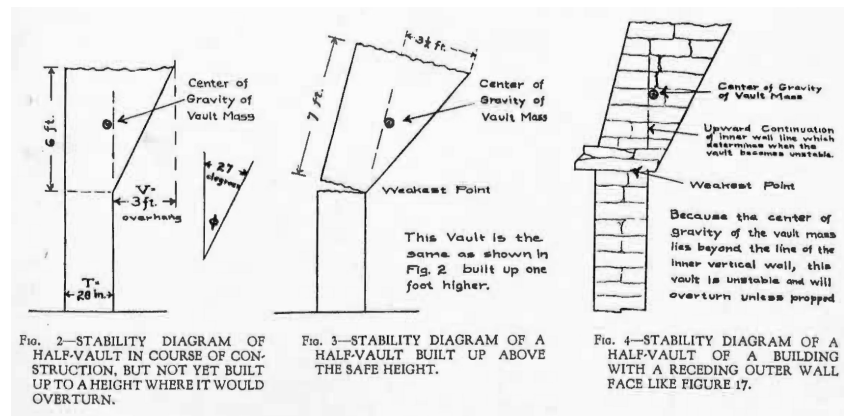
En esta época Edward H. Thompson publica el artículo *The Genesis of the Maya Arch* (1911), en el que estudia la tipología y la construcción de la vivienda tradicional maya y aparece por primera vez la idea de la bóveda como resultado de la trasposición en piedra de la casa de madera y hoja de palma.

En la primera mitad del siglo XX se publican las primeras obras dedicadas específicamente al arte y la cultura maya, en las que se realiza una síntesis sobre las características generales de la arquitectura y, entre los elementos constructivos descritos, se incluye la bóveda. En la obra *A study of Maya art* de Herbert J. Spinden, publicada en 1913, se plantean ya, aunque de manera general, algunos aspectos formales, funcionales y constructivos de las bóvedas (Spinden 1975, p. 108-110).

Uno de los primeros trabajos dedicados específicamente a la arquitectura mesoamericana es el de Ignacio Marquina. En 1928 publica *Estado actual de los principales edificios arqueológicos de México*, el preludeo a su obra *Arquitectura Prehispánica*, publicada en 1932 y ampliada en 1951. En ella Marquina (1964, p. 502-900) dedica una gran parte al área maya, en la que compara los rasgos arquitectónicos y constructivos distintivos de cada zona geográfica. A continuación describe una gran cantidad de edificios de numerosos sitios, incluyendo planimetrías basadas en los dibujos y el material gráfico de otros autores precedentes como Teobert Maler o Alfred Tozzer, y en datos que él mismo recolectó en campo (Gillot 2018, p. 52).

En este contexto de las primeras obras generalistas es una excepción el trabajo de Lawrence Roys, *The Engineering Knowledge of the Maya* (1934), hasta la actualidad uno de los pocos estudios específicos de la arquitectura maya desde el punto de vista estructural y constructivo. Roys fue un ingeniero ajeno al ámbito mayista que analizó los principios y problemas estructurales de la arquitectura maya monumental a partir de las fotografías, los dibujos y los datos obtenidos de Maudslay, Morley, Spinden y otros autores. En esta obra, la única del autor sobre el tema, analiza la estática y el diseño estructural de las bóvedas mayas según los rasgos formales del edificio en cada caso (figura 56). Roys diferencia ya dos tipologías constructivas de bóvedas asociadas a los considerados en aquel momento el Viejo Imperio y el Nuevo Imperio. En el primero se incluyen los sitios de las Tierras Bajas del Sur, como Tikal y Palenque, a los que se les atribuyen las bóvedas de aproximación o *corbelled*; el Nuevo Imperio se consideraba la zona

Figura 56. Estudio estático de las bóvedas en la obra de L. Roys (1934, p. 37).



norte de Yucatán, con sitios como Chichén Itzá o Uxmal, en los que Roys define las bóvedas como monolíticas. Aunque el estudio presenta errores y malinterpretaciones, plantea ya en este momento temas muy novedosos y relevantes como las diferencias en el material pétreo, las formas y el grado de talla de las dovelas, la importancia y calidad de los rellenos, la función de los morillos¹⁴ o las formas de colapso de las bóvedas. Por ello, la obra de Roys es una de las aportaciones más relevantes de esta época al conocimiento de la tecnología constructiva de la bóveda maya. Las siguientes aproximaciones al cálculo estructural no se darán ya hasta estudios mucho más recientes como el de Stanley Loten (1991), Justine Cecilia Staneko (1996) o Ricardo Perelló Roso (2006).

En estos años y en el contexto de las primeras grandes campañas arqueológicas, a cargo del Museo Peabody de la Universidad de Harvard y de la Carnegie Institution de Washington, surgen trabajos específicos sobre algunos edificios objetos de las excavaciones y restauraciones realizadas en este período, en los que se estudian los temas constructivos con más profundidad que en las obras precedentes. Son ejemplo de ello los trabajos de A. Ledyard Smith y Harry E.D. Pollock sobre algunos edificios de Uaxactún como el A-V, el A-XVIII o el E-X (Pollock 1937; Smith 1937, 1950) o el trabajo de Karl Ruppert sobre el Caracol de Chichén Itzá (1935).

En 1940 se publica por primera vez uno de los estudios dedicados específicamente a la bóveda maya: *The Corbeled Arch in the New World*, de A. Ledyard Smith. Es una de las aportaciones más completas, pues repasa diferentes aspectos como el origen de la bóveda en la arquitectura maya o la evolución de la estereotomía de las dovelas, y establece diferentes tipologías funcionales de los espacios abovedados. Smith toma el gráfico comparativo de secciones transversales de Holmes y lo amplía con otros ejemplos para mostrar la gran variedad de soluciones existentes¹⁵ (Smith 1962, p. 209), como veremos en el apartado 2.2.

¹⁴ Sobre el estado de la cuestión de las investigaciones acerca de la función de los morillos véase el apartado 7.2.4.1.

¹⁵ Véase la figura 60.

2.1.4. La bóveda en la investigación reciente de la arquitectura maya

Desde mediados del siglo XX y con el auge y la diversificación de la investigación arqueológica en el área maya, el conocimiento de la cultura y de la arquitectura maya ha avanzado considerablemente y sigue en constante crecimiento. En numerosos sitios se han investigado edificios abovedados, pero no son abundantes las publicaciones que recopilen los resultados de las excavaciones arqueológicas en cuanto a la técnica de la construcción abovedada, siendo este un tema que suele quedar en segundo plano respecto a otros de carácter histórico, antropológico o epigráfico.

En las obras generales sobre cultura, arte y arquitectura maya (Morley 1947; Toscano 1952; Kubler 1975; Gendrop 1970; Gendrop y Heyden 1975) se trata el tema de la bóveda de manera muy general y normalmente se incluyen gráficos comparativos de secciones transversales que muestran la variedad de soluciones formales o proponen clasificaciones atendiendo únicamente a este criterio, como veremos en el siguiente apartado.

Las principales aportaciones al conocimiento y la caracterización de la bóveda se han realizado en estudios de edificios concretos (Kowalski 1987; Hohmann 2017) o de regiones específicas (Potter 1977; Huchim Herrera y Toscano Hernández 1998, 2015). Cabe señalar las investigaciones sobre la arquitectura de algunas zonas geográficas, principalmente del área Puuc, y también de las áreas de Chenes y Río Bec, realizadas por varios autores como Paul Gendrop, Harry E.D. Pollock y George F. Andrews, entre otros, en las que sí se tratan temas específicos de las características constructivas de las bóvedas (Pollock 1980; Gendrop 1983; Andrews 1986c, 1995e). En el siguiente apartado analizaremos las clasificaciones de bóvedas en los estudios estilísticos de la arquitectura de determinadas zonas geográficas. Veremos que en algunas áreas, especialmente en el Puuc, se han realizado exhaustivos trabajos de documentación y clasificación estilística en los que se ha analizado la tecnología constructiva de los edificios abovedados. Sin embargo, en otros casos este tema apenas se ha tratado, por lo que existe un gran desequilibrio en cuanto al conocimiento constructivo entre unas regiones y otras.

Sobre técnicas de construcción en sitios concretos son interesantes diversos artículos publicados en la revista *Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana* (Andrews, Gendrop y Siller 1985; Andrews et al. 1985; Quintana Samayoa y Noriega Girón 1992; Prem 1995). Dos trabajos muy interesantes en los que se ha tratado específicamente el tema de la bóveda maya son: el de Hasso Hohmann (1979), en el que establece tipologías de carácter constructivo, estructural

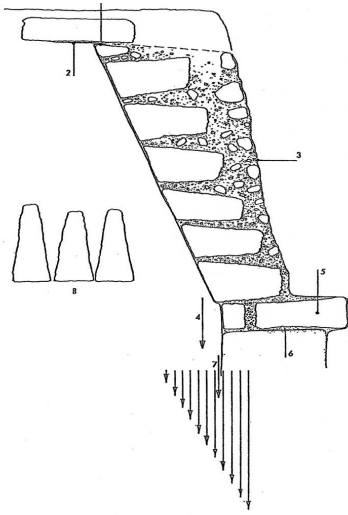


Figura 57. Análisis estático de una bóveda de Tikal según S. Loten (1991, p. 30).

y formal¹⁶ y plantea muchas cuestiones acerca de su tecnología constructiva; y el de Stanley H. Loten (1991) sobre los edificios abovedados de Tikal (figura 57), con relevantes aportaciones sobre su proceso constructivo.

Más recientemente cabe destacar el estudio estructural de las bóvedas del sitio de La Blanca realizado por Ricardo Perelló Roso (2006), el ensayo teórico y conceptual sobre *La falsedad del falso arco maya* de Alejandro Villalobos (2001) y varios estudios específicos y clasificaciones de la bóveda maya realizados por Mónica Cejudo Collera (2002, 2015). Cabe señalar que recientemente se han realizado algunas investigaciones sobre la arquitectura maya desde una visión más constructiva (Staneko 1996; Werneke 2005; Gillot 2018), lo que resulta muy necesario en el ámbito de la arqueología maya.

2.2. Antecedentes de clasificación de la bóveda maya

Tradicionalmente la clasificación de la bóveda maya se ha abordado desde el punto de vista de la forma de su sección transversal: las formas más comunes (recta, cóncava, escalonada, etc.) han sido representadas junto con otras más singulares en gráficos comparativos que se han incluido en numerosas publicaciones para ilustrar la gran variedad de soluciones de bóvedas existentes en el área maya.

A continuación se analizan las clasificaciones de la bóveda maya que se conocen, con el objetivo de obtener una visión amplia sobre los antecedentes en la clasificación de nuestro objeto de estudio. En primer lugar se muestran las clasificaciones de carácter formal, generalmente representadas en gráficos comparativos de varias secciones transversales; a continuación se exponen las diferentes clasificaciones de índole constructiva que se han realizado; y por último, se analizan las tipologías de bóvedas establecidas en algunos estudios estilísticos de la arquitectura de determinadas zonas geográficas.

2.2.1. Clasificaciones formales mediante gráficos comparativos

Como decíamos, numerosos autores han expresado que existe una gran variedad de soluciones de bóvedas en el territorio de las Tierras Bajas Mayas mediante gráficos que comparan las diferentes formas de la sección transversal. Aunque algunos de estos gráficos se han titulado “tipos de bóvedas mayas”, en la mayoría de los casos se trata de muestrarios de secciones de edificios concretos, en las que también se observan diferentes soluciones constructivas.

¹⁶ Véase al respecto el apartado 2.2.

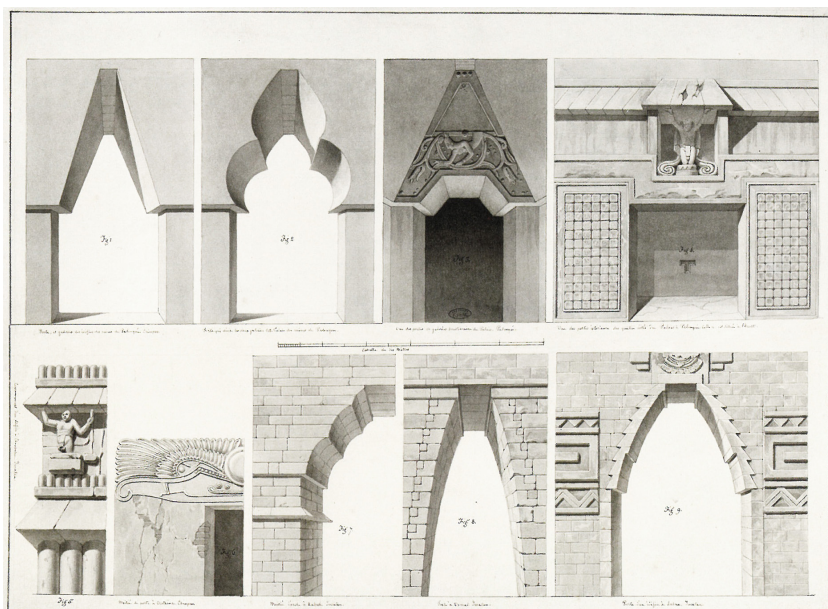


Figura 58. Puertas y arcos de diferentes sitios dibujados por J. F. Waldeck. Tomada de Baudez (1993, p. 173).

El gráfico comparativo de arcos mayas más antiguo que hemos identificado es el de J. Frederick Waldeck quien, como hemos visto en el apartado anterior, realizó numerosos dibujos, planos y también vistas pintorescas de la arquitectura y la iconografía de Palenque y de varios sitios de Yucatán, principalmente de Uxmal. Los dibujos de Waldeck tienen un incalculable valor documental y en su época supusieron la presentación de las ciudades mayas al mundo europeo, sin embargo, presentan una visión distorsionada de la realidad que responde a la búsqueda del autor de las huellas de otras culturas del mundo antiguo en el arte maya (Baudez y Picasso 1990, p. 54). Este afán comparativo se muestra asimismo en una lámina en la que el autor recoge ocho dibujos de puertas de diferentes edificios, la mayoría de las cuales son arcos con diferentes formas y soluciones constructivas (figura 58). Según Esther Pazstory (2010, p. 38) Waldeck estaba fascinado por la arquitectura abovedada maya y quiso mostrar en esta tabla comparativa cómo diferían las bóvedas de un lugar a otro: las cuatro primeras imágenes pertenecen a Palenque, y entre ellas se incluye el arco trilobulado de la Casa A. Las tres figuras de la izquierda en la fila inferior corresponden a arcos de Kabah¹⁷, Uxmal¹⁸ y Labná¹⁹. Los arcos se representan en alzados con perspectiva y se incluye una escala gráfica común. Waldeck dibuja las decoraciones y en las bóvedas de Yucatán detalla además los aparejos y la estereotomía de las dovelas, visibles en estos casos a diferencia de lo que ocurre en los edificios de Palenque, donde están recubiertas de estuco.

Aunque la de Waldeck es la primera referencia a las bóvedas en este formato de gráfico comparativo, la primera tentativa de clasificación formal como tal

¹⁷ La tercera figura de la fila inferior se corresponde, presumiblemente, con el arco de Kabah, reconocible por la moldura que aparece bajo la línea de impostas. El intradós lobulado que propone Waldeck es una interpretación del autor pues, tal y como puede verse en los dibujos, fotografías y planos realizados por varios autores (Stephens 1843, p. 400; Charnay 1885, p. 322; Pollock 1980, p. 155-157) antes de la restauración llevada a cabo en los años 50, el arco se encontraba parcialmente derruido y sólo se mantenían en pie las primeras hiladas de dovelas sobre la línea de impostas.

¹⁸ La cuarta figura de la fila inferior representa el arco del Edificio 22 de Uxmal según la denominación de las estructuras establecida en el plano de I. Graham de 1992 (Peiró Vitoria 2016).

¹⁹ La figura inferior derecha representa el alzado sur del arco de Labná, en el que el autor interpreta el escalonamiento del intradós del arco y también la decoración sobre la tapa.

aparece en la ya mencionada obra del antropólogo estadounidense William Henry Holmes, *Archeological studies among the ancient cities of Mexico* (1895). En el apartado en el que describe las características arquitectónicas de los monumentos de Yucatán incluye una ilustración con croquis de seis “ejemplos de arcos mayas” (figura 59). Holmes explica en el texto que estos

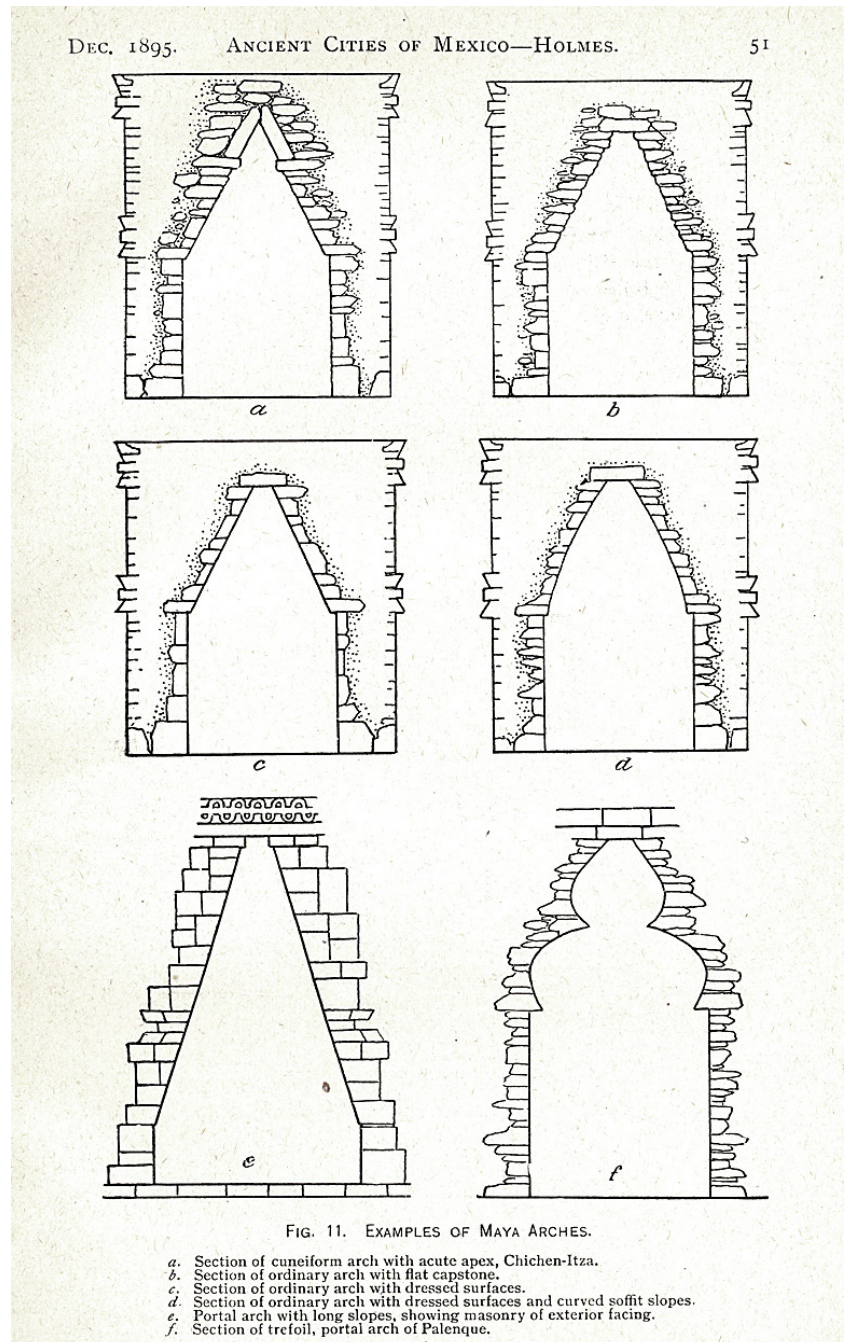


Figura 59. Ejemplos de arcos mayas según W. H. Holmes (1895, p. 51).

casos no representan todas las variantes, sino que son “simplemente variaciones de los dos tipos predominantes: los terminados en dos losas inclinadas formando un vértice²⁰ (a) y las que se cierran con una fila de losas horizontales (b)”, y a continuación indica que la gran mayoría de los casos corresponden al segundo tipo, es decir, a las que se cierran con una tapa horizontal, ya sea con forma recta (c) o ligeramente curva (d) (Holmes 1895, p. 49-50). En esta primera clasificación, Holmes tiene ya en cuenta las diferencias en la talla de las dovelas y en la regularidad de las superficies que se obtienen, y representa estas variaciones mezcladas con los tipos formales que establece: mientras que en el croquis (b) la talla es burda y el intradós irregular, en los casos (c) y (d) las dovelas están bien talladas, generando un intradós perfectamente liso. Los dos últimos dibujos no corresponden a tipologías formales o constructivas, sino que son ejemplos reales de arcos muy singulares: los del Palacio del Gobernador de Uxmal (e) y el caso único del arco trilobulado de la Casa A del Palacio de Palenque (d). En estas secciones constructivas sin escala, aparecen dibujadas las dovelas y la cara interior de los sillares de los muros. En los cuatro primeros casos se representa la sección transversal del edificio completo, de estilo Puuc Clásico en todos los casos por la forma de lazo de las dos molduras (figura 59).

A continuación veremos que este gráfico de Holmes ha sido tomado, modificado y ampliado por numerosos autores posteriores, en muchos casos sin contrastar las tipologías establecidas con más datos tomados en campo y sin corregir las limitaciones de información que tenía esta obra de finales del siglo XIX. Como ejemplo de ello veremos que el tipo con remate en ángulo, que es un detalle singular de las bóvedas del complejo de Las Monjas de Chichén Itzá (figura 59, a), se toma como tipología formal en muchos de los gráficos posteriores.

El arqueólogo estadounidense Augustus Ledyard Smith, que trabajó en las investigaciones que la Carnegie Institution of Washington llevó a cabo en Uaxactún entre 1926 y 1937, publica en 1940 uno de los pocos trabajos específicos que existen sobre la bóveda maya: *The Corbeled Arch in the New World*. En este texto Smith destaca que “una de las características [de las bóvedas] más variables es la forma” y muestra en una ilustración (figura 60) quince dibujos de “algunas de las formas más comunes y también algunas de las más extremas empleadas por los constructores antiguos” (Smith 1962, p. 207). En este caso son dibujos a diferentes escalas, y cada uno incluye una escala numérica entre 1:80 y 1:200. En todos se incluye el detalle de las dovelas y se aprecian diferentes tipos de soluciones constructivas y de estereotomía. En los

²⁰ El tipo (a) lo identifica en la leyenda como de Chichén Itzá, y efectivamente se corresponde con la sección de las bóvedas del complejo de Las Monjas, un caso singular en cuanto a la forma del remate.

tres primeros se incluye además la sección de la fachada exterior del edificio. Tal y como se indica en la leyenda, dos de ellos están tomados del gráfico de Holmes (g, i) y, además, aparecen varios ejemplos de Uaxactún (a, b, d) con

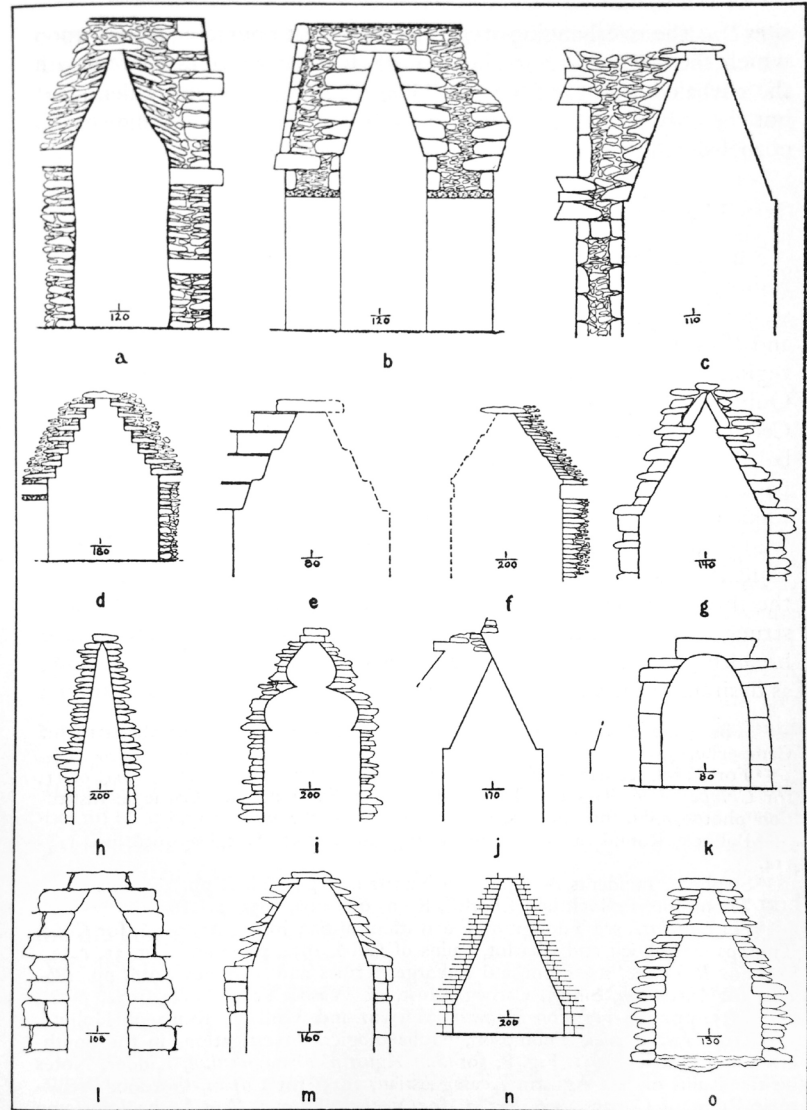


FIG. 12. EXAMPLES OF MAYA ARCHES

- a.* Uaxactun.
- b.* Uaxactun.
- c.* Uxmal.
- d.* Uaxactun.
- e.* Tikal.
- f.* Palenque.
- g.* Chichen Itzá. (After Holmes, Mexico, 1895.)
- h.* Chichen Itzá. (After Ruppert, Caracas, 1935.)
- i.* Palenque. (After Holmes, Mexico, 1895.)
- j.* Comalcalco. (After Blom and LaFarge, Tribes and Temples, 1926.)
- k.* Chichen Itzá.
- l.* Tikal.
- m.* Labna.
- n.* Uxmal.
- o.* Palenque.

Figura 60. Ejemplos de arcos mayas según A. L. Smith (1962, p. 208-209).

formas de botella, recta y escalonada, respectivamente. También incluye varios tipos de formas escalonadas (d, e, f), una sección tipo del Puuc (c) y una de Labná (m), tres ejemplos singulares de remate en ángulo (g, h, j) y varios casos de bóvedas también muy singulares como, por ejemplo, el arco trilobulado y el acueducto de Palenque (i, o), o el pasaje del Grupo G de Tikal (l), aunque en la leyenda sólo se indican los nombres de los sitios, sin especificar a qué edificios corresponden²¹.

En su publicación posterior sobre las excavaciones en Uaxactún en los años 30, presenta dos ilustraciones muy interesantes sobre las tipologías de bóvedas en este sitio. La primera muestra la evolución de la técnica constructiva, la estereotomía y la composición de las fachadas mediante tres secciones tipo de edificios palaciegos de Uaxactún de diferentes épocas (figura 61). La segunda (figura 62) es una muestra de seis ejemplos diferentes de bóvedas de Uaxactún en la que identifica, entre otras, las tres que aparecían en su gráfico de 1940 (figura 60: a, b, d): en la figura 62 la bóveda (b) corresponde a uno de los cuartos de la tercera crujía interior del Edificio A-XVIII, la (d) es del cuarto central del E-X, y la (e) pertenece a una de las estancias del conjunto palaciego A-V. Hacemos hincapié en esta identificación porque, como veremos a continuación, en posteriores gráficos comparativos más generales se han reproducido dibujos de bóvedas de Uaxactún de Smith que no han sido correctamente identificados.

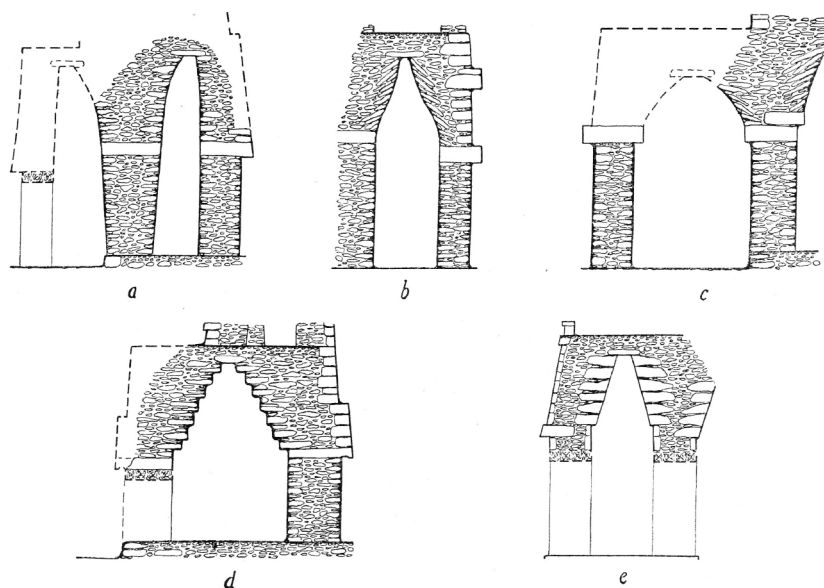


FIG. 107—EXAMPLES OF VAULTS AT UAXACTUN

- a: Structure A-V, Construction C.
 b: Structure A-XVIII, Room 3.
 c: Structure A-XVIII, Room 3.
 d: Structure E-X.
 e: Structure A-V, Construction M, Room 35.

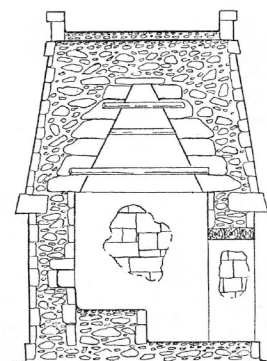
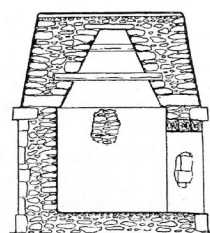
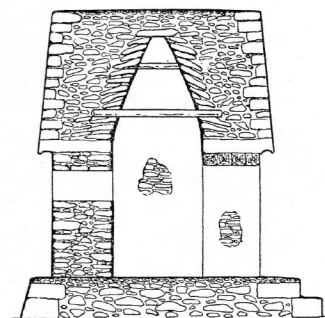
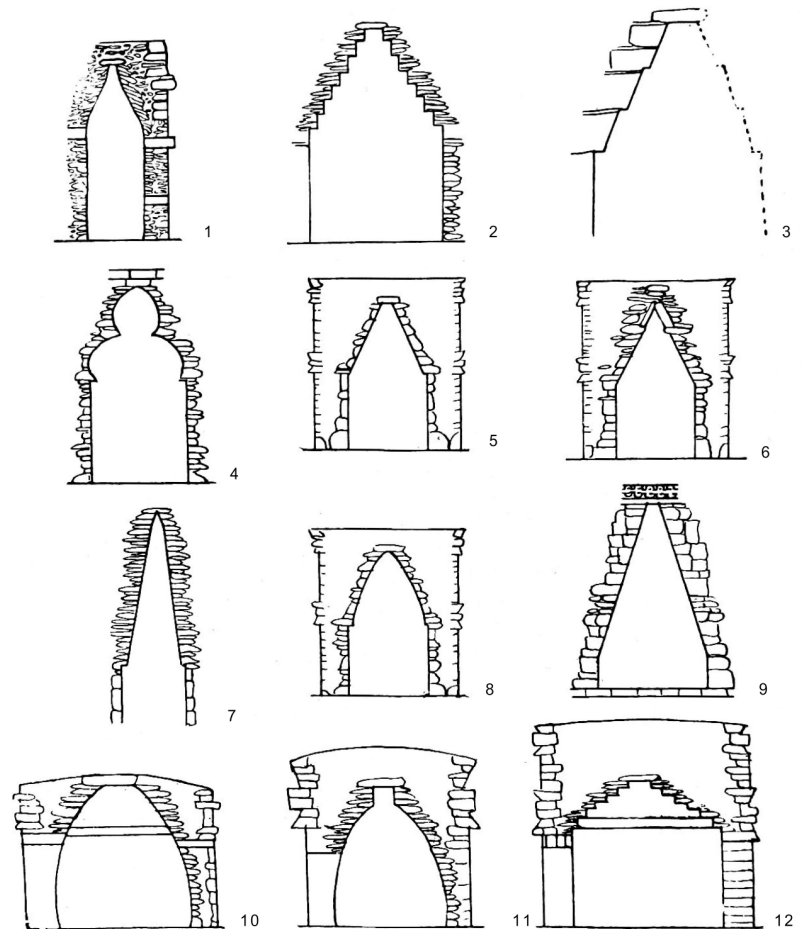


Figura 61. Construcción típica en Uaxactún según A. L. Smith (1950).

Figura 62. Ejemplos de bóvedas de Uaxactún según A. L. Smith (1950).

²¹ Smith indica en la leyenda qué dibujos proceden de obras de otros autores: la sección del acueducto de Palenque (o) está basada en un dibujo de W. H. Holmes (1897, p. 205); la bóveda de El Caracol de Chichén Itzá (h) es de la obra de Karl Ruppert (1935); y el esquema de la bóveda de ladrillo de Comalcalco (j) es de Frans Blom y Oliver La Farge (1926).

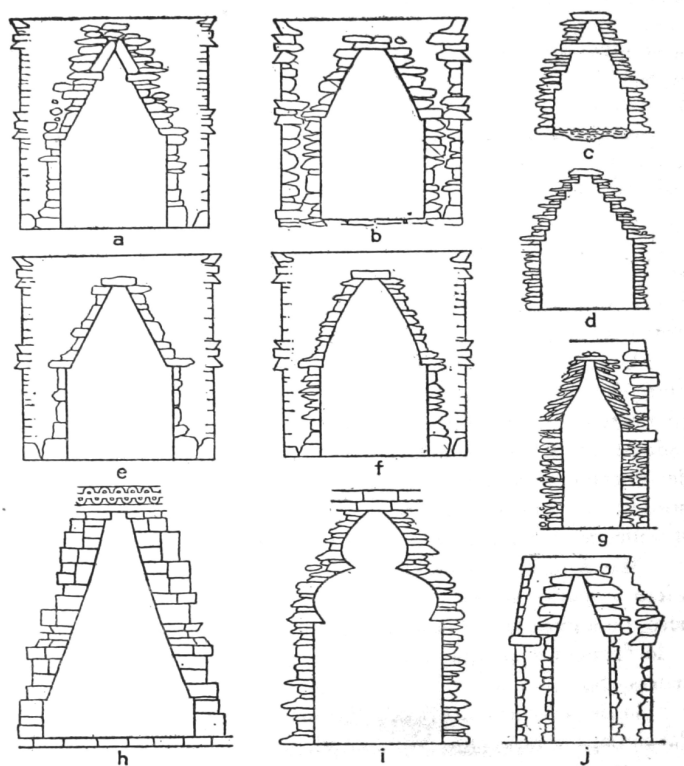
En 1944 Salvador Toscano Escobedo, arqueólogo mexicano, publica la primera edición de *Arte precolombino de México y de la América Central*, en la que dedica un capítulo a la arquitectura maya, refiriendo las diferentes tipologías edificatorias y las características de los elementos constructivos de los sitios más importantes de las Tierras Bajas. Describe los tipos de cubiertas distinguiendo entre bóvedas y techumbres planas e incluye un gráfico comparativo con secciones de doce bóvedas, dibujadas a diferentes escalas y tomadas, tal y como cita en la leyenda, de Holmes, Smith y Lothrop (figura 63). Toma cinco de los seis gráficos de Holmes (4, 5, 6, 8 y 9) y cuatro dibujos de Smith (1, 2, 3 y 7), aunque el que asigna a Copán (3) pertenece presumiblemente al Palacio de las Ventanas de Tikal. Además, añade tres secciones de bóvedas de sitios de la costa oriental de Yucatán como Tulum o Xelhá (10, 11 y 12), tomadas de la obra de Samuel K. Lothrop (1924, p. 36).



ARCOS MAYAS. (Según Holmes, Lothrop y L. Smith.)

1, 2, Uaxactún; 3, Copán; 4, Palenque; 5, 9, Uxmal; 6, 7, Chichén Itzá;
8, Labná; 10 a 12, área de Tulum.

Figura 63. Arcos mayas según S. Toscano (1952, p. 118).



Cortes transversales de las bóvedas mayas de piedras saledizas: *a*, anexo de Las Monjas, Chichén Itzá; *b*, corte de un arco ordinario con coronamientos planos y costados de piedras sin labrar, característico del Viejo Imperio; *c*, viaducto, Palenque; *d*, Templo E-X, Uaxactún; *e*, corte de un arco ordinario con coronamientos planos y costados de piedra labrada, característico del Nuevo Imperio; *f*, corte de un arco ordinario con coronamientos planos, costados labrados y sofitos curvos en declive; *g*, Palacio (Estructura A-V), Uaxactún; *h*, arcada a través de la Casa del Gobernador, Uxmal; *i*, arco trifoliado, Palacio de Palenque; *j*, segundo piso, Las Monjas, Chichén Itzá.

Figura 64. Cortes transversales de las bóvedas mayas de piedras saledizas según S. G. Morley (1947, p. 382).

En 1946 se publica la primera edición de *The Ancient Maya*, la célebre y ambiciosa obra de Sylvanus G. Morley, arqueólogo y epigrafista estadounidense, que ha sido reeditada y ampliada en numerosas ocasiones. En el apartado dedicado a la arquitectura aparece un gráfico comparativo con diez “cortes transversales de las bóvedas mayas de piedras saledizas” representados a diferentes escalas (figura 64): seis de ellos son los croquis de Holmes (*a*, *b*, *e*, *f*, *h*, *i*) y los cuatro restantes, dispuestos en una columna vertical a menor tamaño, son algunos de los dibujos de Smith: el del acueducto de Palenque (*c*) y tres de Uaxactún (*d*, *g*, *j*). En este caso en la leyenda se indica a qué edificio corresponde cada bóveda, sin embargo, dos de los dibujos de Smith de Uaxactún están erróneamente asignados: la bóveda (*g*) corresponde al palacio A-XVIII y no al A-V como se indica, y la (*j*) es del A-V de Uaxactún y no del edificio de las Monjas de Chichén Itzá. El primer error pudo deberse a que Smith publicó las referencias con posterioridad (Smith 1950) y el

segundo debió ser una errata, que se arrastró en las ediciones posteriores en inglés y en español (1947, 1956, 1972) así como en las reimpressiones de esta obra (1953, 1956, 1961, 1965, 1975).

El arqueólogo estadounidense Robert J. Sharer revisó y amplió la obra de Morley hasta el año 2009, añadiendo los últimos hallazgos y los numerosos avances que se han realizado desde los años setenta en el conocimiento de la cultura maya. Sharer ha publicado varias ediciones de *The Ancient Maya* (1983, 1994, 2006 y 2009) y su obra también se ha traducido al español y se ha reimpresso varias veces. En cuanto a la clasificación de las bóvedas, en estas nuevas publicaciones se mantiene la misma ilustración de Morley con algunas revisiones en la leyenda, aunque no se corrigen los errores en las identificaciones de las bóvedas de Uaxactún (figura 65). Mediante los dibujos de Holmes y Smith se muestran siete secciones de bóvedas reales

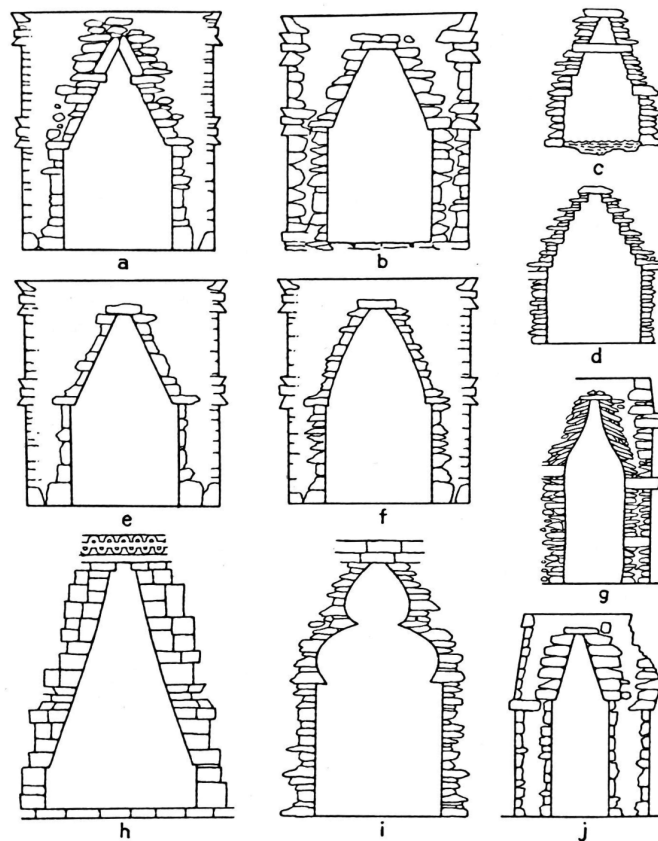
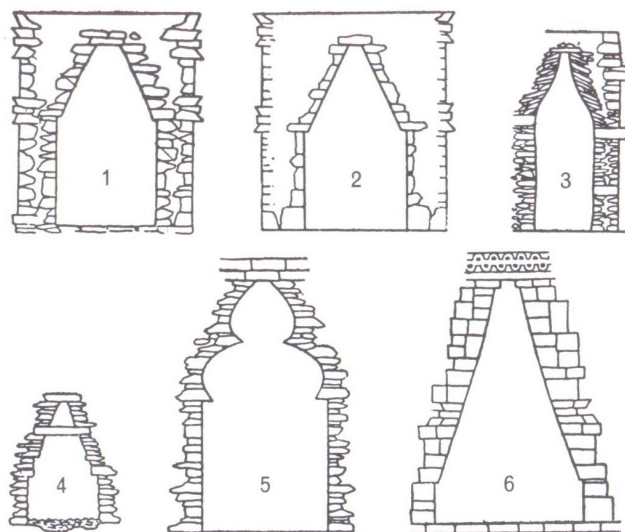


Fig. 5.18. Maya masonry structures, including vaulted constructions, originated in the Preclassic era; these cross sections of well-preserved corbelled vaulted structures all date to the Classic period: (a) Chichen Itza Monjas Annex; (b) typical Classic vault with irregular vault stones; (c) Palenque Viaduct; (d) Uaxactun Str. E-X; (e) typical Puuc vault with veneer vault stones, or (f) with "shoe-shaped" vault stones and curved soffit; (g) Uaxactun Str. A-V; (h) Uxmal Governor's Palace arcade; (i) Palenque Palace trefoil vault; (j) Chichen Itza Monjas, second story.

Figura 65. Secciones transversales de construcciones abovedadas del período Clásico según R. J. Sharer (Sharer y Traxler 2006, p. 216).

identificadas en la leyenda (a, c, d, g, h, i, j) y tres secciones genéricas (b, e, f) con el objetivo de exponer diferentes formas de secciones transversales y soluciones en la labra de la piedra. Las secciones (e) y (f) se identifican como tipologías Puuc, mientras que la (b) se describe como un tipo más genérico del “arco característico de la época clásica, con piedras de bóveda irregulares”. Sin embargo, al representarlos con los dibujos tomados de Holmes, que eran todos Puuc e incluían las molduras de lazo características, esta identificación resulta muy imprecisa, pues los primeros cuatro gráficos parecen tipologías propias de esta región. En el texto Sharer menciona que al inicio las bóvedas eran de dovelas de talla burda y se recubrían con gruesas capas de estuco (Sharer 1998, p. 601), sin embargo, en el dibujo (b), posiblemente debido a la reproducción repetida de esta lámina, el detalle de la talla tosca de las dovelas y la irregularidad del intradós, que se apreciaba de forma clara en el dibujo de Holmes (figura 59), prácticamente se ha perdido y apenas se diferencia en este aspecto con el gráfico (e).

El siguiente gráfico, también *collage* de otros anteriores, lo encontramos en la obra de Henri Stierlin. Historiador y periodista suizo de origen egipcio, Stierlin ha publicado conocidas obras de historia del arte y de la arquitectura de numerosas culturas del mundo antiguo, desde las americanas hasta las mediterráneas y asiáticas. En *Maya: Guatemala, Honduras y Yucatán*



- ▲ Tipos de voûtes mayas: 1. Voûte classique en gros appareil; 2. Voûte avec parement-coffrage; 3. Voûte «en bouteille» d'Uaxactun; 4. Voûte de l'aqueduc de Palenque; 5. Voûte à arc trilobé du Palais de Palenque; 6. Voûte concave du Palais du Gouverneur à Uxmal (d'après Morley)

Figura 66. Tipos de bóvedas mayas según H. Stierlin (1964, p. 135).

(1964) dedica epígrafes específicos a los tipos de edificios y de muros en la arquitectura maya, y también uno a los tipos de bóvedas, que ilustra mediante un gráfico comparativo de seis “tipos de bóvedas mayas” sin escala e, indica, tomados de Morley (figura 66). En este caso aparecen cuatro bóvedas reales que ya mostraban Holmes y Smith antes que Morley (3-6) y dos secciones de bóvedas genéricas que proceden de Holmes (1, 2) y que, aunque conservan las molduras características del Puuc del dibujo original, no se identifican como de esta área sino como tipos generales.

A pesar de que en los años setenta se tenían ya muchos más datos y se estaban realizando trabajos de reconocimiento y registro de arquitectura en campo, en las obras generales sobre arquitectura maya se siguieron incluyendo los mismos gráficos, tomados de autores precedentes y a veces con errores, para mostrar, en una visión sintética y de forma gráfica, las diferentes soluciones de bóvedas mayas.

El arquitecto y antropólogo francés Paul Gendrop es considerado como uno de los más importantes estudiosos de la arquitectura maya. Publicó numerosas obras sobre arte y arquitectura mesoamericana, ilustradas con excelentes dibujos que han sido utilizados en muchas publicaciones posteriores. En varias de sus obras (Gendrop 1970, 1977, 1987a) y en la que publica junto a la antropóloga Doris Heyden sobre arquitectura mesoamericana (Gendrop y Heyden 1975) incluye un gráfico comparativo de nueve secciones de bóvedas representadas a la misma escala, lo que facilita en gran medida la comparación geométrica (figura 67). Se trata de nueve secciones de bóvedas, todas ellas casos reales, que identifica en la leyenda. Seis son ejemplos que ya hemos visto en otros autores: el edificio E-X de Uaxactún (a), el pasaje del Grupo G de Tikal (b), la bóveda en forma de botella de Uaxactún²² (d), el arco de Labná²³ (e), el arco trilobulado de la Casa A de Palenque (h) y uno de los arcos del Palacio del Gobernador de Uxmal (i). Además, incorpora tres nuevos casos también bastante singulares: el Templo de los Frescos de Tulum (c), una de las bóvedas del Juego de Pelota de Copán (f) y la cripta del Templo de las Inscripciones de Palenque (g), descubierta en 1952 (Ruz Lhuillier 1992). En estos dibujos, realizados por César Arellano Nuño, sólo aparece el intradós de las bóvedas con la sección de las dovelas y la cara interior de los sillares de los muros, sin incluir la fachada del edificio, con lo que se eliminan errores de gráficos anteriores. Lejos de pretender ser una clasificación, se trata de una muestra de ejemplos de bóvedas reales de diferentes formas y con distintas soluciones constructivas, aunque la mayoría son casos muy singulares.

²² De nuevo identificada como edificio A-V, aunque corresponde al A-XVIII.

²³ La sección del arco de Labná ya había sido incluida en el gráfico de Smith (figura 60) y, sin embargo, el dibujo de Gendrop presenta un error, pues no incluye en la sección la ménsula de remate previa a la tapa.

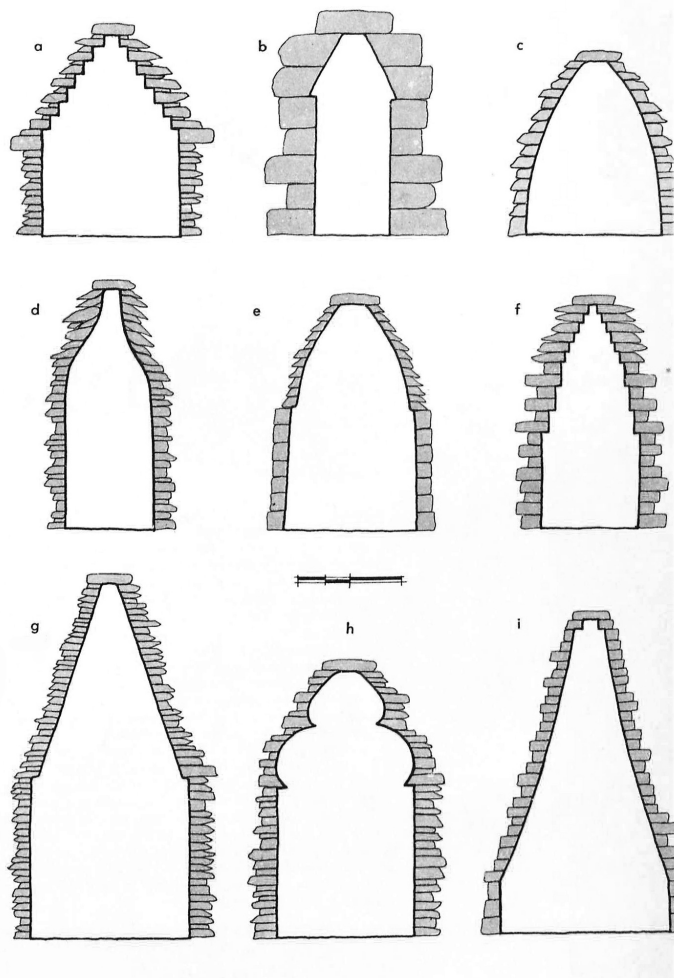


FIG. 115. Diferentes secciones de bóvedas mayas siguiendo el principio del "arco en saledizo"; **(a)**, edificio E-X de Uaxactún; **(b)**, estructura 1, sección sureste, Tikal; **(c)**, templo de los Frescos, Tulum; **(d)**, Edificio A-V Uaxactún; **(e)**, Arco de Labná; **(f)**, Templo del juego de pelota, Copán; **(g)**, cripta secreta de Palenque; **(h)**, Casa A, Palacio, Palenque; **(i)**, Palacio del Gobernador, Uxmal (dibujos de César Arellano Nuño, según Ignacio Marquina).

Figura 67. Diferentes secciones de bóvedas mayas según P. Gendrop (1970, p. 97).

Uno de los trabajos más ambiciosos de Paul Gendrop fue su obra póstuma *Diccionario de Arquitectura Mesoamericana* (1997), en la que recoge de forma sintética los términos arquitectónicos del área mesoamericana con numerosos dibujos explicativos. Tras la definición de "bóveda" aparecen varias locuciones que refieren tipos distintos según criterios variados: *bóveda angular*, *bóveda lobulada*, *bóveda en saledizo*, *bóveda de concreto o de relleno*, *bóveda anular* y *bóveda en esviaje* (Gendrop 1997, p. 34). En la misma página aparecen como ejemplos las nueve secciones de bóveda que ya hemos visto (figura 68).

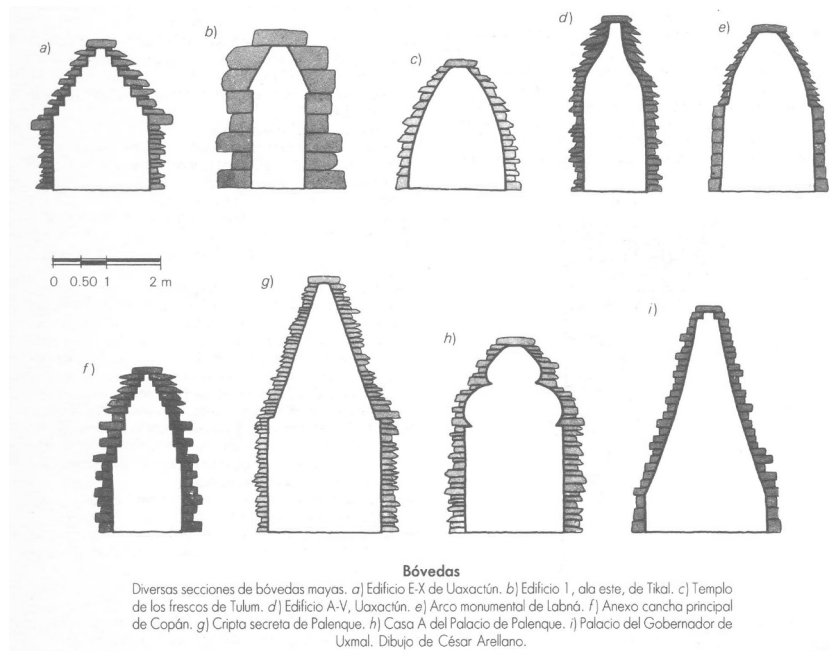


Figura 68. Ilustración que acompaña a la definición de bóveda en el *Diccionario de Arquitectura Mesoamericana* de P. Gendrop (1997, p. 34).

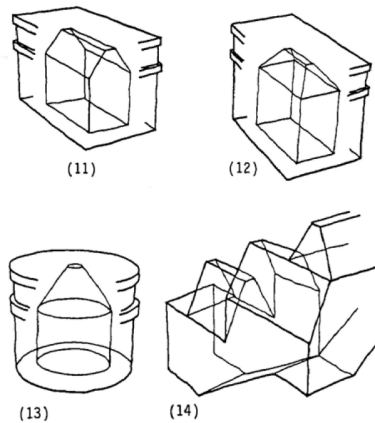


Figura 69. Tipos de bóvedas según la forma del espacio interior resultante propuestos por H. Hohmann (1979, p. 33-34).

24 Suponemos que con el término *Rundgewölbe*, Hohmann se refiere a bóvedas con directriz curva como la de El Caracol de Chichén Itzá, aunque la representación del gráfico (13) de la figura 69 parece más una estancia cubierta con cúpula, una tipología de la que hasta el momento no hemos podido identificar ningún ejemplo en el área maya.

Uno de los estudios específicos sobre la bóveda maya más interesantes hasta la fecha es el publicado por Hasso Hohmann en 1979, que ya hemos mencionado en el apartado anterior. En *Gewölbekonstruktionen in der Maya-Architektur*, este arquitecto de origen alemán establece tipologías de bóvedas según varios criterios, lo que supone una novedosa e interesante aportación. Propone tipos constructivos de bóvedas, que comentaremos más adelante, y tipologías formales según dos criterios: en primer lugar en función de la forma del espacio interior resultante, teniendo también en cuenta la forma de los testeros, y en segundo lugar respecto al perfil o la forma de la sección transversal. Para el primero de estos criterios, según la volumetría del espacio, propone cinco grupos (figura 69): además de las bóvedas de perfil curvo, bóvedas de sección recta con testeros verticales (11), de sección recta con testeros inclinados (12), bóvedas circulares²⁴ (13) y bóvedas de escalera (14), que serían las que cubren una escalera interior y cuya sección longitudinal se va escalonado para lograr alcanzar la altura libre necesaria durante todo el recorrido inclinado. Respecto a la forma de la sección transversal establece seis tipologías: escalonada, recta, cóncava, convexa, arqueada o semicircular y apuntada o en forma de “V” invertida (Hohmann 1979, p. 35). Para ilustrar la variedad de soluciones formales y constructivas, y como apoyo a la clasificación que establece en el texto, incluye un gráfico comparativo de dieciocho secciones transversales de bóvedas a diferentes escalas y con escalas gráficas (figura 70), en el que aparecen dibujos del autor de bóvedas de Copán (17-21), y otros que cita de otros autores como Smith (22-27), Holmes (28, 31, 32), Blom y La Farge (29), Ruppert (30) y Lothrop (33, 34).

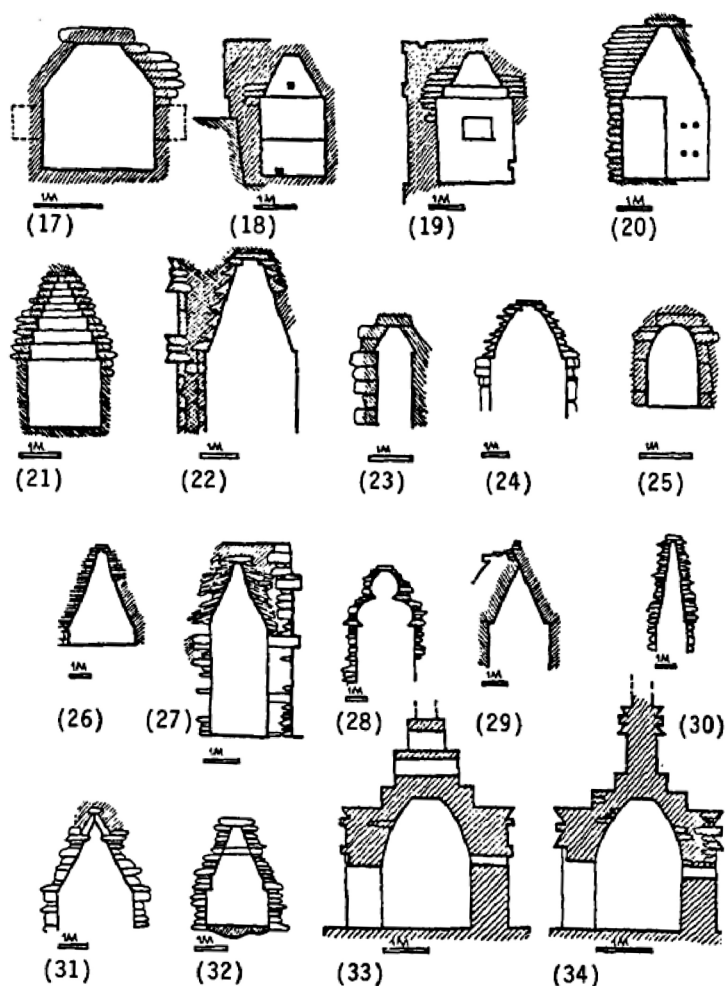


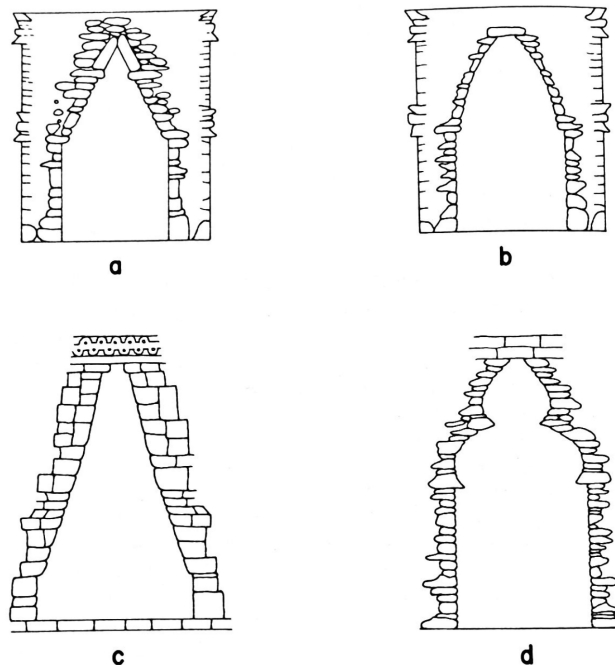
Figura 70. Ejemplos de la variedad formal de bóvedas mayas según H. Hohmann (1979, p. 34).

La clasificación propuesta por Hohmann, más completa y rigurosa que las anteriores, es sin embargo una excepción. En obras más recientes y que tratan la arquitectura maya en general, para referirse a los tipos de bóvedas se ha recurrido a los gráficos comparativos anteriores, principalmente al de Smith de 1940 (Wurster 1993, p. 116; 2001, p. 138; Valverde Valdés, Liendo Stuardo y Gutiérrez León 2010, p. 66) o al de Gendrop (Vidal Lorenzo y Muñoz Cosme 1997; Muñoz Cosme, Vidal Lorenzo y Valdés Gómez 1999, p. 44). En la mayoría de publicaciones se cita al autor de la ilustración original, pero no en todos los casos. A veces los dibujos se han modificado o reordenado y en otras incluso se han publicado con leyendas erróneas. Por mostrar un ejemplo de ello, en *A Guide to Ancient Maya Ruins* (Hunter 1986, p. 18) se incluyen

dibujos que se citan como tomados de Morley, pero con errores en la leyenda como la identificación de una bóveda Puuc con soffits curvos y molduras de lazo en fachada como un ejemplo de Uaxactún (figura 71, b).

Más recientemente, la arquitecta mexicana Mónica Cejudo Collera propone una clasificación más seria y depurada que incluye varios criterios. A las morfologías que hemos visto hasta ahora (inclinada, escalonada, curva, convexa, de botella o trilobulada) añade otras tipologías de bóvedas como “de medio arco bajo escalera volada”, “muro/bóveda” refiriendo los casos en los que la bóveda arranca a nivel de piso, “de cañón corrido” para incluir los supuestos casos puntuales de bóvedas de cañón hallados²⁵ o “techumbre irregular” cuando “no tienen ninguna forma definida debido a la mala calidad de manufactura” (Cejudo Collera 2002, p. 698-699; 2015, p. 402-403). Incluye también dos formas de cubrición que no serían una bóveda tal y como aquí la estamos considerando: “bóvedas combinadas”, para referirse a los edificios de crujeías paralelas con bóvedas de formas variadas, y “techumbres planas” para construcciones con forjados horizontales.

Figura 71. Cuatro ejemplos de arcos mayas según C. B. Hunter (1986, p. 18).



Corbeled arches. The Maya were ingenious in the many different ways in which they constructed the corbeled arch, or vault. These four doorways are only a sampling. a: Nunnery, Chichén Itzá; b: Uaxactun, showing curved soffit slopes; c: entrance to Palace of the Governor, Uxmal; d: trilobate arch, Palenque Palace. After Morley, The Ancient Maya.

²⁵ Véase Hohmann (2005).

2.2.2. Clasificaciones de índole constructiva

Ya hemos visto que la forma de la sección transversal ha sido el criterio más recurrente a la hora de establecer tipos de bóvedas. Sin embargo, las clasificaciones de carácter constructivo no son tan abundantes. El criterio que más se ha utilizado para diferenciar las bóvedas a nivel constructivo es la forma de las dovelas, determinada tanto por el avance de la técnica estereotómica como por las características del material pétreo disponible en cada región. Numerosos autores señalan, con menor o mayor detalle, las diferencias en la morfología y la talla de las dovelas en las bóvedas de las distintas zonas geográficas y su evolución en el tiempo en algunas regiones (Holmes 1895, p. 51; Smith 1962, p. 205-206; Morley 1947, p. 381; Marquina 1964, p. 17; Stierlin 1964, p. 96; Sharer 1998, p. 601; Muñoz Cosme 2006b, p. 90; Cejudo Collera 2002, p. 702). Las tipologías que tradicionalmente se han definido diferencian entre las bóvedas más primitivas, construidas con piedras sin labrar, y las de dovelas especializadas, es decir, talladas con una forma específica para su función. En este segundo grupo se han incluido varios tipos: en primer lugar, las grandes piezas trapezoidales que apoyan una sobre la otra en juntas horizontales y que tienen una de sus caras previamente labrada con la inclinación del intradós de la bóveda, típicas de la arquitectura de Petén; y en segundo lugar, las cuñas que sólo se tocan en los bordes y se traban con el relleno mediante una espiga posterior, que en las épocas más tardías se optimizaron hasta alcanzar la conocida forma de bota, típica del último período de la arquitectura Puuc Clásica.

Además, atendiendo a criterios constructivos y en cierto modo estructurales, tradicionalmente se ha diferenciado entre dos tipos de bóvedas: las de saledizo (*corbelled* en inglés) y las monolíticas (a veces denominadas “de relleno” o “de concreto”), según si las dovelas pueden apoyarse y volar unas sobre otras o si son cuñas que sólo contactan en sus límites y se traban con el relleno resistente formando una unidad. Esta diferenciación de las bóvedas en dos tipos constructivos ha sido adoptada por varios autores (Spinden 1975, p. 108; Roys 1934; Stierlin 1964, p. 96; 2001, p. 29; Gendrop 1997, p. 34), aunque hay escasas publicaciones que vayan más allá de la definición y analicen en profundidad las diferencias que implican estos dos sistemas en el proceso constructivo del edificio y en su comportamiento estructural.

Un trabajo muy interesante al respecto es el artículo de Hasso Hohmann mencionado anteriormente, en el que también diferencia entre el principio constructivo de aproximación progresiva de hiladas horizontales y el de la bóveda monolítica, a la que denomina *cast vault* en inglés²⁶ (Hohmann 1979). Hohmann define la bóveda monolítica como aquella en la que las dovelas de

²⁶ Hohmann propone como tercer tipo constructivo la bóveda “verdadera” o de cañón, aunque su utilización sólo ha podido ser probada en el sitio de La Muñeca (Hohmann 2005), lo que, según el mismo autor, podría tratarse de un hallazgo fortuito (Hohmann 1979, p. 34).

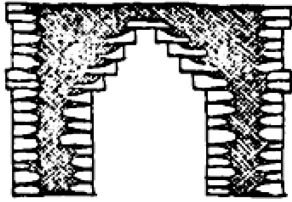


Figura 72. Esquema de una bóveda monolítica según H. Hohmann (1979, p. 33).

juntas horizontales son la piel del volumen formado por las propias dovelas y el relleno de mampostería y argamasa (figura 72), lo que hace que no sea fácil distinguirla a simple vista de una bóveda por aproximación o “falsa bóveda” (Hohmann 2017, p. 122). Mediante este razonamiento defiende que la mayoría de las bóvedas mayas no son por aproximación, aunque a simple vista lo parezcan y aunque fuera éste el principio constructivo originario (Hohmann 2017, p. 35), pues las dovelas forman una unidad con el relleno y cada una de las semibóvedas funciona como un volumen monolítico endurecido. La bóveda funcionaría por el principio teórico de aproximación de hiladas (*corbelled*) sólo en los casos en que todo el espesor de la construcción estuviera formado por grandes piezas apoyadas una sobre la otra en juntas horizontales, lo que no es tan común en el área maya. Hohmann apunta que existen algunos ejemplos de bóvedas por aproximación reales, formadas por largas dovelas horizontales que apoyan una sobre la otra: por ejemplo en Copán, debido, según el autor, a la escasez de cal en la cuenca del río Motagua para fabricar el relleno resistente que requiere una bóveda monolítica (Hohmann 2017, p. 122).

Podríamos decir que, según la opinión de Hohmann, muchas de las bóvedas que tradicionalmente se han considerado como por aproximación o de saledizo, como por ejemplo las típicas del período Clásico en Petén, funcionarían en realidad como bóvedas monolíticas al tener un relleno que, al trabarse con las dovelas y fraguar, forma un volumen unitario que estructuralmente funciona como un bloque.

2.2.3. Los tipos de bóvedas en los estudios estilísticos

En varias obras generales sobre la cultura maya o sobre las culturas mesoamericanas (Marquina 1964; Toscano 1952; Gendrop y Heyden 1975; Gutiérrez León 2010c, p. 72-75) se dedica un capítulo específico a la arquitectura maya y se explican las características principales de los edificios y de los elementos constructivos de las diferentes áreas geográficas: Petén, Usumacinta, Puuc, Chenes...etc. Para cada zona se explican, a veces, algunas características formales y constructivas de las bóvedas de manera general, refiriendo las principales diferencias que se dan en la calidad de la talla de la piedra y, por tanto, en las características de las superficies interiores que se consiguen, pero sin establecer tipologías de bóvedas concretas más allá de la diferenciación entre las formas de las dovelas. En cambio, la arquitectura de algunas zonas geográficas ha sido objeto de estudios arquitectónicos y estilísticos más específicos, en los que se han determinado las variables más características de las bóvedas. En estas áreas el estudio de la tecnología constructiva

de las bóvedas sí ha sido específicamente tratado y, además, ha sido un factor más para la clasificación estilística y la datación de los edificios, como vamos a ver a continuación.

2.2.3.1. Las bóvedas en los estilos arquitectónicos del Puuc

La arquitectura del área maya más estudiada, seguramente porque es la más accesible, es sin duda la de la zona Puuc. La determinación de esta área y de sus rasgos estilísticos se debe al trabajo del arqueólogo norteamericano Harry E. D. Pollock, que realizó un extensísimo trabajo de campo en la región durante los años 40, publicado varias décadas más tarde en la obra *The Puuc. An architectural survey of the hill country of Yucatan and Northern Campeche, Mexico* (1980). Pollock documentó y describió los rasgos arquitectónicos de numerosos edificios de más de 140 sitios y, como resultado, incluye en el final de su obra un exhaustivo análisis de la arquitectura Puuc, estableciendo tipologías y analizando las características de todos los elementos constructivos, lo que ilustra haciendo constantes referencias a los más de 900 dibujos, planos y fotografías que incluye en la descripción de los edificios (figura 73). El autor propone en este análisis una secuencia evolutiva de la tecnología constructiva de la bóveda Puuc y enumera con ejemplos los diferentes factores que hacen que exista una gran variedad de soluciones de bóvedas solamente en esta área: proporción, características del voladizo de impostas en semibóvedas y en testeros, forma del intradós, tamaño y forma de las dovelas, ancho de la tapa, características de la ménsula previa a ésta y distribución de los huecos de los morillos (Pollock 1980, p. 575-576).

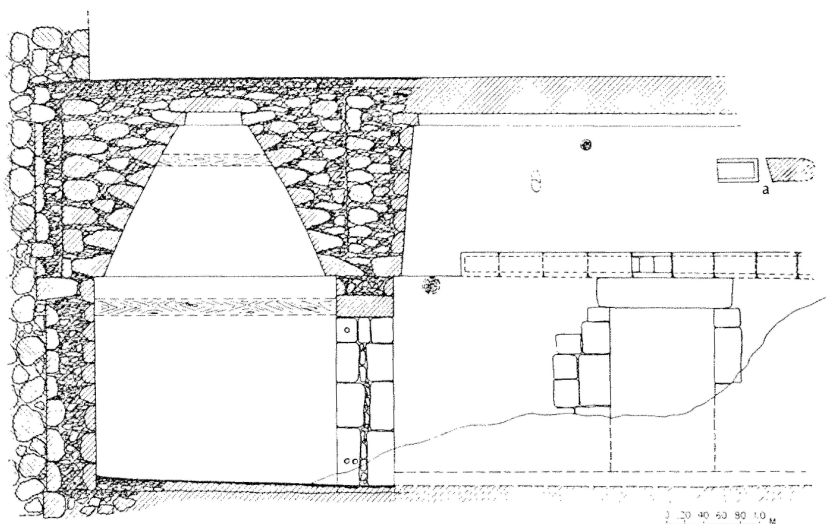


Figura 73. Sección constructiva del Edificio con banda glífica de Xcochá realizada por H. Pollock (1980, p. 510).

Pollock fue quien propuso por primera vez una clasificación estilística por fases temporales según las características arquitectónicas de los edificios (Pollock 1980, p. 584-590), que posteriormente y basándose en su trabajo desarrollarían y ampliarían los arquitectos Paul Gendrop (1983, p. 222-226) y George F. Andrews (1986c, 1995e). Para cada fase o estilo propuesto (Oxkintok Temprano, Proto-Puuc, Puuc Temprano y Puuc Clásico) define las características formales y constructivas de las diferentes partes del edificio, entre ellas las bóvedas, lo que da una idea de la evolución de la tecnología de la bóveda en esta región. Además, basándose en datos cerámicos y epigráficos sitúa estos estilos arquitectónicos en una cronología absoluta, lo que permite, a grandes rasgos, datar edificios por su estilo arquitectónico. En este punto cabe señalar que Pollock advierte de que, aunque debemos suponer que el avance de la cantería va de lo burdo a lo excelente, siempre puede haber ejemplos concretos que no reflejen correctamente su posición cronológica. Como ejemplos, indica que un cantero puede tener una técnica avanzada para su tiempo o estar anclado a la tradición, o que en algunos casos el trabajo podría hacerlo un aprendiz o un gran experto, por lo que debemos considerar el posible error de datar un edificio por la calidad de su cantería²⁷ (Pollock 1980, p. 587). Considerando estas limitaciones, Pollock sitúa los estilos arquitectónicos propuestos en los periodos temporales establecidos para la cultura maya. Así, el estilo Oxkintok Temprano se desarrollaría en la segunda mitad del Clásico Temprano, el Proto-Puuc y el Puuc Temprano durante el Clásico Tardío y finalmente el Puuc Clásico en el Clásico Terminal (Pollock 1980, p. 587).

La investigación de Pollock fue ampliada por el arquitecto estadounidense George F. Andrews, uno de los autores más importantes en la investigación de la arquitectura maya. Durante 35 años (1965-1990) George Andrews y su esposa Geraldine D. Andrews registraron y tomaron datos de cerca de mil edificios de 242 sitios arqueológicos del área maya²⁸. Una de sus principales aportaciones fue el estudio de los estilos arquitectónicos del Puuc, a partir del trabajo de Pollock y con datos tomados de numerosos edificios de 144 sitios arqueológicos de la región (Andrews 1995e, p. 127).

²⁷ En la misma línea Gaspar Muñoz Cosme (2006b, p. 55) apunta que debemos considerar que siempre es posible y puede ser común utilizar sistemas anteriores más sencillos y cuya eficacia ha sido previamente probada.

²⁸ Los informes resultantes del trabajo de campo de George y Geraldine Andrews pueden consultarse online en el *Alexander Architectural Archive* de la Universidad de Texas en Austin.

En 1985 Andrews publica junto con Paul Gendrop y Juan Antonio Siller en *Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana* un sintético artículo con los datos de la ficha analítica que George y Geraldine Andrews utilizaron para su trabajo de campo en las regiones Chenes y Puuc (Andrews, Gendrop y Siller 1985). Mediante esta ficha se definen todos los elementos arquitectónicos de cada edificio y para cada cuarto se especifican las dimensiones y las características constructivas a registrar. En el artículo se incluyen además dos figuras como

glosario ilustrado de los elementos arquitectónicos del Puuc y, a continuación, aparece un gráfico comparativo muy sencillo de cuatro formas de secciones de bóvedas: recta, ligeramente cóncava, cóncava y angular, lo que supone una primera clasificación de las bóvedas a nivel formal. En este caso no se representan las dovelas, sino sólo el trazado de la mitad del intradós (figura 74). En la misma página los autores incluyen un croquis con tres tipos de dovelas del área Puuc como guía para la toma de datos en campo (figura 75).

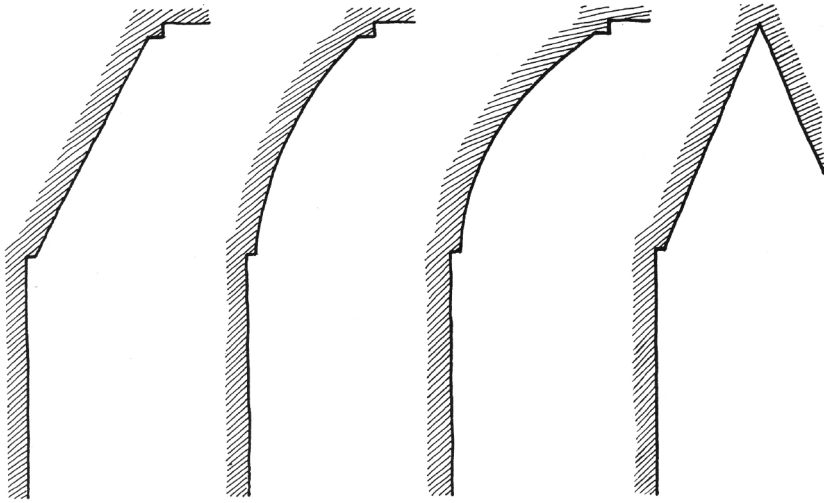


Figura 74. Formas de secciones de bóvedas más usuales en el Puuc Clásico. Tomada de Andrews, Gendrop y Siller (1985, p. 49).

Como resultado de su trabajo de campo, George Andrews publica en 1986 *Los estilos arquitectónicos del Puuc. Una nueva apreciación*, revisada y ampliada en la compilación de su obra *Pyramids and Palaces, Monsters and Masks. The Golden Age of Maya Architecture*, publicada en tres volúmenes entre 1995 y 1999. En el primer volumen, dedicado a la arquitectura Puuc, redefine los estilos arquitectónicos planteados por Pollock y los atribuye a intervalos temporales concretos. Para cada estilo define las características de los elementos arquitectónicos, constructivos y decorativos y aporta una extensa relación de edificios de diferentes sitios que cumplen estas características comunes, con referencias a textos, dibujos y fotografías realizados en los trabajos de campo del propio Andrews y de otros autores como Pollock, Thompson o Maler (Andrews 1995e, p. 3-131). Además, se incluyen mapas con los sitios en donde se desarrollan cada uno de los estilos para poder comprender su distribución y expansión geográfica, lo que aporta datos sobre las relaciones culturales y temporales con las regiones vecinas (Andrews 1995e, p. 111-112). Los estilos establecidos son, por orden cronológico²⁹: Oxkintok Temprano (550-610 d. C.), Proto-Puuc

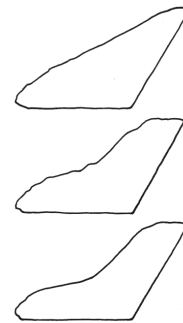


Figura 75. Formas de dovelas del Puuc Clásico según Andrews, Gendrop y Siller (1985, p. 49).

²⁹ Andrews (1995e, p. 104) expresa la dificultad de establecer una cronología absoluta para cada estilo ante la escasez de datos fiables de análisis cerámicos, escritura o carbono 14, y advierte de la posibilidad de que exista cierto error en la cronología que propone, basada en secuencias estilísticas y superposiciones arquitectónicas.

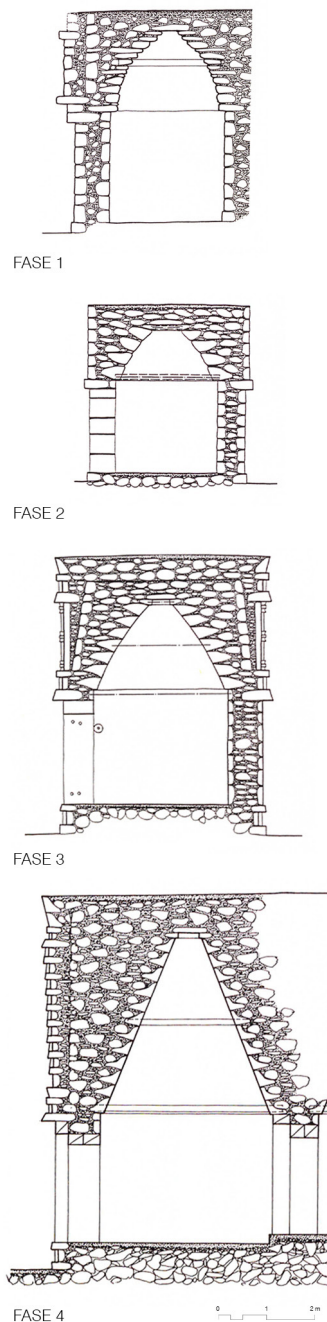


Figura 76. Secciones constructivas de algunos edificios con las que Andrews ejemplifica las cuatro fases de la evolución tecnológica del Puuc: FASE 1, Estructura CA-5 de Oxkintok; FASE 2, Estructura 7 de Chacmultún; FASE 3, Estructura IC1 de Kabah; FASE 4, Ala Este del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal. Modificado de Andrews (1995e, p. 115-124).

(610-670 d.C.), Puuc Temprano (670-770 d.C.) y Puuc Clásico (770-1050 d.C.), la época de mayor esplendor, que divide en los subestilos Junquillo, Mosaico y Uxmal Tardío basándose principalmente en los elementos decorativos e iconográficos de las fachadas (Andrews 1995e, p. 102-112). Para cada uno de los estilos y los subestilos se definen las características de la base o plataforma, los paramentos inferior y superior, los muros, las entradas, las jambas, las molduras medias y las cornisas superiores, las cresterías, la forma y construcción de las bóvedas, los travesaños, los pasacordeles y cortineros y la decoración de las fachadas. Al final dedica un apartado a algunos edificios “atípicos o intermedios” que corresponden al período Puuc Clásico pero que no pueden clasificarse en ninguno de los subestilos establecidos (Andrews 1995e, p. 95-102).

En los apartados dedicados a las bóvedas de cada estilo, Andrews refiere dimensiones espaciales, forma de la sección transversal, morfología y talla de las dovelas, regularidad del intradós, presencia de morillos, tamaño del voladizo de impostas, ménsula de remate y regularidad de las hiladas; de manera que, observando las características de una bóveda, el edificio al que pertenece se puede asignar a un estilo de los establecidos y, aproximadamente, a una fase temporal. En la misma línea que Pollock, Andrews advierte que, aunque se observa una tendencia constante en la evolución constructiva y en la estereotomía de sillares y dovelas, no parece razonable datar edificios individuales sólo por las características de su cantería, pues los rasgos constructivos son sólo un indicador más para establecer una cronología relativa entre edificios (Andrews 1995e, p. 125).

Aunque la de Andrews es una clasificación estilística que contempla muchos más aspectos además de las bóvedas, es una aportación muy importante para nuestra investigación, pues determina las variables de estudio de las bóvedas y permite observar la evolución tecnológica en la construcción Puuc. De hecho, en la compilación de su obra Andrews añade un apéndice titulado *Puuc Construction Technology - Early to Late* (Andrews 1995e, p. 113-126), en el que establece cuatro fases diferenciadas en la evolución de la tecnología constructiva del Puuc, para las que detalla las características de muros, jambas, bóvedas y dovelas, con dibujos, fotografías, secciones constructivas y ejemplos de edificios reales (figura 76). En este apéndice establece fases evolutivas teniendo en cuenta solamente las características constructivas, sin añadir otras variables como la decoración de las fachadas, lo que resulta muy novedoso y de mucho interés para nuestro estudio.

2.2.3.2. Las bóvedas en los estudios de la arquitectura del Norte de Yucatán

La arquitectura de la zona de llanuras y costa del norte de la península de Yucatán también ha sido clasificada en estilos o en diferentes períodos culturales por varios autores como E. Wyllys Andrews IV (1942), J. Eric S. Thompson (1945), E. Wyllys Andrews V (1979) y George F. Andrews (1995e). Según este último, en esta extensa y heterogénea área no ha sido posible realizar una documentación de la arquitectura tan minuciosa como en el Puuc principalmente por dos razones: en primer lugar, porque muchos de los sitios se encuentran bajo poblados actuales³⁰, para cuya construcción se reutilizaron en numerosas ocasiones los materiales antiguos; y, en segundo lugar, por el mal estado de conservación de muchos edificios, cuyas características han sido registradas a partir de datos obtenidos en derrumbes (Andrews 1995e, p. 239-287). Sin embargo, pertenecen a esta región importantes ciudades antiguas como Dzibilchaltún, Mayapán, Chichén Itzá, Cobá o Tulum, que conservan edificios de gran importancia y que han sido y son objeto de numerosas investigaciones.

Se han establecido cinco períodos para esta región: Período Temprano I (250-600 d.C.), Período Temprano II (600-800 d.C.), Floreciente Puro (800-1000 d.C.), Floreciente Modificado³¹ (1000-1200 d.C.) y Decadente (1200-1600 d.C.), para los cuales se han definido los rasgos estilísticos correspondientes (figuras 77 y 78). En la definición de las características arquitectónicas y constructivas de cada etapa se describen, de manera general, la forma y la calidad de la talla de las dovelas, la regularidad del intradós obtenida y la forma de las bóvedas, pudiéndose establecer unos rasgos constructivos generales para las bóvedas de cada período temporal (Andrews V 1979; Andrews 1995e, p. 247-264).

2.2.3.3. Las bóvedas en los estudios de los estilos Río Bec y Chenes

Varios autores han evidenciado las similitudes entre la arquitectura de las áreas de Río Bec y Chenes (Gendrop 1983, p. 22-24; Muñoz Cosme 2006b, p. 133), o bien ambas se han considerado como subregiones del área denominada “Yucatán Central” (Potter 1977, p. 1-2). La mayoría coinciden en que la arquitectura de los Chenes es una variante de la de Río Bec situada más al norte y relacionada con la región Puuc.

En *Maya architecture of the Central Yucatan Peninsula, Mexico* (1977), David F. Potter analiza con detenimiento los elementos arquitectónicos de varios edificios de Becán, Chicanná y otros sitios de la región, entre ellos las bóvedas. Describe para cada edificio las características de la estereotomía y otros aspectos

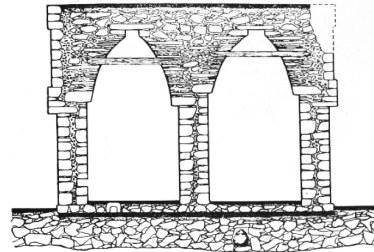


Figura 77. Sección constructiva de la Estructura 57 de Dzibilchaltún, que muestra la técnica típica del Período Temprano. Tomada de E. Wyllys Andrews IV (1962, p. 171).

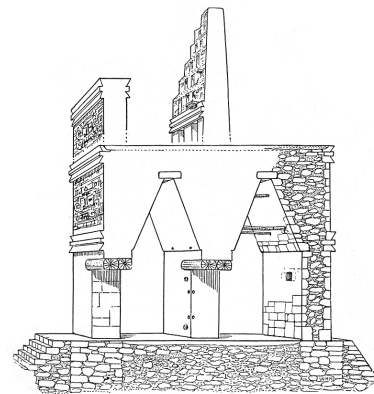


Figura 78. Sección de un edificio del período Floreciente Puro de Chichén Itzá. Tomada de Holmes (1895, p. 41).

³⁰ Como por ejemplo la ciudad de *T'ho*, actual Mérida, que según G. Andrews (1995e, p. 281) debió ser un importante asentamiento durante el período final del Clásico.

³¹ También llamado período Tolteca-Chichén. Este estilo define la arquitectura de Chichén Itzá con influencia de otras culturas del centro de México, cuyas aportaciones modificaron sustancialmente, además de los motivos decorativos, las tipologías arquitectónicas y la concepción del espacio interior (Andrews 1995e, p. 259-260).



Figura 79. Bóveda en la Estructura VIII de Becán. Tomada de D. F. Potter (1977, p. 55).

constructivos como el voladizo de impostas o la distribución de los morillos. Como resultado, presenta un análisis general del estilo arquitectónico de la zona, en el que trata temas como la tipología edilicia, la composición de las fachadas, la técnica constructiva o los diferentes elementos arquitectónicos. Tanto para la albañilería de los muros como para la de las bóvedas expresa la dificultad de su clasificación en tipos, pues sus características varían gradualmente de las piezas redondeadas sin talla a las más especializadas (Potter 1977, p. 80), y comenta cómo influye este factor en el voladizo de impostas, que se conformaba con estuco cuando se utilizaba mampostería de labra burda (figura 79).

Uno de los estudios más relevantes sobre la arquitectura de estas áreas lo realizó Paul Gendrop y lo publicó en 1983 en *Los estilos Río Bec, Chenes y Puuc*. Para las regiones de Río Bec y Chenes, Gendrop analiza ciertos rasgos tipológicos y arquitectónicos que considera pueden definir sus estilos, como las torres masivas, los complejos escalonados polivalentes, las portadas zoomorfas o algunos recursos iconográficos como los paneles en damero o las cascadas de mascarones. En su publicación posterior *Nuevas consideraciones en torno a los estilos Río Bec y Chenes* (Gendrop 1987b, p. 44-49) establece una evolución estilística de las Tierras Bajas del Norte en cuatro periodos temporales diferenciados que marcan la época de auge de cada área y los periodos de influencia de unas regiones sobre otras: la primera es una época temprana en la que aparecen y se desarrollan los primeros rasgos del estilo Río Bec y Chenes (570-630 d. C.), a continuación le sigue un periodo de auge de Río Bec que muestra su influencia sobre la zona Chenes (630-770 d. C.). La tercera etapa se caracteriza por ser el inicio de la decadencia de Río Bec y el auge de los Chenes con influencia sobre el Puuc (770-830 d. C.) y, finalmente, propone una fase terminal de ambas regiones durante el florecimiento del Puuc (830-1000 d.C.).

Para analizar la distribución territorial de los rasgos arquitectónicos más característicos tanto de las áreas de Río Bec y Chenes como de la del Puuc, Gendrop utiliza sus conocidos gráficos en los que estudia la distribución territorial y las variaciones de diferentes elementos constructivos e iconográficos. Propone la clasificación de algunos de ellos, como las portadas zoomorfas, las columnas, las cascadas de mascarones, las cresterías o los junquillos, pero la bóveda, sin embargo, no se trata de una forma tan específica para las áreas de Río Bec y Chenes³², y sus características suelen describirse de forma general. Varios autores coinciden en describir los interiores de la arquitectura Río Bec-Chenes como de una ejecución pobre comparados con los revestimientos de piedra de los muros exteriores, pues las bóvedas se construyen con mampostería burda,

³² Más recientemente se han publicado interesantes estudios sobre algunos sitios o edificios concretos de estas áreas en los que se han documentado y analizado de forma exhaustiva los rasgos constructivos de los edificios y de las bóvedas (Hohmann 2017; Gillot 2018).

corregida con una gruesa capa de estuco finamente pulida y que conforma la moldura en el arranque de las bóvedas (Potter 1977, p. 38-39; Gendrop 1983, p. 57; Andrews et al. 1985, p. 43).

2.2.3.4. El estudio de las bóvedas de la arquitectura de Petén

Para la arquitectura del área de Petén no se han establecido estilos o fases evolutivas, pero sus características generales así como las de sus bóvedas han sido descritas de manera general por varios autores, y existen estudios específicos sobre la arquitectura y la técnica constructiva de determinados sitios y edificios de esta región³³.

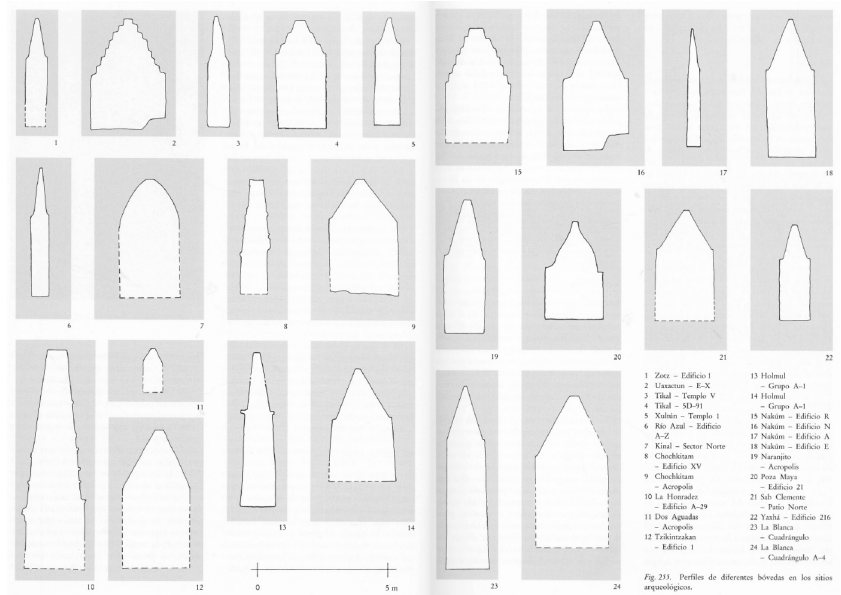
Cabe señalar el trabajo del arquitecto guatemalteco Óscar Quintana Samayoa, que ha realizado una importante labor de documentación y análisis urbanístico y arquitectónico de numerosos sitios, así como de diseño y puesta en práctica de criterios y estrategias para la conservación y la restauración de la arquitectura maya de Petén. En 2001 publica junto con el arquitecto alemán Wolfgang W. Wurster *Ciudades mayas del noreste del Petén, Guatemala. Un estudio urbanístico comparativo*, una interesante publicación para la que se registraron bóvedas de numerosos sitios de Petén, algunos de ellos amenazados por los peligros del saqueo y el abandono. Quintana y Wurster incluyen un gráfico comparativo de la forma y el tamaño de la sección transversal de 24 bóvedas de diferentes sitios identificadas en la leyenda (figura 80), con escala gráfica común y representadas mediante la línea de sección vertical de las estancias (Quintana Samayoa y Wurster 2001, p. 156-157). En el texto se citan algunas de las diferentes tipologías formales que se muestran en el gráfico: escalonadas, con forma de botella o “con perfil de arco semiéptico”. Esta comparativa no es tanto una clasificación por tipos formales, sino una muestra de ejemplos que ilustra la variedad de formas, proporciones y tamaños de las bóvedas de esta zona de Petén. En el texto también se citan con ejemplos varias tipologías especiales de bóvedas que pertenecerían a una clasificación de carácter funcional: los “pasillos abovedados”, los “techos abovedados de escaleras interiores” y las tumbas (Quintana Samayoa y Wurster 2001, p. 158). Además, en esta publicación se propone la tipología de “bóveda de cuatro lados” (Quintana Samayoa y Wurster 2001, p. 155) para describir las bóvedas de planta cuadrada³⁴, lo que respondería a un criterio de clasificación según la proporción de la planta de la estancia.

Como continuación se publica en 2013 *Ciudades mayas del noreste del Petén, Guatemala. Análisis urbanístico y conservación* (Quintana Samayoa 2013), en donde se añade información sobre la configuración urbana, la

³³ Cabe mencionar algunos ejemplos como los minuciosos estudios y dibujos sobre la arquitectura de Tikal que realizó la Universidad de Pennsylvania como resultado de sus investigaciones arqueológicas, publicados en los *Tikal Reports* (Coe 1990), algunos publicados aún recientemente (Loten 2017, 2018a, 2018b), o las publicaciones específicas sobre el Templo I de Tikal realizadas por Gaspar Muñoz Cosme tras los trabajos de restauración del edificio (Vidal Lorenzo y Muñoz Cosme 1997; Muñoz Cosme 2006a). Para el sitio de La Blanca se han realizado varios estudios específicos sobre las bóvedas (Muñoz Cosme 2006c; Perelló Roso 2006; Muñoz Cosme, Vidal Lorenzo y Perelló Roso 2008; Gilbert Sansalvador y Muñoz Cosme 2015), y en el Sector Sur de Nakum Luis Guardado (2006) identificó 24 tipos de bóvedas.

³⁴ A esta tipología también se le ha denominado “bóveda de cuatro lados equivalentes” (Muñoz Cosme 2005, p. 29). Es importante considerar que, si bien estas bóvedas pueden tener una proporción cuadrada en planta, los cuatro lados de la bóveda no tienen por qué tener la misma inclinación ni estar formados por dovelas.

Figura 80. Perfiles de diferentes bóvedas de sitios del noreste de Petén según Óscar A. Quintana y Wolfgang W. Wurster (2001, p. 156-157).



arquitectura, el estado de conservación y las intervenciones realizadas en 64 nuevos sitios, sumados a los 64 ya incluidos en el catálogo de la publicación anterior. Como resultado, el autor presenta un análisis arquitectónico y de los elementos constructivos característicos de Petén, en el que incluye una breve descripción de las bóvedas y de los sistemas de cubierta más comunes (Quintana Samayoa 2013, p. 177-178).

2.3. Reflexión final

La bóveda, como elemento arquetípico de la arquitectura maya, ha estado siempre presente en las descripciones de los sitios y los edificios ya desde las primeras crónicas de la conquista de Yucatán en el siglo XVI. Sus características se describen en los relatos, dibujos y fotografías de los primeros exploradores que recorrieron Centroamérica en el XIX y en la mayoría de las publicaciones posteriores hasta la actualidad sobre la arquitectura maya. Sin embargo, existen pocos estudios específicos al respecto y, en la mayoría de las ocasiones, las referencias a la bóveda en la literatura existente son descripciones de carácter general que no abordan en profundidad los temas relacionados con la técnica constructiva de los edificios abovedados. Esta visión ha quedado relegada a un segundo plano en el ámbito de la investigación de la arqueología maya, posiblemente por la falta de una visión arquitectónica y constructiva en la disciplina.

Como hemos visto, el tema de la variedad formal de las bóvedas mayas ha sido ampliamente tratado, aunque las clasificaciones existentes son generalmente poco metódicas: se presentan en gráficos comparativos de secciones transversales que han sido reutilizados y modificados en múltiples ocasiones, y en los que se mezclan secciones tipo con ejemplos reales y, en la mayoría de los casos, muy singulares. A veces en estos gráficos se añaden otros criterios de clasificación que se mezclan con el formal, como la forma de las dovelas y la regularidad del intradós, y en ocasiones se añaden tipologías que corresponderían más bien a criterios funcionales o de proporción.

Esta forma de comparar y representar las bóvedas tiene su origen en el gráfico de William H. Holmes, publicado a finales del siglo XIX, cuando aún se tenían pocos datos y estaban surgiendo los primeros estudios arquitectónicos sobre el área maya. Holmes realizó una comparación espontánea para mostrar la variedad de soluciones, probablemente sin intención de establecer una clasificación general. Sin embargo, numerosos autores posteriores toman el gráfico, lo amplían con nueva información o lo modifican. Pocas veces se revisan con trabajo de campo, por lo que se arrastran errores de identificación y se mezclan tipologías genéricas y casos reales muy singulares que no pueden considerarse tipos como, por ejemplo, la forma trilobulada de la Casa A del Palacio de Palenque³⁵. Por otro lado, en la mayoría de los casos los dibujos de las bóvedas incluyen diferentes criterios de representación gráfica y están a diferentes escalas, lo que dificulta la comprensión de la comparativa.

Hasta el momento no se ha realizado una clasificación completa de la bóveda maya que atienda a varios criterios. En los gráficos comparativos existentes suelen mezclarse tipologías formales, constructivas y funcionales, por lo que estas clasificaciones adolecen de falta de rigor científico y atención histórica. En la actualidad estamos en unas condiciones mucho más avanzadas de las que tenía Holmes en el siglo XIX. Con las técnicas actuales de documentación y mediante un minucioso trabajo de campo se puede abordar una clasificación de la bóveda según diferentes criterios que incluyan todas las variables que la definen.

La revisión de los estudios sobre la bóveda en las diferentes áreas geográficas nos ha permitido comprobar que, mientras en algunas zonas como el Puuc la arquitectura ha sido ampliamente estudiada y se ha tratado con profundidad la evolución de la tecnología constructiva, en otras zonas este tema apenas ha sido estudiado. Y es que, si bien en prácticamente todas las regiones y hasta la actualidad se han realizado investigaciones y se han obtenido numerosos resultados arqueológicos, históricos o epigráficos, la falta de estudios especializados

³⁵ Véase al respecto el apartado 7.1.2.

en arquitectura delatan las carencias de resultados en temas constructivos o estructurales, cuestiones que resultan de gran importancia para la investigación y conservación de un patrimonio con un carácter monumental tan evidente como lo es la arquitectura maya.

En definitiva, y tras la revisión del estado de la cuestión, consideramos que es necesario realizar un estudio específico de la bóveda maya desde un enfoque arquitectónico, que permita analizar su tecnología constructiva, estudiar las variantes regionales que existen y su evolución en el tiempo, y establecer una clasificación que atienda a varios criterios para poder caracterizar las bóvedas con precisión. Este estudio debe realizarse con una doble visión: en primer lugar, para contribuir al avance del conocimiento de este elemento constructivo y en general al de la arquitectura y la cultura maya y, en segundo lugar, en aras de aportar resultados útiles para la conservación del patrimonio arquitectónico maya, lo que nos lleva a poder plantear los objetivos de la presente investigación.

3. Objetivos

La arquitectura maya es un legado que evidencia la grandeza de esta civilización antigua. Hoy en día constituye un patrimonio cultural con destacados valores históricos y arquitectónicos y que precisa de estrategias adecuadas para su protección y conservación.

Una de las soluciones constructivas más características de esta arquitectura es la bóveda, basada en los principios de la técnica de avance de hiladas: numerosos palacios y templos de carácter monumental utilizan este sistema de cubierta de fábrica de piedra. Este elemento tuvo una larga tradición constructiva, durante la cual experimentó un gran desarrollo que varió en los diferentes sitios de las Tierras Bajas Mayas, por lo que existe un amplio abanico de soluciones y tipologías de bóvedas mayas.

El objetivo principal de esta investigación es contribuir al conocimiento y a la conservación de este patrimonio arquitectónico y, especialmente, a la de los edificios abovedados mayas.

Tras realizar un análisis del estado de la cuestión y una evaluación de las limitaciones y carencias existentes en el estudio de la bóveda maya, y considerando que se trata ésta de una investigación clave tanto para el conocimiento de la cultura maya como para la conservación de los numerosos edificios abovedados que se encuentran en esta área, se establecen los siguientes objetivos específicos:

1. Proponer una clasificación general de las bóvedas mayas según varios criterios, estableciendo tipologías formales, funcionales y constructivas que permitan su caracterización e identificación. Para ello será necesario estudiar en profundidad la tecnología de la bóveda maya desde un punto de vista arquitectónico y a partir del análisis minucioso de una amplia muestra de bóvedas de diferentes zonas geográficas y períodos cronológicos.

2. Diseñar y construir una base de datos de bóvedas mayas para su registro y documentación, en la que se incluya el corpus de bóvedas estudiadas y que pueda ser complementada y ampliada por otras investigaciones futuras. Esta herramienta debe permitir el análisis y la comparación de todos los parámetros de las bóvedas, desde su cronología hasta sus características métricas y constructivas o su estado de conservación.
3. Caracterizar las bóvedas de las diferentes zonas geográficas de las Tierras Bajas Mayas. Una vez establecidas y analizadas las variables que definen a este elemento constructivo y los criterios de clasificación que pueden aplicarse, se propone realizar un estudio sobre las características y particularidades de las bóvedas de cada región y sobre su evolución constructiva a lo largo del tiempo.
4. Establecer criterios y procedimientos adecuados para la excavación, conservación y restauración de los edificios abovedados mayas, a partir de la evaluación de su estado de conservación actual y del análisis de los procesos de deterioro que les afectan.

4. Metodología

Una vez fijados los objetivos de la investigación se requería diseñar una metodología adecuada que permitiera la consecución de los propósitos planteados. Ya a finales de la década de los setenta Hasso Hohmann ponía de manifiesto que “para poder establecer una clasificación de los diferentes tipos de bóvedas que existen en el área maya, así como para analizar su evolución constructiva a lo largo de la historia, era aún necesario realizar un amplio registro arquitectónico y un análisis como trabajo preliminar” (Hohmann 1979, p. 35). Según nuestros datos y tras analizar el estado de la cuestión pudimos constatar que hasta la fecha no se había realizado una toma de datos específica para la investigación de la bóveda maya. Por ello, y en aras de cumplir los objetivos específicos previstos, se estableció como principal estrategia de este estudio el trabajo de campo, con el fin de recopilar una abundante documentación sobre bóvedas de diferentes sitios y establecer un sistema eficaz para su análisis y comparación.

La metodología seguida para alcanzar los objetivos planteados se divide en las cinco fases que se exponen a continuación:

- Recopilación bibliográfica
- Diseño de la ficha de registro y la base de datos
- Trabajo de campo
- Gestión y procesado de la información
- Explotación y análisis de los resultados

Recopilación bibliográfica

La búsqueda y lectura de bibliografía básica y especializada sirvió, en primer lugar, para elaborar un panorama general del estado actual de las investigaciones sobre la bóveda maya, con el objetivo de identificar las posibles carencias y detectar cuáles debían ser los ejes de esta investigación. Desde el inicio se creó una base de datos bibliográfica especializada y gestionada con la aplicación *Mendeley*, que nos ha permitido organizar los documentos y automatizar las referencias a las fuentes.

Una vez iniciado el trabajo de campo y el proceso de sistematización de los datos obtenidos, las fuentes bibliográficas y los informes de campo de varios investigadores se han utilizado como complemento a la documentación tomada *in situ* con varios fines:

- En primer lugar, para la obtención de información sobre bóvedas a las que no se ha podido acceder y cuyos datos resultaban fundamentales para la investigación.
- En segundo lugar, para la comprobación y el contraste de los datos obtenidos de forma directa.
- Además, la documentación bibliográfica ha sido fundamental para recopilar información general sobre los edificios a los que pertenecen las bóvedas estudiadas. Por ejemplo, planimetrías y documentación gráfica sobre los sitios y los edificios, datos cronológicos de las estructuras o información sobre las investigaciones e intervenciones realizadas en cada caso.

Por todo ello, el apoyo de los recursos bibliográficos ha sido un eje constante y su consulta se ha venido realizando en paralelo a las demás fases del trabajo durante todo el desarrollo de la investigación.

Diseño de la ficha de registro y la base de datos

Para abordar la recopilación de información en los diferentes sitios de forma sistematizada, se diseñó una ficha de toma de datos en campo que contempla rasgos formales, geométricos, constructivos y funcionales de las bóvedas. Sobre esta cédula se efectuó un proceso de revisión continua y mejora durante las primeras campañas de toma de datos, lo que nos permitió mejorar algunos aspectos e introducir variables que no habían sido consideradas.

Basándonos en la estructura y los parámetros incluidos en la ficha de registro en campo elaboramos la Base de Datos de Bóvedas Mayas, un sistema de registro y gestión de la información que se describe con detalle en el capítulo 6. Este repositorio de fácil acceso permite archivar, analizar y comparar todos los datos registrados sobre las bóvedas.

Trabajo de campo

El trabajo de campo se planificó en cinco campañas de toma de datos. En el siguiente capítulo se detalla la metodología adoptada en estos registros *in situ* y se caracteriza la muestra de bóvedas considerada para esta investigación.

Durante la visita a los sitios se realizó una exhaustiva documentación fotográfica de los edificios estudiados y para cada bóveda se registraron los datos establecidos en la ficha. Complementariamente y cuando era posible, se realizaron levantamientos manuales y digitales que nos han permitido disponer de un nivel de información más detallado de una parte de la muestra. Después de cada una de las campañas de campo, los datos fueron procesados y se introdujeron en la base común, lo que nos permitió obtener resultados parciales durante el proceso y optimizar el sistema de registro y de gestión de los datos para las siguientes campañas.

Gestión y procesado de la información

La gestión y el procesado de la información obtenida incluye las siguientes tareas, que se han ido realizando en paralelo al trabajo de campo, mediante una fase de trabajo en gabinete después de cada campaña:

- La clasificación de la información obtenida, tanto la digital (fotografías) como la física (fichas y croquis).
- La restitución gráfica de los levantamientos realizados.
- La búsqueda de bibliografía específica sobre cada caso concreto.
- La introducción de los datos en la base común.

Una vez finalizado el trabajo de campo y la introducción de todos los datos, se analizó la muestra considerada y se complementó con ejemplos tomados de la documentación bibliográfica y de otras fuentes indirectas, con el objetivo de obtener un corpus de bóvedas que nos permitiera lograr resultados representativos. La documentación obtenida, una vez procesada y sistematizada, constituye la base de la presente investigación y se incluye en el *Catálogo de bóvedas mayas*, anexo al presente volumen.

Explotación y análisis de los resultados

A partir de los objetivos establecidos para esta investigación se diseñaron tres estrategias de explotación y análisis de los datos obtenidos:

1. En primer lugar, el estudio de la bóveda maya desde un punto de vista general, considerando el universo completo de la muestra estudiada. Al fijarse como uno de los objetivos el proponer una clasificación de la bóveda maya, se planteó la necesidad de adoptar un método de análisis que contemplara varios aspectos y permitiera establecer tipologías

de bóvedas de diversa índole. Para ello, se tomó como base teórica el análisis arquitectónico planteado por Gaspar Muñoz Cosme (2006, p. 53-56), en el que se proponen cuatro puntos complementarios de observación para el estudio, la interpretación y la clasificación de la arquitectura maya: su tecnología constructiva, la tipología funcional, la estética formal y el contenido simbólico.

Basándonos en esta metodología se ha realizado un análisis arquitectónico de la bóveda maya que contempla los siguientes aspectos:

- a) formales y geométricos
- b) constructivos y estructurales
- c) funcionales
- d) simbólicos

Este análisis, que se presenta en el capítulo 7, nos ha permitido establecer como resultado una propuesta de clasificación general de la bóveda maya según varios criterios.

2. Como segunda estrategia se han analizado las bóvedas por zonas geográficas y por períodos cronológicos. Este estudio nos ha permitido establecer variantes regionales y examinar la evolución en el tiempo de la tecnología de la bóveda, tanto en general como en las diferentes áreas estudiadas.
3. La tercera línea de análisis es la relativa al estado de conservación de las bóvedas. Una vez analizadas sus características y sus variantes, se ha realizado un estudio estadístico del estado de conservación de las bóvedas de la muestra. A partir de los resultados y de la observación realizada en campo, se han examinado los procesos de deterioro más frecuentes, así como algunas de las intervenciones realizadas en los edificios abovedados. Todo ello para, finalmente, proponer unos criterios generales de excavación, conservación y restauración de los edificios abovedados mayas.

La última fase de la investigación ha consistido en la formulación de las conclusiones y en la redacción y materialización del presente documento.

5. Toma de datos

La documentación recopilada durante la toma de datos en los diferentes sitios arqueológicos constituye la principal base de esta investigación. Una vez analizado el estado de la cuestión y fijados los objetivos, el trabajo previo al registro de bóvedas en campo consistió en el diseño y la elaboración de la ficha para la sistematización de la toma de datos.

Los parámetros a registrar en cada una de las bóvedas se fijaron a partir del estudio detallado de las bóvedas de La Blanca. El análisis de la arquitectura de la Acrópolis de este sitio se tomó como fase experimental y estudio piloto de este trabajo³⁶, y sirvió para establecer las bases metodológicas para el análisis de las bóvedas. Asimismo, la experiencia adquirida durante las temporadas de campo de 2015, 2016 y 2017 en La Blanca y en el trabajo de laboratorio posterior a cada campaña fue clave para el diseño de la metodología de toma de datos en otros sitios³⁷ (figura 81).



Figura 81. Una de las bóvedas de la Subestructura 6J2-Sub2 de La Blanca durante la campaña de excavación de 2016. Fotografía: Andrea Aliperta.

³⁶ Véase la publicación *Análisis de las bóvedas mayas de la Acrópolis de La Blanca (Petén, Guatemala)* (Gilbert Sansalvador y Muñoz Cosme 2015).

³⁷ Véase al respecto la publicación *Análisis constructivo de la arquitectura maya a través del levantamiento digital* (Gilbert Sansalvador 2018).

En el proceso de elaboración de la ficha de toma de datos se tomaron como referentes los trabajos de Harry E.D. Pollock (1980) y, principalmente, los informes de campo de George F. Andrews, en los que se registran numerosas variables acerca de las características de los edificios y de las bóvedas. Otros ejemplos de fichas de catalogación consultadas han sido la cédula que propone Alfonso Muñoz Cosme (1991) para el análisis arquitectónico de los cuartos del sitio de Oxkintok y la ficha electrónica para la investigación de la arquitectura maya elaborada por Manuel May Castillo y Gaspar Muñoz Cosme (2010).

La ficha de registro de bóvedas, elaborada *ad hoc* (figura 82), contiene las variables necesarias para la documentación de las características formales, geométricas, constructivas y funcionales de las bóvedas. Asimismo, incluye varios parámetros para definir el estado de conservación de la estructura en cada caso. Las diferentes variables contempladas en la ficha se corresponden con las incluidas en la Base de Datos de Bóvedas Mayas, que se definen y describen en el capítulo 6. Los datos registrados en la plantilla para cada bóveda se complementan, según el caso, con fotografías, levantamientos, dibujos y croquis realizados *in situ*.

REGISTRO DE BOVEDAS

IDENTIFICACIÓN

ID bóveda

Sitio

Edificio

Quarto

Identif.

DATOS FICHA

Autor/ficha

Fecha apertura

Última modificación

TOMA DE DATOS

Fecha toma

Observaciones

DOCUMENTACIÓN

Documentación recopilada

Fotografías Dibujos Bibliografía

Planos Levantamientos Otro...

Documentación generada

Fotografías Levantamiento tradicional

Ficha in situ Planos / cad

Esquematas Detalles constructivos

Fotogrametría Otro...

Escáner láser

Observaciones análisis constructivo

ANÁLISIS

A. ANÁLISIS FUNCIONAL

Función espacio abovedado

Elementos en la estancia

banqueta nichos

merillos pasacordeles

ventanas cortinos

respiraderos orificios para barras

Otro

Puertas

Mpp Mder

Mint Mizq

C. ANÁLISIS CONSTRUCTIVO

SISTEMA CONSTRUCTIVO Y MATERIALES

Sistema constructivo

Tipo de muros

Tipo de piedra

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Dinteles originales

Huecos merillos SI NO esquema SI NO

B. ANÁLISIS GEOMÉTRICO/FORMAL

PLANTA

Direchiz

Dimensiones:

a (uz) m m

b (longitud) m m

b / a =

Muro exterior m m

Muro interior m m

Coef. luz =

Muro lateral izquierdo m m

Muro lateral derecho m m

puerta central ext m m

ESTEREOCOMIA

Hiladas concidentes S / T SI NO

Línea impostas diferenciada S SI NO

Línea impostas diferenciada T SI NO

SEMIBÓVEDAS

Tipo de dovelas

Intercalas ripas SI NO

Tipo de aparejo

Escalaramiento

Dimensiones

b_o m

h_o m

l_o m

TESTEROS

Sección

Formado por

Tipo de aparejo

Dimensiones

b₁ m

h₁ m

p₁ m

TAPA

Dimensión interior T m

Dimensiones medidas

b₁ m

h₁ m

l₁ m

ESTADO DE CONSERVACIÓN

Superficie conservada en cada trazo

S ext % T der %

S int % T izq %

Tapa %

Situación

Restaurada Existen apies Saqueo

Dintel sustituido Por excavar Monitorización

Observaciones estado de conservación

Otro...

Acabados

Estuco Piezas labradas Tapa pintada

Pinturas Gráficos Otro...

5.1. El trabajo de campo

El trabajo de campo realizado para esta investigación se organizó en cinco campañas de toma de datos llevadas a cabo entre 2015 y 2017. Durante la primera fase de la investigación se realizó una planificación previa de los sitios a visitar y se organizó en dos fases. En primer lugar, se planificó una primera campaña extensiva que sirvió para recabar un gran número de datos y poder obtener resultados parciales. Como segunda fase, se realizaron cuatro campañas posteriores de actuaciones más intensivas en zonas geográficas concretas, lo que nos permitió complementar los datos de la primera campaña y profundizar en determinados aspectos que se revelaron como importantes a partir del análisis de los datos de la primera campaña. Las fechas y los sitios visitados en cada una de las campañas se muestran en la figura 83.

1ª Campaña de toma de datos
Febrero, marzo y abril de 2015
Sitios: Tikal, Chilonché, Aguateca, Bonampak, Yaxchilán, Yaxhá, Nakum, Naranjo, Uaxactún, Palenque, Becán, Calakmul, Chicanná, Oxpeul, Edzná, Dzehkabtún, Dzibilchaltún, Oxkintok, Kabah, Uxmal, Labná, Sayil, Mayapán, Chichén Itzá, Ek Balam, Cobá, Tulum, Quiriguá, Copán y Rastrojón.
2ª Campaña de toma de datos
Octubre de 2016
Sitios: Uxmal, Chacmultún, Sayil, Xlapak, Kabah, Oxkintok, Dzibilchaltún y Xcambó.
3ª Campaña de toma de datos
Abril de 2017
Sitios: Tikal, Nakum, San Clemente, Yaxchilán, Piedras Negras, Cahal Pech y Xunantunich.
4ª Campaña de toma de datos
Julio y agosto de 2017
Sitios: Uxmal, Kabah, Chacmultún, Labná, Sayil, Kankí, Chichén Itzá, Ek Balam, Cobá y Muyil.
5ª Campaña de toma de datos
Septiembre de 2017
Sitios: Santa Rosa Xtampak, Dzibilnocac, Hochob, Tabasqueño, Tohcok y Acanmul.

(Página opuesta)

Figura 82. Ficha de registro de bóvedas para la toma de datos en campo.

Figura 83. Fechas y sitios visitados en las campañas de trabajo de campo.

Las herramientas y utensilios utilizados en las campañas de toma de datos en campo fueron los siguientes:

- Dossier de fichas de registro de bóvedas en blanco.
- Planos impresos de los sitios y de los edificios.
- Útiles de dibujo: papel de croquis, lápices, bolígrafos...etc.
- Instrumentos de medida sencillos: distanciómetro láser, cinta métrica, nivel de burbuja y medidor de ángulos.
- Cámara fotográfica.
- Accesorios de fotografía: trípode, foco led, *colorchecker* y dianas.

En cada uno de los sitios visitados se realizó un recorrido previo de reconocimiento que nos permitía identificar cada una de las estructuras, situarlas en un plano del sitio y seleccionar los edificios cuyas bóvedas iban a ser objeto de registro (figura 84).

El primer criterio de selección de las bóvedas objeto de estudio en cada sitio arqueológico fue la posibilidad de acceso al interior de los espacios abovedados. Previamente a cada una de las campañas se solicitó una autorización a la administración competente en cada caso³⁸⁸ para tomar datos en los sitios arqueológicos previstos. En la mayoría es posible acceder al interior de varios edificios, pero en muchos casos, por razones de seguridad y de conservación, no está permitido subir a las plataformas o entrar a las estancias de los edificios. Gracias a la concesión de dichas autorizaciones y a la buena voluntad de los responsables y los vigilantes de los sitios, fue posible acceder al interior de determinados edificios que normalmente no son visitables, aunque lógicamente no en todas las ocasiones esto pudo darse. De entre todas las bóvedas a las que se pudo tener acceso, los casos de estudio elegidos se seleccionaron en función de su estado de conservación, de la importancia del edificio y de las características propias de la bóveda.

El primer paso a realizar en el registro de cada una de las bóvedas fue su identificación, anotando a qué edificio pertenece y qué estancia del mismo cubre, bien sobre un plano existente o bien mediante un croquis sencillo de la planta del edificio realizado *in situ*. En este plano se indica la orientación y se numeran los distintos cuartos abovedados del edificio para identificar posteriormente cada una de las bóvedas registradas (figura 85).

Una vez identificada, el registro de cada bóveda se realizó, en función del tiempo disponible, con un mayor o menor nivel de información (tabla 1). El nivel más básico, denominado nivel 4, es el de las bóvedas de las que solamente se

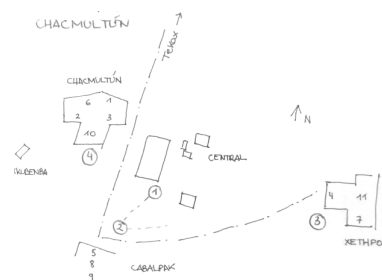


Figura 84. Croquis del recorrido de reconocimiento realizado durante la primera visita a Chacmultún.

³⁸ El Instituto de Antropología e Historia (IDAEH) de Guatemala, el Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAI), el National Institute of Culture and History (NICH) de Belice y el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) de México en sus Centros de Yucatán, Campeche, Quintana Roo y Chiapas.

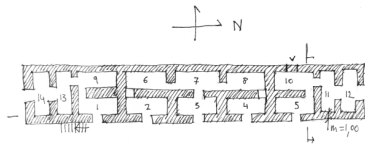


Figura 85. Croquis realizado *in situ* para la identificación de los cuartos del Palacio de las Ventanas de Tikal.



Figura 86. Toma de datos métricos en una bóveda de Sayil. Fotografía: José Miguel Gilabert García, 2017.

Tabla 1. Niveles de información en el registro de bóvedas.

Nivel de información	Información recopilada
NIVEL 1	Identificación, fotografías, ficha de registro y levantamiento
NIVEL 2	Identificación, fotografías y ficha de registro
NIVEL 3	Identificación, fotografías y datos métricos
NIVEL 4	Identificación y fotografías

han tomado fotografías. A partir de las imágenes se ha podido, posteriormente en gabinete, introducir información en la base de datos sobre algunas de sus características formales y constructivas como, por ejemplo, la forma de la sección transversal, el tipo de remate, la forma de las dovelas, de los testeros... etc. En otros casos, además de las fotografías se registraron, mediante croquis sencillos realizados *in situ*, las medidas principales de luz, longitud y los valores de las alturas total y de impostas, con lo que a nivel geométrico se tiene una información básica de la bóveda (nivel 3). El nivel de información 2 es el de las bóvedas que cuentan con fotografías y ficha de registro cumplimentada, mediante la que quedan definidas todas sus características formales, geométricas, funcionales y constructivas (figura 86). Y, por último, las bóvedas con el máximo grado de definición, o con nivel de información 1, son aquellas en la que la documentación fotográfica y la cumplimentación de la ficha se complementaron con un levantamiento arquitectónico manual (figura 87) o mediante un levantamiento fotogramétrico, según el método que se explica en el siguiente epígrafe.

Independientemente del nivel de información tomado en cada caso, cuando ha sido posible y el estado de conservación de la bóveda lo ha permitido, se ha grafiado, en un croquis de la sección longitudinal, el esquema de distribución de los huecos de los morillos (figura 87). Asimismo, en la mayoría de las bóvedas que se encuentran parcialmente derruidas se ha grafiado, sobre un croquis de la planta, la parte conservada de la bóveda, lo que posteriormente nos ha permitido estudiar los patrones de los procesos de derrumbe.

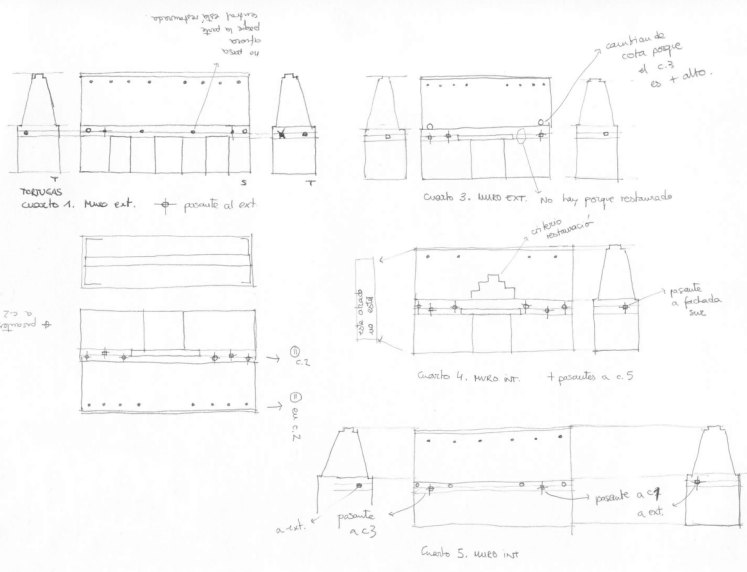
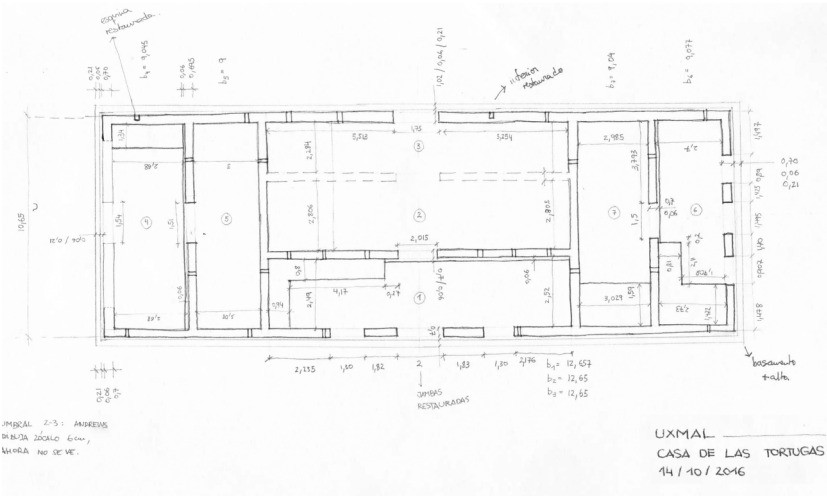
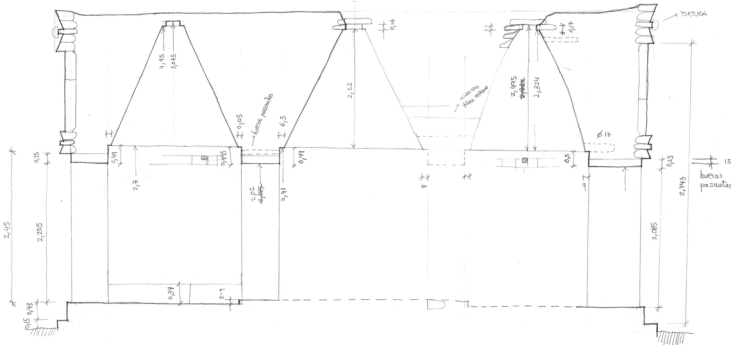


Figura 87. Diferentes croquis del levantamiento manual de la Casa de las Tortugas de Uxmal.

La documentación de las bóvedas mediante fotogrametría digital

El levantamiento arquitectónico de las bóvedas mediante fotogrametría digital nos ha permitido obtener modelos con una gran precisión geométrica y con una textura fotográfica de alta calidad para medir, analizar y comparar con detalle sus características. La principal ventaja de esta metodología es que se puede aplicar con el uso de una cámara fotográfica digital común, lo que asegura la facilidad de empleo y transporte y la rapidez en la toma de datos (figura 88).

Figura 88. Toma de datos fotogramétrica del arco de Labná. Fotografía: Riccardo Montuori, 2017.



Figura 89. Toma de datos fotogramétrica con la utilización de un foco de iluminación led en La Blanca. Fotografía: Núria Feliu Beltrán, 2017.

El levantamiento digital de las bóvedas con nivel de información 1 (tabla 3) se realizó con una toma de datos organizada en dos fases: por un lado el levantamiento fotogramétrico y, por otro lado, el levantamiento directo para el registro de algunas dimensiones de referencia, tomadas mediante la colocación de dianas, que posteriormente nos han permitido escalar el modelo 3D obtenido. Para documentar cada bóveda objeto de estudio se tomaron varios sets fotográficos desde distintos ángulos, utilizando en cada uno un calibrador del color (*colorchecker*) sencillo, que permitió el balance y la homogenización de los datos cromáticos *a posteriori*. En muchos casos y sobre todo cuando las bóvedas se conservan completas, los espacios interiores resultan oscuros, por lo que para la toma de datos fotogramétrica fue necesaria la utilización de un trípode o un foco de luz led que se sitúa sobre la cámara y funciona con baterías (figura 89).



0 1 2 m



Figura 90. Secciones longitudinal y transversal de una bóveda del Edificio 1 de Chacmultún obtenidas del modelo fotogramétrico. Tomado de Montuori y Gilabert Sansalvador (2018).

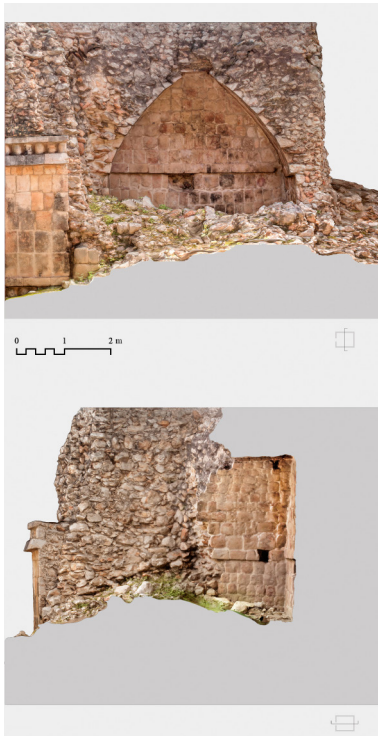


Figura 91. Secciones longitudinal y transversal de una bóveda del Palacio de Xlapak obtenidas del modelo fotogramétrico. Tomado de Montuori y Gilabert Sansalvador (2018).

En la fase posterior de trabajo en laboratorio todos los sets fotográficos se procesaron con el programa de fotogrametría digital *Agisoft Photoscan* para obtener, al final del procedimiento, una malla de alta densidad de polígonos muy detallada y con textura fotográfica. A continuación fueron incluidos los datos procedentes del levantamiento directo: cada punto de referencia fue individualizado en el modelo 3D con el posicionamiento de un marcador, y las medidas tomadas *in situ* fueron introducidas en el modelo para dotarlo de escala real y permitir que puedan realizarse mediciones sobre la maqueta digital de la bóveda.

A partir de este modelo fiel a la realidad desde los puntos de vista geométrico y cromático se han obtenido vistas bidimensionales a escala y con definición fotográfica (figuras 90 y 91), que se han utilizado para dibujar y analizar minuciosamente la geometría, la forma y las características constructivas de la bóveda con un mayor nivel de detalle que en los casos en que sólo se dispone de las medidas incluidas en la ficha de registro. Además, el análisis del modelo permite detectar y cuantificar deformaciones o inclinaciones que no son perceptibles a simple vista, así como realizar mediciones en puntos a los que, por situarse a una altura elevada, no se había podido acceder sin el apoyo de medios auxiliares. La documentación digital de las bóvedas permite, además, generar modelos 3D de alta calidad que pueden ser una potente herramienta de difusión de este patrimonio a través de aplicaciones de visualización y realidad virtual³⁹.

5.2. Sistematización y procesado de la información en gabinete

Tras cada una de las campañas de campo, una de las primeras tareas a realizar fue la organización de toda la información tomada (fotografías, fichas escaneadas, croquis y dibujos) en un archivo digital organizado por edificios y por cuartos, de manera que cada una de las fotografías estuviera correctamente referenciada e identificada.

Una vez clasificada la información, se iniciaba su procesado y la introducción de todos los datos tomados en la base común. Este trabajo ha sido el más laborioso, pues para cada una de las bóvedas registradas y según el nivel de información obtenido, se han realizado las siguientes tareas:

- Restitución gráfica de las planimetrías simplificadas realizadas mediante croquis.
- Procesado del levantamiento fotogramétrico y obtención de ortofotos.

³⁹ Véase al respecto la publicación *Documentación y estudio comparativo de cuatro bóvedas mayas del área Puuc* (Montuori y Gilabert Sansalvador 2018).

- Búsqueda de bibliografía específica sobre el edificio en cuestión para obtener algunos datos resultantes de las investigaciones realizadas en el mismo, como, por ejemplo, datos cronológicos o descripciones de las intervenciones de restauración realizadas.
- Con la información gráfica y bibliográfica disponible, las fotografías tomadas y los datos de la ficha, cumplimentación de los campos de la base de datos disponibles en cada caso.

La base de datos se ha complementado con información de bóvedas a las que no se ha podido acceder en campo y cuyos datos resultaban relevantes para la investigación. En este sentido, han sido de gran ayuda los informes de campo de George F. Andrews, la documentación sobre la arquitectura Puuc de Harry E.D. Pollock y la información sobre numerosos sitios del área de Petén recopilada por Óscar Quintana Samayoa, entre otros. También se han utilizado publicaciones específicas como los *Tikal Reports* de la Universidad de Pennsylvania o los informes de los trabajos arqueológicos en los sitios de Uxmal, Kabah, Sayil y Labná, consultados en la biblioteca y el archivo del Centro INAH Yucatán.

Mediante la toma de datos indirecta basada en las fuentes bibliográficas se ha podido incluir en la base de datos información de algunas bóvedas inaccesibles, como por ejemplo las de los grandes templos de Tikal o algunas bóvedas de tumbas, por ejemplo, la de la cripta del Templo de las Inscripciones de Palenque. Asimismo se han incluido casos de bóvedas que no pudieron ser registradas de forma directa. Un caso especial es el del sitio de Comalcalco: aunque este enclave finalmente no pudo incluirse en las campañas de toma de datos, se consideró adecuado contar con la información de una de las bóvedas del Palacio de este sitio por la singularidad de su sistema constructivo de muros y bóvedas de ladrillo.

Además, se han podido introducir algunas bóvedas de varios sitios del área noreste de Petén que habían sido documentadas en las expediciones llevadas a cabo entre 2009 y 2010 en el marco del proyecto de I+D+i “Análisis de los sistemas y materiales constructivos para la restauración y puesta en valor del patrimonio cultural maya”, dirigido por Gaspar Muñoz Come. En estas expediciones, coordinadas por Óscar Quintana Samayoa, se documentó arquitectura visible de varios sitios de Petén que aún no habían sido investigados y que, en algunos casos, se encontraba en un grave riesgo de conservación por la situación de abandono y el riesgo de saqueo (Muñoz Cosme, Quintana Samayoa y Matarredona Desantes 2012). Gracias a la documentación obtenida en este proyecto se han podido registrar datos de bóvedas de sitios como Naranjito, Tzikín-Tzakán o Holmul.

5.3. Caracterización de la muestra de bóvedas estudiadas

Con los datos tomados en campo y los obtenidos de la documentación bibliográfica, finalmente la muestra considerada para esta investigación se ha establecido en un total de 391 bóvedas, pertenecientes a 200 edificios de 48 sitios arqueológicos. A continuación se describe y caracteriza esta muestra desde diferentes puntos de vista, con el objetivo de establecer sus limitaciones y evaluar los alcances que pueden tener los resultados de esta investigación. En primer lugar, analizaremos la muestra según la toma de datos realizada; en segundo lugar, en función de la información disponible en cada caso; posteriormente, desde el punto de vista geográfico; y, por último, desde el cronológico.

Según la toma de datos

En el 65% de los casos la información procede exclusivamente del trabajo realizado en campo y en el 26% de las bóvedas los datos tomados directamente en campo se han complementado con otros procedentes de las fuentes bibliográficas (tabla 2). Un total de 35 bóvedas se han registrado con una toma de datos indirecta, a partir de la documentación bibliográfica o gracias al apoyo de diferentes proyectos o colaboradores. En la ficha de registro de cada una de las bóvedas de la base de datos se almacena la información sobre el tipo de toma de datos. Cuando ésta ha sido indirecta o mixta, se especifica la fuente mediante una cita bibliográfica o el origen de los datos (véase el apartado 6.1.2.3).

Tipo de toma de datos	bóvedas	%
Directa	254	65 %
Indirecta	35	9 %
Mixta	102	26 %
	391	100%

Tabla 2. Tipos de toma de datos en la muestra de bóvedas registrada.

Como veníamos diciendo en el apartado anterior, las bóvedas que se han registrado con una toma de datos directa cuentan con diferentes niveles de información (tabla 3). El nivel 1 es el de las bóvedas con el máximo grado de definición, de las que se dispone de fotografías, ficha de registro *in situ* y levantamiento manual o digital. El nivel mínimo de información para la toma de datos directa es el 4, que corresponde a las bóvedas de las que se ha obtenido únicamente documentación fotográfica. De las bóvedas cuya información se ha tomado de las fuentes bibliográficas se dispone, por lo general, de algunos datos métricos y constructivos y, a veces, de fotografías.

Niveles de información	bóvedas	%
NIVEL 1 Identificación, fotografías, ficha <i>in situ</i> y levantamiento	55	14,1%
NIVEL 2 Identificación, fotografías y ficha <i>in situ</i>	68	17,4%
NIVEL 3 Identificación, fotografías y datos métricos	84	21,5%
NIVEL 4 Identificación y fotografías	149	38,1%
Toma de datos indirecta Identificación y algunos datos métricos	35	9,0%
	391	100 %

Tabla 3. Número de bóvedas por nivel de información en la muestra considerada.

Según la información disponible

En cada caso, en función del tipo de toma de datos, el nivel de información registrado y el estado de conservación de la bóveda, se ha podido obtener una cantidad de datos diferente. En la tabla 4 se muestra el número de bóvedas para las que se dispone de algunos de los datos más relevantes utilizados en el análisis, como por ejemplo las dimensiones en planta y en sección, el coeficiente de luz⁴⁰, la forma de la sección transversal, de los testeros o el tipo de dovela⁴¹. La distribución de los huecos de morillos en el intradós de las bóvedas se ha podido documentar en 96 casos de diferentes zonas geográficas y sitios, principalmente en aquellas que conservan una de las semi-bóvedas completas (véase el apartado 7.2.4.1). Asimismo, se ha documentado

Datos disponibles	n° bóvedas	% del total
Luz	233	59,6%
Altura interior de la estancia	162	41,4%
Altura de la bóveda	149	38,1%
Coefficiente de luz λ	152	38,9%
Forma de la sección transversal	386	98,7%
Forma de la sección longitudinal	304	77,7%
Tipo de piedra	320	81,8%
Tipo de dinteles originales	228	58,3%
Tipo de dovela	311	79,5%
Esquema de distribución de morillos	96	24,6%
Estado de conservación en porcentajes	291	74,4%
Información cronológica del edificio	346	88,5%

Tabla 4. Número de bóvedas según la información disponible.

⁴⁰ El coeficiente de luz λ es el resultado del cociente entre el espesor de los muros soporte y la luz de las bóvedas. En el apartado 7.2.5 se describen las consideraciones tomadas para la obtención de este valor y los resultados obtenidos de su análisis.

⁴¹ Para la definición de cada una de las variables consideradas véase el capítulo 6.

el porcentaje aproximado conservado en cada una de las superficies de la bóveda en casi el 75% de los casos, lo que nos ha permitido hacer un balance del estado de conservación de las bóvedas de la muestra, considerando las que han sido restauradas, con el objetivo de establecer causas y patrones del proceso de derrumbe.

Mediante el análisis de la abundante documentación bibliográfica disponible, se ha podido registrar la datación cronológica de más del 88% de las bóvedas de la muestra, lo que nos ha permitido analizar su evolución a lo largo del período Clásico, como veremos a continuación.

Desde el punto de vista territorial

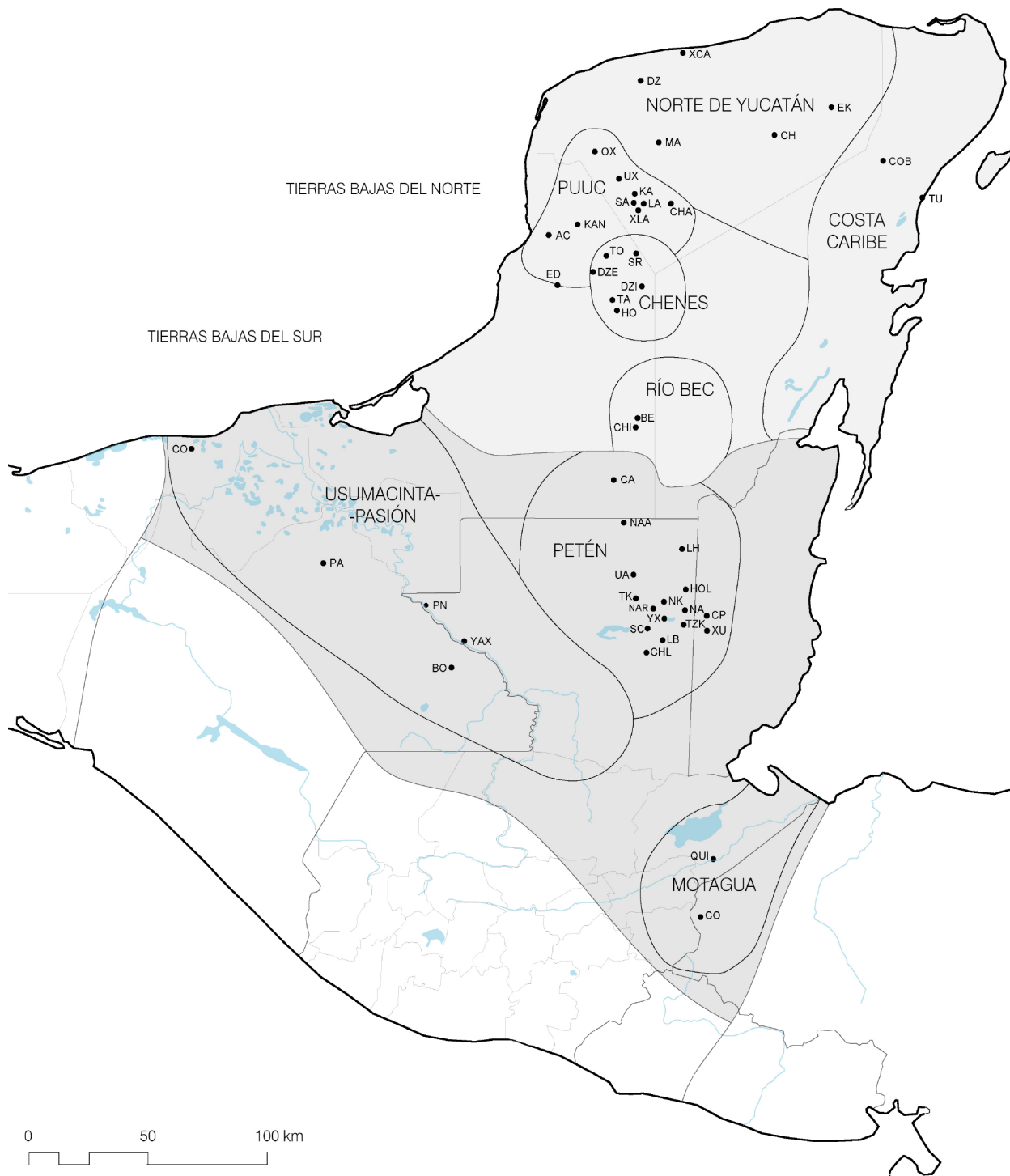
El ámbito establecido desde el inicio para este estudio es el de las Tierras Bajas Mayas, territorio en el que florecieron las principales ciudades mayas del período Clásico, y donde fue predominante el sistema de bóveda como techumbre en la arquitectura monumental. Sin embargo, por las características y las limitaciones de la muestra obtenida, algunas regiones y en concreto algunos sitios se han podido estudiar con más profundidad que otros, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de extrapolar los resultados de esta investigación.

Un 43% de las bóvedas estudiadas pertenecen a las Tierras Bajas Mayas del Sur, a sitios arqueológicos del área de Petén y de las cuencas de los ríos Usumacinta y Motagua, y el 57% restante pertenecen a las Tierras Bajas del Norte (tabla 5).

En la figura 92 se sitúan en un plano del área maya los sitios a los que pertenecen las bóvedas estudiadas. El número de casos registrados en cada sitio arqueológico (tabla 6) depende, fundamentalmente, del número de bóvedas que se conservan en pie, de la posibilidad de acceso al interior de las estancias y del tiempo disponible durante la toma de datos en campo.

Territorio	sitios	%	edificios	%	bóvedas	%
Tierras Bajas Mayas del Norte	25	52,1%	105	52,5%	223	57%
Tierras Bajas Mayas del Sur	23	47,9%	95	47,5%	168	43%
	48	100%	200	100%	391	100%

Tabla 5. Distribución de los sitios, edificios y bóvedas consideradas en las Tierras Bajas Mayas del Norte y del Sur.



Sitio	ID Sitio	edificios	%	bóvedas	%
Acanmul	AC	1	0,5%	3	0,8%
Becán	BE	4	2,0%	7	1,8%
Bonampak	BO	6	3,0%	6	1,5%
Cahal Pech	CP	5	2,5%	7	1,8%
Calakmul	CA	3	1,5%	4	1,0%
Chacmultún	CHA	5	2,5%	13	3,3%
Chicanná	CHI	4	2,0%	8	2,0%
Chichén Itzá	CH	9	4,5%	12	3,1%
Chilonché	CHL	1	0,5%	7	1,8%
Cobá	COB	4	2,0%	5	1,3%
Comalcalco	COM	1	0,5%	1	0,3%
Copán	CO	3	1,5%	4	1,0%
Dzехkabtún	DZE	1	0,5%	1	0,3%
Dzibilchaltún	DZ	3	1,5%	5	1,3%
Dzibilnocac	DZI	1	0,5%	3	0,8%
Edzná	ED	2	1,0%	9	2,3%
Ek Balam	EK	4	2,0%	9	2,3%
Hochob	HO	1	0,5%	3	0,8%
Holmul	HOL	1	0,5%	1	0,3%
Kabah	KA	9	4,5%	17	4,3%
Kankí	KAN	3	1,5%	5	1,3%
La Blanca	LB	3	1,5%	14	3,6%
La Honradez	LH	1	0,5%	1	0,3%
Labná	LA	5	2,5%	13	3,3%
Mayapán	MA	2	1,0%	2	0,5%
Naachtún	NAA	1	0,5%	1	0,3%
Nakum	NK	12	6,0%	19	4,9%
Naranjito	NAR	1	0,5%	2	0,5%
Naranjo	NA	3	1,5%	5	1,3%
Oxkintok	OX	10	5,0%	14	3,6%
Palenque	PA	10	5,0%	12	3,1%
Piedras Negras	PN	3	1,5%	5	1,3%
Quiriguá	QUI	1	0,5%	1	0,3%
San Clemente	SC	2	1,0%	5	1,3%
Santa Rosa Xtampak	SR	8	4,0%	13	3,3%
Sayil	SA	5	2,5%	14	3,6%
Tabasqueño	TA	1	0,5%	8	2,0%
Tikal	TK	21	10,5%	42	10,7%
Tohcok	TO	1	0,5%	2	0,5%
Tulum	TU	1	0,5%	1	0,3%
Tzikín-Tzakán	TZK	1	0,5%	1	0,3%
Uaxactún	UA	3	1,5%	11	2,8%
Uxmal	UX	19	9,5%	50	12,8%
Xcambó	XCA	1	0,5%	1	0,3%
Xlapak	XLA	1	0,5%	5	1,3%
Xunantunich	XU	1	0,5%	2	0,5%
Yaxchilán	YAX	9	4,5%	14	3,6%
Yaxhá	YX	3	1,5%	3	0,8%

(Página opuesta)

Figura 92. Sitios arqueológicos considerados en la muestra de bóvedas.

Tabla 6. Número de edificios y de bóvedas estudiadas en cada sitio arqueológico.

200

391

100%



Figura 93. Divisiones estilísticas del área maya según Paul Gendrop (1983, p. 16).

En la figura 92 se muestran las ocho zonas geográficas establecidas para el territorio de las Tierras Bajas Mayas. Esta división está basada en las “provincias estilísticas” propuestas por Paul Gendrop (1983, p. 16-17), que divide las Tierras Bajas Mayas del Sur en las áreas de Petén y las cuencas de los ríos Pasión, Motagua y Usumacinta (figura 93). En las Tierras Bajas Mayas del Norte, a las áreas delimitadas por Gendrop (Puuc, Chenes, Río Bec y Costa Caribe) se ha añadido la zona Norte de Yucatán, tal y como propone George F. Andrews (1995e, p. 274) en su división de las Tierras Bajas Mayas del Norte⁴² (figura 94). Esta división geográfica toma para algunas zonas el nombre del estilo arquitectónico predominante, como por ejemplo para las áreas de Río Bec, Chenes y Puuc. En otros casos establece divisiones territoriales más amplias como las de las cuencas fluviales. En todo caso, se trata de delimitaciones aproximadas que además dejan zonas intermedias no definidas en las que existen numerosos sitios arqueológicos. Cabe señalar que esta delimitación no implica que todos los edificios de una misma área sean de un mismo estilo y,

42 George F. Andrews (1995e, p. 274) denomina a la zona meridional de los estados actuales de Yucatán y Quintana Roo como *Northern Plain Areas* y la subdivide en tres regiones: noroeste, noreste y este (véase la figura 94).

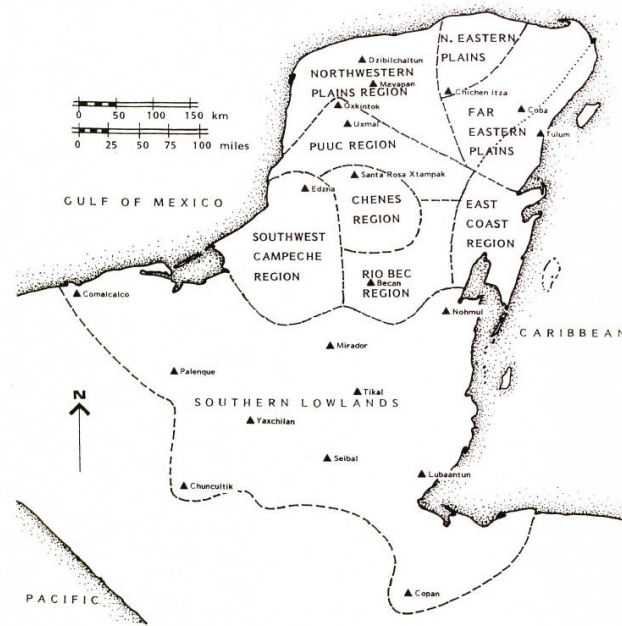


Figura 94. Principales regiones arqueológicas de las Tierras Bajas Mayas del Norte según George F. Andrews (1995e, p. 274).

además, pueden darse casos de edificios de un determinado estilo situados en el ámbito geográfico asignado a otro estilo predominante.

La distribución de sitios, edificios y bóvedas objeto de estudio en las diferentes áreas geográficas se muestra en la tabla 7. En varios de los sitios considerados se ha podido trabajar en más de una campaña, especialmente en las áreas de Petén y Puuc, por lo que la muestra de bóvedas es considerablemente mayor en estas dos regiones (figura 95). Fuera de estas áreas, los sitios con más bóvedas registradas son Yaxchilán, Santa Rosa Xtampak, Palenque y Chichén Itzá, con más de diez bóvedas por sitio, tal y como se muestra en la tabla 6. En las zonas

Tabla 7. Número de sitios, edificios y bóvedas estudiadas por zona geográfica.

Zona geográfica	sitios	%	edificios	%	bóvedas	%
Chenes	6	12,5%	13	6,5%	30	7,7%
Costa Caribe	2	4,2%	5	2,5%	6	1,5%
Norte de Yucatán	5	10,4%	19	9,5%	29	7,4%
Puuc	10	20,8%	60	30,0%	143	36,6%
Río Bec	2	4,2%	8	4,0%	15	3,8%
Petén	16	33,3%	62	31,0%	125	32,0%
Motagua	2	4,2%	4	2,0%	5	1,3%
Usumacinta-Pasión	5	10,4%	29	14,5%	38	9,7%
	48	100%	200	100%	391	100%

del río Motagua y de la Costa del Caribe el número de bóvedas registradas es muy bajo, por lo que los resultados obtenidos no se pueden extrapolar a estas regiones. En la figura 96 se muestra la distribución de los cinco niveles de información de las bóvedas registradas en las ocho zonas geográficas consideradas.

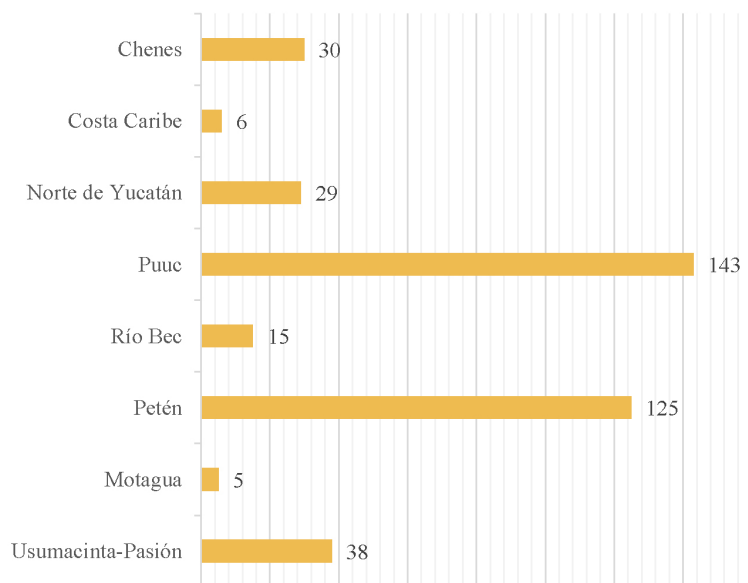


Figura 95. Número de bóvedas estudiadas por zona geográfica.

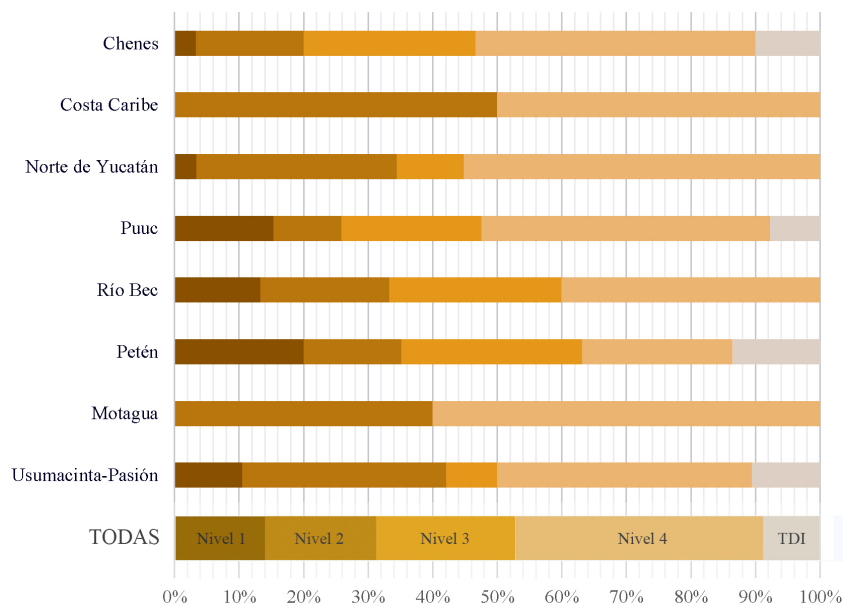


Figura 96. Niveles de información de las bóvedas registradas por zonas geográficas (TDI: toma de datos indirecta).

Desde el punto de vista cronológico

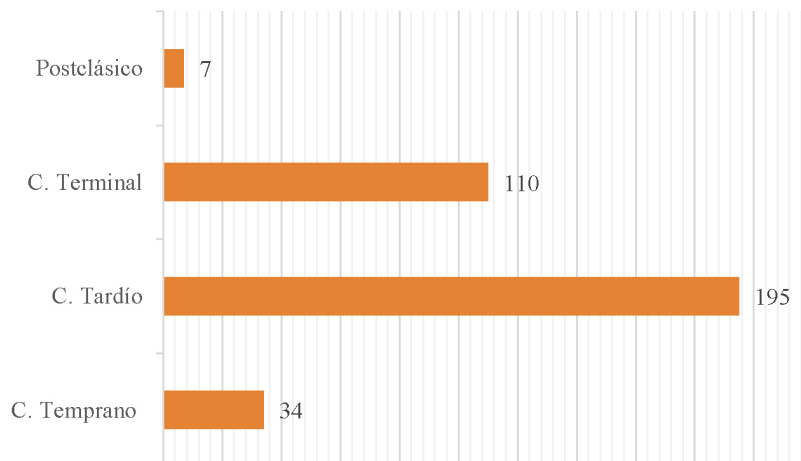
La cronología de las bóvedas estudiadas se ha establecido según la datación de los edificios a los que pertenecen, tomada de la bibliografía existente. La comparación cronológica de las bóvedas nos ha permitido analizar su evolución, tanto en términos generales como en las áreas geográficas más estudiadas y con una larga tradición constructiva. El método utilizado para comparar los diferentes criterios de datación existentes se basa en la elaboración de una tabla cronológica común⁴³ y se detalla en el apartado 6.1.2.2, relativo a la información introducida en la base de datos sobre cada edificio.

En la tabla 8 se muestra el número de edificios y de bóvedas en cada uno de los períodos cronológicos generales, considerando los casos en que se dispone de esta información. Se observa que la gran mayoría de bóvedas pertenecen al período Clásico, y sólo algunos casos anecdóticos se sitúan en el Postclásico (figura 97). Por ello, los resultados de este estudio son aplicables a las bóvedas del Clásico, que se establece como marco cronológico de esta investigación. Un 10% de los ejemplos estudiados pertenecen al período Clásico Temprano (250-600 d.C.), el 56% son del Clásico Tardío (600-850 d.C.), y el 32% de las bóvedas datan de la fase Terminal (850-1.050 d.C.)⁴⁴.

Tabla 8. Número de edificios y bóvedas estudiadas por período cronológico.

Períodos cronológicos		edificios	%	bóvedas	%
Clásico Temprano	(250 - 600 d.C.)	18	11%	34	10%
Clásico Tardío	(600 - 850 d.C.)	100	60%	195	56%
Clásico Terminal	(850 - 1.050 d.C.)	42	25%	110	32%
Postclásico	(>1.050 d.C.)	7	4%	7	2%
		167	100%	346	100%

Figura 97. Número de bóvedas estudiadas por período cronológico.



⁴³ Véase la tabla 10.

⁴⁴ Las fuentes bibliográficas de las que se han obtenido las dataciones de los diferentes períodos cronológicos se citan en la tabla 10.

6. Una base de datos de bóvedas mayas

Con la finalidad de registrar, analizar y comparar de forma sistemática las características de todas las bóvedas estudiadas se ha diseñado una Base de Datos de Bóvedas Mayas (BDBM). Este sistema de fácil acceso, creado ex profeso para esta investigación, está formado por tres recursos complementarios:

- Un banco de datos (*BDBM banco*), creado con el programa *Filemaker Pro*, en el que se almacena la información disponible de cada una de las bóvedas y a la que posteriormente se puede acceder de forma rápida y estructurada.
- Un repositorio digital (*BDBM archivo*) en el que se ha clasificado, con la misma estructura y los mismos códigos de identificación que en el banco de datos, toda la documentación gráfica (fotografías, planos, dibujos... etc.) recopilada y generada sobre cada una de las bóvedas.
- Un archivo (*BDBM biblioteca*) en el que se almacenan las fuentes bibliográficas citadas en los dos ficheros anteriores. Mediante el gestor bibliográfico *Mendeley* se ha creado una biblioteca de publicaciones especializadas que permite acceder a los documentos de forma rápida y ordenada y gestionar las referencias a las fuentes automáticamente.

En los siguientes apartados (6.1, 6.2 y 6.3) se definen y describen estos tres recursos que forman la Base de Datos de Bóvedas Mayas.

6.1. El banco de datos de bóvedas mayas

6.1.1. Estructura

La información de todas las bóvedas registradas se almacena en una base de datos de tipo relacional creada con el sistema gestor de bases de datos *Filemaker Pro*. La ventaja de utilizar este tipo de base de datos es que permite acceder a la información de forma sencilla a través de consultas y búsquedas, como veremos en el apartado 6.1.3. El archivo *BDBM banco* está formado por tres tablas relacionadas:

1. La tabla “SITIO” almacena la información identificativa de cada sitio arqueológico.
2. La tabla “EDIFICIO” contiene datos relativos a los edificios a los que pertenecen las bóvedas, y está relacionada con la anterior mediante el campo “Nombre del sitio”, de tal forma que para introducir un edificio nuevo en la base de datos es necesario elegir a qué sitio pertenece de los ya introducidos en la tabla “Sitio”.
3. Por último, la tabla “BÓVEDA” contiene la información de cada bóveda y está relacionada con la tabla “Edificio”. Al igual que en la relación anterior, para introducir una nueva bóveda es necesario seleccionar el edificio al que pertenece entre los introducidos en la tabla “Edificio”.

Tabla	n° de campos
Sitio	7
Edificio	18
Bóveda	77

Tabla 9. Número de campos en cada una de las tablas del banco de datos.

La definición de estas relaciones entre las tres tablas permite que se pueda acceder a los registros de una tabla desde otra a partir del campo coincidente entre ambas.

6.1.2. Definición de las variables consideradas

Cada una de las tres tablas contiene una serie de campos que se van rellenando durante la introducción de cada registro. El número de campos es menor a medida que aumentamos la escala (tabla 9): la tabla “Bóveda” es, lógicamente, la que tiene más campos, pues se ha diseñado para caracterizar minuciosamente el objeto de estudio de esta investigación. La información del edificio contiene algunos datos generales de la estructura que permiten, por ejemplo, comparar bóvedas de edificios de una determinada tipología arquitectónica o de un período cronológico concreto. Por último, la tabla “Sitio” es la más general y consta de siete campos identificativos básicos de cada sitio arqueológico, lo que permite hacer comparaciones entre bóvedas de diferentes áreas geográficas.

En la fase de diseño de la base de datos se ha establecido qué tipo de valores pueden registrarse en cada campo: texto, números, fechas, un valor calculado...etc. Según su naturaleza, para cada variable se ha optado por un tipo de entrada de entre las siguientes:

- a) Texto libre
- b) Valor numérico decimal
- c) Cálculo automático realizado por la aplicación
- d) Valor de fecha o valor de fecha y hora
- e) Selección entre varias opciones de una “lista de valores” con los formatos:
 - Lista desplegable
 - Juego de casillas de verificación
 - Juego de botones SÍ / NO

REGISTRO DE SITIOS

Nombre del sitio

ID sitio

País

Región o estado

Coordenadas geográficas

Zona geográfica

Plano con identificación de las estructuras

Figura 98. Formulario de introducción de datos de la tabla “Sitio”.

A continuación se definen los campos de cada una de las tablas y, por tanto, qué información sobre los sitios, los edificios y, por último, sobre cada una de las bóvedas estudiadas, se almacena en el banco de datos.

6.1.2.1. Información del sitio arqueológico

La figura 98 muestra el formulario creado para la introducción de los datos en la tabla “SITIO”. Los campos establecidos son los siguientes:

Nombre del sitio: Nombre completo del sitio arqueológico.

ID sitio: Clave identificativa del sitio arqueológico formada por dos o tres letras en mayúscula. Ejemplos: Naranja, NA; Piedras Negras, PN; Oxkintok, OX; La Blanca, LB.

País: Nombre del país actual en el que se encuentra el sitio arqueológico.

Región o estado: Nombre de la subdivisión política del país actual en la que se encuentra el sitio arqueológico.

Coordenadas geográficas: Ubicación geográfica del sitio arqueológico expresada en valores de latitud y longitud.

Zona geográfica: Región o área geográfica a la que pertenece el sitio arqueológico. Para las Tierras Bajas Mayas, ámbito territorial de este estudio, se han establecido las ocho zonas geográficas que se listan a continuación y que se muestran en la figura 99. En el formulario se puede elegir la zona a la que pertenece el sitio registrado mediante una lista desplegable con las siguientes opciones:

- Petén
- Motagua
- Usumacinta-Pasión
- Puuc
- Chenes
- Río Bec
- Costa Caribe
- Norte de Yucatán

Plano con identificación de las estructuras: Autor y año del plano del sitio arqueológico y, en su caso, cita bibliográfica de la fuente en la que se ha obtenido. El fichero del plano se almacena en la carpeta del sitio correspondiente del *BDBM archivo*.

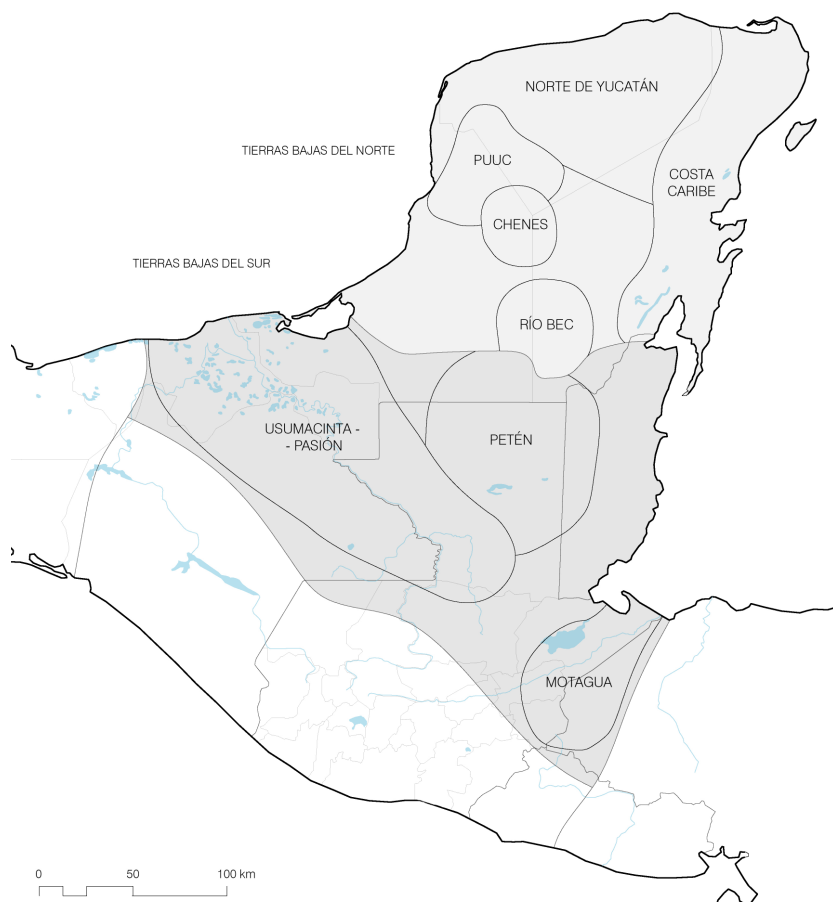


Figura 99. Zonas geográficas establecidas para las Tierras Bajas Mayas.

6.1.2.2. Información del edificio

La información recopilada en la tabla “EDIFICIO” recoge características muy generales de cada estructura. La figura 100 muestra el formulario de introducción de los datos de esta tabla. La información registrada sobre el edificio se divide en cuatro categorías:

- Datos identificativos
- Datos cronológicos
- Datos descriptivos
- Documentación existente

Para cada una de estas categorías se establecen los siguientes campos:

Datos identificativos del edificio

Nombre del edificio: Nombre del edificio según la denominación de las estructuras del plano del sitio arqueológico o, en su defecto, nombre del edificio

Figura 100. Formulario de introducción de datos de la tabla “Edificio”.

REGISTRO DE EDIFICIOS

DATOS IDENTIFICATIVOS

Nombre del edificio

Sitio

ID edificio

Grupo

DATOS DESCRITIVOS

Tipología arquitectónica

nº de plantas

Crestería SÍ NO

Tipología distributiva

Distribución (A)

nº de crujeas paralelas

Observaciones

DATOS CRONOLÓGICOS

Período cronológico

Datación absoluta

fuerse

Estilo arquitectónico

Subestilo

fuerse

Intervalo cronológico

DOCUMENTACIÓN existente

Fotografías

Planos

Dibujos

Levantamientos

Bibliografía específica

Plano de situación del edificio en el sitio

Esquema de numeración de cuartos

Otro...

según la bibliografía⁴⁵. En ocasiones se incluyen dos nomenclaturas: una numérica extraída del plano del sitio⁴⁶ y un nombre más popular del edificio. Ejemplos: Estructura 6J1 o Palacio de Oriente de La Blanca; Estructura 3C7 o Casa del Venado de Chichén Itzá; Estructura CA-7 o Palacio Chich de Oxkintok.

Sitio: Sitio arqueológico al que pertenece el edificio. Este campo está relacionado con la tabla “SITIO” y en la introducción de datos ofrece una lista desplegable en la que se puede seleccionar un sitio de entre los registrados.

Grupo: Nombre del grupo o conjunto arquitectónico al que, en su caso, pertenece el edificio. Ejemplos: Grupo A de Uaxactún; Acrópolis Central de Tikal; Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal.

ID edificio: Clave identificativa del edificio que incluye la clave del sitio al que pertenece y la del propio edificio, registrado por su código alfanumérico o, en su defecto, por las siglas del nombre en mayúscula. Ejemplos: Templo del Sol de Palenque, PA_TS; Edificio 30 de Yaxchilán, YAX_30. Cuando el edificio pertenece a un grupo o a un conjunto arquitectónico se incluyen las siglas del grupo tras la clave del sitio. Ejemplos: Palacio Maler o Edificio 65 de la Acrópolis Central de Tikal, TK_AC_65; Edificio Este del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal, UX_MO_E.

Datos cronológicos del edificio

La información cronológica del edificio permite, a través de la relación establecida entre las tablas “Edificio” y “Bóveda”, comparar las características de bóvedas de distintos períodos temporales y estudiar su evolución en el tiempo para una determinada zona geográfica y también de manera general. Todos los

⁴⁵ Cuando la estructura no tiene una denominación, se ha nombrado con una letra mayúscula: “Edificio A” o “Edificio B”.

⁴⁶ Por lo general, las estructuras mayas se denominan según su posición en referencia a una cuadrícula de 50x50 o de 100x100 m que se superpone al plano del sitio. Normalmente las filas se numeran y a cada columna se le asigna una letra, con lo que el nombre de cada estructura es un código alfanumérico que indica su posición.

datos cronológicos de los edificios están tomados de fuentes bibliográficas, y las referencias a éstas se incluyen en campos específicos para tal efecto, como veremos a continuación.

La cronología de los edificios en el área maya se ha determinado mediante diferentes métodos, por lo que existen varios tipos de datación:

- a) En los mejores casos, la fecha concreta de construcción del edificio se ha podido obtener a partir de análisis de Carbono 14 de materiales orgánicos o de datos epigráficos procedentes de dinteles, pinturas murales, estelas o tumbas⁴⁷.
- b) En otros casos, la datación del edificio está definida por un intervalo de tiempo relativamente corto y comprendido entre dos fechas concretas, pues su construcción se atribuye a un gobernante cuyo período en el poder se conoce con precisión por datos epigráficos.
- c) En la mayoría de los casos las investigaciones arqueológicas han permitido situar los edificios, principalmente con datos cerámicos, en los diferentes períodos culturales establecidos para el área maya (Preclásico Temprano, Preclásico Medio, Preclásico Tardío, Clásico Temprano, Clásico Tardío, Postclásico...etc.). Este tipo de datación ofrece un valor más impreciso sobre la cronología del edificio, pues comprende un intervalo que normalmente supera los trescientos años, pero en ocasiones es la única información cronológica disponible. Además, existe un problema adicional a la hora de tomar dataciones de edificios de diferentes zonas geográficas y de fuentes bibliográficas diversas, y es que no existe un consenso general sobre los períodos establecidos, su denominación y los años de inicio y fin de algunos de ellos.
- d) Por último, en algunas zonas geográficas se han definido estilos arquitectónicos que se han atribuido a períodos temporales concretos, principalmente en el área Puuc, y también en las zonas de Río Bec y Chenes y en el área del Norte de Yucatán. En estos casos, los edificios se han clasificado en un estilo determinado por sus características arquitectónicas, constructivas e iconográficas y, aunque datar un edificio por su estilo tiene ciertas limitaciones, en la mayoría de los casos puede aproximarnos a un intervalo temporal más concreto que el de los períodos culturales generales.

Por todo ello, y debido a la variedad de criterios que hemos detectado, se han establecido varios campos en la tabla “Edificio” que permiten elegir el tipo de datación disponible en cada caso. Cada dato cronológico va acompañado de una cita a la fuente de donde se ha obtenido (figura 100).

⁴⁷ Con el análisis Carbono 14 de los dinteles de madera del edificio se puede determinar la fecha de talado del árbol, con un margen de error de varias décadas. Las fechas obtenidas con datos epigráficos son más exactas, aunque debe tenerse en cuenta el posible error derivado de la conversión del calendario maya al gregoriano (Muñoz Cosme 2006, p. 31-34).

Para poder comparar la datación de los edificios con un criterio común, ha sido necesario elaborar una tabla de equivalencias donde se equiparan los períodos y estilos definidos para cada una de las áreas estudiadas, y en la que se definen los intervalos cronológicos considerados para este estudio⁴⁸ (tabla 10). Mediante este sistema se han podido situar la mayoría de los edificios analizados en una tabla cronológica común (tabla 11), ordenados por sitios y por zonas, lo que permite la comparación de la cronología de las bóvedas.

Con todo ello, los campos establecidos para la información cronológica del edificio son los siguientes:

Período cronológico: Período de la cultura maya al que pertenece el edificio. Se puede elegir entre los períodos generales (Arcaico, Preclásico, Clásico y Postclásico) o entre las subdivisiones establecidas, y es posible seleccionar la opción “sin datos” para los casos en que no se dispone de información:

- Arcaico
- Preclásico
 - Preclásico Temprano
 - Preclásico Medio
 - Preclásico Tardío
- Clásico
 - Clásico Temprano
 - Clásico Tardío
 - Clásico Terminal
- Postclásico
- Sin datos

Datación absoluta: Año o período de construcción del edificio. Se puede completar con:

- a) una fecha concreta conocida
- b) una fecha aproximada entre paréntesis
- c) un intervalo entre dos fechas cuando el período es aproximado o cuando el edificio forma parte del programa constructivo de un gobernante y se conocen las fechas de inicio y fin de su reinado, por ejemplo:

- Templo I de Tikal: 734 d.C. El Templo I o Gran Jaguar es el monumento funerario dedicado al gobernante de Tikal Jasaw Chan K’awiil I, que fue enterrado en la base de la plataforma del edificio. La datación absoluta del templo se obtuvo a partir de los datos epigráficos del dintel labrado, complementados con análisis Carbono 14 (Vidal Lorenzo y Muñoz Cosme 1997, p. 46).

⁴⁸ Los intervalos cronológicos establecidos, que se muestran en la columna derecha de la tabla 10, se han utilizado para examinar la evolución de las diferentes características de las bóvedas. Véase al respecto el capítulo 8.

- Estructura 23 de Yaxchilán: (681 - 742 d.C.). El conocimiento de la historia dinástica de Yaxchilán y del programa constructivo de cada gobernante permiten asignar a las estructuras un período concreto para su construcción. La estructura 23, por ejemplo, se atribuye al gobernante Escudo Jaguar I, que estuvo en el trono entre el 681 y el 742 d.C. (Sotelo Santos 1992, p. 55-75).

Fuente de la datación: Cita bibliográfica a la fuente o fuentes de donde se ha obtenido el dato de “Datación absoluta” o el de “Período cronológico” del edificio. Todas las fuentes están incluidas en el archivo bibliográfico *BDBM bibliografía* y las referencias completas aparecen en el listado bibliográfico dinámico asociado a la base de datos. Ejemplos: Sotelo Santos (1992: 59); Vidal Lorenzo y Muñoz Cosme (2012: 104)

Estilo arquitectónico: Estilo o período al que pertenece el edificio según las clasificaciones estilísticas existentes, recogidas en la tabla 10. Se puede elegir en una lista desplegable entre las siguientes opciones, según la región a la que pertenezca el edificio:

Para el área Puuc:

- Oxkintok Temprano
- Proto-Puuc
- Puuc Temprano
- Puuc Clásico

Para la zona geográfica del Norte de Yucatán:

- Período Temprano I
- Período Temprano II
- Floreciente Puro
- Floreciente Modificado
- Decadente

Para el área de Río Bec:

- Río Bec Temprano
- Río Bec Exuberante
- Río Bec Tardío
- Río Bec Terminal

Para la zona Chenes:

- Chenes Temprano
- Período de interrelación Río Bec-Chenes

(Página opuesta)

Tabla 10. Tabla cronológica de equivalencias.

CHENES					PUUC									NORTE DE YUCATÁN				COSTA CARIBE		ZONA
SR	DZI	HO	TA	DZE	ED	KAN	OX	KA	LA	SA	XLA	CHA	UX	DZ	EK	CH	MA	COB	TU	SITIO
																				1500
																				1450
																				1400
																				1350
																	OB		M	1300
																		P_1		1250
																				1200
																				1150
																				1100
																				1050
																				1000
																				950
																				900
																				850
																				800
																				750
																				700
																				650
																				600
																				550
																				500
																				450
																				400
																				350
																				300
																				250
																				d.C.

Tabla 11. Tabla cronológica de los edificios registrados en la Base de Datos de Bóvedas Mayas identificados por su ID.

- Chenes-Puuc
- Chenes Terminal

Para cualquier zona se puede seleccionar la opción

- Varios estilos, en casos singulares de edificios con varias plantas o con varias fases constructivas visibles que pertenecen a estilos diferentes.

Subestilo: Algunos estilos se han dividido en subestilos, como el Puuc Clásico o el Proto-Puuc en el caso especial del sitio de Oxkintok (Andrews 1995e, p. 102-112). Si procede, puede elegirse en este campo uno de los subestilos siguientes:

Para el estilo Puuc Clásico:

- Junquillo
- Mosaico
- Uxmal Tardío
- Intermedio

Para el estilo Proto-Puuc en el caso singular del sitio de Oxkintok:

- Proto-Puuc A
- Proto-Puuc B

Fuente de la clasificación estilística: Cita bibliográfica a la fuente o fuentes incluidas en *BDBM bibliografía* de donde se ha tomado el dato de la clasificación estilística y, en su caso, del subestilo del edificio.

Datos descriptivos del edificio

Tipología arquitectónica: Tipo de edificio atendiendo a sus características arquitectónicas y funcionales. Tal y como señalan varios autores (Gendrop 1983, p. 22; Sotelo Santos 1992, p. 106; Muñoz Cosme 2006, p. 95), es difícil determinar con precisión el uso que tuvieron los edificios cuando su función no es tan evidente como ocurre en algunas tipologías arquitectónicas mayas concretas como, por ejemplo, el juego de pelota. Una gran mayoría de los edificios mayas se han considerado templos o palacios según sus características formales, pero en muchas ocasiones, y especialmente en algunas áreas, los rasgos distintivos entre estas dos tipologías desaparecen.

Para este trabajo se han considerado trece tipologías arquitectónicas basadas en la clasificación propuesta por Gaspar Muñoz Cosme (2006, p. 95-117). Se ha añadido además la tipología de arco urbano para designar los arcos monumentales que comunican dos espacios urbanos no cubiertos (Gilabert Sansalvador,

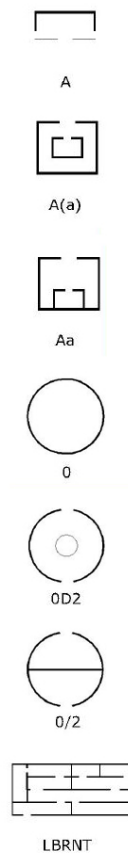


Figura 101. Tipologías distributivas de edificios mayas según M. May y G. Muñoz (2010, p. 256).

Peiró Vitoria y Martínez Vanaclocha 2017, p. 48) y la de edificio mixto o “complejo polivalente” propuesta por Paul Gendrop (1983, p. 73-78) y que se atribuye a los edificios en los que presumiblemente se combinó la función religiosa con la residencial o administrativa. Así, en este campo de la tabla “Edificio” se puede elegir en una lista desplegable una de las siguientes opciones:

- Palacio
- Templo
- Edificio mixto
- Juego de pelota
- Torre
- Cuadrángulo
- Edificio astronómico
- Laberinto
- Baño de vapor o temascal
- Mercado
- Acueducto
- Muralla o recinto
- Arco urbano

Nº de plantas: Número de plantas que tiene o tuvo en su día el edificio, en aquellos casos en que es posible determinarlo.

Crestería: En este campo se puede marcar “sí” o “no” en un juego de botones para indicar si el edificio tiene o tenía crestería, independientemente de su posición, y se puede omitir el dato cuando no se sabe con seguridad si el edificio contaba con este elemento constructivo.

Tipología distributiva: Tipo distributivo de la planta del edificio⁴⁹. En este campo se puede elegir mediante una lista desplegable una de las ocho tipologías distributivas de edificios propuestas por Manuel May Castillo y Gaspar Muñoz Cosme (2010, p. 256), definidas por una clave alfanumérica (figura 101). El tipo distributivo más común es el denominado como “A”, que designa la unidad básica de los edificios formados por agrupaciones de varios cuartos en una o varias crujías paralelas. Tal y como expresan M. May y G. Muñoz, esta clasificación tipológica no contempla todos los casos, por lo que en la base de datos puede seleccionarse la opción “otra”. En los casos en que se desconoce la distribución o no se dispone de la planta del edificio, se puede seleccionar “sin datos”:

- A
- CDR
- 0

⁴⁹ Cuando el edificio tiene varias plantas se indica en el campo “Observaciones” qué planta se ha considerado.

- 0D2
- 0/2
- A(a)
- Aa
- LBRNT
- otra
- sin datos

Distribución para el tipo A: En los edificios con tipología distributiva “A” se añade este campo para definir el modelo de agrupación de los cuartos en el edificio según el criterio que se muestra en la figura 102. Mediante este sistema se puede expresar, con una clave alfanumérica, el esquema de distribución de la planta del edificio con el número de cuartos y el de crujiás, lo que puede resultar útil de cara a un análisis distributivo de los edificios con medios estadísticos (May Castillo y Muñoz Cosme 2010, p. 257). En los edificios cuya planta no puede definirse con esta codificación este campo se rellena con una “X”.

Nº de crujiás paralelas: Número máximo de crujiás paralelas del edificio.

Observaciones: Texto libre en el que puede añadirse información adicional sobre el edificio o aclaraciones sobre la información introducida en los campos anteriores.

Documentación existente del edificio

Documentación existente: Documentación existente o generada sobre el edificio y recopilada en el repositorio *BDBM archivo* o en el gestor bibliográfico *BDBM bibliografía*. En este campo se pueden marcar con una “X” una o varias opciones y se puede introducir un texto libre cuando el tipo de documentación no se ajusta a ninguna de las siguientes categorías:

- Fotografías
- Planos
- Dibujos
- Levantamientos
- Bibliografía específica
- Plano de situación del edificio en el sitio
- Esquema de numeración de cuartos (ENC, figura 104)

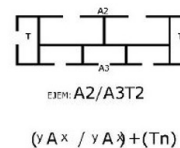
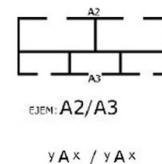
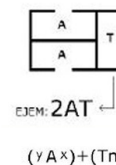
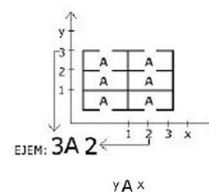


Figura 102. Código para denominar las diferentes distribuciones de edificios con tipología distributiva “A” establecido por M. May y G. Muñoz (2010, p. 256).

6.1.2.3. Información de cada bóveda registrada

La información de la tabla “BÓVEDA” se divide en las siguientes categorías:

- Datos identificativos
- Información sobre la ficha de registro
- Información sobre la toma de los datos
- Documentación disponible
- Análisis funcional
- Análisis geométrico-formal
- Análisis constructivo
- Estado de conservación

En la tabla 12 se indica el número de campos asignados a cada una de estas categorías, y en la figura 103 se muestra el formulario de introducción de los datos de esta tabla. A continuación se describe el contenido de cada uno de los campos.

Datos identificativos de la bóveda

Edificio: Estructura a la que pertenece la bóveda. Este campo está relacionado con la tabla “Edificio” y en la introducción de datos ofrece una lista desplegable en la que se puede seleccionar un edificio de entre los registrados.

Sitio: Sitio arqueológico donde se encuentra la bóveda. Este campo proviene de la tabla “Sitio” y a través de las relaciones entre las tres tablas el nombre del sitio aparece de forma automática cuando se selecciona el edificio al que pertenece la bóveda.

Cuarto: Estancia o parte del edificio que cubre la bóveda. La denominación de cada estancia se corresponde con el Esquema de Numeración de Cuartos (ENC) del edificio, disponible en *BDBM archivo*. El ENC está tomado de la

Categorías de información	nº de campos
Datos identificativos	5
Información sobre la ficha de registro	3
Información sobre la toma de los datos	3
Documentación disponible	2
Análisis funcional	6
Análisis geométrico - formal	25
Análisis constructivo	25
Estado de conservación	8
TOTAL en la tabla “BÓVEDA”	77

Tabla 12. Número de campos de la tabla “Bóveda” por categorías.

REGISTRO DE BÓVEDAS

IDENTIFICACIÓN

ID bóveda

Silo

Edificio

Cuarto

Identif.

DATOS FICHA

Autor ficha

Fecha apertura

Última modificación

TOMA DE DATOS

Fecha toma

Observaciones

DOCUMENTACIÓN

Documentación recopilada

Fotografías Dibujos Bibliografía

Planos Levantamientos Otro...

Documentación generada

Fotografías Levantamiento tradicional

Ficha in situ Planos / cad

Esquemas Detalles constructivos

Fotografía aérea Otro...

Escáner láser

ANÁLISIS

A. ANÁLISIS FUNCIONAL

Función espacio abovedado

Elementos en la estancia

banqueta nichos

molinos pasadizos

ventanillas cornisas

respiraderos orificios para barras ...

Otro

Puertas

Mpp Mder

Mrit Mizq

C. ANÁLISIS CONSTRUCTIVO

SISTEMA CONSTRUCTIVO Y MATERIALES

Sistema constructivo

Tipo de muros

Tipo de piedra

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Dintelas originales

Huacos moniles

esquema

Observaciones análisis constructivo

B. ANÁLISIS GEOMÉTRICO / FORMAL

PLANITA

Direchiz

Dimensiones:

a (uz) m

b (longitud) m

b / a =

Muro exterior m

Muro interior m

Ceaf. uz =

Muro lateral izquierdo m

Muro lateral derecho m

puerta central ext m

ALTURAS

Interior total m

Línea impostas m

Dintel ext m

Bóveda m

$h_1/h_2 =$

$h_2/h_1 =$

SECCIÓN TRANSVERSAL

Forma (escalonada)

Frente h. mestrada m

Inclinaciones

S ext °

S int °

T der °

T izq °

Voladizos de arranque

S ext m

S int m

T der m

T izq m

ESTEREOTOMÍA

Hiladas coincidentes S / T SI NO

Línea impostas diferenciada S SI NO

Línea impostas diferenciada T SI NO

SEMIBÓVEDAS

Tipo de dovelas

Intercala tipos SI NO

Tipo de aparejo

Escalonamiento

Dimensiones b_1 m

h_1 m

h_2 m

TESTEROS

Sección

Formado por

Tipo de aparejo

Dimensiones b_1 m

h_1 m

h_2 m

TAPA

Dimension interior T m

Dimensiones b_1 m

h_1 m

h_2 m

l_1 m

Acabados

Estuco Piezas labradas Tapa ornada

Pinturas Grafitos Otro...

ESTADO DE CONSERVACIÓN

Superficie conservada en cada lienz

S ext % T der %

S int % T izq %

Tapa %

Situación

Restaurada Existen apices Saqueo Otro...

Dintel sustituido Por excavar Monitorización

Observaciones estado de conservación

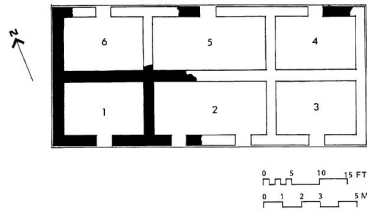


Figura 104. Planta con Esquema de Numeración de Cuartos (ENC) del edificio 1A6 de Kabah. Tomada de Andrews (1990b, p. 42).

bibliografía (figura 104) o, en su defecto, se ha elaborado un ENC propio, con el criterio de iniciar la numeración de las estancias desde el norte o desde el este y, cuando hay varias crujiás, desde la exterior hasta la interior.

Las bóvedas suelen identificarse con un número arábigo correspondiente a la estancia que cubren (1, 2, 3...etc.), salvo en los siguientes casos especiales:

- Cuando la estancia no ha podido ser identificada o no se dispone del plano del edificio para situarla. En estos casos, las bóvedas se han identificado con letras minúsculas (a, b, c...etc.) y en el campo *Identificación del cuarto* se indica su ubicación.
- Cuando la bóveda cubre un espacio que tiene una función en el edificio diferente a la de estancia se han utilizado las siguientes abreviaciones:
 - “arc” para arcos urbanos;
 - “p” para pasadizos o pasajes;
 - “e” para bóvedas que cubren escaleras o bóvedas bajo escaleras;
 - “t” para bóvedas de tumbas o enterramientos; y
 - “cr” para bóvedas de cresterías.

Identificación del cuarto: En este campo se indica la procedencia del ENC mediante una cita a una referencia registrada en *BDBM bibliografía*, o se indica que existe un ENC propio. Además, pueden darse indicaciones adicionales sobre la ubicación de la bóveda. Todos los ENC están almacenados en *BDBM archivo*, en la carpeta correspondiente a cada edificio.

ID bóveda: Clave identificativa de la bóveda. Incluye los ID del sitio y del edificio a los que pertenece y, a continuación, el número de cuarto que le corresponde. Ejemplos:

- HO_2_1, bóveda del cuarto 1 del edificio 2 de Hochob;
- TK_G_58_14, bóveda del cuarto 14 del edificio 58 del Grupo G de Tikal;
- NA_PM_a, bóveda sin identificar de la Pirámide de los Mascarones de Naranjo.

Información sobre la ficha de registro de la bóveda

Autor de la ficha: Iniciales del nombre y apellidos del responsable de la introducción de datos en la ficha.

Fecha de apertura de la ficha: Hora, día, mes y año de la apertura de la ficha.

Última modificación de la ficha: Hora, día, mes y año de la última modificación en alguno de los campos de la ficha.

(Página opuesta)

Figura 103. Formulario de introducción de datos de la tabla “Bóveda”.

Información sobre la toma de los datos

Tipo de toma de datos: La toma de fotografías, medidas y otros datos de la bóveda puede ser de tres tipos:

- *Directa*, si los datos se han tomado en campo;
- *Indirecta*, si los datos provienen de una fuente bibliográfica o han sido proporcionados por una tercera persona; o bien
- *Mixta*, si los datos propios tomados en campo se han complementado con otros procedentes de una fuente indirecta.

Fecha de la toma de datos: Día, mes y año de la toma de datos directa.

Observaciones sobre la toma de datos: En este campo se citan las fuentes consultadas, disponibles en *BDBM bibliografía*, cuando la toma de datos es *indirecta* o *mixta*. También se especifica si la toma de datos se ha realizado con algún apoyo o, en los casos en que se ha realizado más de una toma, las fechas correspondientes.

Documentación disponible sobre la bóveda

Documentación recopilada: Tipo de documentación existente sobre la bóveda y recopilada en *BDBM archivo*. En este campo se pueden marcar con una “X” diferentes opciones o se puede introducir un texto libre cuando el tipo de documentación no se ajusta a ninguna de las siguientes categorías:

- Fotografías
- Planos
- Dibujos
- Levantamientos
- Bibliografía específica

Documentación generada: Tipo de documentación sobre la bóveda elaborada durante la toma de datos o en el procesado posterior de la información y disponible en *BDBM archivo*. Al igual que en el campo anterior, se pueden seleccionar una o varias opciones o añadir una categoría distinta en “otros”. Las categorías establecidas son las siguientes:

- Fotografías
- Ficha de registro *in situ*
- Esquema de distribución de morillos (EDM)
- Levantamiento tradicional
- Levantamiento digital con fotogrametría

- Levantamiento digital con escáner láser
- Planimetrías
- Detalles constructivos
- Modelos tridimensionales
- Otros

Datos para el análisis funcional de la bóveda

En este apartado se almacena información sobre la función del espacio que cubre la bóveda y sus características, de cara a aproximarnos a las actividades que allí podían tener lugar. Los campos establecidos son:

Función del espacio abovedado: Según las tipologías funcionales identificadas en los casos registrados, se han establecido ocho tipos de función de los espacios abovedados (véase el apartado 7.3.2):

- Estancia
- Cuarto de templo
- Tumba
- Arco urbano
- Escalera interior
- Pasadizo o pasaje
- Paso bajo escalinata
- Cámara de crestería
- Canalización

Elementos en la estancia: Elementos constructivos identificados en el interior de la estancia que aportan información sobre el uso de ésta y las actividades que tenían lugar en su interior (véase el apartado 7.3.1.3). Se pueden seleccionar una o varias opciones de entre las siguientes en un juego de casillas de verificación, o bien añadir nuevos elementos en “otros”:

- Banqueta
- Morillos
- Ventanas
- Respiraderos o ductos
- Nichos u hornacinas
- Pasacordeles
- Cortineros
- Portavaras
- Otros

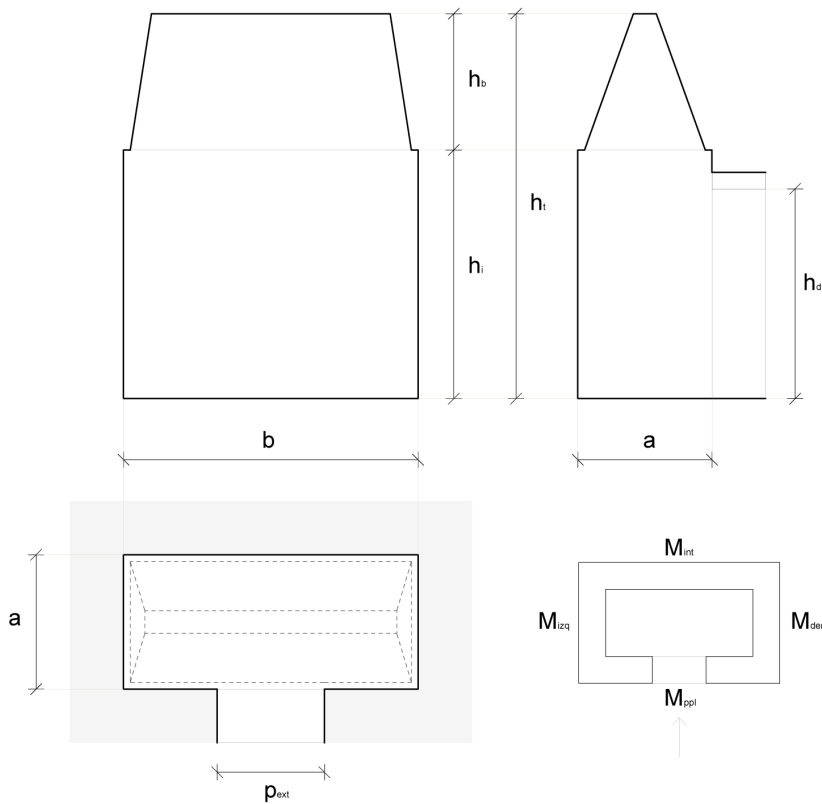


Figura 105. Medidas principales de la bóveda en planta, sección longitudinal y sección transversal.

Número de puertas: Se divide en cuatro campos para indicar el número de puertas existentes en cada uno de los muros de la estancia⁵⁰: muro principal o exterior M_{ppl} , muro interior M_{int} , muro derecho mirando desde el exterior hacia el interior M_{der} y muro izquierdo M_{izq} (figura 105).

Datos para el análisis geométrico-formal de la bóveda

En este apartado se recogen datos sobre la geometría y la forma de la bóveda, tanto en planta como en las secciones transversal y longitudinal.

Directriz de la bóveda en planta: La directriz de la bóveda es la línea imaginaria que establece su eje de simetría (véase el apartado 7.1.1). Se puede elegir entre tres opciones:

- Recta
- Curva
- Quebrada

⁵⁰ Cuando en la fachada aparecen columnas, en este campo se ha considerado el número de vanos entre columnas, y se indica en el campo "Observaciones".

Luz (a): Anchura de la bóveda medida entre los lienzos interiores de los muros que la sustentan (figura 105), expresada en metros.

Longitud (b): Longitud de la estancia que cubre la bóveda según la figura 105, expresada en metros.

Anchura de los muros: Ancho de los muros perimetrales de la estancia, medido en metros. Se divide en cuatro campos: M_{ppl} , M_{int} , M_{der} y M_{izq} .

Anchura de la puerta central exterior (p_{ext}): Ancho medio del vano central de acceso a la estancia medido en metros (figura 105).

Altura interior total (h_t): Altura de la estancia desde el piso hasta la cara inferior de la tapa de la bóveda, medida en metros (figura 105).

Altura de la línea de impostas (h_i): Altura medida desde el piso hasta el voladizo de arranque de la bóveda (figura 105).

Altura de la bóveda (h_b): Altura medida en vertical desde el arranque de la bóveda hasta la cara inferior de la tapa. Este campo se rellena automáticamente con el resultado de la operación $h_b = h_t - h_i$ (figura 105).

Altura del dintel exterior (h_d): Altura medida desde el nivel del piso hasta la cara inferior del dintel de la puerta central exterior de la estancia (figura 105).

Forma de la sección transversal de la bóveda: Se puede seleccionar en una lista desplegable la forma de la sección de cada bóveda de entre las seis tipologías formales identificadas (véase el apartado 7.1.2):

- Recta
- Cóncava
- Escalonada
- Botella
- Convexa
- Recta quebrada

Forma del escalonamiento: Cuando la bóveda es de sección transversal escalonada se puede elegir entre los dos tipos formales de escalonamiento detectados (véase apartado 7.1.2):

- Vertical
- Inclinado

Tipo de remate superior: Se puede seleccionar en una lista desplegable el tipo de remate superior de la bóveda de entre las cuatro formas identificadas:

- Tapa
- Ménsula previa a la tapa (figura 106)
- Ménsula y dos tapas apoyadas formando un vértice
- Remate sin tapa y en ángulo

Altura de la ménsula de remate (h_m): Altura de la moldura previa a la tapa, en las bóvedas que tienen este remate del intradós (figura 106).

Forma de la sección longitudinal de la bóveda: Forma de la sección vertical de los testeros. Durante el proceso de la investigación y con el análisis de los datos tomados se han establecido tres tipologías de sección de los testeros de las bóvedas (véase el apartado 7.1.3), entre las que se puede elegir en cada caso:

- Vertical
- Inclinada
- Escalonada

Inclinación de los lados de la bóveda: Inclinación, medida en grados sobre la horizontal, de los cuatro lados de la bóveda cuando son de sección recta (figura 106). Este apartado dispone de cuatro campos para la inclinación de cada uno de los lados: semibóveda principal S_{ppl} , semibóveda interior S_{int} , testero derecho T_{der} y testero izquierdo T_{izq} .

Voladizos de arranque de la bóveda: Dimensión de los voladizos de arranque de la bóveda en cada uno de los lados, medida en metros, en los cuatro campos siguientes: semibóveda exterior S_{ext} , semibóveda interior S_{int} , testero derecho T_{der} y testero izquierdo T_{izq} .

Datos para el análisis constructivo de la bóveda

En el análisis constructivo se recogen datos sobre los materiales y los elementos constructivos, así como el tamaño y la estereotomía de las diferentes piezas que componen la bóveda. Los campos establecidos son los siguientes:

Sistema constructivo: Sistema constructivo al que pertenece la bóveda considerada entre las siguientes opciones (véase el apartado 7.2.2):

- Muros de carga y bóvedas
- Muros de carga y techo mixto
- Sistema adintelado

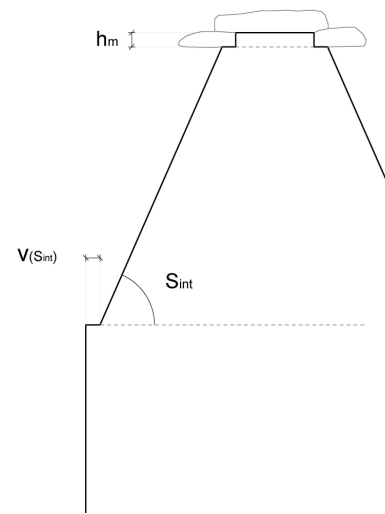


Figura 106. Detalle de una bóveda con ménsula de remate y medidas consideradas.

Tipo de muros: Tipo de muros de fábrica de la estructura según sus materiales y el método constructivo utilizado para su ejecución. Se han establecido siete tipologías de muros siguiendo la clasificación propuesta por Gaspar Muñoz Cosme (2006, p. 71-73), entre las que se puede elegir mediante una lista desplegable:

- Muros de tierra
- Muros de adobe
- Muros de ladrillo
- Muros de sillería
- Muros de mampostería
- Muros mixtos o compuestos, formados por dos caras de sillares y un relleno
- Muros de piedra en seco

Tipo de piedra: En los casos de muros y bóvedas de piedra, tipo del material pétreo. Mediante una lista desplegable se puede elegir entre algunos tipos cuya utilización es conocida en el área maya (Muñoz Cosme 2006, p. 58-59). Además, se ha introducido la opción “sin identificar” para indicar que no se ha podido determinar el tipo de piedra, y existe la posibilidad de añadir otros valores:

- Piedra caliza
- Arenisca
- Riolita
- Traquita
- Toba volcánica
- Basalto
- Otra
- Sin identificar

Dinteles originales: Material y tipo de dinteles utilizados en los vanos de las puertas, a elegir entre las siguientes opciones:

- Dinteles de piedra
- Dinteles de vigas de madera
- Dinteles de rollizos de madera
- Huecos sin dintel, para vanos que se abren mediante arcos de descarga.
- Cámara sin vanos, para los casos de espacios abovedados sin puertas.

Huecos de morillos: En este campo se puede marcar “sí” o “no” para indicar si hay evidencias de que la bóveda tuvo travesaños de madera.

Tipo de dovelas: Tipo de dovela según su forma y talla. Durante el proceso de la investigación y con el procesado y análisis de los datos tomados se han establecido ocho tipologías de dovelas (véase el apartado 7.2.3.1):

- Sin labra
- Laja
- Careada
- Bloque
- Tipo Petén
- Cuña
- Bota
- Ladrillo

Dimensiones medias de las dovelas: Tamaño medio de las dovelas, expresado en tres campos para la introducción de los datos: dimensión de la base b_D , altura h_D y longitud o profundidad l_D , expresadas en metros.

Intercala ripios: En este campo se puede marcar “sí” o “no” para indicar si se intercalan piedras de menor tamaño para acomodar las dovelas.

Tipo de aparejo en semibóvedas: Tipo de traba de las juntas verticales de las dovelas. Se puede elegir una de las siguientes opciones:

- las dovelas están trabadas
- las juntas verticales tienen continuidad y, por tanto, no hay trabazón

Línea de impostas diferenciada en semibóvedas: En este campo se puede marcar “sí” o “no” para indicar si la primera hilada de las semibóvedas está formada por piezas diferenciadas del resto de dovelas.

Estercotomía en bóvedas escalonadas: Cuando la bóveda es de sección transversal escalonada se puede elegir entre los siguientes tipos, según si los escalonamientos de la sección transversal están formados por una sola pieza, por varias o se combinan las dos opciones en la bóveda (véase apartado 7.2.3.3):

- Simple
- Múltiple
- Combinado

Forma de las piezas de los testeros: En este campo se puede elegir, cuando se dispone de la información, si los testeros están formados por:

- Sillares, o por
- Dovelas

Dimensiones medias de las piedras de los testeros: Tamaño medio de los sillares o las dovelas que forman los testeros, expresado mediante tres campos: dimensión de la base b_H , altura h_H y profundidad l_H .

Tipo de aparejo en los testeros: Tipo de traba entre las piezas que forman los dos lados cortos de las bóvedas. Se han establecido tres tipologías:

- con traba
- sin traba
- muro con llaves

Línea de impostas diferenciada en testeros: En este campo se puede marcar “sí” o “no” para indicar si la primera hilada de los testeros de la bóveda está formada por piezas diferenciadas del resto.

Hiladas coincidentes en semibóvedas y testeros: Se puede elegir “sí” o “no” según si la altura de las hiladas es coincidente en los cuatro lados de la bóveda.

Dimensión interior de la tapa: Distancia horizontal que cubre la tapa de la bóveda en el interior de la estancia, medida en metros.

Dimensiones medias de las piezas de tapa: Tamaño medio de las losas que cierran la bóveda, expresado en tres campos: anchura b_T , altura h_T y longitud l_T .

Observaciones sobre aspectos constructivos: Campo de texto libre en el que puede añadirse información adicional sobre aspectos constructivos o singularidades observadas en la bóveda.

Datos sobre el estado de conservación de la bóveda

Superficie conservada en cada lienzo: Porcentaje de superficie conservada en cada una de las cinco superficies que forman la bóveda (véase el apartado 9.1), en cinco campos: semibóveda principal S_{pp} , semibóveda interior S_{im} , testero derecho T_{der} , testero izquierdo T_{izq} y tapa t .

Acabados: Revestimientos, elementos decorativos o manifestaciones artísticas que se conservan en el interior de la estancia. Se pueden seleccionar una o varias opciones de entre las siguientes, o añadir nuevos elementos en “otros”:

- Estuco
- Pintura mural

- Piezas labradas
- Grafitos
- Tapa pintada
- Otros

Situación de conservación: Estado de conservación de la bóveda (véase el apartado 9.1). Se pueden seleccionar una o varias de las siguientes opciones o añadir una situación singular en “otros”:

- Restaurada
- Dintel sustituido
- Por excavar
- Existen apeos
- Saqueo
- Seguimiento o monitorización
- Otros

Observaciones sobre el estado de conservación: Texto libre en el que pueden introducirse datos sobre el estado de conservación de la estructura o sobre su restauración, como por ejemplo los materiales o los criterios utilizados.

6.1.2. Búsquedas y extracción de datos

La extracción de datos del banco de la BDBM se realiza a partir de búsquedas en las tres tablas relacionadas. Activando el modo “buscar” de *Filemaker* se escriben uno o varios criterios de búsqueda en los campos deseados y el programa muestra los registros que coinciden con los criterios introducidos. En las búsquedas se pueden incluir operadores como “menor que”, “mayor que”, “mayor o igual que” o un rango numérico determinado. Se pueden guardar búsquedas frecuentes y exportar los datos obtenidos en las consultas a hojas de cálculo o a formatos de texto. A continuación se muestran algunas búsquedas como ejemplo:

- Bóvedas con la forma de la sección transversal “cóncava” (un criterio de búsqueda).
- Bóvedas con una luz menor de 2 metros (un criterio de búsqueda).
- Bóvedas de Kabah con Esquema de Distribución de Morillos disponible (dos criterios de búsqueda).
- Bóvedas con sección transversal “cóncava” y tipo de dovela “cuña” (dos criterios de búsqueda).

Para realizar búsquedas a través de las relaciones entre las tres tablas, se han introducido ventanas o campos relacionados de las tablas “Sitio” y “Edificio” en el formulario de la tabla “Bóveda”, lo que permite realizar búsquedas como:

- Bóvedas de la zona geográfica del Usumacinta.
- Bóvedas de la zona geográfica del Usumacinta con una luz mayor de 3 m.
- Bóvedas de edificios del período Clásico Temprano.
- Bóvedas del período Clásico Tardío de las áreas Puuc y Chenes.
- Bóvedas de edificios de tipo cuadrángulo del área de Petén.
- Bóvedas de cuartos de templo con un coeficiente de luz (λ) menor que 1.

6.2. El archivo digital de documentación gráfica

BDBM archivo es un repositorio digital donde se almacena toda la documentación gráfica sobre las bóvedas registradas, bien generada durante la toma de datos *in situ* o durante el procesado posterior de la información, o bien procedente de la bibliografía.

El archivo tiene la misma estructura que la base de datos (Sitio - Edificio - Bóveda) y la nomenclatura de las carpetas y los archivos está basada en las claves identificativas “ID sitio”, “ID edificio” y “ID bóveda”.

Los archivos se organizan de la siguiente manera:

- ❖ Carpeta del sitio Chicanná *CHI_Chicanná*
 - Documentación gráfica del sitio
 - Carpeta del Edificio XX *CHI_XX*
 - Documentación gráfica del edificio
 - Carpeta de la bóveda 1 *CHI_XX_1*
Documentación gráfica de la bóveda
 - Carpeta del Edificio IV *CHI_IV*
 - Documentación gráfica del edificio
 - Carpeta de la bóveda 5 *CHI_IV_5*
Documentación gráfica de la bóveda
 - Carpeta de la bóveda 6 *CHI_IV_6*
Documentación gráfica de la bóveda

El tipo de información que puede almacenarse en cada nivel es el siguiente:

Documentación gráfica del sitio:

- Plano con identificación de las estructuras procedente de la bibliografía.

Documentación gráfica del edificio:

- Planimetría procedente de la bibliografía: planta, alzados, secciones...etc.
- Planta con Esquema de Numeración de Cuartos (ENC).
- Fotografías propias.

Documentación gráfica de la bóveda:

- Fotografías propias.
- Ficha *in situ* escaneada.
- Esquema de Distribución de Morillos (EDM) en formato *dwg*.
- Información gráfica procedente de la bibliografía: planos, dibujos...etc.
- Otra información generada: levantamientos, planos, ortofotos, etc.

Los archivos tomados de la bibliografía se nombran con el ID del objeto (sitio, edificio o bóveda), el autor, el año, el volumen y la página de la fuente. Todas las referencias a las fuentes utilizadas están registradas en el gestor bibliográfico. Ejemplos:

LA_Pollock_1980. Plano del sitio de Labná tomado de Pollock (1980).

CHA_20_Andrews_1990a_II_62. Planta del Edificio 20 de Chacmultún tomada de Andrews (1990a, vol. II, p. 62).

OX_3B5_Pollock_1980_306. Planimetría de la Estructura 3B5 de Oxkintok tomada de Pollock (1980, p. 306).

Las principales ventajas de utilizar este archivo como recurso complementario e inseparable de la base de datos *BDBM banco* son que se puede acceder a la documentación de forma rápida, sencilla y ordenada y que permite almacenar una gran cantidad de archivos en paralelo al banco de datos sin aumentar su tamaño y complejidad.

6.3. El gestor de referencias bibliográficas

El tercer recurso que complementa a los dos anteriores es un repositorio de bibliografía gestionado con la aplicación *Mendeley*, donde se almacenan todas las referencias a las fuentes utilizadas tanto en *BDBM banco* como en *BDBM archivo*. La información obtenida de las fuentes secundarias es la siguiente:

- Plano del sitio con identificación de las estructuras.
- Datación cronológica de los edificios.
- Documentación gráfica de los edificios.
- Datos para el análisis de las bóvedas cuando la toma es *indirecta* o *mixta*.
- Documentación gráfica de las bóvedas.

7. Análisis arquitectónico de la bóveda maya

Con el objetivo de analizar la bóveda maya desde un punto de vista arquitectónico y a partir de todos los datos tomados, se han establecido cuatro puntos de vista privilegiados que nos permiten, por un lado, obtener visiones complementarias sobre nuestro objeto de estudio y, por otro lado, el establecer los criterios para una posterior clasificación de la bóveda maya. El primero de ellos es el estudio de la forma y la geometría; el segundo, el estudio constructivo y estructural, aspectos que están íntimamente relacionados y que, como veremos, no pueden considerarse independientemente; en tercer lugar el análisis funcional y, por último, el contenido simbólico⁵¹.

En este capítulo se abordan estas cuatro vías de análisis considerando todas las bóvedas estudiadas y, por tanto, con ejemplos de diferentes áreas geográficas, estilos arquitectónicos y períodos cronológicos, lo que nos permite obtener una visión amplia de cara a una clasificación completa de este elemento arquitectónico.

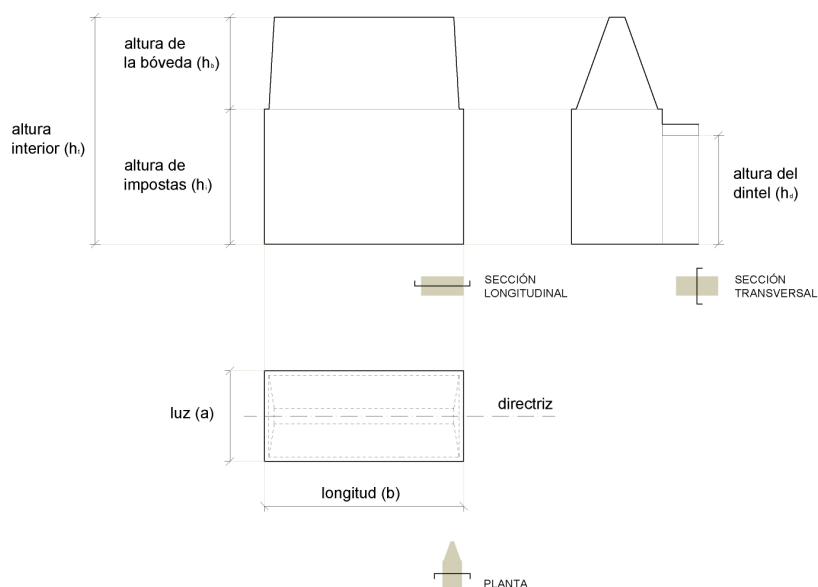
7.1. Aspectos formales y geométricos

Para examinar las bóvedas desde el punto de vista formal y geométrico vamos a analizar las características de la planta y de las dos secciones verticales principales: la sección transversal es la perpendicular al eje de la bóveda y corta sus dos lados largos, a los que denominamos semibóvedas; la sección longitudinal coincide con el eje de la bóveda y muestra la forma de los dos lados cortos, denominados testeros (figura 107). Es importante señalar que el análisis geométrico de las bóvedas se ha realizado utilizando el Sistema Métrico Decimal, pues no se conocen hasta el momento las unidades de medida que se utilizaron en época prehispánica.

7.1.1. Forma y geometría en planta

Para la definición geométrica de la planta de la bóveda vamos a considerar su direccionalidad, las dimensiones de luz (a) y longitud (b) y la relación entre ambas (figura 107).

⁵¹ Estos cuatro puntos de vista proceden de la metodología de análisis para la arquitectura maya propuesto por Gaspar Muñoz Cosme (2006, p. 53-56).



La directriz de la bóveda

La directriz o eje en planta de la bóveda es la línea imaginaria que pasa por el centro de las piedras de la tapa. Esta línea es recta en la gran mayoría de los casos (figura 107), sin embargo, existen algunos ejemplos excepcionales de bóvedas con directriz curva o quebrada. De entre los registrados en la base de datos, dos son pasadizos: el primero es la bóveda del pasaje de acceso al Grupo G de Tikal, cuya directriz presenta una zona curva mediante la cual este pasadizo gira unos 90° (figura 108); el segundo caso es la bóveda del pasaje urbano de Becán, en la que la directriz es una línea quebrada y serpenteante. El tercer caso registrado es la bóveda del Observatorio de Mayapán, cuya directriz es circular. Lo mismo ocurre en el edificio denominado El Caracol de Chichén Itzá (figura 109): estos dos edificios, considerados astronómicos, son de planta circular y tienen un núcleo cilíndrico central, lo que obliga a resolver el espacio interior con una bóveda de directriz circular (Muñoz Cosme 2006, p. 106).

En algunos casos singulares se producen intersecciones a 90° de dos bóvedas de directriz recta, lo que genera encuentros en planta en forma de “L”, tal y como ocurre en el Palacio de Palenque (figura 110) o también en forma de “T”, como por ejemplo en la cripta del Templo de las Inscripciones. Un caso muy singular es el del Templo de las Siete Muñecas de Dzibilchaltún, un edificio datado alrededor del 700 d.C. y asociado a prácticas de observación astronómica (Grube 2001, p. 462). Es de planta cuadrada y presenta un volumen central a modo de torre. El espacio interior se resuelve con corredores abovedados que giran en las esquinas y cuyas directrices forman un cuadrado (figura 111).

Figura 107. Secciones y principales variables geométricas consideradas para la definición geométrica y formal de las bóvedas.

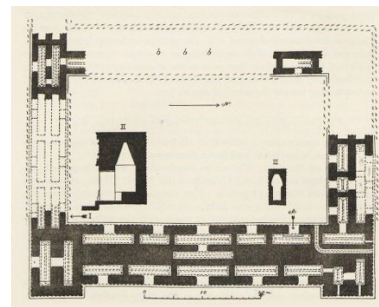


Figura 108. Planta del Grupo G de Tikal según T. Maler (1911, p. 12).

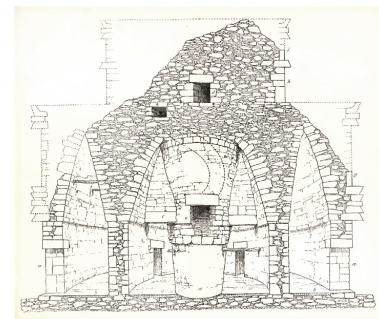


Figura 109. Sección de El Caracol de Chichén Itzá según W. H. Holmes (1895).

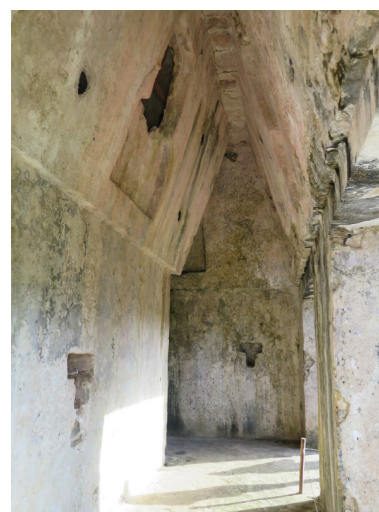


Figura 110. Encuentro en esquina de dos bóvedas ortogonales en la Casa D de Palenque.

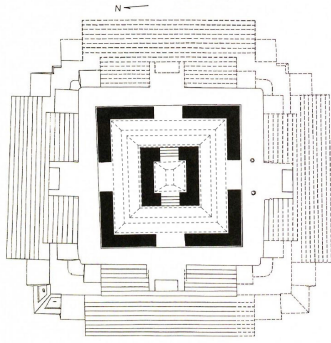


Figura 111. Planta del Templo de las Siete Muñecas de Dzibilchaltún. Modificada de G. Andrews (1995e, p. 250).

La luz de la bóveda

Una de las variables geométricas más interesantes en el análisis de la bóveda maya es la luz o anchura, pues es el principal factor limitado por el propio sistema estructural, y conseguir una mayor luz fue uno de los principales objetivos en el desarrollo de la tecnología constructiva de este tipo de bóvedas. La luz (a, figura 107) es la distancia horizontal entre los apoyos de la bóveda (Gendrop 1997, p. 126), es decir, la distancia entre los dos muros que soportan las semibóvedas.

En la base de datos se ha registrado el valor de la luz de 233 bóvedas de diferentes regiones, períodos temporales y tipologías arquitectónicas. Para el análisis estadístico de esta variable se han descartado los datos de las bóvedas que seguramente tuvieron techos mixtos, formados por varias hiladas saledizas hasta una determinada altura y, sobre éstas, un forjado horizontal de entramado de rollizos, que normalmente no se ha conservado (véase el apartado 7.2.2). Este sistema, aunque tenía una menor durabilidad, permitía obtener luces mayores. Un ejemplo de la utilización de este sistema constructivo lo hallamos en la Estructura P-7 de Piedras Negras, con una luz de 3,71 m en su crujía exterior. Sin tener en cuenta casos singulares como este y partiendo entonces del dato de 231 bóvedas, en la figura 112 puede observarse que sólo un 13% superan los tres metros de luz, y la mitad de la muestra tiene una anchura de entre dos y tres metros.

Tal y como se muestra en la figura 113, un 10,8% de las bóvedas registradas no superan 1,20 m de luz. Este dato nos indica que existen espacios abovedados muy angostos que no estarían pensados como estancias donde estar y habitar o llevar a cabo actividades en las que participaran varias personas. En el

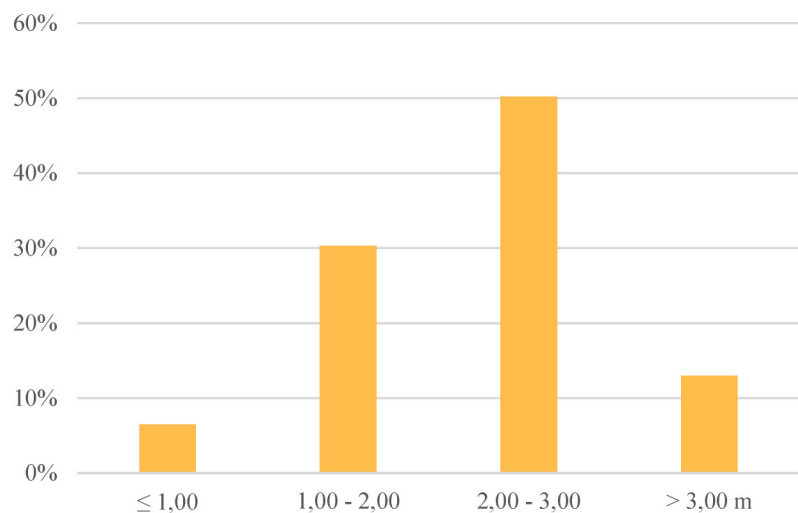
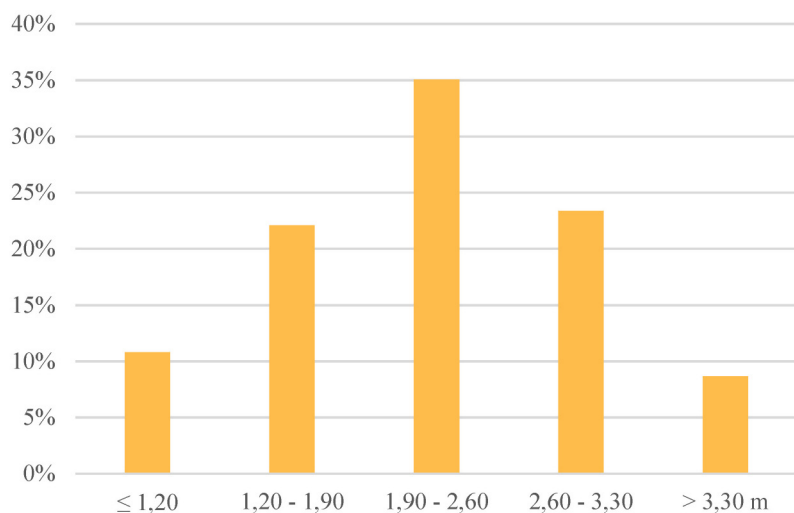


Figura 112. Valores de luz en la muestra registrada (bóvedas consideradas: 231).



apartado 7.3 veremos que las bóvedas cubrían espacios con diferentes funciones. Algunos eran espacios de circulación como escaleras o pasadizos, por lo que generalmente no requerían una anchura mayor. En otros casos, estas estancias tan estrechas eran cuartos palaciegos con funciones auxiliares como por ejemplo el almacenamiento de utensilios. Las luces mínimas registradas en la muestra pertenecen a edificios tipo templo del área de Petén, como el Templo 1 de Tikal o el Edificio A de Nakum, con valores de menos de un metro de luz. En estos casos especiales, veremos que el espacio interior cumple una función meramente simbólica o escenográfica (véase el apartado 7.3.1).

Los valores de luz más habituales se sitúan entre 1,20 y 3,30 m, aunque esta variable varía considerablemente en las diferentes zonas geográficas y según el período cronológico que se considere, lo que se analiza en el capítulo 8. La mayoría de las bóvedas registradas que superan los 3,30 m de luz, un 8,7% de la muestra, son de edificios del área geográfica del Puuc⁵², con tres excepciones reseñables: la primera de ellas es la bóveda de la cripta del Templo de las Inscripciones de Palenque, que tiene una luz de 3,75 m, excepcional para el área del Usumacinta; otra excepción son los cuartos 1 y 3 del Edificio 6J1 o Palacio de Oriente de La Blanca⁵³ (figuras 114 y 115) con luces de 4,00 m y 4,16 m respectivamente, valores insólitos en la arquitectura de Petén (Gilbert Sansalvador y Muñoz Cosme 2015; Aliperta 2018).

En la muestra analizada sólo estas dos bóvedas del sitio de La Blanca y dos casos más superan los cuatro metros de luz: el primero de ellos es el cuarto 11 de la Estructura 5 de Chacmultún (figura 116), con 4,11 m, del que George Andrews escribió que tenía el mayor valor de luz que había registrado en un cuarto en el área Puuc (Andrews 1990a, p. 78). Sin embargo, este cuarto presenta

Figura 113. Valores de luz en la muestra registrada (bóvedas consideradas: 231).



Figura 114. Cuarto 3 del Edificio 6J1 de La Blanca.

⁵² Pertenecen a edificios como el Palacio de Labná, el de Xlapak, el de Chacmultún o el Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal.

⁵³ Además de estas grandes luces, el Edificio 6J1 de La Blanca presenta varias singularidades, como por ejemplo bóvedas con pendientes rectificadas y sillares en esquina labrados con doble inclinación (véanse los apartados 7.1.2 y 7.2.3). Asimismo, la altura del cuarto central de este edificio es también excepcional: a partir de la pendiente de la bóveda se ha podido determinar que la tapa alcanzaría los 8,60 m medidos desde el piso original, que en una fase posterior fue elevado (figura 115).

Figura 115. Hipótesis del estado inicial del Palacio de Oriente de La Blanca sobre una sección del edificio obtenida del levantamiento con escáner láser.

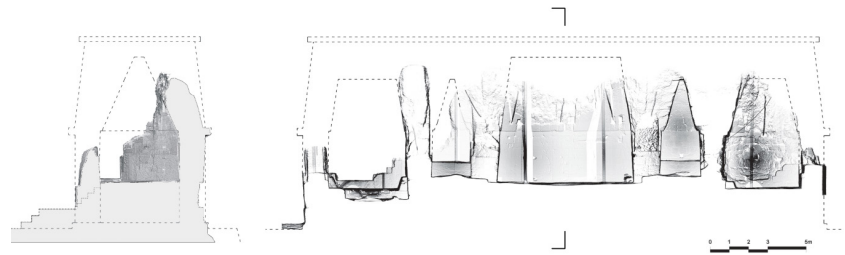


Figura 116. Cuarto 11 de la Estructura 5 de Chacmultún.

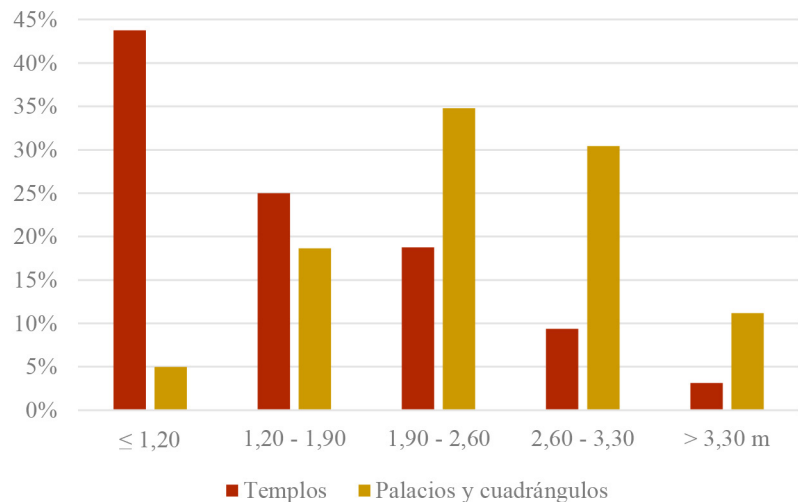


Figura 117. Arco de Kabah.

Figura 118. Comparativa de los valores de luz de las bóvedas registradas en templos y en palacios y cuadrángulos (bóvedas consideradas: templos 32, palacios y cuadrángulos 161).

varias rarezas: se sitúa en un extremo del edificio y tiene una anchura mayor que el resto de las estancias y que el cuarto simétrico situado en la fachada opuesta del edificio⁵⁴. Además, presenta un zócalo en su interior (figura 116), de lo que se deduce que pudo haber sufrido alguna modificación o ampliación por lo que, en cualquier caso, es un ejemplo atípico. Otro caso que supera los cuatro metros de luz es también un ejemplo singular, pues se trata de la bóveda del arco urbano de Kabah, con una anchura de 4,18 m (figura 117).

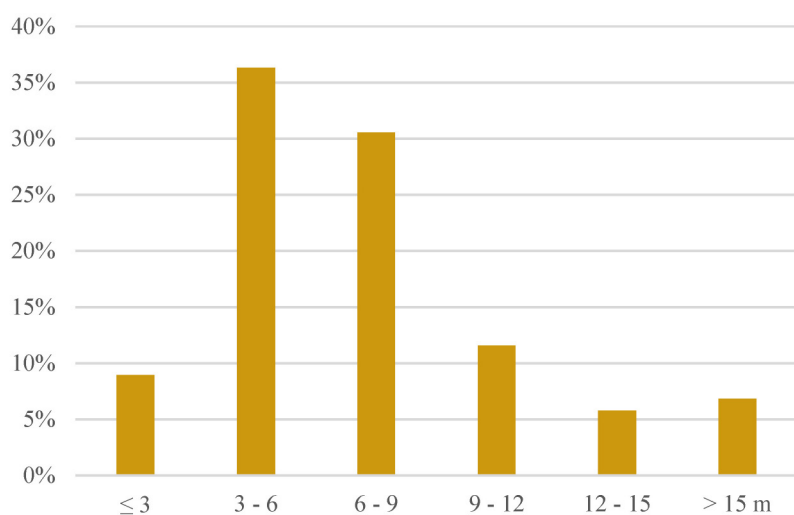
La luz de las bóvedas es un factor que varía considerablemente en función de la tipología arquitectónica del edificio. Por lo general, las luces son considerablemente menores en los templos, y aumentan en palacios y cuadrángulos (figura 118). Mientras que un 68,8% de las bóvedas de templos analizadas no superan la anchura de 1,90 m, en los palacios y cuadrángulos más de un 75% supera esta medida. En el capítulo 8 se analiza el valor de la luz por zonas geográficas, lo que puede darnos una visión más completa sobre la anchura de las bóvedas según las características tipológicas, formales, constructivas y estructurales de los edificios de cada región. Comparando además las luces de las bóvedas de diferentes períodos cronológicos podemos analizar su evolución a lo largo del tiempo en general y por áreas.



⁵⁴ Véase el plano del edificio en el catálogo anexo.

Longitud de la bóveda

La longitud de la bóveda (b , figura 107) es mucho más variable, pues esta dimensión no es tan determinante en el sistema estructural⁵⁵. La figura 119 muestra la distribución de los valores de longitud de las bóvedas analizadas en intervalos de tres metros, sin considerar las bóvedas que cubren espacios de paso o de circulación como escaleras, pasadizos, pasos bajo escalinata o arcos urbanos, que pueden presentar valores atípicos⁵⁶. Los valores de longitud más comunes, casi un 67%, oscilan entre los tres y los nueve metros, pero existen bóvedas que superan los veinte metros de largo, como por ejemplo las de las Casas A y C del Palacio de Palenque.



Proporción de la planta

Lo que resulta más interesante que el estudio de la longitud en sí es el análisis de la relación entre la luz y la longitud de la bóveda, que determina el factor de proporcionalidad de la planta (figura 120). En la figura 121 se observa que en más de un 71% de los casos el cociente entre la longitud y la luz (b/a) es mayor de dos, por lo que las bóvedas suelen cubrir espacios alargados.

Solamente en un 8% de los casos este factor de proporcionalidad es cercano o igual a uno y la planta de la bóveda es cuadrada o aproximadamente cuadrada. A las bóvedas con esta singular geometría se les ha denominado “bóvedas de cuatro lados” o “bóvedas de cuatro lados equivalentes” (Quintana Samayoa y Wurster 2001, p. 155; Muñoz Cosme 2006, p. 29). En la base de datos se han registrado seis bóvedas cuadradas con un valor del cociente entre la longitud y la luz situado entre 0,9 y 1,1: la bóveda del cuarto 1 del Edificio 6J1 de La Blanca, las del Edificio E-X de Uaxactún, el cuarto 5 del Edificio 3E1 de Chilonché y el cuarto 3 del Edificio Suroeste de Santa Rosa Xtampak. Además,

Figura 119. Valores de longitud en la muestra registrada (bóvedas consideradas: 190).

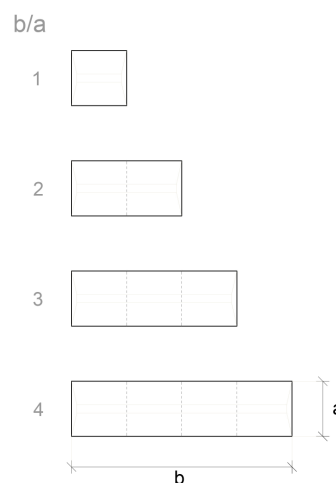


Figura 120. Diferentes factores de proporcionalidad de la planta de las bóvedas.

⁵⁵ Aunque la longitud no es determinante para la estabilidad a nivel teórico, los muros testeros ejercen un efecto de arriostramiento transversal que hace que se conserven mejor las bóvedas con una longitud reducida (véase el apartado 9.1).

⁵⁶ El pasadizo de Becán, por ejemplo, tiene una longitud de más de 60 m.

Figura 121. Valores del factor de proporcionalidad de la planta (bóvedas consideradas: 189).

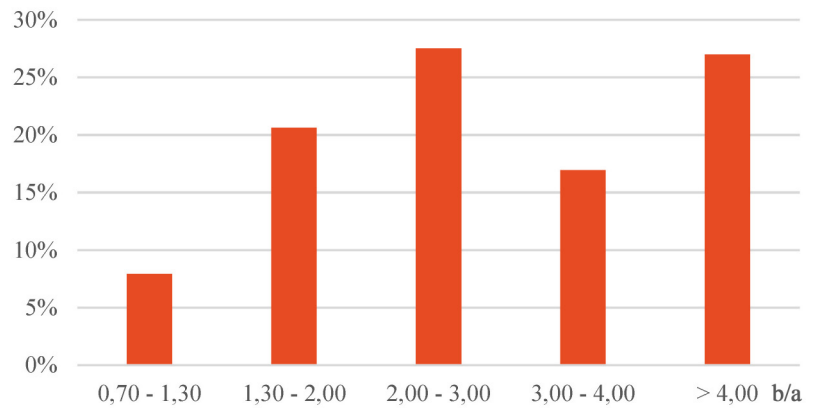


Figura 122. Bóveda de uno de los cuartos del Palacio Maler de Tikal.



Figura 123. Bóveda en el Complejo de las Monjas de Chichén Itzá.



se han identificado otras nueve bóvedas de planta aproximadamente cuadrada, con un factor de proporcionalidad situado entre 0,7 y 1,3. Algunos ejemplos son: las bóvedas de los cuartos 5, 12 y 15 del Edificio 6J2 de La Blanca, uno de los cuartos del Palacio Maler de Tikal (figura 122) o varios cuartos en el Complejo de las Monjas de Chichén Itzá (figura 123).

7.1.2. Forma y geometría de la sección transversal: las semibóvedas

Para analizar la geometría de la sección transversal de las bóvedas estudiadas vamos a considerar sus dimensiones, proporciones y también su forma. Las dimensiones más relevantes en este caso serán la altura total de la estancia, la altura de impostas y la altura de la bóveda (figura 107). La morfología de la sección de la bóveda está definida por la forma de la sección del intradós y los detalles en el arranque de la bóveda y en su remate superior.

Forma del intradós

La forma del intradós de las bóvedas, es decir, la morfología de su sección transversal, ha sido históricamente uno de los aspectos más utilizados para definir y comparar las bóvedas mayas (véase el apartado 2.2.1). En la muestra de bóvedas registrada, la forma de la sección transversal más común es la recta (61%), seguida de la cóncava (26,8%) y la de las bóvedas escalonadas (8,1%), mientras que el resto de tipologías formales identificadas son menos comunes y están representadas por un 4,2% de la muestra (figuras 124 y 125). En este apartado vamos a analizar las distintas formas de la sección transversal de manera general, pero más adelante veremos que es este un factor que está relacionado con otras variables como la forma de la dovela y el proceso constructivo de la bóveda, y varía en función del área geográfica, el período cronológico y el estilo arquitectónico al que pertenezca el edificio.

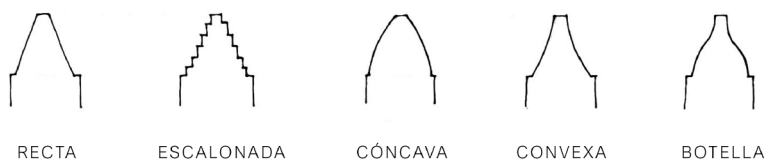


Figura 124. Principales tipos de formas de la sección transversal de las bóvedas.

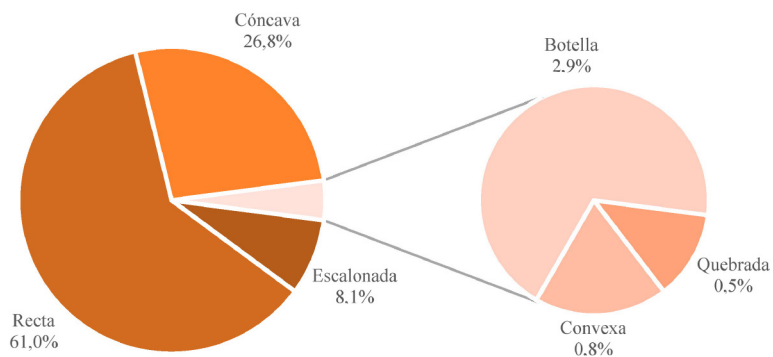


Figura 125. Formas de la sección transversal en la muestra analizada (bóvedas consideradas: 386).

La forma recta de la sección transversal no es la más primitiva ni la más sencilla, pues requiere de una planificación previa de la inclinación y, a veces, de dovelas especializadas con la pendiente del intradós previamente labrada (véase el apartado 7.2.3). El hecho de que sea la forma más común podría tener una razón simbólica vinculada con la imitación del espacio interior de la arquitectura doméstica (véase el apartado 7.4).



Figura 126. Bóveda de sección recta en el Edificio E de Nakum.



Figura 127. Interior de uno de los cuartos del Palacio Sur de Sayil.



Figura 128. Estructura 93 de Dzhebtún.

En una bóveda recta, la inclinación de las semibóvedas depende principalmente de la luz y de la altura de la bóveda, y puede ajustarse ligeramente con la variación de la dimensión interior de la tapa (figura 126). En el diseño estructural de los edificios, es probable que los constructores manejaran valores máximos de equilibrio entre la inclinación y la altura de la bóveda. Así, para una determinada luz, a mayor altura de la estancia menor es la inclinación que se requiere, medida desde la horizontal; y para una determinada altura, a mayor luz, mayor es la inclinación resultante (véase el apartado 7.2.5.1).

En las bóvedas de sección recta registradas en la base de datos la inclinación de las semibóvedas varía entre los 55° y los 86° sobre la horizontal, aunque sólo en casos excepcionales con luces muy reducidas se superan los 75° de inclinación, como por ejemplo en los cuartos de grandes templos piramidales como el Templo I de Tikal.

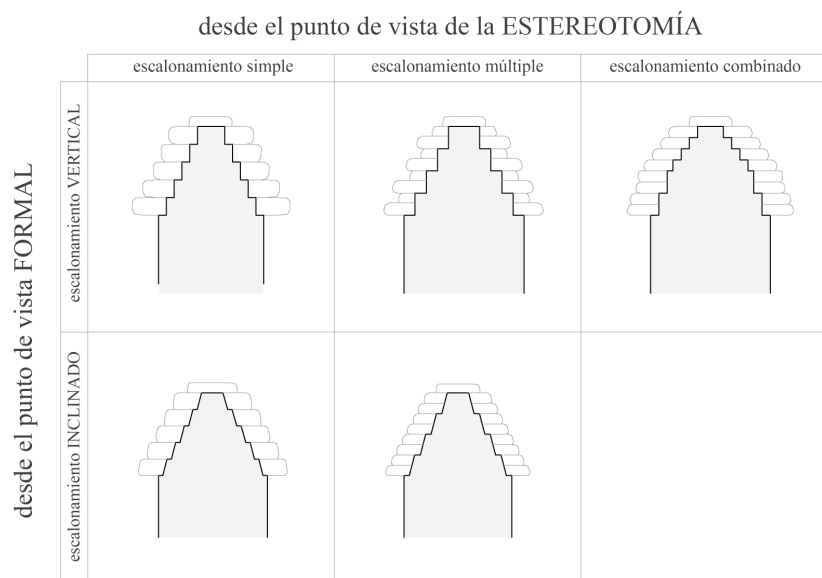
Un tipo de forma especial dentro de las de sección recta se ha detectado en el sitio de La Blanca. En el edificio 6J1 de este sitio se han identificado dos bóvedas con sección transversal recta quebrada, es decir, que las semibóvedas presentan una inclinación menor hasta cierta altura y a partir de este punto siguen con una inclinación mayor⁵⁷ (figura 115). Esta operación de rectificar la pendiente tuvo posiblemente una intención espacial, y demuestra que el trazado de estas bóvedas estaba previamente planificado (Muñoz Cosme, Vidal Lorenzo y Perelló Roso 2008). Aunque este aspecto geométrico se detectó con la inspección visual de las bóvedas, el análisis pormenorizado de su geometría se ha comprobado con más precisión a partir del levantamiento del edificio con escáner láser (Gilbert Sansalvador y Muñoz Cosme 2015). Es probable que existan más ejemplos de bóvedas rectificadas en otros sitios de Petén o en otras regiones, aunque por el momento no se han podido identificar.

La forma cóncava es la segunda más común después de la recta, con un 26,8% de los casos registrados. La curva de la sección y su recorrido son variables, pues se adaptan a la proporción entre la luz de la estancia y la altura de la bóveda (figura 127). Cuando esta relación se aproxima a 2:1 la bóveda adquiere una forma prácticamente semicircular (figura 128).

La forma cóncava es más predominante en algunas zonas geográficas que en otras. Por ejemplo, mientras que en el área de Petén sólo un 5,7% de las bóvedas analizadas son cóncavas, en el área Puuc se ha registrado esta forma en más de un 61% de los casos. La mayoría de las bóvedas con sección cóncava están construidas con dovelas con forma de cuña (57,5%) o con dovelas en forma de bota (21,9%), pues como veremos en el siguiente apartado, el tipo de dovela, en cuanto al grado de especialización y la calidad de su talla, es un factor que determina el proceso constructivo y por tanto también la morfología de la bóveda.

⁵⁷ La bóveda del cuarto 1 del Edificio 6J1 arranca con una inclinación de 51° sobre la horizontal y a partir de la tercera hilada de dovelas sigue con una inclinación de 63° . La bóveda del cuarto 2, con una menor luz, empieza con una inclinación de 58° y a partir de la segunda hilada pasa a 75° . Las bóvedas de los cuartos 5 y 4 debieron ser iguales que las anteriores, pero no se han conservado.

La forma escalonada, a pesar de ser en primera instancia la más intuitiva en la técnica de aproximación de hiladas horizontales, no es tan común como las formas recta y cóncava. En la base de datos se han registrado 31 casos de bóvedas escalonadas, un 8,1% del total. Desde el punto de vista formal, las bóvedas escalonadas presentan dos tipos de escalonamiento: vertical o inclinado. En el tipo vertical la sección transversal de la bóveda está formada por la alternancia entre planos horizontales y verticales (figura 129), mientras que en el tipo inclinado los escalonamientos alternan planos horizontales y planos con una inclinación menor de 90° sobre la horizontal, normalmente formados por dovelas con esta pendiente previamente labrada en una de sus caras (figura 130). Del total de bóvedas escalonadas registradas en la base de datos, un 68% tienen escalonamiento vertical y un 32% escalonamiento inclinado. Desde el punto de vista de la estereotomía, cada escalonamiento puede estar formado por una sola dovela o por dos o más piezas, lo que hemos denominado como “escalonamiento simple” y “escalonamiento múltiple”⁵⁸, respectivamente. En el caso singular de las bóvedas del Juego de Pelota de Copán se combinan ambas opciones en las diferentes hiladas, lo que hemos denominado como “escalonamiento combinado” (figura 131).



Como veremos en el siguiente epígrafe, dedicado a las características formales de la sección longitudinal, algunas bóvedas escalonadas (un 58,1% de las registradas) tienen esta forma tanto en la sección transversal como en la longitudinal, ya que los testeros presentan los mismos escalonamientos que las semibóvedas (figura 130). En otros casos (41,9%), el escalonamiento sólo se produce en la sección transversal, y los testeros tienen sección vertical o inclinada (figura 129).



Figura 129. Bóveda con escalonamiento múltiple vertical en el Edificio E-X de Uaxactún.



Figura 130. Bóveda con escalonamiento múltiple inclinado en el Edificio 5D-91 de Tikal.

Figura 131. Tipos de bóvedas escalonadas.

⁵⁸ Las dovelas que forman cada escalonamiento en el tipo “escalonamiento múltiple” son, según el caso, dos piezas iguales o dos tipos de dovelas diferentes (véase el apartado 7.2.3.3).

Figura 132. Sección del Edificio A-XVIII de Uaxactún, con varias bóvedas en forma de botella. Tomada de A. L. Smith (1937, p. 46).



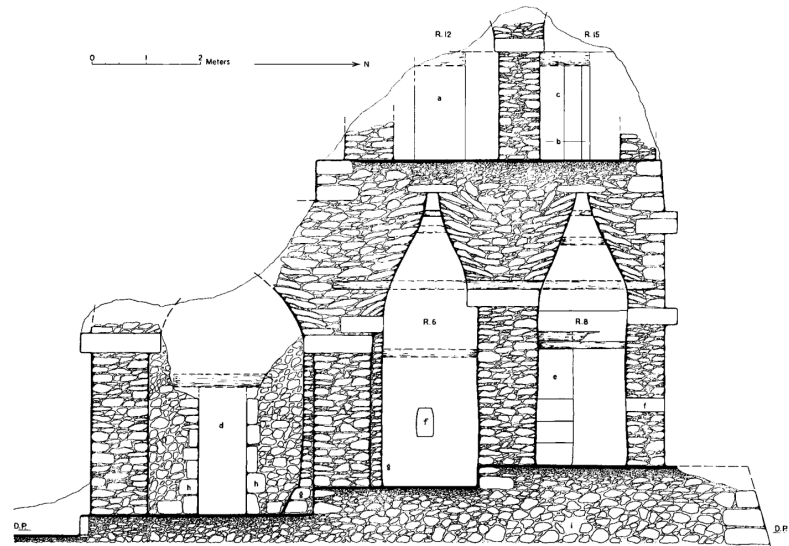
Figura 133. Bóveda con forma de botella en el Edificio D de Nakum.



Figura 134. Estructura 19 de Yaxchilán.

⁵⁹ Algunas de las bóvedas registradas con forma de botella pertenecen al Edificio A-XVIII de Uaxactún, al Templo 23 de la Acrópolis Norte de Tikal y a la Estructura CA-6 del Grupo Ah Canul de Oxkintok.

⁶⁰ Véase como ejemplos en el catálogo la Estructura 19 de Yaxchilán y uno de los pasajes interiores del Palacio de Sayil.



La forma denominada como “de botella” adopta una sección del intradós con doble curvatura, cóncava en el arranque y posteriormente convexa, para estrecharse en su parte alta y formar en el remate superior lo que recuerda a un cuello de botella (figura 132). Esta forma aparece por lo general en edificios de períodos tempranos de varias regiones y bóvedas construidas con piedras sin labrar y calzadas con ripios⁵⁹. Según el tipo de piedra disponible o la metodología de extracción de ésta, a veces se construyen con mampuestos y otras veces con lajas planas (véase el apartado 7.2.3). Este tipo de dovelas sin labra generaba bóvedas con secciones más o menos curvadas resultantes del apoyo progresivo de los mampuestos, y el estrechamiento en la parte superior era una solución práctica para resolver el remate y el apoyo de la tapa, por lo que esta forma se da como resultado del proceso constructivo y no debió contar con una planificación previa (figura 133). Para obtener un intradós uniforme sería necesaria en estos casos una gruesa capa de mortero de regularización, sobre la cual se aplicaría el estuco.

La forma convexa, aunque se incluye en la mayoría de los gráficos comparativos de las diferentes formas transversales de las bóvedas mayas (véase el apartado 2.2.1), puede considerarse una excepción. En algunos casos se produce, al igual que la forma de botella, en bóvedas de dovelas sin talla o burdamente talladas (figura 134), en los que la forma es resultado de la ejecución⁶⁰. En el caso de los arcos del Palacio del Gobernador de Uxmal, que son los que habitualmente se muestran para ejemplificar la tipología formal convexa, ocurre lo contrario: la estereotomía y la ejecución están muy perfeccionadas. En principio, en este caso esta ligera forma convexa parece fruto de una voluntad



Figura 135. Uno de los arcos del Palacio del Gobernador de Uxmal.

estética, aunque J. K. Kowlaski (1987, p. 145-146) plantea y analiza la hipótesis de que pudo ser accidental y debida a la ligera curvatura que tendría una cuerda tensada utilizada como guía durante el proceso constructivo (figura 135).

Consideramos que la forma lobulada o trilobulada, que aparece en muchos de los gráficos comparativos de la forma de las bóvedas, no puede considerarse una tipología formal, pues el único caso con el que se ejemplifica, el arco trilobulado de la Casa A de Palenque, es un paso entre dos crujías y no una bóveda tal y como la estamos considerando. Además, por el momento, no se ha identificado ningún otro caso similar, por lo que se trata de un ejemplo único. Los constructores de Palenque y de otros sitios de la cuenca del Usumacinta

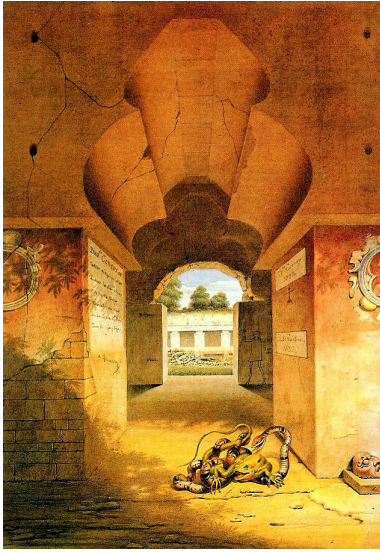


Figura 136. Dibujo del arco trilobulado de Palenque realizado por J. Frederick Waldeck en 1833. Tomado de Baudez y Picasso (1990, p. 55).



Figura 137. Arco trilobulado de la Casa A de Palenque.

adoptaron ingeniosas soluciones para aligerar el peso de los rellenos de los edificios, y en muchas ocasiones evitaron los dinteles, el punto más débil de estas estructuras, sustituyéndolos por arcos que conducen la carga vertical a los muros laterales. La mayoría de estos arcos tienen sección recta como por ejemplo en el Templo del Sol o en el Templo de la Cruz, mientras que en la Casa A se adoptó esta singular forma trilobulada que presumiblemente responde a una voluntad estética. Precisamente por su singularidad, este arco trilobulado ha causado admiración desde los primeros exploradores que visitaron Palenque (figura 136), pero su peculiar sección es una conformación especial del vaciado del relleno para evitar el dintel, y no una bóveda construida con dovelas (figura 137).

El voladizo de arranque en impostas

Un rasgo formal característico de la sección transversal de las bóvedas es el voladizo de arranque. Por lo general, la primera hilada de dovelas de las dos semibóvedas se coloca sobre la coronación del muro con un ligero saledizo hacia el interior de la estancia, generando la línea de impostas. Este voladizo suele estar también en los testeros, generando una línea continua alrededor de la estancia, aunque esto no ocurre en todos los casos, y esta característica varía en función del área geográfica y el período cronológico del edificio. En la base de datos se han registrado dimensiones de estos voladizos de arranque de las semibóvedas de entre 2 y 20 cm, aunque los valores más comunes, en un 75% de los casos, están entre los 5 y los 10 cm.

La razón de este rasgo prácticamente invariante en todas las bóvedas es seguramente constructiva. Algunos autores han sugerido que este voladizo podría ser la prueba de que construían la bóveda sobre una estructura previa de madera, de manera que la primera hilada de dovelas se colocaría apoyada en una viga horizontal y cuya huella es este saledizo de impostas (Spinden 1975, p. 109; Prem 1995, p. 36). Otra posible razón de este detalle, que no invalida la anterior, sería evitar la junta constructiva que se produce entre la coronación del muro y el arranque de la bóveda. En este punto existe por lo general una junta seca, a veces con una capa de estuco intermedia, que marca el fin de una etapa en el proceso de la obra (véase el apartado 7.2.4). El voladizo de arranque sería un recurso para ocultar las eventuales fisuras que podría producir esta unión en el revestimiento de estuco.

Normalmente el arranque de la bóveda se produce con este voladizo hacia el interior de la estancia y de forma simétrica en las dos semibóvedas. Sin embargo, existen algunos casos especiales, casi anecdóticos, en cuanto al tipo de arranque, que merece la pena señalar como casos singulares. Uno de ellos es el

voladizo invertido del pasaje abovedado del Grupo G o de las Acanaladuras de Tikal (figura 108). Este pasaje, que comunica el exterior con el patio interior del conjunto, además de tener directriz quebrada, presenta el voladizo de arranque invertido, tal y como se muestra en la figura 138. En algunos casos del área Chenes los arranques de ambas semibóvedas están a diferentes alturas como, por ejemplo, en algunos cuartos del Palacio de Santa Rosa Xtampak, en la Estructura 1 de Tabasqueño o en la Estructura 1 de Tohcok, aunque no es lo habitual.

Sólo en muy pocas bóvedas el voladizo no aparece y la primera dovela está enrasada a la vertical del muro. Esto sucede en edificios de épocas tempranas como el A-XVIII de Uaxactún⁶¹ o el Templo 23 de la Acrópolis Central de Tikal, en edificios de tipología muy singular como en el Observatorio de Mapapán, o bien en estructuras con sistemas constructivos especiales⁶², por lo que pueden considerarse excepciones. Cuando las dovelas son piezas sin labra y no presentan un plano horizontal de apoyo, sino que se van acomodando mediante ripios, la línea del voladizo de arranque no suele estar tan definida. En estos casos la geometría del voladizo se conformaba con estuco (Andrews 1987a, p. 84), tal y como se observa en la figura 139.

El remate superior de la bóveda

Otro rasgo formal de la sección transversal es el remate de la bóveda. Ésta se cierra en la parte superior con una hilada de losas horizontales llamadas tapas. La pieza central, que era la última en colocarse durante el proceso de construcción de la bóveda, tenía un significado simbólico y en algunas ocasiones estaba pintada con la representación de la deidad a la que estaba dedicada la construcción del edificio (Staines Cicero 2008).

La distancia entre las dos últimas hiladas de dovelas de cada una de las semibóvedas es variable: en la base de datos se han registrado valores de entre 13 y 66 cm, aunque lo más común es que la dimensión interior de la tapa oscile entre los 20 y los 50 cm. El ancho que pudieran cubrir estas losas de tapa dependería principalmente de su espesor, que por lo general oscila entre 10 y 25 cm en la muestra analizada (figura 140).

En numerosas ocasiones el intradós se remata en la parte superior con una moldura o ménsula previa a las losas de tapa, con una altura que normalmente⁶³ oscila entre los 10 y los 15 cm. Este detalle aparece en edificios de las regiones de Chenes, Puuc y el Norte de Yucatán, y en bóvedas que tienen determinados tipos de dovelas, generalmente con formas especializadas como cuñas o botas (véase el apartado 7.2.3). El motivo de este remate en ménsula podría ser de tipo constructivo: al minimizarse la superficie de apoyo de una dovela sobre la siguiente, surge la necesidad de colocar una pieza plana sobre la última dovela



Figura 138. Pasaje abovedado del Grupo G de Tikal.



Figura 139. Bóveda en el sitio de Manos Rojas, en el área de Río Bec. Tomada de David F. Potter (1977, p. 101).

⁶¹ El Edificio A-XVIII de Uaxactún es un caso singular en este sentido: algunas bóvedas presentan voladizo de impostas en un solo lado y, además, la cota del arranque de la bóveda varía en las diferentes crujías (figura 7.1.34).

⁶² Como por ejemplo en algunos edificios del período Floreciente Modificado de Chichén Itzá, como el Templo de los Guerreros (2D8) o el de los Tableros Esculpidos (3C16), construidos con sistemas adintelados.

⁶³ En la base de datos se han registrado valores de altura de la ménsula de entre 6 y 19 cm, aunque el intervalo más común es 10-15 cm.

Figura 140. Bóveda de una subestructura del Conjunto A-V de Uaxactún.



Figura 141. Ménsula de remate con el recubrimiento de estuco en el Palacio de Santa Rosa Xtampak.

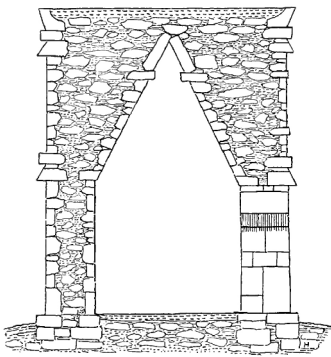


Figura 142. Bóveda con remate en ángulo en el Conjunto de las Monjas de Chichén Itzá. Tomado de W. H. Holmes (1895, p. 112).

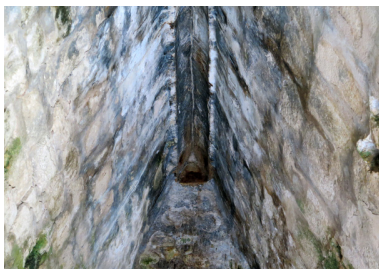


Figura 143. Detalle del remate en ángulo estucado en uno de los cuartos del Ala Este de las Monjas en Chichén Itzá.



para obtener una base firme para las piezas de tapa. Por lo general, cuando la bóveda se remata de este modo, la moldura recorre los cuatro lados de la bóveda, por lo que aparece tanto en la sección transversal como en la longitudinal (figura 141), generando una especie de marco de las piezas de tapa.

En algunos casos aislados las tapas horizontales de cierre se sustituyen por dos losas apoyadas entre sí formando un vértice sobre la ménsula de remate. Este tipo especial fue documentado por William H. Holmes (1895, p. 51) en las bóvedas del Complejo de las Monjas de Chichén Itzá (figuras 142 y 143) y tomado como una tipología formal en algunos de los gráficos comparativos posteriores (véase el apartado 2.2.1), aunque se trata de un caso muy singular. Solamente se han identificado dos edificios en los que las bóvedas no tienen tapa y ambas semibóvedas se unen en un vértice. Esto ocurre en la Estructura 19 de Yaxchilán y en la Estructura 2 del sitio de Tohcok, en el área Chenes (Andrews 1989a, p. 152-153).

Dimensiones y proporción de la sección transversal

Una vez analizada la forma de la sección transversal, a continuación vamos a estudiar sus medidas y proporciones. Las dimensiones que definen la geometría de esta sección son: la altura total interior (h_t), que es la dimensión de la estancia medida desde el nivel del piso hasta la cara inferior de la tapa; y la altura de la línea de impostas (h_i), medida desde el piso hasta el arranque de la bóveda (figura 107). La diferencia entre ambas es la altura de la bóveda (h_b), medida en vertical desde el voladizo de arranque hasta la tapa. Además de analizar los

valores y la variación de estas medidas, es interesante estudiar la relación entre ellas, así como la proporción entre la altura y la luz de la estancia. La combinación entre todas estas variables es determinante en el diseño estructural de las bóvedas, pues la estabilidad de estas estructuras está basada principalmente en la geometría del conjunto (véase el apartado 7.2.5).

En la figura 144 se muestra la distribución de la altura total de las estancias estudiadas por intervalos⁶⁴. Los valores más comunes, un 74% de los casos, están entre los tres y los cinco metros de altura. Al analizar este dato por zonas y por períodos temporales hemos podido comprobar que, en general, el avance de la técnica permitió aumentar considerablemente la altura de las estancias, como veremos en el capítulo 8.

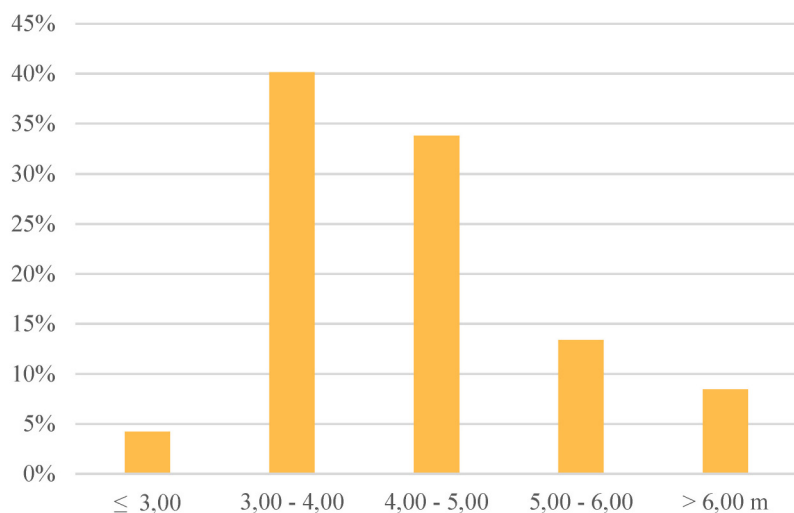


Figura 144. Valores de altura total interior de la estancia (bóvedas consideradas: 162).

El cociente entre la altura total de la estancia (h_t) y la luz de la bóveda (a) ofrece la proporción del rectángulo en el que se inscribe la sección transversal de la bóveda (figura 145). En más de un 80% de las bóvedas este rectángulo tiene una proporción de entre uno y tres. Los valores mayores de cuatro pertenecen a bóvedas de luz muy reducida que cubren cuartos de los grandes templos piramidales como los de los Templos 1 y 2 de Tikal, con alturas interiores que pueden medir hasta 7,5 veces la luz del cuarto, resultando espacios muy estrechos y altos, prácticamente inhabitables.

En la figura 146 se muestran los valores de la altura de la bóveda, medida desde la línea de impostas hasta la cara inferior de la tapa. Las alturas más comunes oscilan entre 1,00 y 2,00 m, y sólo en algunas excepciones la bóveda supera los 3,00 m de altura.

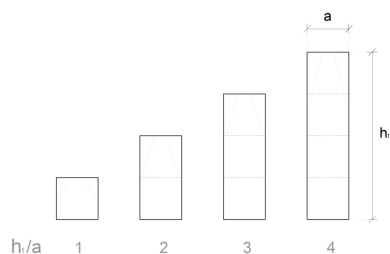
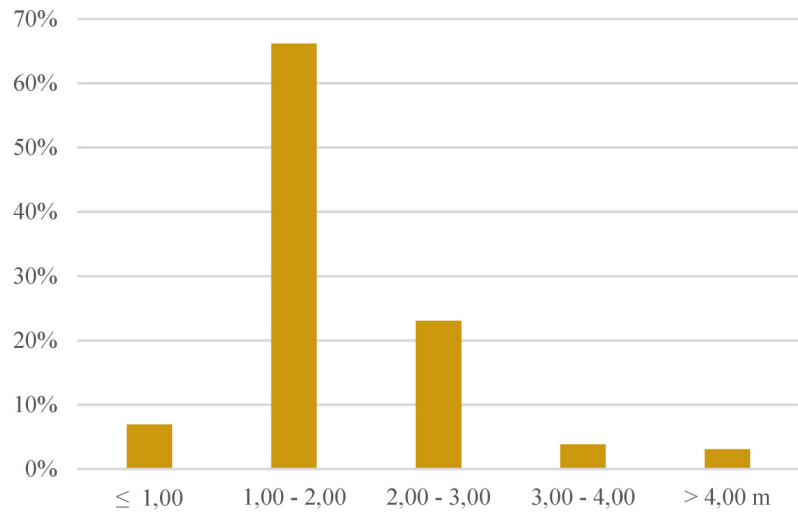


Figura 145. Factores de proporción entre la altura y la anchura de la estancia abovedada.

⁶⁴ Para el análisis de las dimensiones y proporciones de la sección transversal se han descartado las bóvedas que cubren tumbas, cuartos de cresterías, escaleras, pasos bajo escalinatas o arcos urbanos, pues a veces ofrecen valores fuera de lo común.

Figura 146. Valores de altura de la bóveda (bóvedas consideradas: 130).



El factor de proporcionalidad de la sección transversal está definido por el cociente entre la altura de la bóveda y la altura total de la estancia (figura 147). En la mayoría de los casos la altura de la bóveda está entre 0,25 y 0,50, es decir, entre la cuarta parte y la mitad de la altura total de la estancia. Sólo en un 14,2% la altura de la bóveda ocupa más de la mitad de la altura total y, en ninguno de los ejemplos documentados se supera el valor de 0,65 (figura 148).

La altura de la línea de impostas de las estancias, marcada por el voladizo de arranque de la bóveda, es también variable, pero por lo general es superior a 2,00 m, y en la mayoría de los ejemplos estudiados está entre los 2,00 y los 3,00 m de altura. Esto demuestra que normalmente el lugar de escala humana donde se habita se encuentra por debajo de la bóveda, y ésta resulta una prolongación vertical del espacio, al igual que ocurre en la vivienda tradicional maya.

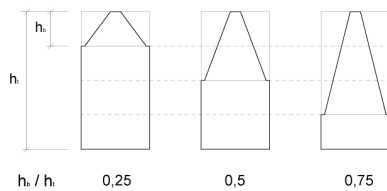
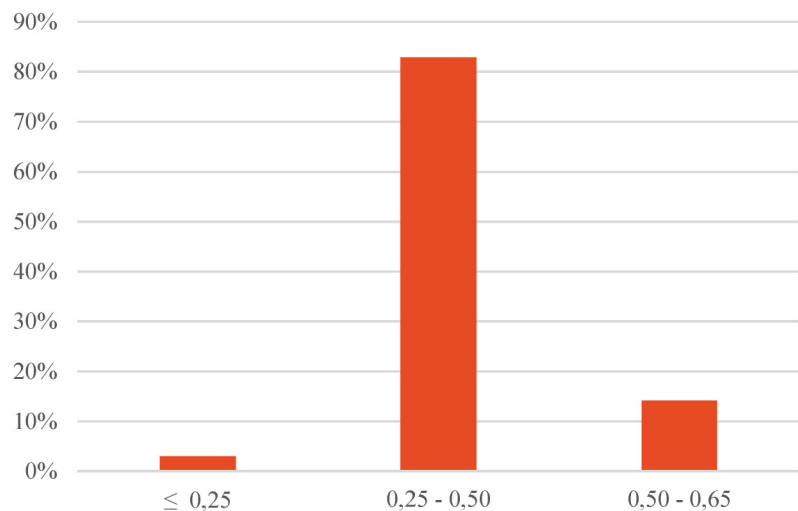


Figura 147. Proporción de la sección transversal.

Figura 148. Valores del factor de proporcionalidad entre la altura de la bóveda y la altura total de la estancia (bóvedas consideradas: 134).



Por lo general, los dinteles de las puertas se sitúan a una altura ligeramente inferior que la línea de impostas, por lo que suele haber una o varias hiladas de sillares sobre el dintel y antes del arranque de la bóveda⁶⁵ (figura 149). Los valores más habituales de altura de los dinteles según la información recopilada oscilan entre 1,70 y 2,50 m. El Edificio 6J2 de La Blanca es también singular en este aspecto, pues los dinteles de las puertas de este cuadrángulo se sitúan a 4,00 m de altura, una dimensión excepcional que dificultaría su cierre con los cortinajes o sistemas de materiales perecederos más habituales (véase el apartado 7.3.1.3). En este caso la altura del arranque de la bóveda se sitúa a 4,50 m sobre el nivel del piso de la estancia (figura 150).

En el análisis de la relación entre el plano de apoyo de los dinteles y el de arranque de la bóveda se han detectado algunas soluciones singulares. En algunas bóvedas del Palacio de Santa Rosa Xtampak se opta por realizar un capialzado (Pollock 1937, p. 24, 68; Andrews et al. 1987, p. 56), quebrando el voladizo de arranque sobre las puertas para conseguir situar la cama de apoyo de los dinteles a la misma cota que el arranque de la bóveda⁶⁶. Otro caso singular en este sentido es el edificio del Juego de Pelota de Copán, en el que los dinteles, en la actualidad restaurados, se sitúan a la misma altura que la línea de impostas y también en la misma cota que el apoyo de la cornisa media de la fachada exterior⁶⁷.

7.1.3. Forma y geometría de la sección longitudinal: los testeros

Las dimensiones de la sección longitudinal de las bóvedas (figura 107) quedan definidas por las variables que hemos visto en los apartados anteriores, y su morfología viene determinada por la forma de la sección de los testeros y la solución adoptada según el caso en impostas y en el remate superior.

Si bien la cuestión de la forma de la sección transversal de las bóvedas ha sido ampliamente tratada, la forma de los testeros, es decir, la de los lados cortos de la bóveda, apenas se menciona en la literatura existente. Una excepción son los informes de campo de George F. Andrews, en los que en muchos casos se diferencia si los testeros de las bóvedas son verticales o inclinados y, a veces, si tienen voladizo a la altura de la línea de impostas. Hasso Hohmann (1979, p. 35) también distingue entre estos dos tipos de sección, pero hasta el momento no existe un estudio específico sobre las características de los testeros de las bóvedas en las diferentes áreas geográficas y períodos cronológicos. Por ello, en la base de datos se ha recopilado información sobre la forma, la estereotomía y el aparejo de estos muros hastiales.

De manera general, y considerando toda la muestra de bóvedas registrada, se han establecido tres tipologías de la forma de la sección de los testeros:



Figura 149. Huella de los dinteles en el relleno del cuarto 5 del Edificio 6J2 de La Blanca, donde se aprecia la diferencia de cota entre la cama de apoyo de los cargaderos y el arranque de la bóveda.



Figura 150. Cuarto 14 del Edificio 6J2 de La Blanca.

⁶⁵ En algunos casos la primera hilada de dovelas descansa directamente sobre el dintel, con posibilidad de que hubiera una capa de regulación intermedia de mortero y, a veces, pequeñas piedras planas.

⁶⁶ Véase en el catálogo anexo el cuarto 1 del Palacio de Santa Rosa Xtampak.

⁶⁷ Véase el Edificio Este del Juego de Pelota.

vertical, inclinada y escalonada. En la figura 151 se puede ver que en la muestra estudiada predominan la forma vertical y la inclinada, con un 60% y un 34% respectivamente, mientras que la escalonada es mucho menos frecuente. Sin embargo, esta distribución es muy distinta en las diferentes áreas geográficas: en las áreas de las Tierras Bajas del Sur como Petén o la cuenca del río Usumacinta son mucho más frecuentes los testeros inclinados (figura 152), mientras que en las regiones de Río Bec, Chenes, Puuc y el Norte de Yucatán predomina la sección vertical. En el capítulo 8 se analizan las características formales y constructivas de los testeros en las diferentes áreas geográficas, pues éstos se revelan como rasgos diferenciadores de la arquitectura de las distintas regiones y, además, aportan información sobre el proceso constructivo de las bóvedas en cada caso.

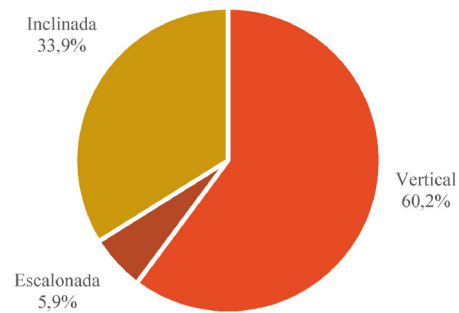


Figura 151. Formas de los testeros (bóvedas consideradas: 304).



Figura 152. Testero inclinado en la Casa A del Palacio de Palenque.

Por lo general, cuando los testeros son inclinados, presentan una pendiente menor que las semibóvedas. Así, mientras que la inclinación de las semibóvedas suele oscilar entre los 55° y los 75° sobre la horizontal, en los testeros los valores más comunes están entre los 70° y los 80°. La diferencia entre la inclinación de las semibóvedas y los testeros va desde 4 hasta 18 grados, siendo menor en los testeros.

En el área de Petén se han registrado algunas bóvedas con pendientes iguales en los cuatro lados de la bóveda. Esta peculiaridad se da en varios cuartos de la Acrópolis de Chilonché y en la Subestructura 2 del Edificio 6J2 de La Blanca. Tal y como veremos en el siguiente apartado, en Petén, por lo general, las semibóvedas se construyen con dovelas con la inclinación previamente labrada y los testeros, al tener una inclinación menor, se construyen con sillares. Sin embargo, en estos casos especiales mencionados, los cuatro lados de la bóveda tienen la misma inclinación y están contruidos con dovelas⁶⁸.

⁶⁸ Lo mismo ocurre en la bóveda del Entierro 116 de Tikal según los dibujos de W. R. Coe (1990, p. 258-259).

Los testeros verticales son predominantes en las regiones de las Tierras Bajas del Norte. En algunos edificios, principalmente de las áreas de Chenes y Río Bec, se construye una única bóveda continua y posteriormente se divide en varios cuartos contiguos mediante muros hastiales completamente verticales, sin voladizo a la altura de impostas (figura 153). En cambio, en el área Puuc estos lados cortos de la bóveda presentan normalmente el voladizo de impostas al igual que los lados largos. En esta zona, aunque los testeros son prácticamente verticales, en muchos casos y sobre todo en las épocas más tardías, presentan una ligera inclinación hacia el interior, casi imperceptible a simple vista, que se ha podido comprobar a partir del levantamiento fotogramétrico (figura 154). Harry E. D. Pollock refiere esta ligera inclinación en su obra *The Puuc* (1980, p. 575), al igual que Jeff Karl Kowalski (1987, p. 106) en su trabajo sobre el Palacio del Gobernador de Uxmal (figura 155).

La última tipología formal de los testeros es la escalonada. Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, algunas bóvedas escalonadas presentan esta forma tanto en sección transversal como en longitudinal. Por tanto, los testeros escalonados también se pueden dividir en los tipos formales de escalonamiento vertical o inclinado, y en cuanto a la estereotomía de cada hilada, en escalonamiento simple, múltiple o combinado (figura 131).



Figura 153. Muro hastial en el Edificio Boca de Serpiente de Santa Rosa Xtampak.



Figura 154. Secciones transversal y longitudinal del cuarto oeste de la Casa de las Tortugas de Uxmal elaboradas mediante el levantamiento fotogramétrico. Tomada de R. Montuori y L. Gilabert (2018).

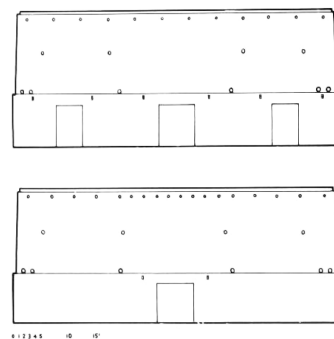


Figura 155. Secciones longitudinales de dos cuartos del Palacio del Gobernador de Uxmal. Tomado de J. K. Kowalski (1987, p. 116).

7.2. Aspectos constructivos y estructurales

El estudio detallado de la tecnología constructiva de los edificios nos ofrece un punto de vista privilegiado para poder realizar una investigación en profundidad sobre la evolución y las variantes geográficas de la bóveda en el área maya. Para ello, es necesario conocer los materiales de construcción que se utilizaron y los procedimientos para su extracción, elaboración y colocación en obra. El análisis del proceso constructivo resulta además imprescindible para poder evaluar el sistema estructural de los edificios, tanto en el estado hipotético ideal como en el estado actual de ruina, de cara a establecer criterios adecuados para la conservación de las estructuras abovedadas.

7.2.1. Materiales constructivos y herramientas de albañilería

El estudio de los materiales constructivos, así como de los procedimientos que se utilizan en su preparación antes de la puesta en obra, es fundamental en el análisis de cualquier arquitectura. En la maya, y en concreto en la construcción de las bóvedas, la piedra y la cal son las materias primas más relevantes, junto con las maderas de los dinteles y de los medios auxiliares de la construcción, los áridos para la elaboración de rellenos, morteros y estucos y el agua, un recurso imprescindible en el proceso constructivo.

La piedra

Las características constructivas, formales y geométricas de las bóvedas mayas dependen en gran medida de los tipos de piedra disponibles en cada zona y los sistemas para su extracción, así como de la composición y la calidad de los rellenos. El tipo de piedra más utilizado en la construcción en el área maya es la caliza. El subsuelo de la península de Yucatán es una gran estructura cárstica que permitió a los mayas extraer abundante material pétreo y producir grandes cantidades de cal.

Las canteras de las que se extraía la piedra caliza se encontraban cerca o incluso en la misma zona urbana (Wagner 2001, p. 338). Según algunos trabajos sobre los yacimientos pétreos antiguos y la forma de extracción de la piedra en el área de Petén (Ruiz A. 1985; Titmus y Woods 2002), la caliza se extraía en grandes bloques alrededor de los cuales se excavaban, utilizando hachas y escoplos de pedernal, zanjas en dos direcciones formando una retícula. Para extraer los bloques, su base se fracturaba con cuñas y palancas de madera. Como veremos más adelante, los mayas no utilizaron herramientas de metal, sino que empleaban piedras y maderas de gran resistencia. Tras la extracción, estos grandes bloques de caliza serían transportados a su lugar de destino, donde los canteros y escultores iniciaban su tarea y los trabajaban para elaborar sillares,

piezas de cornisas, dovelas, dinteles, estelas...etc. El material de cantera sobrante en el proceso de extracción se utilizaba en las fábricas de mampostería y para elaborar los rellenos, mezclando pequeñas piedras y cascotes con tierra o morteros (Muñoz Cosme 2006, p. 59). Algunas canteras antiguas no agotadas siguen siendo utilizadas en la actualidad para los trabajos de conservación y restauración de los edificios, como por ejemplo en Tikal (figura 156).

En el territorio de las Tierras Bajas Mayas existían diferentes variedades de piedra caliza según el área geográfica o el estrato del subsuelo que se trabajara, aunque hay pocos estudios específicos al respecto⁶⁹. El estudio comparativo de las características de la piedra sería una investigación determinante para comprender algunas de las diferencias constructivas y estilísticas entre la arquitectura de las diferentes zonas geográficas, y posiblemente permitiría establecer relaciones entre los diferentes tipos de piedra y la evolución de la técnica estereotómica en cada región. Como ejemplo, la gran dureza de la piedra caliza del área Puuc fue probablemente uno de los factores más importantes para que se desarrollara en esta región una decoración tan finamente tallada en mosaico de piedra, se pudieran labrar sillares que se reducen a estrechas placas de piedra de pocos centímetros de espesor y se lograran piezas con aristas de gran perfección (figura 157).

En algunas zonas se utilizaron otros tipos de piedra de origen sedimentario diferentes a la caliza, y también rocas de origen ígneo. Un ejemplo es la cuenca del río Usumacinta, un área geológicamente distinta al resto de las Tierras Bajas, pues se compone principalmente de sedimentos no calcáreos que se encuentran en estratos profundos (Werneke 2005, p. 11). Es posible que este hecho posibilitara la forma de extracción de la piedra en lajas (Smith 1962, p. 206), que se utilizaron como dovelas de las bóvedas en sitios como Yaxchilán o Palenque (figura 158).

En los sitios de la cuenca del río Motagua, como Quiriguá o Copán, se utilizó la piedra arenisca y, además, rocas eruptivas como la riolita, la traquita o la toba volcánica (Muñoz Cosme 2006, p. 59), un tipo especialmente blando y trabajable que permitió desarrollar una escultura arquitectónica de gran calidad (Wagner 2001, p. 338).

Un caso muy especial es el del sitio de Comalcalco, en el estado actual de Tabasco. En este antiguo asentamiento próximo a la costa del Golfo de México, se utilizaron sistemas constructivos singulares como estructuras de tierra compactada con revestimiento de cal o con recubrimiento de ladrillo y, en la arquitectura más avanzada, fábricas completas de ladrillos (Gallegos Gómora y Armijo Torres 2005). Las características formales y tipológicas de los edificios



Figura 156. Cantera en Tikal. Fotografía de Gaspar Muñoz Cosme, 1993.



Figura 157. Detalle de la fachada sur de la Casa de las Tortugas de Uxmal.



Figura 158. Estructura 74 de Yaxchilán.

⁶⁹ Sobre las características geológicas de la zona norte de la península de Yucatán es interesante el trabajo de W. C. Ispording (1975).



Figura 159. Palacio en la Gran Acrópolis de Comalcalco. Tomada de M. J. Gallegos y R. Armijo (2017, p. 144).

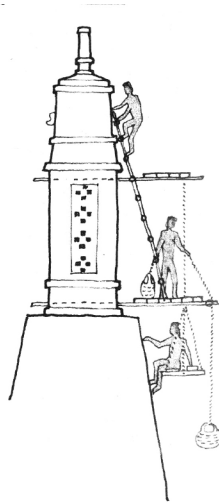


Figura 160. Posible sistema de andamiaje en Río Bec-B según Paul Gendrop (1997, p. 20).



Figura 161. Restos de la decoración modelada en estuco de la fachada del Edificio 6 de Yaxchilán.

de esta última etapa son similares a las de los sitios cercanos, especialmente a algunos edificios de Palenque, y se han identificado elementos constructivos y dimensiones similares (Gallegos Gómora y Armijo Torres 2017). Uno de estos edificios es el Palacio de la Gran Acrópolis de Comalcalco (figura 159), donde se conservan bóvedas con los mismos principios constructivos y con rasgos formales y geométricos similares a las de los templos principales de Palenque, pero construidas con ladrillo, debido presumiblemente a la escasez de piedra en la zona (Gallegos Gómora y Armijo Torres 2005, p. 391).

La cal

La cal, obtenida mediante la transformación de la piedra caliza, jugó un importante papel en la arquitectura maya, no sólo en la monumental sino también en la doméstica. Los mayas la utilizaron como conglomerante para fabricar argamasas, morteros y estucos que se empleaban durante todo el proceso de construcción.

Todas las superficies de las edificaciones pétreas mayas se revestían con estuco: basamentos, escalinatas, pisos, muros, bóvedas, fachadas y cresterías. Este recubrimiento ofrecía una capa de regularización, protección e impermeabilización que permitía la transpiración de los materiales internos. Muchas veces a la mezcla, realizada con cal, arena fina y agua, se le añadían pigmentos que proporcionaban a los edificios acabados de colores brillantes con marcado carácter simbólico, lo que contrasta con la imagen de los edificios de piedra desnuda que vemos hoy en día. El acabado de estuco era una capa protectora muy importante para la conservación de los edificios, pues evitaba la degradación de la construcción provocada por las constantes variaciones higrotérmicas, la entrada de la humedad y, con ella, la de diferentes tipos de organismos vegetales. Este revestimiento necesitaba un mantenimiento periódico, por lo que en las fachadas de los edificios se han detectado mechinales para el apoyo y el montaje de los andamios de madera que se utilizaron para realizar estos trabajos en lo alto de las fachadas de los edificios (figura 160).

Además de como recubrimiento, el estuco se usaba también en las decoraciones de los edificios. Los mayas modelaban con estuco grandes mascarones y diversos motivos iconográficos que adornaban las plataformas, los frisos, las cresterías, y en ocasiones fachadas completas de grandes edificios (figura 161).

En la arquitectura doméstica de materiales perecederos, el enlucido de cal se utilizaba como protección de los muros de bajareque, formados por un empalizado vertical en el que se intercala una mezcla de tierra, agua y fibras vegetales (Sánchez Suárez 2006, p. 89-90).

Para producir la cal es necesario calcinar la piedra caliza y posteriormente apagar la cal viva obtenida mediante un proceso de hidratación que puede ser realizado con diferentes técnicas (Muñoz Cosme 2006, p. 59-60). Para obtener la gran cantidad de cal que usaron los mayas en la arquitectura debieron emplear miles de toneladas de madera como material combustible.

Tierras y áridos

Para la producción de morteros y estucos y también para elaborar la argamasa de los rellenos constructivos de muros y bóvedas, se mezclaban con el conglomerante diferentes tipos de áridos, algunos naturales, como el *sascab*, y otros producidos por el machaqueo de la piedra (Muñoz Cosme 2006, p. 62). El *sascab*, que en maya significa “tierra blanca” (Álvarez 1984, p. 236), es una arena natural disponible en algunas zonas del terreno y que resulta de la meteorización de la piedra caliza con mezcla de arcilla. En la arquitectura se utilizaba para fabricar morteros y también para la ejecución de pavimentos con técnicas de apisonado y compactado (Muñoz Cosme 2006, p. 62). En algunas zonas la tierra natural es de un color rojizo y se conoce como *kankab*, que significa “tierra roja” (Gendrop 1997, p. 120).

Maderas

Otro material fundamental en la construcción maya era la madera. Se utilizaba en diferentes elementos estructurales como dinteles, forjados y cubiertas vegetales; en los medios auxiliares necesarios para los trabajos de construcción y mantenimiento de los edificios; en la producción de herramientas y utensilios; y también como material combustible para la producción de la cal, como hemos visto.

Los mayas utilizaron las especies leñosas disponibles en su entorno⁷⁰, algunas de ellas de gran calidad como por ejemplo el chicozapote, con el que se fabricaron dinteles de gran dureza y resistencia, a veces decorados y con inscripciones como en los de los grandes templos de Tikal. Otro tipo de madera utilizada en dinteles y en morillos son los rollizos de especies como el tinto o palo de Campeche (Muñoz Cosme 2006, p. 61), algunos de gran densidad y resistencia que se han conservado en edificios que tienen más de mil años (figura 162).

La utilización de la madera en los dinteles ha provocado en muchos casos el derrumbe de las estructuras abovedadas, producido como consecuencia de la pérdida de las capacidades resistentes de las vigas de madera cuando se pudren o son atacadas por xilófagos. Hoy en día pocos edificios conservan sus dinteles originales de madera⁷¹ (figura 163), algunas veces sustituidos por dinteles de hormigón armado en las intervenciones de restauración llevadas a cabo a mediados del siglo XX, lo que ha provocado importantes problemas de conservación y de compatibilidad con las estructuras antiguas (véase el capítulo 9).



Figura 162. Dintel de rollizos de madera en el Grupo G de Tikal.



Figura 163. Restos de los dinteles originales de madera en la Estructura 7 de Yaxchilán.

⁷⁰ Sobre la identificación de las especies de árboles utilizados véase *Wood that has lasted one thousand years: lintels and vault beams in Maya temples and palaces*, de Nicholas M. Hellmuth (1989).

⁷¹ Véase al respecto el trabajo de Nicholas M. Hellmuth (1989).



Figura 164. Algunas de las herramientas para el alisado del estuco halladas en Muna. Modificado de E. W. Andrews IV e I. Rovner (1975).



Figura 165. Plomada de cuarcita hallada en La Blanca.



Figura 166. Plomada en el sitio de Xunantunich.

Herramientas de albañilería

Para trabajar la piedra los mayas utilizaron herramientas líticas pulidas o talladas, a veces combinadas con elementos de madera. Manejaron instrumentos de pedernal, obsidiana y otras piedras de gran dureza, con las que fabricaron cinceles, hachas y otras herramientas para tallar la piedra. Con maderas muy resistentes elaborarían los mangos de algunas herramientas y otros utensilios como palancas y cuñas para extraer los bloques de piedra de las canteras. Además, utilizaron herramientas específicas para el alisado y el bruñido de los revestimientos de estuco, denominadas botas, plátanos o campanas (Muñoz Cosme 2006, p. 64). Muestra de ello son las halladas en el enterramiento de un albañil en Muna (figura 164), una localidad situada en el área Puuc, o el conjunto de herramientas hallado en Dzibilchaltún (Andrews IV y Rovner 1975).

Durante el proceso de construcción debieron valerse de otros utensilios auxiliares, como por ejemplo recipientes para elaborar las mezclas, diferentes sistemas para transportar y elevar los grandes bloques de piedra, herramientas para nivelar las superficies y seguramente instrumentos de medida, entre otros. Se conoce que utilizaron plomadas de piedra para señalar las verticales durante la construcción de los edificios. Durante las excavaciones en el sitio de La Blanca se halló una plomada de cuarcita de 15 cm de diámetro y 19 cm de altura (Torres Marzo 2013, p. 146), con unas hendiduras que seguramente sirvieron para amarrarla a una cuerda y poder suspenderla y usarla como guía en las operaciones de replanteo y durante la ejecución de muros y otros elementos (figura 165). Una pieza similar se ha identificado en el sitio de Xunantunich, en el Petén beliceño (figura 166).

7.2.2. Sistemas constructivos

Normalmente se denomina “elemento constructivo” a cada unidad de la arquitectura que se compone con otras para formar soluciones constructivas más complejas. Por ejemplo, la bóveda es un elemento constructivo característico de la arquitectura maya, junto con otros como los basamentos, las escalinatas, los muros, los dinteles, las banquetas o las cresterías. Un sistema constructivo es una unidad más compleja formada por varios elementos simples, que se define como un “conjunto funcional y ordenado de elementos constructivos que forman una unidad completa y autónoma en que puede subdividirse un edificio” (Muñoz Cosme y Vidal Lorenzo 2004, p. 737).

La bóveda se utilizó en la arquitectura maya monumental en tres sistemas constructivos⁷² diferentes que vamos a describir a continuación: muros de carga y bóvedas, techos mixtos y sistemas adintelados.

⁷² Véase los sistemas constructivos utilizados en la arquitectura maya en G. Muñoz Cosme (2006, p. 89-93).

Muros de carga y bóvedas

El sistema constructivo más habitual en la arquitectura maya es el de muros de carga y bóvedas. Los muros verticales se construían generalmente de fábrica de piedra con diferentes tipos de factura, como sillares o mampuestos, y en numerosas ocasiones se combinan ambos tipos en muros mixtos, formados por dos hojas exteriores de sillares bien labrados y un relleno interior. Este núcleo intermedio estaba formado por pequeñas piedras o mampuestos mezcladas con argamasa de cal o con tierra o barro, con una cantidad de conglomerante variable que dependería de la disponibilidad de la cal en cada lugar. Con este tipo de muros mixtos se ahorra piedra tallada, se optimizaba el tiempo de construcción y se podían aprovechar las piedras de menor tamaño sobrantes en la extracción de los grandes bloques de las canteras. Para asegurar la correcta trabazón entre las dos hojas exteriores y el núcleo, a veces se desbastaba la parte posterior de los sillares, lo que aumenta su adherencia al relleno, y otras veces se colocaban sillares de canto que funcionaban como llaves de atado al relleno (figura 167). Un ejemplo de ello se puede observar en los aparejos del Edificio 6J2 de La Blanca: las dos hojas exteriores de los muros están formadas por sillares de unas dimensiones aproximadas de 60 x 40 cm y 20 cm de espesor. Para asegurar su atado con el relleno intermedio, en unas fábricas de entre 1,5 y 2,00 m de espesor, se colocan algunos sillares de canto, con su mayor dimensión inserta en el núcleo.

Los muros de piedra en seco son menos frecuentes en el área maya, aunque existen algunos ejemplos en la arquitectura del período Postclásico (Muñoz Cosme 2006, p. 73). Son también casos aislados los muros de tierra compactada y el sistema constructivo especial de muros y bóvedas construidos con ladrillo que se da en el sitio de Comalcalco (figura 159).

Sobre los muros verticales de carga apoyan las bóvedas, formadas por dos lados convergentes y simétricos que se cierran con una losa o tapa. Al igual que los muros que las sustentan, están construidas en la gran mayoría de los casos con una hoja exterior de dovelas con diferentes tamaños, formas y grados de labra, como veremos a continuación, y un relleno interior de mampostería y argamasa de cal que funciona como contrapeso (figura 168). La mejora de la capacidad resistente de los rellenos permitió en algunos casos reducir los sillares de los muros y las dovelas de las bóvedas al máximo, hasta convertirlas en lo que podría considerarse un encofrado permanente del relleno (Andrews 1995e, p. 121). El funcionamiento estructural de las bóvedas limitaba la anchura de los espacios interiores cubiertos, pero los mayas desarrollaron avances en la estereotomía y en la técnica constructiva, y diseñaron ingeniosas soluciones para lograr espacios más amplios y disminuir el volumen de las construcciones.

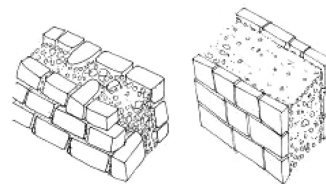


Figura 167. Muros mixtos. Tomado de Ó. Quintana (2008, p. 202).

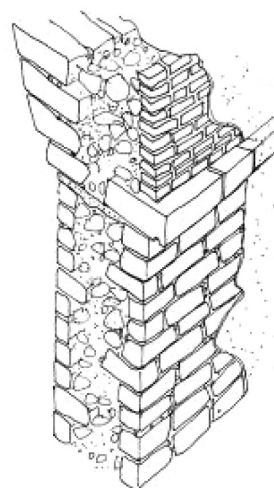


Figura 168. Detalle de una bóveda típica del Clásico Tardío de Petén. Tomado de O. Quintana (2008, p. 202).

Figura 169. Edificio de los Cinco Pisos de Edzná.

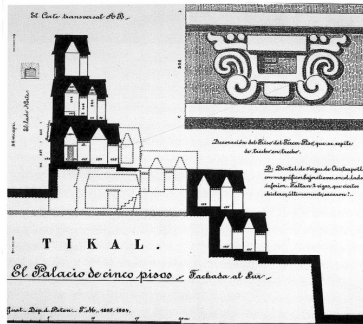


Figura 170. Sección de los Edificios 5D-50 y 5D-52 de la Acrópolis de Tikal según Teobert Maler. Tomada de G. Kutscher (1971).



Figura 171. Imagen actual de los Edificios 5D-50 y 5D-52 de la Acrópolis de Tikal desde el nivel inferior.

Este sistema masivo de muros de carga y bóvedas limitó asimismo la construcción de edificios de varias alturas, y lo más habitual es que las estructuras tengan una o dos plantas. Sin embargo, existen excepciones nada desdenables de edificios de tres y hasta de seis pisos, generalmente con una sección en forma piramidal que consigue transmitir adecuadamente las cargas verticales desde los niveles más altos hasta los basamentos inferiores. De los doscientos edificios registrados en la base de datos, aproximadamente un 75% tienen una sola planta, un 20% tienen dos niveles y el 5% restante tienen tres o más pisos. Algunos ejemplos de edificios de varias plantas son: el Palacio de Sayil o el de Santa Rosa Xtampak, con tres alturas; la Estructura IV de Becán, un edificio mixto con cuatro plantas aterrazadas; el Edificio de los Cinco Pisos de Edzná (figura 169); y la Estructura 1 de Ek Balam, un gran edificio piramidal con varias etapas constructivas superpuestas y numerosos cuartos abovedados distribuidos en seis niveles (Vargas de la Peña y Castillo Borges 2010, p. 420). Otros ejemplos de edificios de tres pisos son el Satunsat de Oxkintok, y la Estructura E1 de Cahal Pech, ambos datados en los inicios del período Clásico, lo que indica que desde épocas tempranas los constructores mayas diseñaron ya soluciones para construir edificios en altura. Teobert Maler denominó a los Edificios 5D-50 y 5D-52 de la Acrópolis Central de Tikal como el “Palacio de los cinco pisos”, aunque en realidad tienen dos y tres plantas respectivamente, y se disponen de manera aterrazada, por lo que el conjunto se percibe como un gran edificio de cinco niveles (figuras 170 y 171).

Muros de carga y techos mixtos

Una variante del sistema anterior, mucho menos común, es la de los techos mixtos, formados por bóvedas que alcanzan una determinada altura y sobre las que se sitúa un forjado horizontal de entramado de rollizos que, por su carácter perecedero, no se ha conservado. La cubierta del edificio se finalizaba colocando un entramado de varillas de menor tamaño sobre las vigas principales de madera, una capa de tierra prensada y una torta de mortero de cal con revestimiento de estuco para impermeabilizar la superficie (Muñoz Cosme 2006, p. 81).

Este sistema, aunque tenía una menor durabilidad que el de la bóveda completa, permitía obtener luces mayores. Un ejemplo es la Estructura P-7 de Piedras Negras, un baño de vapor con una luz de 3,71 m en su crujía exterior que supera con creces las luces habituales de las bóvedas de este sitio. Sobre los muros verticales de la estructura se inician semibóvedas de sección recta que alcanzan una altura de 1,30 m, quedando una luz de 2,35 m que fue cubierta con un forjado horizontal, tal y como se muestra en la reconstrucción ideal de este edificio realizada por Tatiana Proskouriakoff (figura 172). En lo alto de las semibóvedas se registraron restos de mortero de cal correspondientes al apoyo de las vigas perecederas (Hellmuth 1989, p. 18). La cámara de vapor de este temascal está cubierta por una bóveda completa de piedra de 2,20 m de luz, sobre la que se construyó un aljibe para recoger agua de lluvia que seguramente se utilizaría en el temascal. En este edificio los mayas combinaron dos sistemas constructivos diferentes y aprovecharon las ventajas que cada uno les ofrecía.

En los edificios con techos mixtos los forjados horizontales no se han conservado, por lo que no siempre es fácil reconocer este sistema constructivo, y es muy probable que existan más ejemplos de los que hasta hoy en día se conocen. Una manera de identificar edificios con techos mixtos consiste en analizar la luz de las estancias, mayor de lo habitual, y las pendientes de las semibóvedas, que si se prolongan necesitarían alcanzar una gran altura para encontrarse a una distancia máxima de unos 50 cm, que suele ser el límite habitual de las tapas de bóvedas de piedra. Realizando esta comprobación, otro edificio de los registrados en la base de datos que podría tener este sistema de cubierta mixto es la estructura J-11, también de Piedras Negras, con unas luces de 2,80 m (figura 173).

Este sistema constructivo mixto se ha registrado asimismo en la construcción de algunas tumbas enterradas, en las que se utilizaba un techo de madera horizontal para cerrar superiormente la cámara. Con esta solución podían

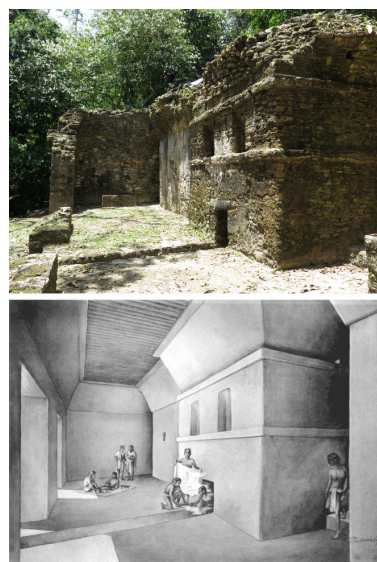


Figura 172. Temascal P-7 de Piedras Negras en la actualidad y en la reconstrucción de Tatiana Proskouriakoff (1976, p. 29).



Figura 173. Estancia de la Estructura J-11 de la Acrópolis de Piedras Negras.

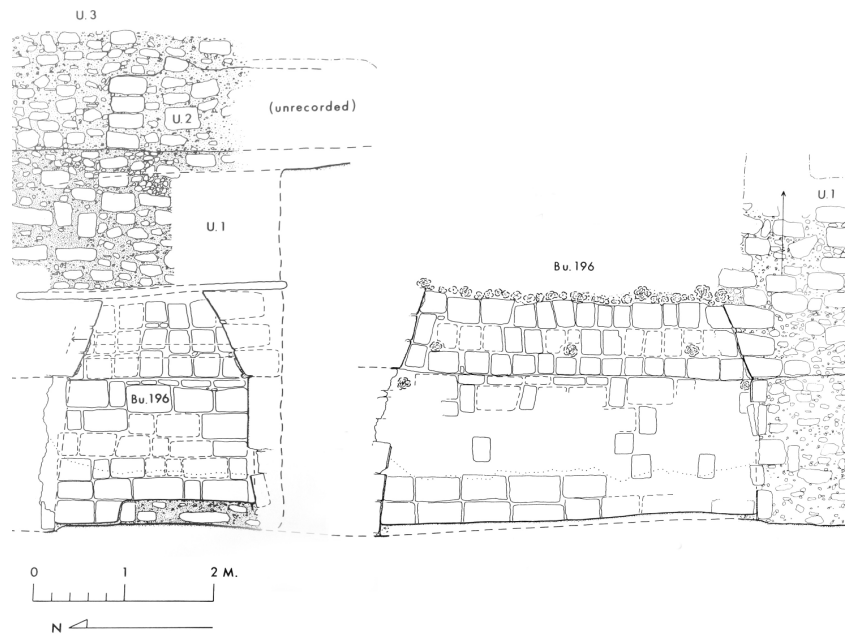


Figura 174. Secciones transversal y longitudinal del Entierro 196 de Tikal. Tomadas de W. R. Coe (1990).



Figura 175. Edificio en Tulum, donde se aprecian las huellas del forjado de vigas de madera.

construir la bóveda hasta una altura determinada y cerrar una luz mayor que la que permite una tapa de piedra. Ejemplos de ello se han documentado en el Entierro 196 de Tikal (figura 174), hallado en el interior de la Estructura 5D-73 (Hellmuth 1989, p. 16-17; Eberl 2001, p. 315), o en la tumba del interior del Edificio 216 de Yaxhá (Quintana Samayoa 2008, p. 206). En algunos casos singulares los mayas utilizaron rollizos de madera en lugar de tapas de piedra para rematar las bóvedas. Son ejemplos de ello las cámaras inaccesibles del interior de la gran crestería del Templo V de Tikal (Hellmuth 1989, p. 16; Quintana Samayoa y Noriega Girón 1992, p. 61), el Edificio I del sitio de Xultún o el Edificio de las pinturas Sub. 1 de San Bartolo (Quintana Samayoa 2008, p. 206).

En épocas tardías y sobre todo en el área de la Costa de Caribe, como por ejemplo en la ciudad de Tulum, se utilizaron en muchas construcciones los forjados horizontales directamente sobre los muros de carga (figura 175), un sistema que era frecuente en otras áreas de Mesoamérica (Muñoz Cosme 2006, p. 81), por lo que resulta normal que en algunos casos utilizaran una solución intermedia entre las bóvedas y los forjados.

Sistema adintelado

El sistema adintelado es aquel en el que las bóvedas se construyen sobre dinteles y columnas. Una situación intermedia entre los edificios de muros de carga y los de este tipo se produjo con la introducción de las columnas en las

portadas, principalmente en las áreas Chenes y Puuc (Gendrop 1983, p. 145-161). Ya desde épocas tempranas los vanos de algunas puertas se ampliaron con la introducción de una o dos columnas intermedias, lo que permitía una mayor entrada de luz natural en el espacio interior abovedado. En algunos edificios se aumentó el número de columnas hasta cubrir prácticamente la totalidad de la fachada principal, por lo que la bóveda apoya en un lado sobre un muro de carga y en el otro sobre dinteles y columnas. Existen varios ejemplos de ello en Santa Rosa Xtampak, como el Palacio o el Cuadrángulo Sureste, y también en varios edificios de Uxmal, entre los que destacan el Templo Venus del Cuadrángulo de las Monjas, el Edificio sur del Cuadrángulo de los Pájaros o la Estructura 9, próxima al Juego de Pelota.

En el caso singular de Chichén Itzá se construyeron edificios de varias crujas paralelas de columnas sobre las que se apoyaron las bóvedas. Este sistema adintelado fue introducido en la arquitectura del período denominado Floreciente Modificado de Chichén Itzá, a partir del año 1000 d.C., caracterizada por combinar rasgos arquitectónicos e iconográficos propiamente mayas, del área Norte de Yucatán y del área Puuc, con otros procedentes de culturas del centro de México (figura 176). En los edificios de este período, la sustitución de los muros de carga por vigas de madera apoyadas sobre hiladas de columnas como soporte de las bóvedas permitió cambiar radicalmente el carácter de los espacios interiores y, además, posibilitó la aparición de nuevas tipologías arquitectónicas no utilizadas hasta ese momento en el área maya, como columnatas, salas hipóstilas o edificios formados por

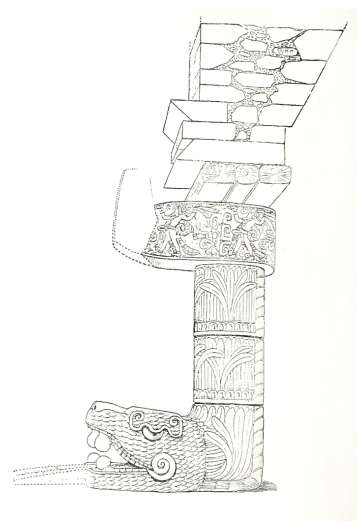


Figura 176. Bóveda apoyada sobre dinteles de madera y columnas en forma de serpiente características del período Floreciente Modificado de Chichén Itzá. Tomado de W. H. Holmes (1895).

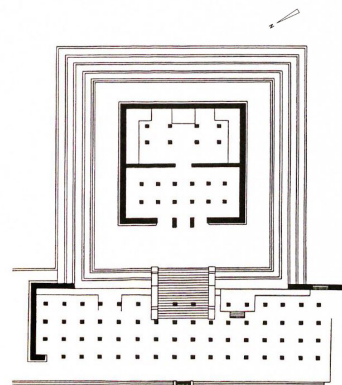


Figura 177. Planta del Templo de los Guerreros de Chichén Itzá tomada de G. Andrews (1995e, p. 343).



Figura 178. Sistema de bóvedas sobre dinteles de madera en el Templo de los Tableros Esculpidos de Chichén Itzá.

varias galerías con un patio central. Con este sistema, la profundidad del espacio interior dejó de estar condicionada por el ancho máximo de las bóvedas y se consiguió una mayor diafanidad (figura 177). Estas estructuras de bóvedas de piedra sobre cargaderos de madera tienen, lógicamente, una menor durabilidad y su conservación queda limitada al tiempo de vida de los dinteles, por lo que en la actualidad no se conservan bóvedas completas en edificios de estas características, sólo algunas evidencias (figura 178).

Una vez analizados los materiales y los diferentes sistemas constructivos que se utilizaron en las bóvedas mayas, vamos a estudiar en detalle cómo se construían, teniendo en cuenta en primer lugar la forma y la talla de las piezas que la forman y, a continuación, su colocación en el proceso constructivo.

7.2.3. La estereotomía de la piedra

La estereotomía es el arte de cortar la piedra con la forma que requiere su función específica en la construcción. La forma y la talla de la piedra son aspectos clave en el análisis de la bóveda maya, sus variantes geográficas y su evolución a lo largo del tiempo, así como para el estudio del proceso constructivo de los edificios.

El trabajo de cantería en la construcción maya partía de los grandes bloques de piedra extraídos de las canteras, de los que se obtenían diferentes tipos de piezas como mampuestos, sillares, dovelas, piedras de cornisa, elementos decorativos, etc., con un grado de especialización variable según la zona geográfica y el período cronológico considerados, como veremos a continuación.

En este apartado se analiza la estereotomía de las bóvedas mayas de manera general, considerando el tamaño, la morfología y la calidad de la talla de las piezas que forman las semibóvedas y los testeros de toda la muestra de bóvedas analizada. En el capítulo 8 se analizan las características más específicas de las bóvedas de las diferentes áreas geográficas, así como su evolución en el tiempo.

7.2.3.1. Tipos de dovelas

Ya hemos visto que la mayoría de las bóvedas mayas están formadas por una hoja exterior y un relleno interior de mampostería y argamasa. A cada una de las piedras que forman el intradós de los dos lados largos de la bóveda la hemos denominado dovela, independientemente del grado de labra o de especialización que presente. A partir de los datos de la muestra de bóvedas considerada en esta investigación se han establecido ocho tipos de dovelas, que determinan la estereotomía de las semibóvedas. Los criterios para realizar esta

clasificación han sido el material utilizado⁷³, la forma de la pieza y el grado y la calidad de la talla. La utilización de un tipo de dovela u otro depende de factores geográficos, temporales y estilísticos del edificio, y determina en muchos casos variables como la forma de la sección transversal de la bóveda, el aparejo de la fábrica, la regularidad de intradós obtenida y algunos detalles constructivos, como veremos a continuación.

En la base de datos se dispone de la información del tipo de dovela de 311 bóvedas. La tabla 13 muestra su distribución por tipos, y en la figura 179 se relacionan los ocho tipos de dovelas propuestos con las formas de sección transversal que generan según los datos obtenidos.

Tipo de dovela	nº bóvedas	%
Sin labra	62	19,9 %
Laja	23	7,4 %
Careada	14	4,5 %
Bloque	19	6,1 %
Tipo Petén	89	28,6 %
Cuña	66	21,2 %
Bota	37	11,9 %
Ladrillo	1	0,3 %
	311	100 %

Tabla 13. Tipos de dovelas en la muestra de bóvedas analizada.

A continuación se describen los tipos de dovela propuestos, empezando por los que presentan un nivel de labra menor y siguiendo por los que requieren un mayor trabajo de talla y tienen un mayor grado de especialización.

Dovelas sin labra

Algunas bóvedas se construyen con piedras toscas sin labrar, dispuestas en voladizo una sobre otra. Para ir acomodándolas durante la ejecución se calzan con ripios o piedras menores, y resulta una superficie del intradós muy irregular que era cubierta con una gruesa capa de mortero de varios centímetros de espesor que regularizaba la superficie y sobre la cual se aplicaba el revestimiento de estuco final. Existen bóvedas con dovelas sin labra en prácticamente todas las zonas geográficas, muchas veces pertenecen a edificios de épocas tempranas, pero no en todos los casos. En el área de Río Bec, por ejemplo, en sitios de gran importancia como Becán o Chicanná, las bóvedas se construyen, por lo general y también en las épocas de mayor auge, con piedras escasamente trabajadas (figura 180).

⁷³ Todos los tipos de dovelas propuestos son de piedra, a excepción del caso excepcional de las bóvedas construidas con ladrillo, que se dan en Comalcalco. Aunque no se puede analizar la estereotomía en este caso, el ladrillo se ha establecido como tipo especial y singular de dovela y se analiza como una excepción.

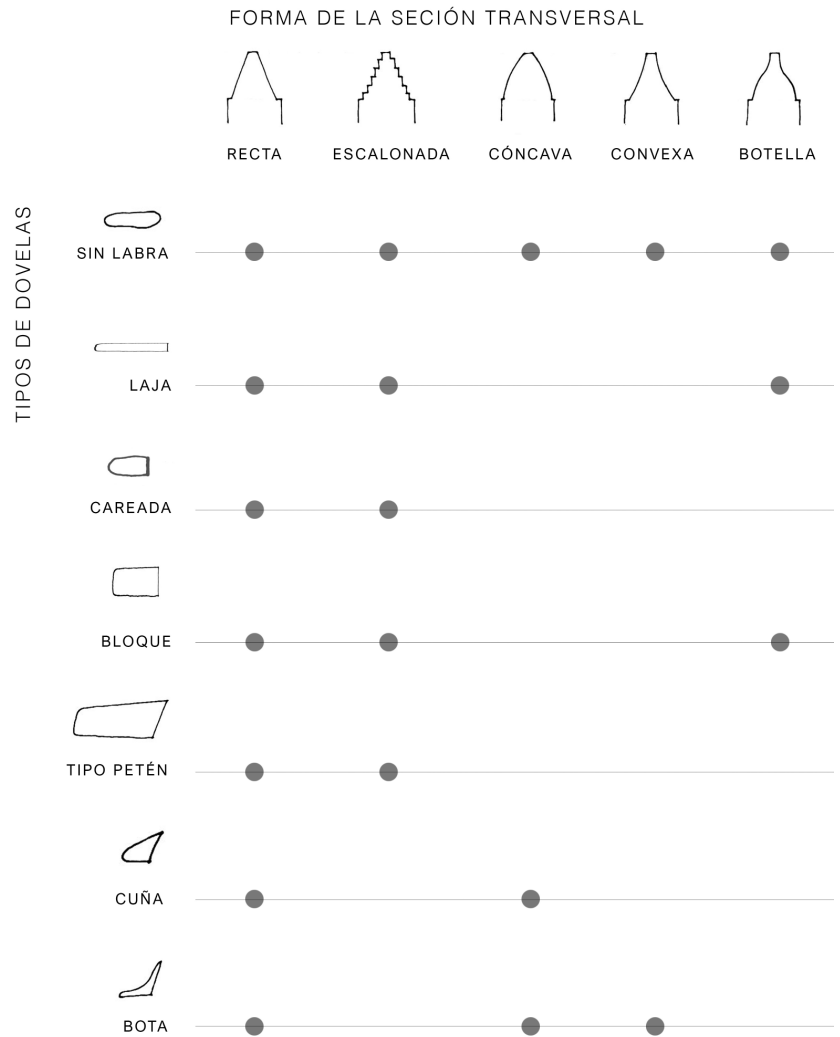
Figura 179. Formas de la bóveda según el tipo de dovela utilizado.



Figura 180. Bóveda de la Estructura II de Chiccanná.



Figura 181. Edificio CA-6 en el Grupo Ah Canul de Oxkintok.



Según el tipo de piedra disponible o la metodología de extracción, las dovelas sin labra son a veces mampuestos con formas más o menos redondeadas y otras veces son losas planas alargadas de gran tamaño (figura 181). El plano de apoyo de unas dovelas sobre otras no es siempre horizontal, en muchos casos se disponen inclinadas fruto del resultado del proceso constructivo. Las dovelas sin labra generan bóvedas con prácticamente todas las formas de la sección transversal (figura 179): escalonadas, rectas, cóncavas, convexas y de botella, a tenor de cómo se vayan apoyando progresivamente los mampuestos. Normalmente se obtenía un intradós muy irregular cuya forma definitiva se perfeccionaba con una gruesa capa de mortero (figura 139).

Dovelas tipo laja

El tipo de dovela denominado “laja” se da solamente en sitios de la cuenca del río Usumacinta como Piedras Negras, Yaxchilán o Palenque. Las características del material pétreo en esta área, diferentes a las del resto de las Tierras Bajas (véase el apartado 7.2.1), permitieron a los mayas extraer piedras muy planas, con superficies horizontales y de poco espesor. En cuanto al grado de talla, se pueden considerar también como poco trabajadas o sin labra, pero sus proporciones y su forma permiten diferenciarlas claramente del tipo anterior.

Por lo general, en estos sitios se utilizaron sillares de mayor espesor para los muros y lajas para las bóvedas, lo que les debió permitir tener un mayor grado de control sobre la forma de la sección de la bóveda resultante. Así, obtuvieron formas escalonadas, de botella (figura 182) o perfectamente rectas como en el caso de Palenque (figura 183). La construcción de las bóvedas con lajas se realizaba con planos de apoyo horizontales y, según la regularidad de sus caras, se intercalaban ripios para ir acomodando las dovelas. En Palenque se construyeron bóvedas con lajas perfectamente planas y muy largas, que no necesitaban piedras intermedias. La longitud de las lajas genera una gran cohesión en el espesor de la bóveda, lo que ha permitido en algunos casos que, tras el derrumbe de los dinteles de las puertas, se formen arcos de descarga muy rebajados y la bóveda pueda mantenerse prácticamente íntegra. En el capítulo 8 veremos que los edificios de Palenque adoptan algunas peculiaridades constructivas como los sistemas de aligeramiento de las bóvedas, la sustitución de los dinteles por arcos de paso o la gran inclinación de los frisos de las fachadas, rasgos íntimamente relacionados con esta estereotomía especial de dovelas en forma de laja.

Los tipos de dovelas que siguen requieren, en mayor o menor grado, ser labradas en una forma determinada, lo que implica la elección previa de un tipo de sección de la bóveda determinado.

Dovelas careadas

Las más básicas serían las dovelas careadas, es decir, mampuestos a los que se les talla una sola cara para obtener una superficie exterior plana. Con dovelas careadas se construían, por lo general, bóvedas de sección escalonada de tipo vertical⁷⁴, como las de la Estructura E-X de Uaxactún (figura 129), aunque también existen casos de bóvedas de dovelas careadas con formas rectas, como por ejemplo las de la Estructura II de Becán, con una cara labrada ya con la inclinación aproximada del intradós.



Figura 182. Edificio 7 de Yaxchilán.



Figura 183. Bóveda de la crujía interior de la Casa A del Palacio de Palenque.

⁷⁴ Véase la clasificación formal de las bóvedas escalonadas en la figura 131.

Dovelas tipo bloque



Figura 184. Bóveda en el Edificio 23 de la Acrópolis Norte de Tikal.



Figura 185. Bóveda de la Estructura 57 de Dzibilchaltún.

En esta tipología de dovela se labra más de una cara: al menos la exterior que forma el intradós, con un corte vertical o inclinado, y las dos caras superior e inferior que permiten el apoyo horizontal de cada dovela sobre la anterior (figura 184). En ocasiones están perfectamente labradas cinco de sus caras, como por ejemplo en las bóvedas escalonadas del Juego de Pelota de Copán. Dependiendo de la homogeneidad del tamaño de las dovelas, se pueden colocar en hiladas horizontales regulares o no y, según la calidad de la talla y la planeidad de las superficies obtenidas, se intercalan ripios para ir acomodando las dovelas.

Aunque no es muy común, a veces se combinan dovelas con diferentes grados de labra en una misma bóveda. En algunos casos se coloca un gran bloque bien labrado en el arranque, que resuelve el apoyo sobre el muro y define el voladizo de impostas, y el resto de la semibóveda se levanta con dovelas sin labra. Un ejemplo de ello es el Edificio A-XVIII de Uaxactún, construido en el período final del Clásico Temprano. En la Estructura 57 de Dzibilchaltún, mucho más tardía⁷⁵, sólo están labradas la primera piedra de la bóveda, que es un gran bloque horizontal, y la última, que genera la ménsula de remate. La bóveda se construye con piezas sin labrar que se revistieron con una gruesa capa de estuco (figura 185). Más adelante veremos que en algunas zonas es muy común utilizar una gran losa horizontal en el arranque de la bóveda y, sobre ésta, se colocan dovelas mucho más reducidas y optimizadas tipo cuña o tipo bota, con lo que se genera una hilada diferenciada en la línea de impostas.

Los siguientes tipos de dovelas que vamos a ver son piezas muy especializadas, es decir, que están talladas con una forma específica para su función y, por tanto, pertenecen a un desarrollo más avanzado de la técnica, que requiere un mayor conocimiento de la estereotomía. Las dovelas altamente especializadas aparecen en bóvedas de zonas geográficas y períodos temporales concretos en los que la técnica estereotómica alcanzó su máximo auge.

Dovelas tipo Petén

Las dovelas denominadas “tipo Petén” están talladas con una forma específica para su función e implican el diseño previo de la forma de la bóveda. Su nombre se debe a que son muy características de la arquitectura más avanzada del área de Petén, y seguramente exclusivas de esta zona geográfica, pues en la muestra analizada no se ha registrado ninguna bóveda con dovelas de este tipo fuera del ámbito de Petén.

Estas dovelas son grandes piezas trapezoidales bien labradas con una de sus caras preparada con la inclinación del intradós de la bóveda y las otras cuatro

⁷⁵ Está datada entre el 800 y el 850 d.C. (Maldonado Cárdenas 2010, p. 386).

caras paralelas dos a dos para disponer una dovela sobre otra en hiladas horizontales (figura 186). La parte posterior suele ser redondeada y a veces está desbastada para asegurar una correcta traba entre la hoja exterior de dovelas y el relleno interior de mampostería y argamasa. El tamaño de las dovelas varía, pero los valores más comunes están entre 25 y 35 cm de base y entre 30 y 40 cm de altura en la cara exterior, y la profundidad oscila entre los 30 y los 60 cm en la mayoría de los casos. Por lo general, este tipo de dovela ofrecía una superficie del intradós uniforme y bastante regular y sólo era necesaria una fina capa de estuco de revestimiento.

Normalmente las dovelas tipo Petén se utilizan en bóvedas rectas con una pendiente que ha sido previamente planificada y que determina su forma⁷⁶ (figura 187). En algunos edificios se construyeron con este tipo de dovelas bóvedas escalonadas de tipo inclinado, como por ejemplo en el Palacio de las Ventanas (figura 188), en el Edificio 5D-91 del Grupo de los Siete Templos, ambos de Tikal, o en el Edificio R de Nakum. Para ello, cada hilada o cada dos hiladas se colocan con un ligero voladizo sobre la anterior, lo que podría permitir utilizar las mismas dovelas para bóvedas con una proporción ligeramente distinta entre la luz, la altura de la bóveda y la dimensión interior de la tapa.

Los constructores planificarían la pendiente de la bóveda a partir de la luz y la altura de la estancia y usarían reglas empíricas para establecer los valores máximos de las inclinaciones para asegurar el equilibrio de la estructura. Parece lógico pensar que tendrían un sistema para medir las pendientes y trasladarlas a los bloques de piedra extraídos de las canteras. No hay evidencias en el área maya de trazados de monteas, pero seguramente utilizarían algún sistema de plantillas o guías para tallar este tipo de dovelas.

Por lo general, con estas piezas no era necesario intercalar ripios, pues las caras inferior y superior eran planos horizontales que permitían un adecuado acoplamiento entre las hiladas de altura regular. Sólo en algunos casos más primitivos se intercalan pequeñas lascas que permitían absorber las irregularidades de las dovelas.

Dovelas tipo cuña

Las dovelas denominadas “cuñas” tienen una cara cuadrada o rectangular bien labrada hacia el intradós de la bóveda, mientras que la parte posterior adopta diferentes formas: redondeada, triangular o con una larga espiga para trabarse con el núcleo de mampostería y argamasa (figura 189). Considerando la muestra de bóvedas disponible, esta forma de la dovela es exclusiva de las regiones Puuc y Chenes, lo que nos habla la transferencia del conocimiento constructivo en determinados períodos temporales entre estas dos áreas (véase el capítulo 8).



Figura 186. Detalle de la bóveda del cuarto 4 del Edificio 6J2 de La Blanca.



Figura 187. Bóveda en el Edificio 218 de Yaxhá.



Figura 188. Bóveda de la crujía exterior del Palacio de las Ventanas de Tikal.

⁷⁶ En los casos especiales de las bóvedas con sección recta quebrada, como las de los cuartos 1 y 2 del Edificio 6J1 de La Blanca, se tallaban dovelas con dos inclinaciones diferentes (véase el apartado 7.1.2).



Figura 189. Bóveda del Edificio 2 del Grupo Este de Kabah.

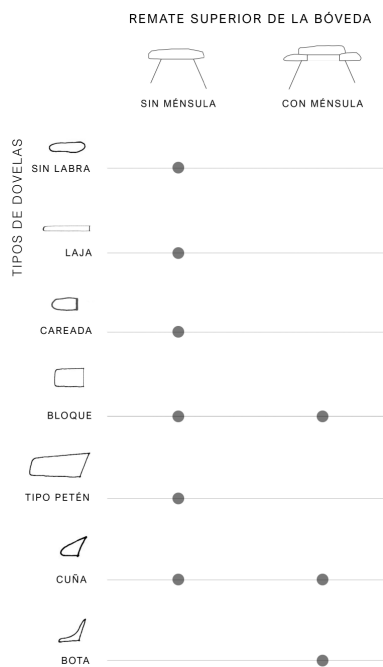


Figura 190. Tipo de remate superior de la bóveda según el tipo de dovela a partir de los datos de la muestra registrada.

Las dovelas tipo cuña, sobre todo las más perfeccionadas, no tienen superficies horizontales para ir apoyando las hiladas progresivamente, sino que sólo se tocan en las esquinas. La calidad de la talla y la perfección de los bordes es variable: en los casos más toscos se intercalan pequeñas lascas para absorber irregularidades, pero en general la superficie interior resultante suele ser bastante uniforme y lisa. Normalmente las dovelas tienen una altura uniforme, lo que permitía disponerlas en hiladas regulares. Esta uniformidad de tamaño indica que eran piezas relativamente estandarizadas, de lo que se deduce una posible sistematización del trabajo de cantería⁷⁷.

La mayoría de las bóvedas construidas con cuñas tienen forma cóncava, y en algunas ocasiones forma recta (figura 179). Gran parte de las bóvedas con este tipo de dovela, un 70% de las registradas y sobre todo en los edificios del estilo Puuc Clásico, se rematan una moldura previa a la tapa. Este detalle constructivo podría ser consecuencia de la estereotomía de las dovelas: al minimizarse la superficie de apoyo de una dovela sobre la siguiente, se coloca una pieza plana sobre la última dovela para obtener un plano de apoyo uniforme para las piezas de tapa. La figura 190 muestra que el remate en ménsula se da en bóvedas con dovelas de los tipos bloque, cuña y bota.

Otro detalle constructivo determinado por la estereotomía de las dovelas en estas bóvedas es el del arranque: sobre la coronación del muro se sitúa una gran piedra horizontal para garantizar el apoyo y, a continuación, se van colocando las dovelas en forma de cuña. Este detalle constructivo para resolver el arranque de la bóveda se da en todas las bóvedas registradas en el área Puuc con dovelas tipo cuña o tipo bota. Como resultado, en el intradós se genera una primera hilada diferenciada por su proporción que es un rasgo característico de las bóvedas de esta región, desde el Puuc Temprano y durante todo el Puuc Clásico, y que en muchos casos se lleva también a los muros testers, como veremos más adelante.

Dovelas tipo bota

En la región Puuc la tecnología constructiva de las bóvedas se fue sofisticando progresivamente hasta llegar a las dovelas altamente especializadas y denominadas “botas”. En estas piezas con sección en forma de L, la cara destinada al intradós de la bóveda es rectangular y está perfectamente labrada, y en la parte trasera inferior tiene una base para anclarse al relleno y recibir la carga vertical que la equilibra. Estas dovelas tienen en ocasiones dos caras labradas: una con la inclinación del intradós de la bóveda y otra horizontal como plano de apoyo, lo que permitiría ejecutar la bóveda por tongadas horizontales (figura 191). En otras ocasiones, el plano de apoyo no es horizontal, lo que implica una técnica diferente de puesta en obra⁷⁸.

⁷⁷ Véase en el apartado 8.1.5 la gran especialización y estandarización que se alcanzó en la construcción de los edificios del Puuc Clásico.

⁷⁸ Véase como ejemplo en el catálogo la Estructura 1 de Chacmultún.

Las bóvedas construidas con botas tienen, por lo general, formas rectas o cóncavas (figura 179). Todas las bóvedas con dovelas de este tipo se rematan con la moldura superior y se inician con una hilada de arranque formada por grandes bloques planos de apoyo sobre el muro. La máxima calidad de labra de las dovelas se alcanza en el sitio de Uxmal, en edificios como la Casa de las Tortugas, el Cuadrángulo de las Monjas o el Palacio del Gobernador. En estos edificios las dovelas se disponen en hiladas uniformes que se mantienen también en los testeros. Las juntas entre las diferentes piezas son líneas perfectamente rectas que se reducen al mínimo, y la superficie del intradós resultante es totalmente lisa, por lo que sólo requeriría una fina capa de estuco final (figura 192).

En edificios del período Floreciente Modificado de Chichén Itzá, como el Templo de los Guerreros (2D8) o el de los Tableros Esculpidos (3C16) se utilizó también la dovela en forma de bota con base horizontal, heredada de la arquitectura del estilo Uxmal Tardío, aunque esta nueva corriente introdujo importantes cambios, no sólo en el sistema constructivo, como ya hemos visto, sino también en la concepción del espacio interior abovedado (véanse los apartados 7.3.1 y 8.1.6).

Dovelas de ladrillo

Como ya se ha mencionado anteriormente, el único sitio en el que las dovelas de las bóvedas no son de piedra es Comalcalco. En el Palacio de la Gran Acrópolis de este lugar se puede apreciar que muros y bóvedas se construían en todo su espesor con ladrillos (figura 193). Algunos estaban decorados con motivos incisos que quedaban ocultos una vez colocados en obra (figura 194).



Figura 191. Dovela bota en el Palacio del Gobernador de Uxmal.



Figura 192. Bóveda del cuarto oeste de la Casa de las Tortugas de Uxmal.

Figura 193. Bóveda de ladrillo en el Palacio de Comalcalco. Fotografía de Gaspar Muñoz Cosme, 1992.

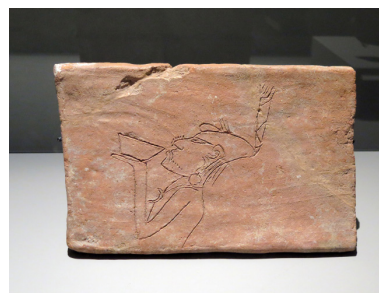


Figura 194. Ladrillo decorado con un motivo inciso procedente del Palacio de Comalcalco. Musée du Quai Branly, 2014.



Figura 195. Testero vertical en el Edificio XX de Chicanná.



Figura 196. Testero vertical en el Templo Chenes 1 de Uxmal.

⁷⁹ Véase como ejemplos el Templo 23 de la Acrópolis Norte o el Edificio 5D-86 de Tikal, datados en el Clásico Temprano. Los testeros también son verticales y sin voladizo en el Edificio A-XVIII de Uaxactún y en el E1 de Cahal Pech, situados en el final del Clásico Temprano y en la transición hacia el Tardío, respectivamente.

Las dovelas de ladrillo implican un proceso de elaboración totalmente distinto y que lógicamente no puede analizarse bajo la visión de la estereotomía. Hasta el momento no se han encontrado evidencias de los hornos que se utilizaron para la cocción de los ladrillos en Comalcalco, por lo que es posible que se fabricaran en hornos de adobe (Muñoz Cosme 2006, p. 63). Las bóvedas de ladrillo son una excepción en el área maya, pero vale la pena señalarla y observar que, aunque se usara un material distinto como es el ladrillo, los mayas utilizaron el mismo sistema de bóvedas de aproximación de hiladas horizontales, y no se buscó una solución diferente que pudiera aprovechar mejor las ventajas del material.

7.2.3.2. La estereotomía de los muros testeros

Tal y como veíamos anteriormente, los lados cortos de la bóveda, denominados testeros o hastiales, son generalmente verticales o presentan una ligera inclinación hacia el interior, que en la gran mayoría de los casos es menor que la de las semibóvedas, con valores que oscilan entre los 70° y los 90° sobre la horizontal (figura 151). Es por ello que estos dos lados se construyen, por lo general, como muros y con sillares, y no con dovelas como las semibóvedas, aunque hay algunas excepciones.

La solución más sencilla es la de los testeros construidos como muros verticales, con dos hojas de sillares y un relleno interior, como una fábrica continua desde el piso hasta la tapa (figura 195). En algunos casos las bóvedas se construían corridas y posteriormente se dividían en varias estancias contiguas con muros hastiales que se adosan a la bóveda (figura 153). En otros casos se puede apreciar una diferencia en el aparejo o en el tamaño de los sillares de los hastiales a partir de la línea de impostas, lo que puede indicar que primero se construían los cuatro muros de la estancia y en una etapa de la obra posterior, las semibóvedas y los testeros verticales (figura 196).

Los testeros totalmente verticales y sin voladizo en la línea de impostas son característicos de la arquitectura de las áreas de Río Bec y Chenes. Aparecen también en varios sitios del Norte de Yucatán como Dzibilchaltún o Ek Balam y en la Costa del Caribe, como por ejemplo en Cobá. En edificios de épocas tempranas del área de Petén⁷⁹ los testeros también se construyen de esta forma sencilla, mientras que en la arquitectura petenera clásica la construcción de estos lados cortos es más sofisticada, como veremos más adelante.

En otros casos el testero es vertical, pero presenta el voladizo de arranque en la línea de impostas. En el área Puuc esto es común desde épocas tempranas, y puede indicar que el proceso constructivo se dividía en dos partes diferenciadas: la construcción de los cuatro muros perimetrales de las estancias y,

posteriormente, los cuatro lados de la bóveda. Como en esta zona los sillares de los muros se fueron estrechando hasta convertirse en placas de piedra de poco espesor, los hastiales arrancan con una pieza horizontal y de mayor tamaño que resuelve el apoyo sobre el muro y, sobre esta, se construye el testero como otro muro vertical de dos hojas y relleno (figura 197). Esto genera una hilada diferenciada de menor altura en la línea de impostas al igual que ocurre en las semibóvedas. En los edificios del área Puuc con la tecnología constructiva más avanzada, como por ejemplo el Palacio del Gobernador o la Casa de las Tortugas, las hiladas son coincidentes en testeros y en semibóvedas, lo que indica que se construían los cuatro lados de la bóveda simultáneamente y por hiladas y que se tallaban dovelas y sillares de testeros altamente especializados y con las dimensiones específicas de cada hilada (figura 192).

En las Tierras Bajas Mayas son mucho más frecuentes los testeros con sección inclinada, tanto en la cuenca del río Usumacinta como en Petén. Se inician con un voladizo de arranque al igual que las semibóvedas y se construyen ligeramente inclinados hacia el interior de la estancia, lo que debió responder a una voluntad estética, pues aparentemente no existe ninguna razón constructiva o estructural para ello. Una hipótesis es que la inclinación de los testeros tuviera un carácter simbólico y respondiera a la trasposición en piedra de la forma del espacio doméstico de la choza de materiales perecederos⁸⁰. En Palenque y en otros sitios del área del Usumacinta como Yaxchilán o Bonampak, los testeros se construyen con lajas alargadas que se colocan en voladizo progresivo, y se cubren con una gruesa capa de estuco de regularización que genera un acabado liso (figura 198). En la arquitectura del período Clásico Tardío de Petén los testeros se construyen, por lo general, con sillares con forma de paralelepípedo y un relleno de mortero y argamasa, al igual que los muros, pero con inclinación hacia el interior de la estancia, lo que hace más compleja su ejecución. En algunos casos, y tal y como ocurre también en los muros, se intercalan sillares de canto que funcionan como llaves de atado al relleno. Se han registrado ejemplos de ello en los sitios de Nakum y La Blanca (figura 199).

Sólo en algunos ejemplos singulares se han registrado testeros construidos con dovelas tipo Petén y, por lo general, estas piezas están labradas con una inclinación menor que las dovelas de las semibóvedas. Son ejemplos de ello las bóvedas del Palacio de las Ventanas de Tikal, tanto las de la crujía interior, que son de sección recta, como las escalonadas de la crujía exterior. También se han registrado casos de dovelas tipo Petén en testeros en algunos edificios de la Acrópolis Central como el 5D-50 o el 5D-54, en uno de los cuartos de la Pirámide de los Mascarones de Naranjo y en el Edificio I de Nakum, por lo que es probable que existan más ejemplos.



Figura 197. Testero vertical con voladizo en Kankí.



Figura 198. Interior de la Estructura 3 de Bonampak.



Figura 199. Testero de la bóveda del cuarto 14 del Edificio 6J2 de La Blanca.

⁸⁰ Véase al respecto el apartado 7.4.2.



Figura 200. Cuarto 8 del Edificio 3E1 de Chilonché.



Figura 201. Sillar en esquina en el Edificio I de Nakum.

En los Edificios 3E1 de la Acrópolis de Chilonché y en la Subestructura 6J2-SUB 2 de la Acrópolis de La Blanca se han registrado bóvedas con los cuatros lados construidos por dovelas y, además, con inclinaciones similares en testeros y semibóvedas. En los cuartos 1, 5 y 8 del Edificio 3E1 de Chilonché se da además la singularidad de que son bóvedas de planta aproximadamente cuadrada, por lo que cabría la posibilidad de considerar como cúpulas estos casos singulares de bóvedas de cuatro lados equivalentes con además inclinaciones iguales y dovelas en los cuatro lienzos (figura 200).

Un detalle estereotómico muy singular se ha identificado en dos estructuras de los sitios de Nakum y La Blanca. En una de las bóvedas del Edificio I de Nakum y en el cuarto 2 del Edificio 6J1 de La Blanca se han registrado sillares en esquina labrados con doble inclinación, la de la semibóveda y la del testero (figura 201). Esta solución peculiar que resuelve el encuentro en una sola pieza deja poco margen a los errores y demuestra los avanzados conocimientos de estereotomía que tenían los constructores de estos edificios (Muñoz Cosme, Vidal Lorenzo y Perelló Roso 2008, p. 337). Además, pone en relación a los sitios de Nakum y La Blanca, en los que se han encontrado, además de este detalle, otros rasgos constructivos comunes, como los tamaños de sillares y dovelas o los aparejos de las fábricas con llaves de atado al relleno. A partir del estudio comparativo de edificios con cronologías similares en ambos sitios podrían establecerse hipótesis sobre influencias y relaciones entre estos dos enclaves, así como de una posible transferencia de la técnica constructiva.

7.2.3.3. La estereotomía en las bóvedas escalonadas

Ya hemos visto que, desde el punto de vista de la forma de la sección transversal, las bóvedas escalonadas pueden dividirse en dos tipologías: con escalonamientos verticales y con escalonamientos inclinados. Esta característica formal depende fundamentalmente del tipo de dovela utilizado (figura 202). Los escalonamientos inclinados están formados bien por dovelas tipo Petén, que ya tienen la inclinación previamente labrada⁸¹, o bien con lajas que, por su reducido espesor, pueden ir colocándose progresivamente en voladizo y generar un lienzo inclinado que posteriormente se alisaba con estuco⁸². Los escalonamientos verticales se logran principalmente con dovelas careadas y de tipo bloque, que tienen al menos una cara plana horizontal que puede formar el escalonamiento en el intradós⁸³. También existen bóvedas escalonadas construidas con dovelas sin labra, normalmente en edificios de épocas tempranas, como por ejemplo las del Satunsat de Oxkintok o las del Edificio Sur de Kankí (figura 203). No se han hallado casos de bóvedas escalonadas construidas con cuñas o botas que, por su forma con bordes perfilados, no pueden formar escalonamientos.

⁸¹ Véanse como ejemplos el Palacio de las Ventanas o la Estructura 5D-91 de Tikal.

⁸² Véase como ejemplo el Edificio 74 de Yaxchilán.

⁸³ Véanse como ejemplos la Estructura E-X de Uaxactún o el Juego de Pelota de Copán.

Desde el punto de vista de la estereotomía, cada escalonamiento puede estar formado por una sola dovela o por dos o más piezas, lo que hemos denominado como “escalonamiento simple” y “escalonamiento múltiple”, respectivamente (figura 131). Las dovelas que forman cada escalonamiento en el tipo “múltiple” a veces son varias piezas iguales, como por ejemplo lajas superpuestas o dos dovelas tipo Petén. Otras veces en cada escalonamiento se combinan dos tipos de dovelas. En la base de datos se han registrado los siguientes casos:

- Una pieza sin labra alargada y una hilada de lascas o ripios, como en el Edificio Sur de Kankí (figura 203).
- Una dovela careada y una hilada de piedras pequeñas sin labra como en las bóvedas del E-X de Uaxactún (figura 129).
- Una piedra horizontal alargada y otra vertical de poco espesor. Esta combinación se da en varios edificios de Oxkintok como la Estructura 2 del Grupo Ah Canul o el Edificio 3B5 (figura 204).

En cuanto a los testeros de las bóvedas escalonadas, se dan también diferentes situaciones. En algunas los testeros son verticales, como por ejemplo en los casos que hemos visto de Kankí o del Edificio E-X de Uaxactún. En otras, los testeros tienen los mismos escalonamientos que las semibóvedas. De entre las bóvedas registradas en la base de datos, un 42% pertenecen al primer grupo y un 58% al segundo.

En los casos de testeros escalonados, se dividen, al igual que las semibóvedas, en escalonamientos de tipo vertical o en escalonamientos de tipo inclinado. Normalmente los testeros escalonados se construyen con las mismas dovelas que las semibóvedas. En los casos de bóvedas escalonadas con dovelas tipo Petén, las piezas de los testeros están labradas con una inclinación menor que las de las semibóvedas. Así, tanto en el Palacio de las Ventanas de Tikal como en el Edificio R de Nakum, las dovelas de las semibóvedas tienen una inclinación de 74° sobre la horizontal, mientras que las de los testeros es de 80°. De esto se puede deducir que cada pieza se labraba con una geometría específica según su posición en la bóveda, es decir, que eran piezas especializadas, por lo que el despiece de la bóveda estuvo planificado antes de la construcción.



Figura 202. Tipos formales de bóvedas escalonadas según el tipo de dovela.

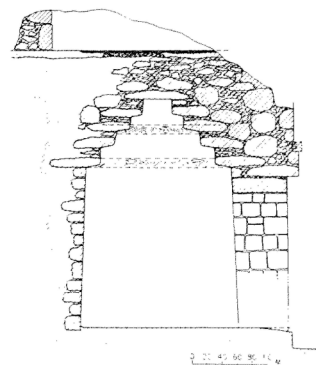


Figura 203. Sección del Edificio Sur de Kankí según Pollock (1980, p. 526).

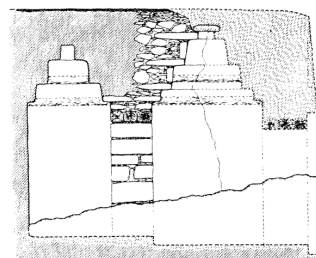


Figura 204. Sección del Edificio 3B5 de Oxkintok según Pollock (1980, p. 306).

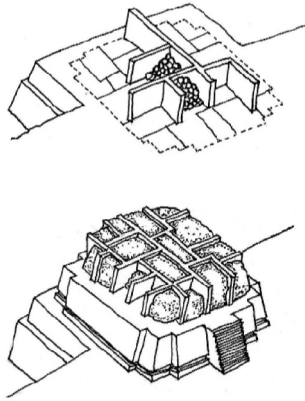


Figura 205. Sistema de encajuelado de un basamento según G. Muñoz (2006, p. 92).

7.2.4. El proceso constructivo de los edificios abovedados

La construcción maya se caracteriza por tener un carácter masivo y buscar la transmisión vertical de las cargas a través de planos de apoyo horizontales entre los diferentes elementos constructivos. Como sistema de cimentación los mayas utilizaban sólidas y extensas plataformas horizontales sobre las que distribuían conjuntos de edificios y espacios urbanos. Usaban este sistema para lograr superficies planas que normalmente se estucaban, y sobre las que construían los basamentos de los edificios, formados por grandes volúmenes de piedra rellenos mediante un sistema celular conocido como encajuelado, una técnica que permitía consolidar y dar solidez a los enormes volúmenes de las plataformas piramidales. El sistema de encajuelado consiste en construir una trama de muros de entre dos y cuatro metros de altura, situados en uno o varios niveles superpuestos, para delimitar espacios más reducidos que se rellenaban con mampostería y argamasa y se compactaban (figura 205). Las caras exteriores de cada uno de estos niveles se revestían con una hoja de sillería bien tallada, a veces con llaves de atado para asegurar su unión con el relleno posterior. Cada vez que se finalizaba uno de estos cuerpos, la cara superior se nivelaba y estucaba, formando ligeras pendientes para la evacuación del agua en las superficies que quedaba expuestas a la intemperie (Muñoz Cosme 2006, p. 92).

Sobre los basamentos o plataformas construían un zócalo de entre 20 y 50 cm de altura que recoge toda la planta del edificio y que servía para elevar ligeramente la construcción⁸⁴ (figura 206). Este elemento genera la primera parte de

Figura 206. Palacio Maler en la Acrópolis Central de Tikal.



⁸⁴ En algunos casos se han hallado cimentaciones lineales bajo los muros de carga. Véase al respecto el caso del Edificio II de Chicanná (Gendrop 1983, p. 17) o el muro de cimentación del Edificio Este de las Monjas de Uxmal (Huchim Herrera y Toscano Hernández 1998, p. 736).

la composición tripartita típica de las fachadas, formada por: el zócalo inferior, a veces decorado con una moldura basal; la parte inferior de la fachada; y, por último, el friso, enmarcado por las molduras media y superior, que recorren perimetralmente el edificio.

Generalmente el zócalo inferior está formado por un relleno de piedras grandes sin labrar mezcladas con argamasa (Huchim Herrera y Toscano Hernández 1998, p. 734). Se finalizaba con una capa de entre 10 y 15 cm de espesor de piedras pequeñas redondeadas y tomadas por una gruesa capa de mortero, lo que resultaba una superficie regular y plana que se revestía de estuco y formaba el piso (Prem 1995, p. 33). Sobre esta superficie estucada se levantaban los muros verticales del edificio. Esta forma de construir, rematando cada fase del proceso con capas de estuco, determina la manera de proceder de la investigación arqueológica, en la que estos niveles marcan pisos o fases constructivas diferenciadas.

La construcción de los muros

Normalmente los muros verticales están compuestos por dos hojas exteriores de sillares cuya forma, tamaño y calidad de talla varía según la zona geográfica y la cronología del edificio. En el interior de estas dos hojas se disponía un relleno interior de mampostería y argamasa de cal. Los muros se levantaban verticales hasta el nivel de apoyo de la cornisa media del edificio, con zonas de menor altura a los dos lados de las puertas para el apoyo de los dinteles. Tanto sobre la coronación de los muros como sobre las camas de los cargaderos de los vanos se ha hallado en varios casos otra capa de estuco que remataba esta fase de la obra y que servía como regularización, protección e impermeabilización de la superficie finalizada (figura 207). Esta secuencia fue analizada por H. Stanley Loten (1991) para los edificios de Tikal, donde hoy en día se



Figura 207. Edificio Q de Nakum. Se aprecia el aplanado de estuco en la coronación de los muros.



Figura 208. Detalle de la capa de estuco sobre la cama de los dinteles en el Edificio R de Nakum.

observa con claridad esta fase intermedia de la construcción en algunos edificios que han sufrido un derrumbe parcial⁸⁵. En la toma de datos realizada se han documentado, tanto en Tikal como en otros sitios de Petén como Nakum o La Blanca, restos de esta capa de estuco sobre la cama de apoyo de los dinteles (figura 208).

En otras zonas como el área Puuc también se empleaba esta práctica constructiva por etapas. Según Pollock (1980, p. 572), desde épocas bastante tempranas se ha podido documentar una capa de estuco sobre los muros, situada en el punto de apoyo de las piezas que forman la moldura media. Esta protección les permitiría detener la obra en esta fase intermedia hasta que el mortero de cal de los rellenos de los muros hubiese fraguado y endurecido suficientemente, posiblemente, según Pollock, a lo largo de la temporada seca, cuando los recursos de agua en la zona norte de Yucatán eran escasos para continuar con el proceso de la obra.

En la parte alta del muro se dejaban en muchos casos unos orificios pasantes o mechinales que probablemente servían para apoyar la estructura auxiliar para la construcción de la fachada. Asimismo, podrían utilizarse de la misma manera durante la vida útil del edificio, para el mantenimiento periódico de los revestimientos de estuco de los frisos, tal y como propone Paul Gendrop (figura 160). En varios edificios de Uxmal como el Palacio del Gobernador, la Casa de las Tortugas o los del Cuadrángulo de las Monjas, estos mechinales son fácilmente visibles, se sitúan justo debajo de la cornisa media y tienen forma rectangular, tallada en los sillares del muro (figura 209). En sitios de Petén como

Figura 209. Fachada este de la Casa de las Tortugas de Uxmal, donde se aprecian los mechinales bajo la cornisa media.



⁸⁵ Véase como ejemplos los edificios 5D-49, 5D-54 y 5D-62 de la Acrópolis Central de Tikal.

Nakum, La Blanca y Tikal también se han documentado estos huecos situados una o dos hiladas bajo la cornisa media, a la altura de los dinteles de las puertas (figuras 210 y 211). En los edificios de esta área los mechinales se duplican y aparecen también en la parte baja del muro, por lo que es posible que ambos orificios formaran parte del sistema de andamiaje para la construcción y para el posterior mantenimiento⁸⁶. En algunos casos como en el Grupo G de Tikal o en el Edificio 6J2 de La Blanca, se ha comprobado que coinciden con los muros transversales que dividen los cuartos, lo que garantizaría un mejor apoyo de las estructuras auxiliares de madera (figura 211).



Figura 210. Fachada principal del Palacio Maier de Tikal.

Figura 211. Edificio del Grupo G de Tikal.

La construcción de las bóvedas

Sobre la parte externa de la coronación de los muros y rodeando todo el edificio se situaba la cornisa media, un elemento universal en la arquitectura maya, que genera una línea horizontal dominante en la fachada. Esta moldura está formada por una hilada de piedras rectangulares bien labradas (figura 210) o por varias hiladas de piezas que forman diseños específicos, como el típico lazo de la arquitectura del Puuc Clásico (figura 209). En el área del Usumacinta y especialmente en Palenque, en cambio, son características las cornisas medias angulosas, formadas por lajas horizontales superpuestas o sillares de aristas perfiladas.

Sobre la parte interna del muro se sitúa, por lo general, una hilada de sillares previa al arranque de la bóveda⁸⁷. Esta última hilada es en muchos casos fácilmente diferenciable del resto del muro por las proporciones de los sillares, que

⁸⁶ Stanley Loten (1991) propone una hipótesis sobre el uso de estos orificios para el apoyo de las estructuras auxiliares utilizadas durante la construcción.

⁸⁷ Existen también algunos casos en que la primera dovela se sitúa en el mismo plano horizontal de apoyo que la cornisa media.

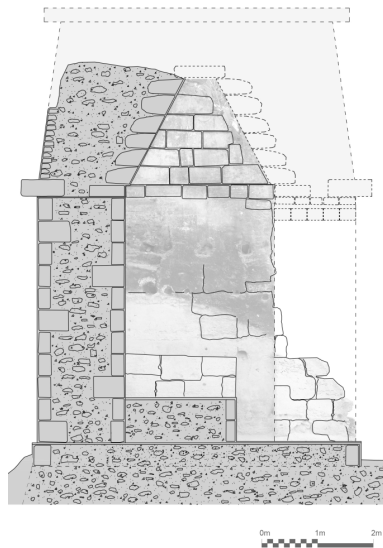


Figura 212. Sección constructiva del cuarto 14 del Edificio 6J2 de La Blanca.



Figura 213. Detalle del retranqueo previo al arranque de la bóveda que se da en algunos edificios del Puuc.

suelen tener una menor altura (figura 212). En algunos edificios del área Puuc esta hilada previa al arranque aparece ligeramente retranqueda respecto del plano vertical del muro (figura 213), por lo que algunos autores (Spinden 1975, p. 109; Prem 1995, p. 36) deducen que pudo situarse en este punto una viga de madera auxiliar sobre la que se colocaba la primera piedra de la bóveda⁸⁸.

El sistema de ejecución de la bóveda debió depender, fundamentalmente, de la estereotomía de las piezas que la forman que, como ya hemos visto, es muy variable en las distintas áreas geográficas y según la cronología del edificio. En los casos en que las bóvedas están formadas por piedras sin labrar, éstas irían colocándose progresivamente, acomodadas con ripios y contrapesando cada hilada. Las bóvedas con dovelas especializadas tipo Petén, con forma paralelepípeda y una cara labrada con la pendiente del intradós, se levantarían por hiladas horizontales, asegurando su correcta traba con el relleno posterior, que actúa gravitatoriamente para ir contrapesando el volumen a medida que aumenta la altura.

En el área Puuc, con el avance de la tecnología constructiva, las dovelas se fueron reduciendo y especializando progresivamente, hasta convertirse en lo que podríamos denominar un “encofrado permanente” del relleno. Los términos “chapado” o “revestimiento” no resultan adecuados para este caso, pues tanto los sillares de los muros como las dovelas en las bóvedas se disponen previamente al relleno, como un encofrado que permanece embebido en la fábrica. El proceso constructivo se realizaría por niveles horizontales, siguiendo los principios del sistema de aproximación de hiladas, pero finalmente el conjunto forma una unión solidaria y funciona como un elemento monolítico, lo que supone un cambio muy significativo en el sistema estructural. Por la verticalidad de los muros los sillares puuc pudieron adquirir la forma de finas placas que sólo se tocan entre sí en los bordes. Las dovelas, en cambio, al construirse el intradós con cierta inclinación, requerían de una espiga posterior para anclarse adecuadamente al relleno, de ahí que las más avanzadas adquieren la forma de bota. En los edificios con la técnica más perfeccionada, como la Casa de las Tortugas o el Palacio del Gobernador de Uxmal, cada hilada de los cuatro lados de la bóveda se construía a la vez, lo que se deduce de la coincidencia de altura en las hiladas de semibóvedas y testeros (figura 154). Para construir estas bóvedas se necesitarían medios auxiliares como guía y apoyo del encofrado pétreo y para sostener la estructura hasta que los rellenos hubieran fraguado y adquirido resistencia suficiente.

Lo que parece bastante general es que en la construcción de las bóvedas normalmente prima la traba entre las dovelas y el relleno posterior que la trabazón entre las propias dovelas en el plano del intradós. Es por ello que en muchos

⁸⁸ Véase como ejemplo el cuarto 1 de la Estructura 2C3 del Grupo Este de Kabah.

casos en los que las dovelas están labradas y tienen una forma especializada, ya sea de bloque, cuña o tipo Petén, el aparejo de las semibóvedas carece de traba y las dovelas se sitúan en una retícula en la que las juntas verticales tienen continuidad (figura 214), aunque hay algunas excepciones.

Independientemente de las variaciones en la tecnología constructiva, en numerosos edificios abovedados se conservan las huellas de los morillos, unas vigas de madera que atravesaban las bóvedas a distintas alturas y cuyos extremos se introducían en el relleno de ambas semibóvedas. Al ser de un material perecedero, la mayoría han desaparecido, y en la actualidad permanecen los huecos donde se empotraban en el intradós de las bóvedas. Aunque no existe consenso sobre su función, parece evidente que formaban parte del proceso constructivo y de los medios auxiliares que se necesitaban y, una vez acabado el edificio, podían utilizarse también como elementos funcionales de mobiliario interior de las estancias. El siguiente epígrafe trata específicamente sobre estos pasadores de madera.

En el capítulo 8 se analizan los rasgos específicos y diferenciadores de las bóvedas de cada área geográfica, así como su evolución en el tiempo. El tipo de material pétreo y la técnica estereotómica utilizados en cada caso determinaron las diferencias en el proceso constructivo entre unas regiones y en otras, y éstas, a su vez, condicionaron los rasgos formales, geométricos y estilísticos de los edificios.

Una vez construidas ambas semibóvedas, rematadas con la moldura o ménsula superior en algunos casos (véase la figura 190), se colocaba la hilada de losas que forman la tapa. Estas piedras estaban previamente estucadas, y a veces la pieza central estaba decorada con la imagen de una deidad, una práctica simbólica que se analiza en el apartado 7.4.1. En algunos edificios de Petén de los sitios de Tikal (Loten 1991, p. 31) y La Blanca se ha podido documentar que el interior de la estancia se estucó previamente a la colocación de las tapas: la capa de estuco del intradós de la bóveda gira sobre la superficie de la última dovela y, sobre ésta, se coloca la tapa previamente estucada, con lo que todo el interior quedaba perfectamente revestido (figura 215).

Normalmente el trasdós de la bóveda se construía como una fachada provisional ligeramente inclinada hacia el interior, revestida con piedras sin labra (Prem 1995, p. 35) y en algunos casos también estucada o con un revestimiento burdo de estuco (Loten 1991, p. 31; Huchim Herrera y Toscano Hernández 1998, p. 731). Una vez concluida la bóveda, se procedía a la construcción de la fachada exterior, que según el caso tenía una mayor o menor inclinación y decoraciones de piedra o estuco. En los edificios construidos de este modo,



Figura 214. Aparejo de las dovelas sin traba en el plano del intradós en la bóveda del cuarto 2 del Palacio de Oriente de La Blanca.



Figura 215. Detalle del remate de la bóveda del cuarto 3 del Edificio 6J2-Sub2 de La Blanca, donde se aprecia la tapa previamente estucada.

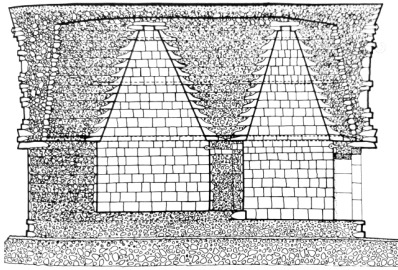


Figura 216. Sección constructiva del Palacio del Gobernador de Uxmal según J. Kowalski (1987, p. 101).



Figura 217. Detalle de la fachada oeste del Palacio del Gobernador de Uxmal.



Figura 218. Fachada del ala sur del Palacio de Labná.

entre la bóveda y la fachada se produce una junta seca que ha provocado que, en numerosas ocasiones, tras el deterioro de la estructura, la totalidad o parte de la fachada exterior no se conserve y hoy en día sea visible el trasdós de las bóvedas, como en una fase intermedia de la construcción del edificio (figuras 216 y 217).

Sin embargo, no en todos los edificios existe esta junta constructiva. En los casos en que el friso de la fachada era un plano liso estucado sin decoración volumétrica, construir de forma unitaria todo el volumen de la bóveda hasta la fachada exterior ayudaba a la estabilidad durante la ejecución, pues se contaba con un volumen mayor para contrapesar la bóveda. Tal es el caso de algunos edificios de Petén como por ejemplo el Edificio N de Nakum, o los edificios 6J1 y 6J2 de la Acrópolis de La Blanca, en los que se han conservado restos de la fachada superior de los edificios, formada por una cara de sillarejos de poco tamaño que eran recubiertos con una gruesa capa de estuco (figura 212). Esto también ocurre en algunos edificios del área Puuc con fachadas lisas, como por ejemplo el ala sur del Palacio de Labná (figura 218), clasificada como de estilo Puuc Temprano, o el ala norte del Cuadrángulo de los Pájaros de Uxmal (Huchim Herrera y Toscano Hernández 1998, p. 731).

Tal y como veremos en el apartado 8.1.2, en los edificios de Palenque el trasdós de las bóvedas coincide con la fachada del edificio: se trata de un plano muy inclinado que se decoraba con modelados de estuco. Por la forma tan inclinada del friso de las fachadas, tradicionalmente se les ha comparado con la forma de las mansardas parisinas (Holmes 1895, p. 160-161).

La construcción de la cubierta del edificio

Una vez terminadas las bóvedas y la fachada superior, se construía la cubierta del edificio, rematada con una superficie plana muy resistente hecha de mortero de cal y pequeñas piedras, y con una forma ligeramente arqueada para la evacuación del agua de lluvia. La impermeabilidad de la superficie se conseguía mediante una capa pulida de estuco de cal (Pollock 1980, p. 578). El espesor del relleno de la cubierta es muy variable y depende de cada edificio. Pollock documentó ejemplos en el área Puuc desde 0,30 hasta 1,00 m, siendo los valores normales en esta área los 50-60 cm (Pollock 1980, p. 578).

Sobre la cubierta se construía en algunos casos la crestería, un elemento ornamental que tenía funciones simbólicas y también estructurales, pues ejercía una acción centradora de las cargas verticales, contribuyendo a la estabilidad del edificio y de las bóvedas. Las cresterías se dan en todo el territorio de las Tierras Bajas y tienen diferentes formas y tipos de decoraciones: modelados

de estuco, perforaciones, molduras y diferentes motivos geométricos labrados en piedra. Paul Gendrop (1997, p. 64) realizó una clasificación regional según su tamaño, forma, decoración y posición en la cubierta del edificio, que varía entre: la parte posterior en las de “tipo Petén”, el muro intermedio del edificio en las de “tipo Palenque” y las apoyadas sobre la fachada delantera del edificio, características del “tipo peninsular” (figura 219). La posición de la crestería influye, lógicamente, en el sistema estructural del edificio, y en muchos casos ha determinado su forma de colapso y su estado de conservación actual, como veremos más adelante.

7.2.4.1. Los travesaños o morillos

Como ya se ha mencionado, en numerosos edificios abovedados mayas se conservan las huellas de los morillos, unas vigas de madera que atravesaban las bóvedas a distintas alturas. Al ser de un material perecedero, la mayoría han desaparecido y en la actualidad permanecen los huecos donde se empotraban en el intradós de las bóvedas (figura 220). La distribución y la cantidad de los morillos en cada bóveda es muy variable. Por lo general, existe una hilada cercana a la línea de impostas y, según la altura de la bóveda, una, dos o tres hiladas más, muchas veces con los huecos situados al tresbolillo. Desde los primeros estudios sobre la arquitectura maya numerosos autores han especulado sobre su posible función y aún hoy no existe un consenso general sobre la razón de estas vigas de madera. Varios investigadores les han atribuido una función estructural como refuerzo de la bóveda, otros los consideran elementos auxiliares durante el proceso constructivo y algunos defienden que solamente tuvieron un uso práctico de mobiliario interior, o bien, que combinaron varias de estas funciones.



Figura 219. Crestería apoyada sobre la fachada delantera en la Estructura 4 de Labná.



Figura 220. Edificio 74 de Yaxchilán.

Sobre la función de los morillos. Estado de la cuestión

Ya en 1843, John Lloyd Stephens en *Incidents of Travel in Yucatan* llamó la atención sobre los morillos conservados en uno de los cuartos del Palacio del Gobernador de Uxmal y aventuró la primera hipótesis sobre su uso, relacionada con la estabilidad de la estructura durante el proceso constructivo: “Across the arch were beams of wood, the ends built in the wall on each side, which had probably been used for the support of the arch while the building was in progress” (Stephens 1843, p. 176). Posteriormente, varios autores como W. H. Holmes (1895, vol. I, p. 49), Lawrence Roys (1934) o J. Eric S. Thompson (1967, p. 188) han defendido la función estructural de estas vigas de madera durante el proceso de construcción de las bóvedas y hasta que se coloca la tapa y el relleno superior.

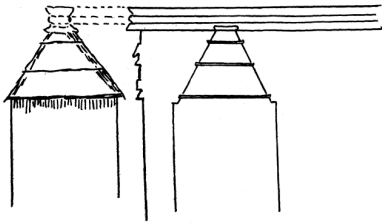


Figura 221. Trasposición en piedra de la choza según E. H. Thompson (1911, p. 514).

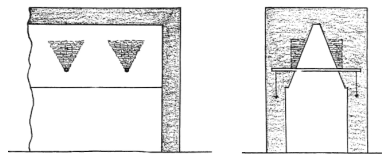


Figura 222. Forma de trabajo de los morillos según L. Roys (1934, p. 52).

Edward H. Thompson, en *The Genesis of the Maya Arch* (1911), introduce la idea de que la bóveda maya es la trasposición en piedra del espacio doméstico de la choza, la vivienda tradicional maya (figura 221). En esta referencia simbólica, que ha sido apoyada por muchos autores y que está basada en varios aspectos como la forma del interior de los espacios o algunos motivos iconográficos de las fachadas (véase el apartado 7.4.2), los morillos serían, según Thompson, solamente restos o evidencias de esta trasposición y no tendrían una función práctica (Thompson 1911, p. 514).

En contraposición con esta idea, Lawrence Roys, en *The Engineering Knowledge of the Maya* (1934), analiza la distribución, la forma y la longitud de empotramiento de los morillos y concluye que estos pasadores de madera tuvieron una función estructural y constructiva para evitar el vuelco de las semibóvedas y sostener la fábrica hasta que el relleno hubiera endurecido (Roys 1934, p. 50). Consciente de que se trata de elementos puntuales que no pueden sostener el volumen de forma superficial como lo haría un encofrado, analiza qué carga soportaría cada travesaño y lo contrasta con las distribuciones de huecos de morillos de las que disponía, argumentando que los tramos empotrados en el relleno conducirían las cargas verticales hacia los muros (figura 222). Además, defiende que los morillos permitieron a los constructores mayas ampliar la luz de las estancias y que funcionaban como tirantes para evitar el vuelco de los muros verticales hacia el exterior. Sin embargo, Roys reconoce que la existencia de bóvedas sin morillos pone en duda este argumento, y sugiere que seguramente los arquitectos mayas no analizarían en qué medida exacta los morillos contribuían a la estabilidad de las bóvedas, pero que comprendían que su omisión podía ser problemática (Roys 1934, p. 53).

Harry E. D. Pollock (1937, p. 299), en su estudio arquitectónico y constructivo sobre los Edificios E-X y A-XVIII de Uaxactún, apunta que estos travesaños que atraviesan las bóvedas no tendrían la función de estabilizarlas, sino que se habrían usado durante el proceso constructivo. Sin embargo, en su minuciosa obra sobre la arquitectura del área Puuc (Pollock 1980, p. 576) matiza esta idea y apunta que los morillos podrían tener varias funciones. Documenta y analiza las distribuciones más comunes de estos pasadores en las bóvedas Puuc y sugiere que podrían formar parte del sistema de andamios y soportes durante la construcción de la bóveda, así como contribuir a la estabilidad una vez terminada la construcción (figura 223). Además, afirma que, a parte de la función estructural y constructiva, también habrían tenido otras funciones prácticas relacionadas con los utensilios domésticos (Pollock 1980, p. 19).

En este sentido, Henri Stierlin apunta que, si sólo hubieran tenido una función constructiva no habrían permanecido en los edificios durante su vida útil, y menciona los morillos decorados de Tikal para argumentar que, si bien podían cumplir una función estructural o constructiva, debieron tener además un uso posterior como mobiliario interior para colgar cortinas o almacenar utensilios (Stierlin 1964, p. 135-136).

Son varios los autores que defienden que no tenían función estructural y que formaban parte de los andamios y medios auxiliares utilizados durante la construcción. Uno de ellos es Stanley Loten (1991, p. 31), que propone una secuencia del proceso constructivo de los edificios de Tikal, en la que los morillos forman parte de la estructura auxiliar que sirve de guía para la construcción de la bóveda (figura 224). Hans Prem (1995, p. 36-37) duda de que estos travesaños, por su disposición y distribución, hubieran cumplido una función estructural durante la construcción y también una vez el edificio estaba terminado. Propone que sirvieron como andamios y plantea si podrían formar parte de un sistema de cimbra o encofrado en el que se apoyaran las dovelas especializadas del Puuc hasta que el relleno hubiera fraguado y endurecido. Además, les asigna una función posterior como parte del mobiliario de la estancia.

Óscar Quintana y Raúl Noriega (1992, p. 61) destacan la existencia de morillos en las bóvedas del interior de la gran crestería del Templo V de Tikal. Estas cámaras abovedadas inaccesibles e inhabitables servían para aligerar el peso de los grandes volúmenes de las cresterías de estos templos (Muñoz Cosme 2006, p. 80), y la presencia de travesaños en su interior demuestra que su función principal era constructiva, pues en este caso no se pudieron utilizar como almacenamiento o para colgar cortinajes (figura 225). Según Quintana (2013, p. 172), en los casos de bóvedas de estancias palaciegas que sí eran habitables, tras utilizarse en el proceso de construcción de los edificios, los morillos podrían funcionar

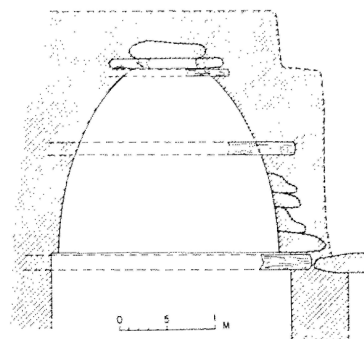


Figura 223. Bóveda en el ala este del Palacio de Labná. Tomada de H. E.D. Pollock (1980, p. 29).

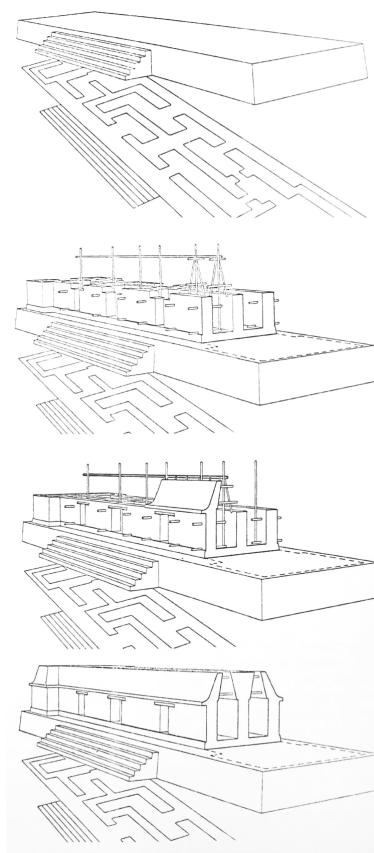


Figura 224. Proceso constructivo de un edificio abovedado de Tikal según S. Loten (1991).

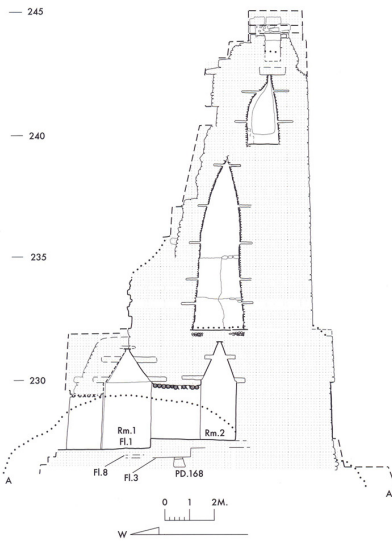


Figura 225. Sección de la crestería del Templo VI de Tikal según S. Loten (2017). Se observan las huellas de los morillos en las cámaras de aligeramiento de la crestería.

como mobiliario interior para colgar objetos o colocar tarimas temporales para realizar reparaciones en el estuco o en la pintura del techo.

Sin embargo, en estudios también recientes, tanto Alejandro Villalobos (2001, p. 12) como Hasso Hohmann (1979, p. 35; 2017, p. 122) rechazan la función estructural de los morillos y proponen que tenían un uso práctico como mobiliario y para colgar utensilios, tal y como ocurre en el espacio doméstico con las vigas de madera de la cubierta. En su minucioso estudio sobre el Palacio de Santa Rosa Xtampak, Hasso Hohmann detalla las posibles funciones de mobiliario que podrían ejercer los morillos en este edificio de tres plantas y múltiples estancias, datado entre el 700 y el 750 d.C. (Hohmann 2017, p. 135). En este caso las bóvedas tienen dos hiladas de morillos: una inferior, situada, por lo general, sobre la línea de impostas, y una superior bajo la ménsula de remate. Hohmann propone que los morillos inferiores servirían para colgar cortinajes que dividirían las estancias, para suspender objetos de uso diario o bien, y especialmente cuando los morillos se duplican⁸⁹, para sujetar objetos pesados como por ejemplo hamacas⁹⁰. Los morillos de la fila superior se usarían, según el autor, para sostener y almacenar bienes cuyo uso no era frecuente, tal y como ocurre en las casas de estructura de madera (Hohmann 2017, p. 122-125).

Como vemos, a pesar del gran número de autores que abordan este tema, no existe un consenso sobre el uso y la función de los morillos y, hasta la actualidad, no se ha llevado a cabo una investigación específica sobre el tema. Con el objetivo de profundizar en el conocimiento de estos elementos, en la toma de datos se ha registrado la existencia o no de huecos de morillos en cada bóveda analizada, y los casos en que se conservan los morillos originales. Además, cuando ha sido posible y el estado de conservación del edificio lo ha permitido, se ha documentado el esquema de distribución de los huecos de estos travesaños en el intradós de las bóvedas, con el objetivo de realizar un estudio comparativo de la utilización de estos elementos en edificios de diferentes regiones, estilos y épocas, para detectar las pautas que podrían definir su uso y establecer una hipótesis de su función. Los resultados se presentan a continuación.

Estudio de los morillos en las bóvedas analizadas

La existencia o no de morillos en las bóvedas se ha podido determinar en los casos en que el estado de conservación de la misma lo ha permitido. Algunas bóvedas sólo conservan los testers y una parte reducida de las semibóvedas, lo que permite obtener datos geométricos y constructivos, pero no determinar si contaron con morillos. Asimismo, cuando la toma de datos se ha realizado a partir de una fuente indirecta, no siempre se ha podido obtener la información sobre la existencia de estos travesaños. En las bóvedas que han

⁸⁹ Al disponer los morillos por parejas se reduce el riesgo de su fallo si una de las vigas se rompe por pudrición o por ataques de termitas (Hohmann 2017, p. 124).

⁹⁰ Aunque varios autores sostienen que la hamaca, originaria del Caribe, fue introducida por los españoles en el área maya a partir del siglo XVI (Morley y Brainerd 1956, p. 178; Baños Ramírez 2009, p. 4-5), otros autores encuentran indicios de su uso en época prehispánica en varias fuentes como algunas vasijas cerámicas (Kerr 2008) y en los relatos de las crónicas de la época de la conquista (Hohmann 1979, 2017, p. 125; Hellmuth 1989, p. 8-12; Gendrop 1997, p. 104).

sido reconstruidas debe tomarse especial precaución, pues es posible que en la restauración no se incluyeran los huecos de morillos que sí pudo tener la bóveda original. Un ejemplo de ello es el arco de Kabah, que en la actualidad no presenta huellas de morillos aunque es posible que no los tuviera, es difícil determinarlo con seguridad sabiendo que la bóveda fue reconstruida prácticamente en su totalidad durante los años 50 (figura 44).

En los casos en que, por alguno de los citados motivos, la identificación de los huecos de los morillos era dudosa, se ha optado por omitir este dato. Como resultado, se ha registrado la información al respecto en 318 bóvedas. Los esquemas de distribución de los morillos en el intradós de las bóvedas se han podido documentar en un total de 96 bóvedas de diferentes áreas geográficas y períodos temporales y muestran en las planimetrías esquemáticas de las bóvedas que se han incluido en el *Catálogo de bóvedas mayas* anexo. El registro de la distribución se ha realizado según el caso, mediante el levantamiento fotogramétrico o con una inspección visual y anotación en croquis (figura 226), o en algunas bóvedas a partir de las fuentes bibliográficas.

Existen algunos edificios en que los morillos de madera originales se han conservado, como por ejemplo en el Palacio de Santa Rosa Xtampak (Hellmuth 1989, p. 27), en el Templo de las Siete Muñecas de Dzibilchaltún o en algunos edificios de Tikal como el Templo V (Quintana Samayoa y Noriega Girón 1992) o el Palacio Maler (Muñoz Cosme 2006, p. 83). En los edificios 5D-52 y 5D-54 de la Acrópolis Central de Tikal se conservan morillos originales decorados, por lo que es posible que hubiera otros casos similares, aunque en la actualidad estos son los únicos de los que se tiene evidencia (Hellmuth 1989, p. 16). Están tallados con motivos de lazos o nudos, similares a las decoraciones labradas en los junquillos de piedra de sitios del área Puuc como Sayil o Labná, especialmente en el caso del edificio 5D-52 (figura 227).

En los casos en los que las bóvedas han permanecido selladas es posible hallar restos de madera en los huecos de los morillos. Un ejemplo de ello se ha registrado durante la excavación de la Subestructura 6J2-Sub2 del sitio de La Blanca. La bóveda del cuarto 2 de este edificio fue clausurada y rellena por los propios mayas para construir sobre éste un nuevo edificio de mayores dimensiones. Durante la excavación se ha podido comprobar que rellenaron esta estancia manteniendo los morillos, pues, tal y como se observa en la figura 228, los restos de la madera han aparecido en los huecos de las bóvedas y en el interior del relleno que colmataba la estancia (Vidal Lorenzo y Muñoz Cosme 2016b).

Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones la única evidencia que permanece de estos pasadores de madera son los huecos donde se empotraban en el

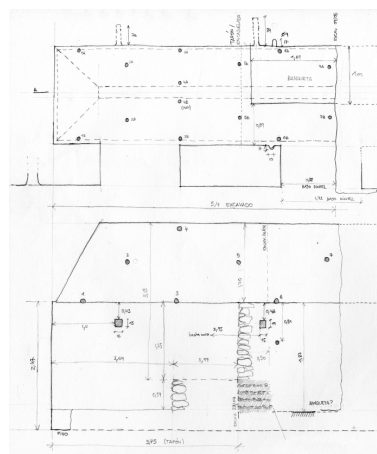


Figura 226. Croquis del cuarto 2 de la Subestructura 6J2-Sub2 de la Acrópolis de La Blanca donde se ha registrado la posición de los huecos de morillos. Proyecto La Blanca 2017.



Figura 227. Morillos decorados en el Edificio 5D-52 de Tikal.



Figura 228. Restos de la madera de un morillo en una bóveda del Edificio 6J2-Sub2 de La Blanca.

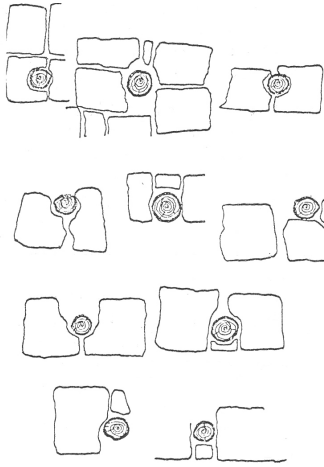


Figura 229. Diferentes tipos de cortes de las dovelas para la colocación de los morillos. Modificado de H. S. Loten (1991, p. 31).



Figura 230. Detalle de un hueco de morillo en la Casa de las Tortugas de Uxmal.



Figura 231. Detalle de un hueco de morillo doble sobre la línea de impostas de la en el Edificio Oeste del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal.

⁹¹ A veces también están empotrados en la última hilada de sillares del muro o en la fila de piezas horizontales de arranque de algunas bóvedas (figuras 230 y 231).

intradós de las bóvedas, lo que nos ha servido para obtener información sobre su forma, tamaño y distribución.

Es importante señalar que también existen ejemplos de bóvedas sin morillos, de lo que se puede deducir que no eran imprescindibles en todos los casos, ni durante el proceso constructivo ni como refuerzo estructural. De un total de 318 bóvedas de las que se ha podido obtener información, un 84% presentan las huellas de estas vigas de madera, mientras que en el 16% restante no se utilizaron estos travesaños. Se han detectado bóvedas sin morillos en todas las regiones y en edificios que pertenecen a diferentes períodos cronológicos, por lo que esta característica no puede considerarse propia de ningún estilo arquitectónico determinado.

Características de los travesaños

En cuanto a los travesaños en sí, existen diferentes formas y tamaños. Los hay de sección circular, que podrían estar tallados como los ejemplos de Tikal o que podrían ser rollizos sin trabajar de maderas duras y resistentes como, por ejemplo, el llamado tinto de Campeche (Hellmuth 1989). También hay huecos de morillos de sección rectangular o cuadrada, de lo que se deduce que en estos casos se usarían vigas de madera escuadradas. Se sitúan generalmente en las hiladas inferiores, debajo o justo sobre la línea de impostas.

Por lo general, los travesaños de las filas inferiores son de mayor tamaño, rectangulares o redondos, y en las filas superiores suelen ser de sección circular. Normalmente el diámetro disminuye a medida que aumenta la altura, y en algunos casos los morillos de la hilada inferior se duplican.

Asimismo, existen diferentes modos de relación entre las dovelas de la bóveda y los morillos⁹¹. En los casos más sencillos se omite una dovela para colocar un travesaño y permitir que éste se introduzca en el relleno, pero muchas veces una o varias dovelas están labradas ex profeso para permitir la colocación del morillo, por lo que resulta evidente que se iban colocando a medida que se levantaba la bóveda (figuras 229, 230 y 231).

Distribución de los morillos en el intradós de las bóvedas

En la mayoría de los casos todas las bóvedas de un edificio presentan el mismo número de hiladas y el mismo patrón de distribución de morillos. En los casos en que el edificio tiene cuartos de dimensiones y posiblemente funciones diferentes, el patrón se mantiene y solo varía el número de morillos en cada hilada en función de la longitud de la estancia, lo que habla de su función constructiva.

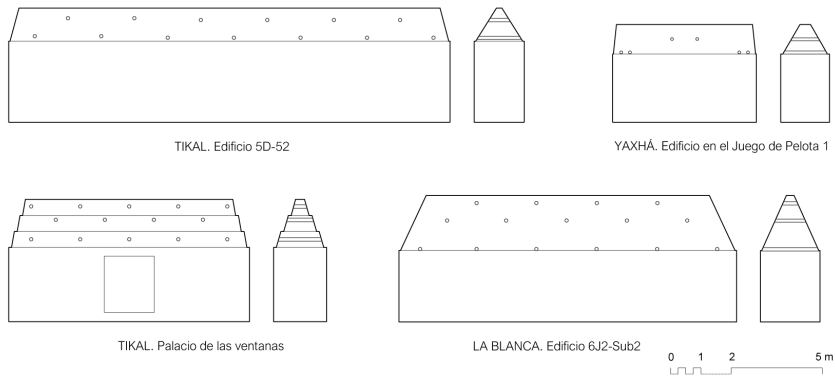


Figura 232. Distribución de los morillos en varias bóvedas del área de Petén.

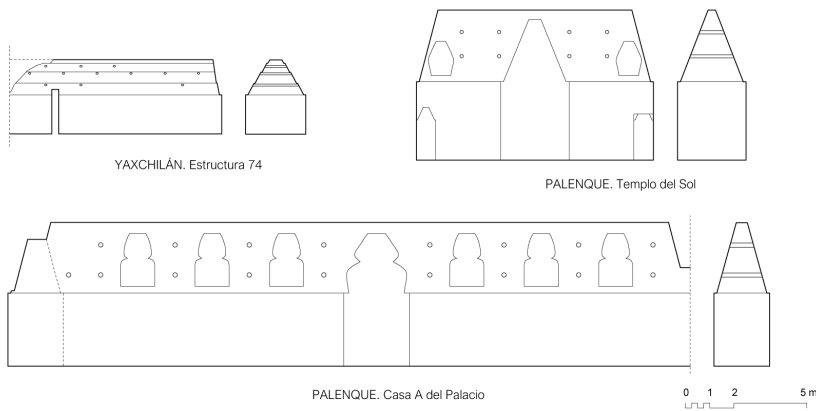


Figura 233. Distribución de los morillos en bóvedas de los sitios de Yaxchilán y Palenque, pertenecientes al área del Usumacinta.

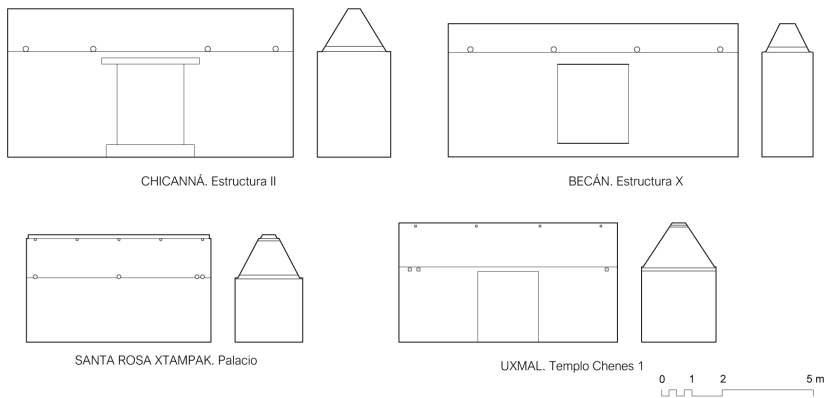


Figura 234. Distribución de los morillos en bóvedas de las áreas de Río Bec y Chenes y en el caso concreto del Templo Chenes 1 de Uxmal.

Normalmente los morillos se disponen de forma simétrica respecto al eje central de la sección longitudinal de la bóveda, pero el número de filas y la distribución varía según las características constructivas del edificio. A partir del análisis comparativo de los datos tomados se han podido identificar diferentes patrones o tipos de distribución según la zona geográfica o el estilo arquitectónico del edificio.

En los edificios del Clásico Tardío de Petén los morillos se sitúan en dos o tres hiladas según la altura de la bóveda y normalmente distribuidos al tresbolillo (figura 232), al igual que en el área del Usumacinta, en sitios como Yaxchilán (figura 233). En los principales edificios de Palenque como por ejemplo el Palacio, el Templo del Sol o el Templo de la Cruz, los morillos se sitúan en dos hiladas y en paralelo, a veces alternados con nichos con formas lobuladas que aligeraban el relleno de las bóvedas (figura 233).

En la arquitectura del área de Río Bec, en sitios como Becán y Chicanná, y en algunos edificios de características similares del área vecina Chenes, como por ejemplo la Estructura 2 de Hochob, es común que se disponga una sola hilada de morillos que apoya sobre la coronación de los muros, tal y como se observa en la figura 234. En los edificios con rasgos propios de la arquitectura Chenes, como por ejemplo el Palacio de Santa Rosa Xtampak o el Templo Chenes 1 de Uxmal, suele haber otra fila cerca del remate superior o en la misma moldura previa a la tapa (figura 234).

Esta distribución en dos hiladas se produce asimismo en la mayoría de bóvedas del estilo Puuc Clásico registradas. Los edificios de este estilo presentan una primera hilada, junto a la línea de impostas, formada por dos travesaños situados en los extremos de la estancia y una segunda hilada de varias vigas de menor tamaño cerca del remate (figura 235). En algunos casos se añade además una hilada de morillos intermedia. En las bóvedas construidas en la etapa más tardía y pertenecientes a edificios clasificados como de estilo Uxmal Tardío (Andrews 1995e), al ser de una altura mayor, además de las hiladas sobre impostas y en el remate, aparecen una o dos filas de morillos intermedias que dividen la altura de la bóveda en dos o en tres partes (figura 236).

Hipótesis sobre el uso y la función de los morillos

A partir de la comparación de todos los datos recopilados se ha podido comprobar que las huellas de los morillos aparecen en bóvedas de edificios de cualquier tipología arquitectónica, independientemente de la función del espacio abovedado, por lo que no parece lógico que solamente estuvieran destinados a usarse como mobiliario interior de las estancias en todos los casos. Elementos funcionales como por ejemplo banquetas, cortineros o portavaras aparecen por

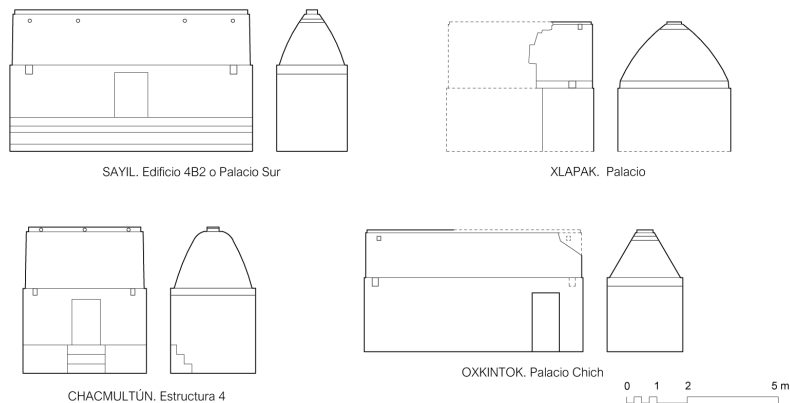


Figura 235. Distribución de los morillos en varias bóvedas de edificios del Puuc Clásico.

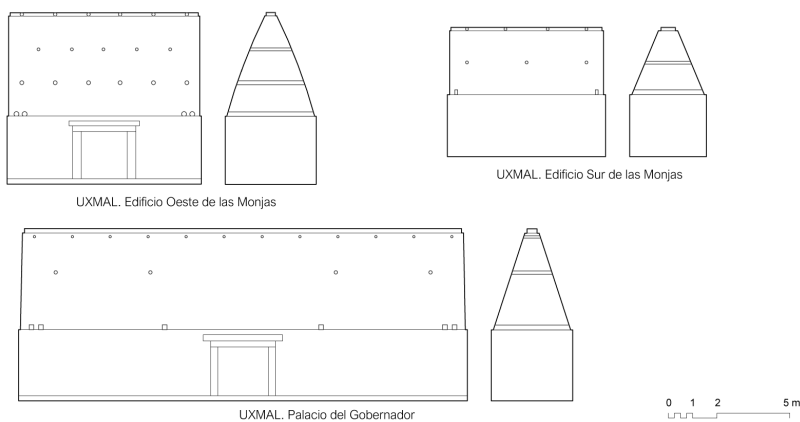
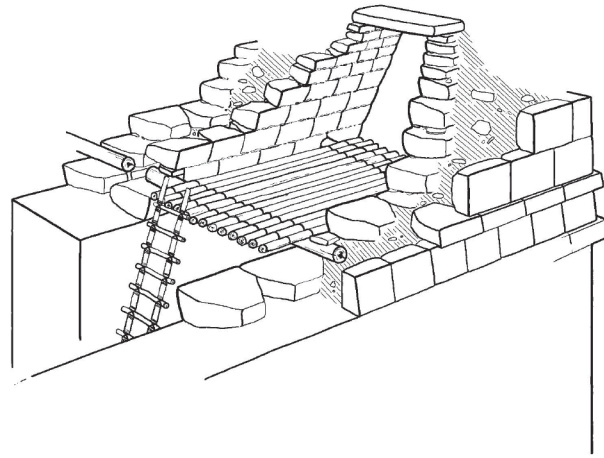


Figura 236. Distribución de los morillos en varias bóvedas de Uxmal, pertenecientes a las etapas más tardías del período Puuc Clásico.

lo general en estancias palaciegas y están relacionados con el uso del espacio interior. Sin embargo, se han registrado morillos en bóvedas de tumbas y también en las cámaras inaccesibles situadas en el interior de las cresterías, lo que demuestra que estos pasadores tuvieron principalmente una función constructiva, independientemente de que después se aprovecharan como equipamiento de determinados espacios.

Según los datos registrados parece evidente que los mayas utilizaban estas vigas de madera, posiblemente heredadas de la arquitectura doméstica, durante el proceso de construcción de los edificios. En muchos casos servirían como un sistema de apoyo y andamiaje. Tal y como propone Céline Gillot (2018, p. 395), sobre las vigas, dispuestas en hiladas horizontales, se podían colocar tablas o rollizos para crear plataformas de trabajo estables, tanto durante la construcción de la propia bóveda como durante el mantenimiento periódico de los edificios y

Figura 237. Hipótesis de colocación de plataformas de trabajo sobre los morillos en una bóveda de Río Bec según C. Gillot (2018, p. 395).



en concreto de los revestimientos de estuco (figura 237). En los edificios en que no hay evidencias de morillos, estas plataformas de madera pudieron haberse construido bien sobre mechinales u otros elementos de apoyo en los muros o bien autoportantes e independientes del propio edificio.

Además, es posible que en algunos casos los morillos formaran parte de un sistema de cimbras que garantizara la estabilidad de la estructura durante el proceso de construcción. En los edificios principales de Palenque y en el área Puuc, sobre todo en los edificios más tardíos y con una tecnología constructiva más avanzada, parece evidente que los mayas utilizaron medios auxiliares para garantizar la estabilidad de la estructura en las fases intermedias de la obra, principalmente por dos razones:

En primer lugar porque, en algunos casos, las bóvedas, por su geometría, no son estables por sí mismas y no entrarían en equilibrio hasta que se había finalizado el edificio y los rellenos habían endurecido y adquirido la resistencia suficiente. En estos casos, sería necesario cimbrar la bóveda. Los morillos, que solamente pueden ejercer una fuerza puntual, no podrían cumplir por sí mismos esta función, pero es posible que formaran parte de un sistema de cimbras superficial apoyado en estos travesaños.

En segundo lugar, porque, en las construcciones más tardías del Puuc, con el avance de la tecnología, las dovelas se redujeron al mínimo y pasaron a funcionar como un encofrado permanente del relleno que adquiere toda la capacidad resistente. En estos casos, y para conseguir las superficies de intradós perfectamente regulares de los edificios del estilo Uxmal Tardío, sería necesario un sistema de cimbras durante la construcción que guiara la disposición de las hileras sucesivas y que, además, sostuviera las dovelas y el relleno hasta que éste fraguara, lo que con morteros de cal supone tiempos prolongados.

Además de estos posibles usos como medios auxiliares en el proceso constructivo, es probable que los morillos se aprovecharan posteriormente como elementos funcionales de las estancias. Su utilización como mobiliario interior dependería de las actividades que se llevaran a cabo en el espacio abovedado en cuestión, pero resulta lógico pensar que se utilizaran de manera práctica una vez el edificio estaba habitado, para sostener cortinajes o para colgar utensilios y enseres tal y como se hace habitualmente en las chozas de madera.

Debemos tener en cuenta que cada edificio tiene sus propias características y que la utilización de los morillos se da en un período de tiempo muy extenso. Existen evidencias de la utilización de estos pasadores desde el Clásico Temprano hasta el Postclásico, es decir, durante aproximadamente diez siglos, por lo que es probable que su forma de utilización variara con el tiempo y con el avance de la tecnología constructiva, así como con los cambios sociales y culturales. También debemos tener en cuenta que a veces algunos elementos constructivos pueden permanecer por tradición, aunque no sean estrictamente necesarios.

Tal y como hemos visto, los morillos están presentes en un gran número de edificios abovedados mayas, independientemente de la tipología, estilo arquitectónico, área geográfica o período cronológico al que pertenezcan. Los datos obtenidos nos han permitido identificar variaciones en cuanto a su forma y tamaño, a la adaptación de las dovelas a los huecos de empotramiento y en cuanto al número de hiladas y la distribución de los pasadores en el intradós de las bóvedas, pudiéndose detectar algunos patrones distributivos que se repiten en determinadas áreas o estilos arquitectónicos y que generalmente varían en función de los rasgos constructivos del edificio.

En cuanto a su posible función, aunque pueden contribuir en cierta manera al equilibrio de la bóveda, resultan por sí solos un sistema de refuerzo poco eficiente, por lo que descartamos que tuvieran una función estructural. Esta teoría, además, queda respaldada por la inexistencia de morillos en muchos otros edificios, lo que evidencia que no eran imprescindibles. Por otro lado, el hecho de que aparezcan tanto en espacios habitables como en espacios no previstos para ser habitados demuestra que, a pesar de que pudieron utilizarse como mobiliario interior, no fueron pensados en primera instancia para este uso. Así pues, consideramos que su función principal fue la constructiva. Normalmente el esquema de distribución de los travesaños está relacionado con el estilo arquitectónico del edificio y más concretamente con sus características constructivas, lo que refuerza esta teoría. Los morillos se utilizarían como medios auxiliares durante la construcción del edificio y posteriormente servirían, además, para las labores de mantenimiento de los revestimientos y las decoraciones, o bien, en las estancias habitables, se podrían utilizar como elementos de mobiliario interior.

7.2.5. El sistema estructural de la bóveda maya

La bóveda maya está basada en el sistema de aproximación de hiladas, un concepto sencillo e intuitivo que consiste en dos muros simétricos en los que cada pieza vuela ligeramente sobre la anterior hasta cubrir el espacio. En la mayoría de los casos se termina antes de su unión con una hilada de piedras tapa que no tienen función estructural, por lo que, en principio, los dos lados de la bóveda son independientes. La estabilidad de este sistema está basada en el correcto contrapeso de cada hilada, que impide el vuelco de la estructura y que conduce la carga resultante de todas las hiladas a un punto en el interior del núcleo central de la sección del muro que soporta la bóveda (Perelló Roso 2006, p. 81).

Aunque el principio fundamental de la bóveda maya es esta técnica de avance de hiladas, la evolución tecnológica en determinadas zonas condujo a soluciones muy avanzadas que estructuralmente no se corresponden exactamente con el comportamiento de una bóveda por aproximación de juntas horizontales. Con el avance de la tecnología, el desarrollo de la técnica estereotómica y el aumento de la capacidad resistente de los morteros de cal, los mayas lograron volúmenes monolíticos formados por la unión solidaria de las dovelas y el relleno posterior. Desde el punto de vista estructural, cuando existe esta unión solidaria, cada una de las semibóvedas se puede considerar como un núcleo.

Una tipología distinta se da cuando todo el espesor de la bóveda está formado por piezas enteras de juntas horizontales que se contrapesan por sí mismas. En este caso, el concepto estructural sí que se corresponde con el de aproximación de hiladas, tradicionalmente conocido como “falsa bóveda”. Es posible que en las bóvedas mayas más primitivas se construyeran con este sistema de grandes losas contrapesadas por sí mismas. En la figura 238 se muestra una bóveda del Edificio 5D-86 del grupo Mundo Perdido de Tikal, datado alrededor del 400 d.C., en el período Clásico Temprano (Laporte y Fialko 1995). En este caso los bloques que forman la bóveda ocupan gran parte del espesor de la fábrica, por lo que este ejemplo se aproxima al comportamiento teórico de las bóvedas por avance de hiladas. Sin embargo, la gran mayoría de las bóvedas documentadas están formadas por dovelas y un relleno posterior. La proporción entre ambos es variable, pues con la evolución tecnológica y especialmente en determinadas regiones, la dovela se fue reduciendo al máximo hasta convertirse en una “piel” del relleno.

Como ya hemos visto, Hasso Hohmann (1979; 2017, p. 122) introduce el concepto de bóveda monolítica, a la que denomina *cast vault* en inglés, para referirse a la gran mayoría de las bóvedas mayas, tanto a las de las Tierras Bajas



Figura 238. Bóveda en el Edificio 5D-86 de Mundo Perdido de Tikal.

del Norte como a las del Sur. Para el área Puuc, sí que se había utilizado previamente este término de bóvedas monolíticas⁹², pues resulta más evidente, pero para otros casos las bóvedas mayas suelen definirse estructuralmente como bóvedas de aproximación (*corbelled vault*). Sin embargo, debemos tener en cuenta que, desde el punto de vista estructural y teórico, la mayoría de las bóvedas mayas responden a un concepto distinto: las dovelas forman una unidad con el relleno y cada una de las dos semibóvedas funciona como un volumen unitario, aunque constructivamente es heterogéneo. Que en la práctica esta unidad funcione solidariamente depende fundamentalmente de dos factores: el primero de ellos es la calidad del relleno, en cuanto a la proporción de conglomerante que contenga y su capacidad de trabajo a tracción. El segundo factor es la correcta traba entre las dovelas y el relleno, un aspecto que se resuelve de maneras distintas en las diferentes áreas geográficas. Algunas veces, especialmente en el Puuc, se llega al extremo de que las dos semibóvedas y el relleno de cubierta pueden formar un volumen unitario que, una vez endurecido, funciona de forma similar a un arco monolítico (figura 239).

En el análisis de la estabilidad de las estructuras históricas suele ser la geometría el principal factor a tener en cuenta, a diferencia de lo que ocurre en las estructuras modernas, que se evalúan teniendo en cuenta la resistencia del material y su grado de agotamiento. En este aspecto, las estructuras tradicionales suelen estar sobredimensionadas, y es el correcto corte de las piezas y su adecuada colocación en obra lo que garantiza la seguridad. Normalmente

⁹² Spinden (1975, p. 108), Roys (1934), Stierlin (1964, p. 96; 2001, p. 29) y Gendrop (1997, p. 34).



Figura 239. Edificio 2C3 de Kabah.

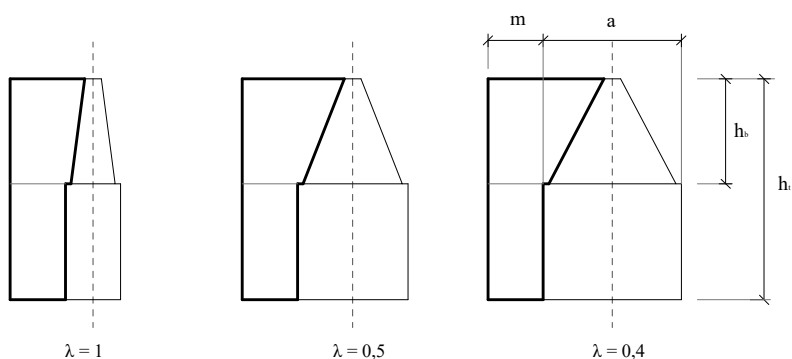
el colapso no se produce en los edificios históricos por el agotamiento del material, sino a raíz de movimientos, defectos constructivos o fallos de los elementos estructurales (Huerta 2004, p. 517-521).

Para analizar la estabilidad de los edificios abovedados mayas vamos a ver, en primer lugar, qué variables formales y geométricas influyen en el sistema estructural del edificio, considerando un modelo hipotético ideal. A continuación, veremos qué consecuencias tiene el proceso constructivo sobre la estabilidad del sistema y en qué medida puede generar el colapso de la estructura. Y, por último, se analizará la estabilidad del edificio en las fases intermedias de la construcción. El colapso de la estructura producido por el deterioro de los materiales o por el fallo de un elemento estructural, como por ejemplo los dinteles de las puertas, se analiza en el capítulo 9.

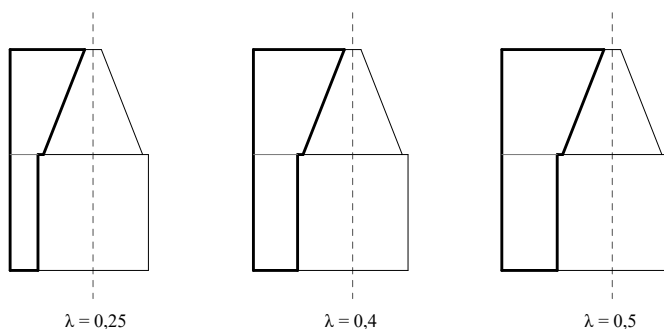
7.2.5.1. Análisis de la estabilidad

En un modelo teórico ideal, considerando cada semibóveda como un volumen homogéneo, el equilibrio de la estructura será posible mientras la resultante de la carga de este núcleo, aplicada en su centro de gravedad, pase por el interior del núcleo central de la sección del muro que lo soporta⁹³. La geometría de cada una de las semibóvedas en relación a la del muro que la soporta es por tanto determinante para la estabilidad del sistema. Es por ello que existen varios factores relativos a la forma y la geometría del edificio que influyen en la estabilidad del conjunto, como por ejemplo la relación entre la luz y el ancho

⁹³ Para secciones rectangulares, el tercio central (Perelló Roso 2006, p. 67).



Variación del coeficiente de luz ($\lambda = m / a$) según el ancho de la estancia (a) con valores de m, ht, y hb constantes



Variación del coeficiente de luz ($\lambda = m / a$) según el espesor de los muros (m) con valores de a, ht, y hb constantes

Figura 240. Relación entre las variables geométricas de coeficiente de luz y alturas.

de los muros, la altura de la bóveda, la inclinación del intradós, el espesor del relleno de cubierta, la presencia de varias crujías paralelas o la posición de la crestería. A continuación vamos a analizar cómo influyen en la estabilidad de una sección de bóveda teórica estas variables, sin olvidar que estamos considerando un modelo hipotético ideal.

Uno de estos factores geométricos es el ancho de los muros verticales que sustentan las semibóvedas. En la base de datos se han registrado valores de entre 0,50 y 2,35 metros de espesor, considerando indistintamente muros exteriores e interiores, aunque en un 80% de los casos el espesor de los muros oscila entre 0,60 y 1,5 metros.

Desde el punto de vista del equilibrio, lo que resulta más interesante que el espesor de los muros en sí es la relación entre éste y la luz de la estancia, a la que hemos denominado *coeficiente de luz*⁹⁴ ($\lambda = m / a$). Este valor permite comparar, a grandes rasgos, la relación entre los muros soporte y el ancho del cuarto, obteniendo un valor de magnitud aproximado sobre el grado de masividad o ligereza de la estructura. Así, cuanto mayor es el coeficiente de luz λ , más

⁹⁴ Para el cálculo del coeficiente de luz (λ) se han considerado las siguientes simplificaciones: en primer lugar, que la variación de la dimensión interior de la tapa entre las diferentes bóvedas es despreciable y, en segundo lugar, que los muros que soportan la bóveda son simétricos. Cuando los espesores de los muros principal (M_{ppal}) e interior (M_{int}) son distintos, se ha tomado el valor del menor para considerar la situación más desfavorable.

Figura 241. Coeficiente de luz λ en la muestra (bóvedas consideradas: 151).

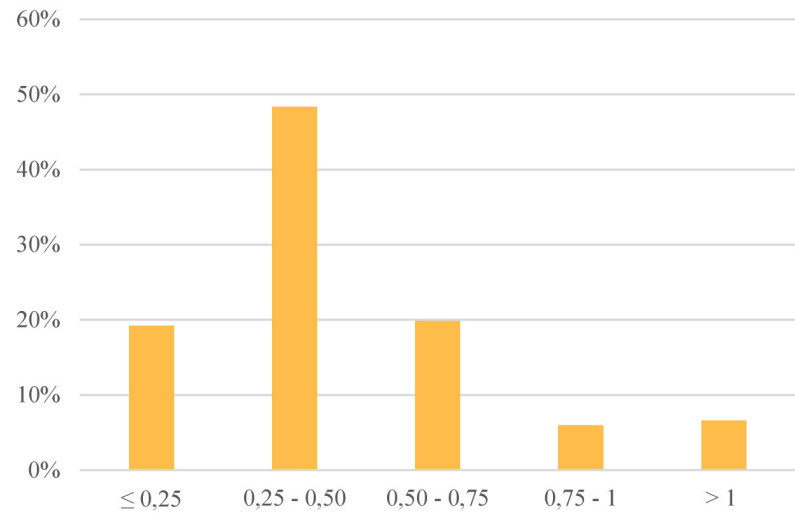
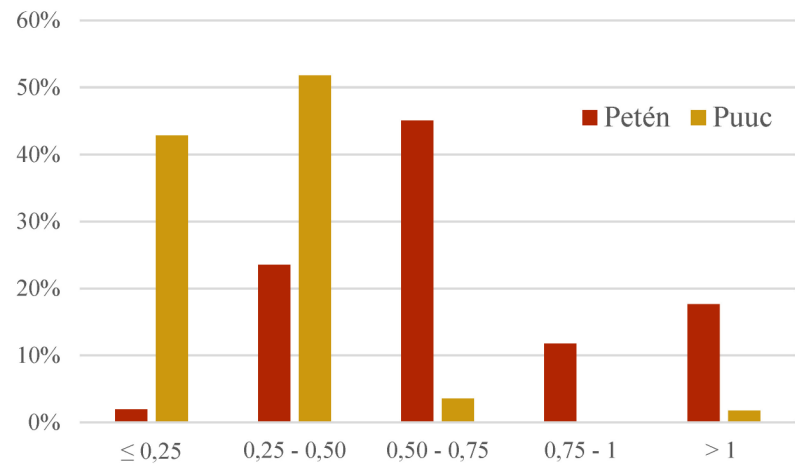
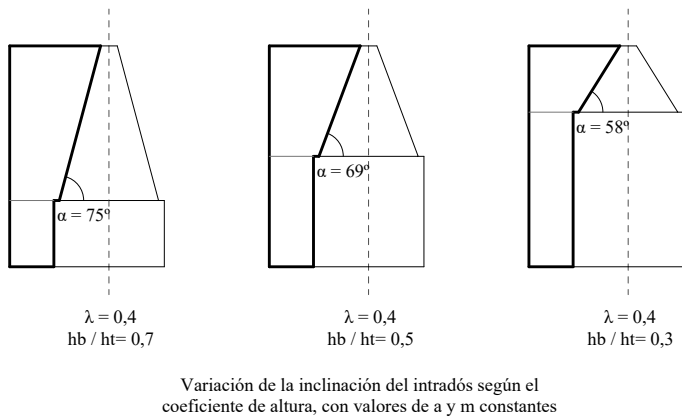


Figura 242. Comparativa del coeficiente de luz λ en las bóvedas de Petén y del Puuc (bóvedas consideradas: Petén 51, Puuc 56).



masiva es la estructura, y a menor coeficiente de luz más ligera (figura 240). En la base de datos se ha obtenido el coeficiente λ de un total de 151 bóvedas, y los valores oscilan entre 0,16 y 2,07. En esta muestra, sólo un 6,6% de las bóvedas tiene un coeficiente de luz λ mayor que 1, en las que el volumen construido de cada muro es mayor que la propia luz del espacio. El 68,2% oscilan entre 0,25 y 0,75, es decir, que el espesor del muro está entre un cuarto y tres cuartas partes del ancho de la estancia (figura 241). Las bóvedas con los coeficientes más bajos ($\lambda \leq 0,25$), es decir, las estructuras más ligeras, son por lo general edificios del área Puuc o Chenes, mientras que los valores más elevados ($1,40 \leq \lambda \leq 2$) los encontramos en bóvedas de templos del área de Petén, como por ejemplo en los Templos 1 y 2 de Tikal o el Edificio A de Nakum, en las que el volumen construido tiene una gran predominancia sobre el claro⁹⁵ (figura 242).

⁹⁵ El único valor de λ mayor que 1 registrado en el área Puuc (figura 7.2.73) pertenece al Satunsat de Oxkintok, uno de los edificios más tempranos de esta zona, datado entre el 400 y el 500 d.C. (Ligorred Perramon 2010b, p. 365).



En el caso de las bóvedas de sección recta, para un mismo coeficiente de luz λ , la altura de la bóveda (h_b) respecto de la altura total interior (h_t), es decir, el coeficiente de altura de la bóveda (h_b/h_t) determinará la inclinación del intradós: a mayor altura de la bóveda menor inclinación sobre la horizontal (figura 243). Estas variables determinan la forma del trapecio que forma la semibóveda y su relación geométrica con el muro soporte y, por tanto, afectan a la estabilidad. La forma de la sección transversal de la bóveda influye, lógicamente, en este sistema de equilibrio, en tanto en cuanto determina la posición del centro de gravedad respecto del muro soporte. Es de suponer que, para combinar estas variables y dimensionar los elementos estructurales del edificio, los antiguos constructores emplearon reglas empíricas (Huerta 2004, p. 517).

Hasta ahora hemos considerado que el trasdós de la bóveda es vertical, pero esto no siempre es así. Como veíamos anteriormente, la inclinación de esta parte superior de la fachada del edificio, situada entre la cornisa media y la cornisa superior y denominada friso, es una característica que varía en las diferentes zonas geográficas y según el estilo arquitectónico al que pertenezca el edificio. Los edificios de Palenque, por ejemplo, presentan una gran inclinación del friso, por lo que a veces se han comparado con las cubiertas en mansarda (figura 244). En Petén esta inclinación suele ser mucho más moderada, y en el Puuc es más común el friso vertical y hasta incluso, en los edificios más avanzados como el Palacio del Gobernador de Uxmal (figura 216), la fachada superior presenta una ligera inclinación hacia el exterior (Blom 1932; Kowalski 1987, p. 135-137). El caso más desfavorable para el equilibrio teórico de la estructura se da cuanto mayor es la inclinación del friso hacia el interior, pues la carga resulta menos centrada en el apoyo (figura 245).

Las piezas de tapa en la bóveda maya tienen una función constructiva: mientras que finalizar la bóveda en ángulo conllevaría una ejecución más compleja, la

Figura 243. Relación entre las variables geométricas y la pendiente del intradós.

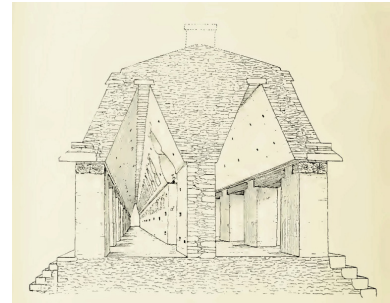


Figura 244. Sección de la Casa A del Palacio de Palenque. Tomada de W. H. Holmes (1895, p. 174).

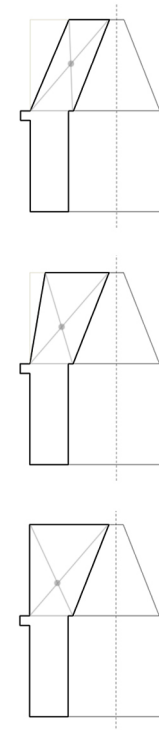


Figura 245. Comparación entre diferentes inclinaciones del friso.

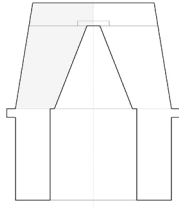


Figura 246. Geometría del modelo tras la construcción de la cubierta.

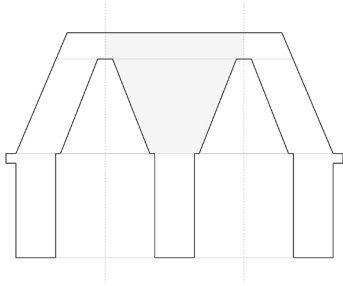


Figura 247. Geometría de las semibóvedas centrales en un edificio de dos crujías.

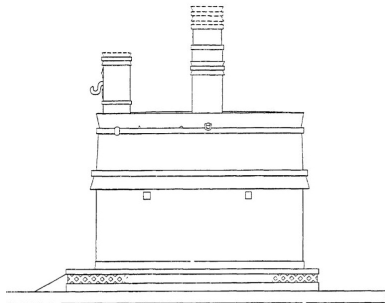


Figura 248. Superior: Alzado sur de la Casa Colorada de Chichén Itzá tomado de G. Andrews (1991a, p.23). Inferior: Fotografía actual del edificio.

tapa permite absorber las irregularidades del final de ambas semibóvedas y cerrar el espacio. Sobre ésta construían el relleno superior de cubierta, por lo que, aunque la tapa no tiene una función estructural tan relevante como la clave en un arco de medio punto, cumple una función constructiva que permite la ejecución del relleno superior de cubierta, que sí tiene una función estructural, pues aumenta la carga vertical y une ambas semibóvedas entre sí (figura 246). Si este relleno superior forma una unión solidaria con las semibóvedas, el conjunto completo de la bóveda puede funcionar como un volumen monolítico.

Un factor muy importante en el sistema estructural de estos edificios es el número de crujías paralelas. En edificios de dos o más crujías, si las semibóvedas centrales están construidas de forma unitaria, se equilibran entre sí (figura 247). Las cargas de las semibóvedas exteriores son más excéntricas respecto a los apoyos, lo que las somete a un momento que compromete su estabilidad (Villalobos 2001, p. 10). Este mismo efecto centrador puede proporcionarlo también la crestería, que introduce una gran fuerza vertical. Ya hemos visto que su posición varía en las diferentes áreas geográficas. En los edificios de dos crujías de Palenque se sitúa sobre el muro central (figura 244), por lo que en muchos casos es el que mejor se conserva en la actualidad. En algunos edificios como por ejemplo la Casa Colorada de Chichén Itzá, los mayas, conscientes de este efecto centrador, construyeron dos cresterías, una sobre el muro anterior y otra sobre el central (figura 248).

7.2.5.2. Cuestiones constructivas que afectan a la estabilidad

El análisis del modelo hipotético ideal sirve para comprender el sistema estructural de estos edificios, pero hay que tomarlo con precaución, porque en la realidad, las técnicas y el proceso constructivo introducen otras variables que pueden hacer que la estructura tenga un comportamiento distinto. Por ello, es de suma importancia para el análisis estructural, además del estudio geométrico de la estructura, el conocimiento profundo de las características constructivas del edificio y del proceso de ejecución. Teniendo en cuenta únicamente cuestiones constructivas y sin considerar el proceso de deterioro y erosión de los materiales, para el análisis de la estabilidad de un caso real debemos tener en cuenta los siguientes aspectos.

En primer lugar que, en el modelo real, las dovelas y el relleno no forman un único material, sus cargas no se reparten uniformemente y su funcionamiento unitario depende de la correcta traba entre ambos. En el caso de los sillares de los muros ocurre que, si no tienen una adecuada traba, pueden desprenderse del relleno. Esto puede observarse en los edificios tardíos del Puuc, en los que los sillares se reducen al máximo y se convierten en finas placas de piedra que

muchas veces se han desprendido del núcleo (figura 249). En el caso de las bóvedas, al construirse inclinadas, los mayas desarrollaron formas especializadas con una espiga posterior para garantizar el anclaje.

Como hemos visto, los mayas terminaban cada fase de la obra con una capa de estuco de protección, lo que tiene varias consecuencias para la estabilidad. Una de ellas es que la transmisión de cargas de la bóveda al muro vertical se realiza a través de una superficie horizontal de contacto. No existe unión en las dos partes y la correcta transmisión de las cargas depende en gran medida de la buena ejecución de este plano horizontal. Otra junta seca se da en el trasdós de la bóveda, por lo que en determinadas ocasiones ésta y la fachada exterior no funcionan como un volumen monolítico (figuras 216 y 217). Hay muchos ejemplos hoy en día de edificios en los que ha colapsado la fachada superior y la bóveda sigue en pie. En este sistema en el que los diferentes elementos no están trabados entre sí, pequeñas imperfecciones geométricas o constructivas pueden provocar el fallo de la estructura (Prem 1995).

La forma de colapso de una estructura Puuc mostrada en la figura 250 se ha registrado en varias ocasiones en los derrumbes⁹⁶, en los que aparecen como capas superpuestas las diferentes partes de la construcción, que vuelcan como sólidos rígidos (véase el apartado 9.2). Sobre el piso y, en primer lugar, se encuentran las dovelas de la semibóveda exterior, volcadas boca abajo. Sobre éstas en ocasiones puede hallarse el friso, si se ha mantenido unido al intradós. Y finalmente, si la semibóveda opuesta también colapsa, puede hacerlo torciendo asimismo hacia el interior. En la investigación del derrumbe puede registrarse información constructiva muy relevante sobre la estructura y su forma de colapso, por lo que resulta imprescindible una minuciosa documentación.



Figura 249. Muro del Juego de Pelota de Uxmal, en el que se aprecia la huella de los sillares desprendidos.

⁹⁶ Comunicación personal de J. Huchim Herrera.

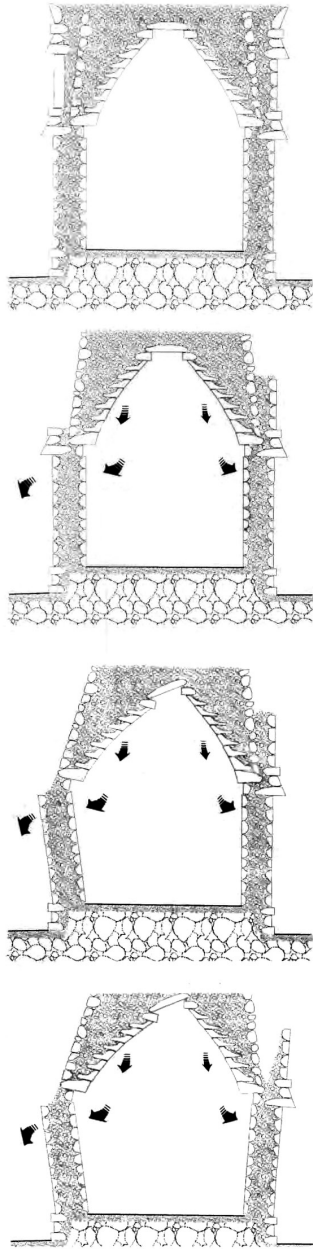


Figura 250. Secuencia hipotética del derrumbe de una bóveda de un edificio del Puuc Clásico según. H. Prem (1995, p. 30-31).

Un factor que juega a favor de la estabilidad de las bóvedas es el efecto rigidizador de los testeros o muros hastiales, principalmente cuando se han construido a la par que las semibóvedas y los rellenos de ambas partes están trabados. Este efecto de arriostamiento transversal puede verse hoy en día en los edificios en ruina, donde las partes de las bóvedas mejor conservadas suelen ser las esquinas (véase el capítulo 9).

En definitiva, para poder analizar el funcionamiento real de la estructura, es necesario conocer tanto la geometría del edificio completo como el proceso constructivo que se ha seguido en su ejecución. Estos datos son igualmente necesarios para discernir los procesos de deterioro que ha sufrido el edificio y evaluar estructuralmente su estado actual.

7.2.5.3. La estabilidad de la estructura durante el proceso constructivo

En el apartado anterior hemos visto que los mayas construían los edificios por etapas, por lo que, al finalizar cada fase de la obra, la construcción debía ser estable, bien por sí misma o bien mediante medios auxiliares. Durante el proceso constructivo la bóveda no cuenta con la carga vertical del relleno de la cubierta y, en la situación más desfavorable, tampoco con el contrapeso de la fachada superior, que ya hemos visto que en muchos casos se construye con posterioridad sobre el trasdós de la bóveda. Por tanto, si no se cuenta con ningún medio auxiliar, cada una de las semibóvedas debe ser estable por su propia geometría. Para que esto ocurra debe cumplirse, como ya hemos visto, la condición fundamental de equilibrio: que la carga resultante de cada semibóveda, aplicada en su centro de gravedad, recaiga en el interior del núcleo central del muro soporte. Esta condición puede darse en muchos casos, por ejemplo, cuando las estructuras son masivas y el coeficiente de luz λ es elevado. Cuando esto no ocurre y la resultante pasa por fuera del apoyo es necesario contar con la colaboración de la fábrica a tracción o bien, disponer medios auxiliares hasta que la estructura se finalice y entre en equilibrio. Vamos a analizar estas posibilidades.

El valor de la resistencia a tracción de la fábrica suele tomarse como nulo en gran parte de los métodos de cálculo, debido a la baja resistencia a tracción de los materiales pétreos y de los morteros de unión. Sin embargo, en las fábricas tomadas con morteros de calidad, con una elevada proporción de conglomerante y una adecuada granulometría, es posible considerar una cierta resistencia a la rotura en tracción (Perelló Roso 2006, p. 66). Si bien este efecto puede considerarse en la evaluación de la estabilidad de la estructura tiempo después de la construcción y es un factor a considerar en el análisis estructural de los edificios mayas hoy en día, la colaboración de la fábrica en este sentido

no puede considerarse durante el proceso de ejecución. Los rellenos de cal tardarían un tiempo prolongado en fraguar y endurecer y, por tanto, en adquirir resistencia suficiente.

En los casos en que cada una de las semibóvedas no es estable por sí misma, sería por tanto imprescindible la utilización de cimbras para la construcción de las bóvedas. Estos medios auxiliares, contruidos con madera, permitirían sostener la estructura durante el proceso constructivo, hasta que la estructura se completara y los morteros fraguaran y adquirieran resistencia suficiente. Como ya hemos visto, es posible que los travesaños o morillos formaran parte de este sistema de cimbras y que, además, sirvieran como apoyo a las plataformas de trabajo y andamiajes durante la construcción.

7.3. Aspectos funcionales

La bóveda es un elemento constructivo cuya función es cubrir un espacio. En la mayoría de los casos, los espacios abovedados son estancias que pueden tener, a su vez, diferentes funciones específicas según la tipología del edificio al que pertenecen, la posición que ocupan en él y sus propias características geométricas y formales. Además, existen espacios abovedados que tienen otras funciones más singulares, como por ejemplo las tumbas o los espacios de circulación como las escaleras o los pasadizos. Con el objetivo de proponer una clasificación funcional de los espacios abovedados se ha realizado un estudio sobre el espacio interior en la arquitectura maya monumental, considerando su carácter y sus posibles funciones y modos de uso.

7.3.1. El espacio interior en la arquitectura maya

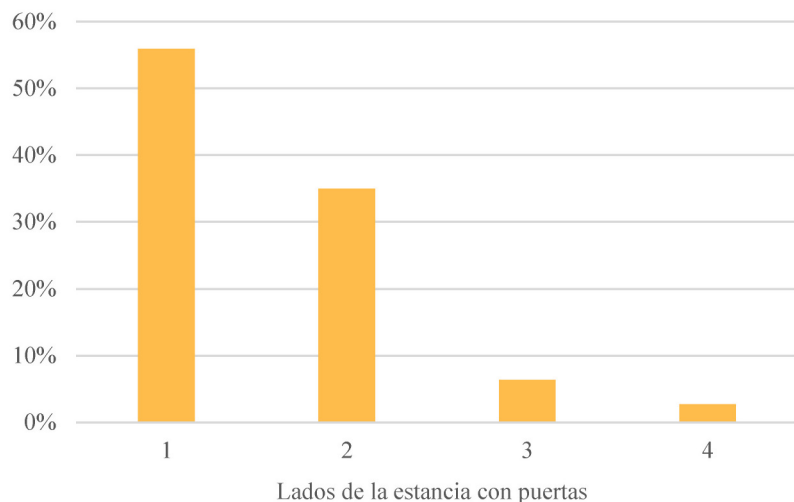
Para poder establecer hipótesis sobre cómo los mayas utilizaron los edificios y los espacios urbanos es necesario considerar conjuntamente los datos históricos, culturales y arqueológicos. Comprender cómo habitaban los espacios interiores o qué actividades desarrollaban en las diferentes estancias de los edificios monumentales no es una empresa fácil ante la escasez de documentos escritos y desde nuestra perspectiva actual y cultural.

A continuación se presenta un análisis de los espacios interiores mayas desde el punto de vista arquitectónico, tomando como principal fuente de información el propio edificio y a partir de la observación y el estudio de las estancias. Considerando su posición en la planta del edificio, sus características espaciales, de acceso y circulación, así como la disposición de las banquetas y los elementos de mobiliario interior que se conservan, es posible establecer hipótesis sobre qué función tenían las estancias y cómo las utilizaban sus habitantes. Esta información se complementa con la proporcionada por las fuentes iconográficas como los grafitos incisos o las vasijas cerámicas, donde se representan escenas cortesanas o acontecimientos destacados de la vida de los gobernantes, muchas veces contextualizados en el interior de los edificios.

7.3.1.1. Accesos y circulación

Un factor que puede contribuir a conocer mejor cómo se utilizaban los espacios interiores abovedados es el número de puertas y su distribución en los cuatro lados de la estancia. Para analizar los diferentes tipos de acceso y de circulación se han seleccionado las estancias registradas en la base de datos que pertenecen a edificios con las tipologías distributivas “Agrupación de varias crujías paralelas” (A) o “Cuadrángulo” (CDR)⁹⁷. De las 329 estancias seleccionadas, más de la mitad tienen el acceso por un único lado, casi un

⁹⁷ Véase en el apartado 6.1.2.2 la definición de *tipología distributiva* y los tipos establecidos (figura 101).



35% tienen puertas en dos de sus lados y menos del 10% de estas estancias tienen puertas en tres o cuatro de sus lados (figura 251).

Resulta evidente que el número de muros con puertas en la estancia dependerá del número de crujías del edificio⁹⁸, de la posición que ocupe la estancia considerada en la planta y del sistema de circulación entre estancias. Es interesante en este sentido el análisis de accesos y circulaciones propuesto por Justine Cecilia Staneko (1996) y aplicado a los edificios del área Puuc. Mediante los esquemas gráficos que se muestran en la parte derecha de la figura 252 es posible identificar patrones de accesos y circulación similares en edificios con diferentes características, lo que puede aportar información sobre el funcionamiento de estructuras con múltiples estancias.

En la base de datos se han registrado bóvedas de crujías interiores y exteriores de los edificios indistintamente, por lo que el estudio de la muestra podría darnos una visión general sobre cuáles son las tipologías de accesos y circulación en las estancias más comunes. Sin embargo, estos datos pueden no ser representativos y hay que tomarlos con cautela, debido al hecho de que, desde el punto de vista estructural, los dinteles de las puertas son los puntos débiles de las bóvedas, tal y como veremos en el capítulo 9, y, por tanto, el número de muros con vanos de acceso de cada estancia afecta directamente a su conservación. Se ha podido comprobar que, de forma general, cuantos más lados con puertas tiene la estancia, menos superficie de la bóveda se conserva. Por ello, debemos tomar en consideración que es muy probable que se hayan identificado más estancias con una única puerta porque, precisamente por esta razón, la bóveda que las cubre se ha conservado mejor. Un claro ejemplo de ello se puede ver en el Edificio 6J2 de la Acrópolis de La Blanca. En la figura 253

Figura 251. Número de estancias registradas según el número de muros con vanos de acceso (bóvedas consideradas: 329).

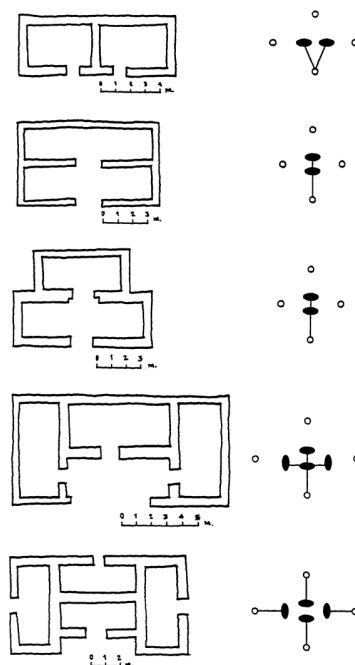


Figura 252. Gráficos de acceso y circulación en diferentes tipologías distributivas de edificios, realizados por J. C. Staneko (1996, p. 291).

⁹⁸ En la base de datos se han registrado un total de 180 edificios de las tipologías distributivas "Agrupación de varias crujías paralelas" (A) o "Cuadrángulo" (CDR). Casi la mitad (48,5%) tienen dos crujías, el 36,1% tiene una sola crujía y el resto presentan tres o más crujías paralelas.

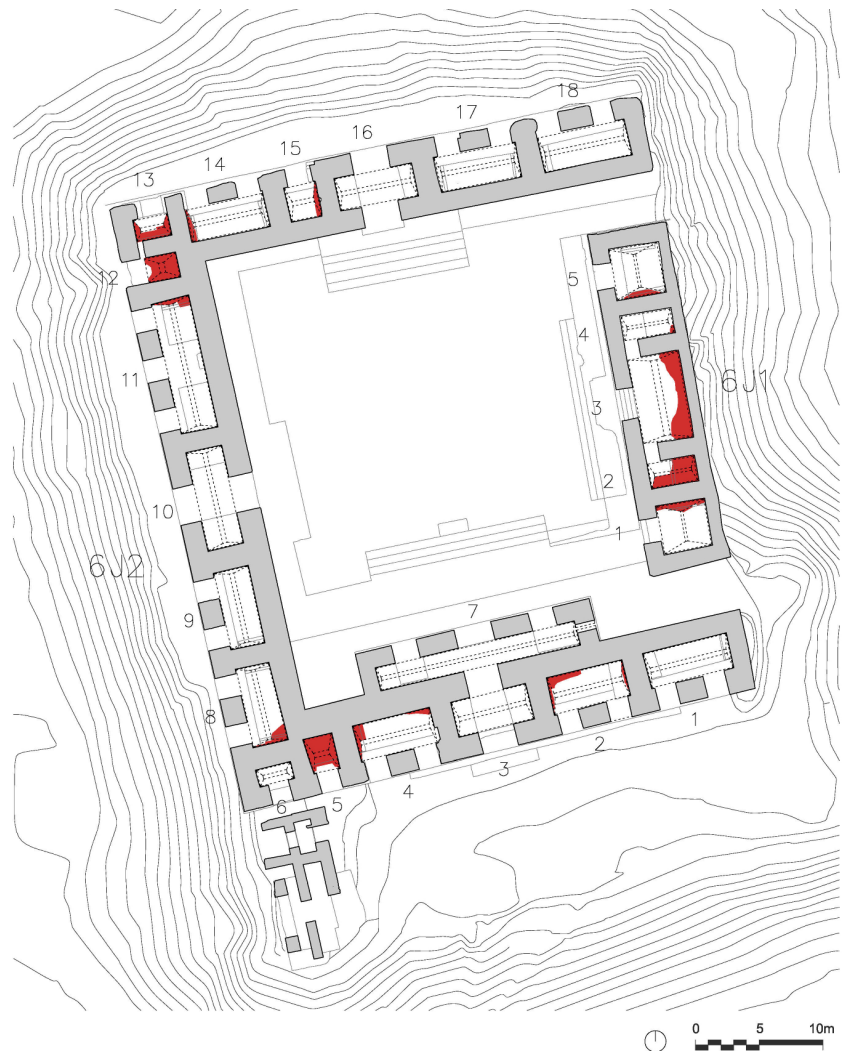


Figura 253. Planta de la Acrópolis de La Blanca con indicación de las superficies de bóvedas que se conservan.

se muestra una planta de este conjunto, donde se han señalado las superficies que se conservan en cada una de las bóvedas. En la mayoría de los cuartos se conservan los testeros y las esquinas de las semibóvedas interiores⁹⁹, pero en los cuartos centrales de cada ala (3, 9 y 16), al tener dos puertas enfrentadas, no se ha conservado ninguna evidencia de las bóvedas.

⁹⁹ Especialmente en los cuartos con menor longitud, debido al efecto de arriostamiento de los testeros (véase el apartado 9.2).

¹⁰⁰ De cara a un estudio funcional de los edificios, sería interesante considerar en qué casos las puertas de dos muros paralelos están enfrentadas y en qué casos no, lo que puede aportar datos sobre la privacidad y la jerarquía entre espacios.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el estudio de los accesos y la circulación en el interior de las estancias se han establecido ocho tipologías de distribución de las puertas en los cuatro muros del cuarto¹⁰⁰, que se muestran en la figura 254. La tipología más común en la muestra estudiada, teniendo en cuenta las limitaciones de estos resultados por las razones ya expuestas, es la del acceso por uno de los lados largos de la estancia (S), ya sea mediante uno o varios vanos de acceso (tabla 14).

Número de muros con puertas

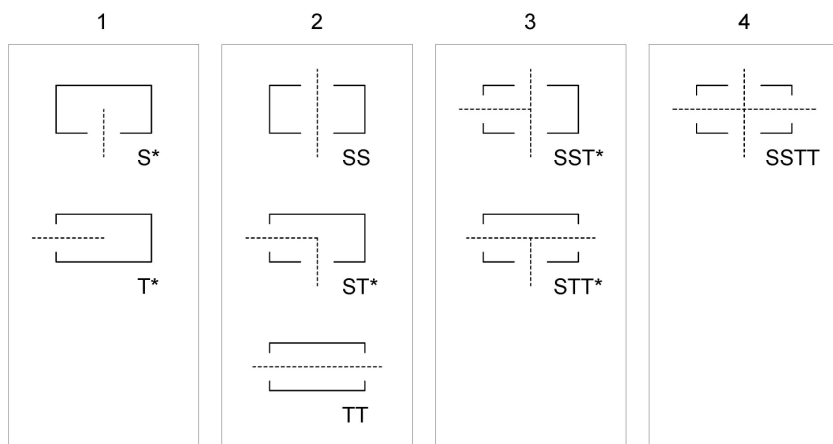


Figura 254. Tipologías de distribución de las puertas (*Equivale a la distribución grafiada o a la simétrica).

Nº muros con puertas	Tipo de distribución de las puertas	estancias	%
1	S	179	54,4%
	T	5	1,5%
2	SS	85	25,8%
	ST	28	8,5%
	TT	2	0,6%
3	SST	13	4,0%
	STT	8	2,4%
4	SSTT	9	2,7%
		329	100%

Tabla 14. Número de estancias por tipología de distribución de las puertas.

A partir de estos resultados se puede observar que las puertas en los muros testeros son poco frecuentes, y es mucho más común el acceso a la estancia desde los lados largos de ésta. Este es uno de los aspectos que caracteriza, según Fabienne de Pierrebourg (2014, p. 10), a la habitación maya prehispánica y también a la mesoamericana en general. Y es posible que la situación de las puertas en el eje más largo de las estancias tenga que ver con la tradición de la arquitectura doméstica. Como veremos en el siguiente apartado, numerosos autores han señalado las referencias a la casa de madera y hoja de palma en la arquitectura monumental. Esta trasposición en piedra del espacio doméstico podría tener, por un lado, un carácter simbólico relacionado con el culto a la casa tradicional y, por otro lado, una razón de carácter funcional, vinculada con la utilización del espacio y el modo de habitarlo.

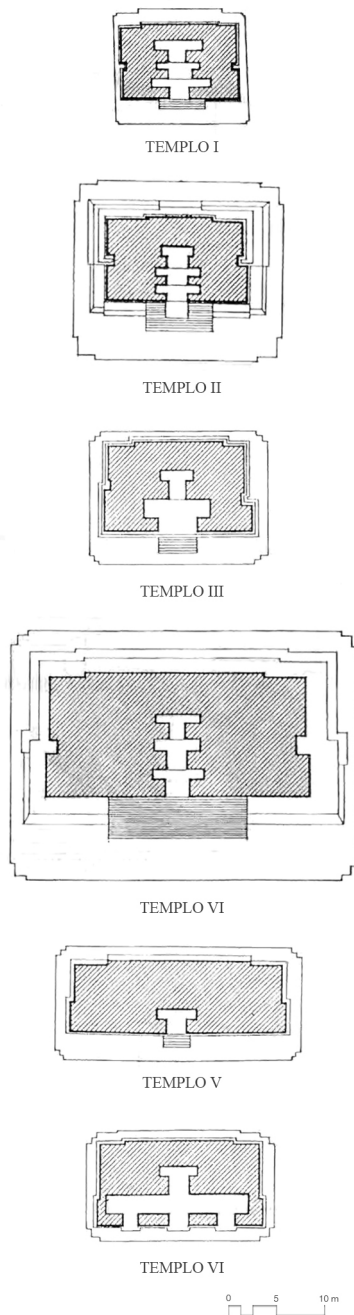


Figura 255. Plantas de los templos mayores de Tikal. Modificada de O. Quintana y R. Noriega (1992, p. 57) y original de I. Marquina.

7.3.1.2. Proporciones y percepción del espacio

Las dimensiones y proporciones del espacio interior pueden aportar asimismo información sobre su uso. También su relación con el exterior y con el espacio urbano o la estancia que le antecede. Estas relaciones nos aportan datos sobre la jerarquía entre espacios y su grado de privacidad.

Los espacios interiores de la arquitectura monumental maya se caracterizan, en general, por ser reducidos, con poca luz y de carácter íntimo. Ya hemos visto que, debido a las limitaciones del sistema estructural de la bóveda, la mayoría de las estancias no superan los tres metros de anchura. George F. Andrews (1995e, p. 259) argumenta que los mayas empleaban los edificios monumentales para delimitar los espacios exteriores y crear una escenografía urbana determinada, restando relevancia a los espacios cubiertos interiores. Este hecho se enfatiza cuando la arquitectura es de carácter ceremonial: en los grandes templos de Petén los espacios abovedados interiores son estancias muy estrechas, prácticamente inhabitables, que debieron cumplir una función meramente escenográfica de cara al público situado en las grandes plazas exteriores. El Templo I de Tikal, por ejemplo, está formado por tres crujeas paralelas de cuartos abovedados de solamente 70 cm de anchura, entre 4,50 y 6,50 m de longitud y más 5 m de altura (Coe 1990), unos pasillos angostos por los que apenas puede pasar una persona. La única zona habitable en estos edificios es la parte central, donde se sitúan los dinteles, pues en este punto se conectan transversalmente las diferentes crujeas (figura 255). El Templo V de esta misma ciudad sólo tiene un espacio interior utilizable de 0,85 m de anchura, frente a los 5,88 m del muro posterior que soporta la gran crestería. En este caso es mayor incluso el espacio bajo el dintel de la puerta, de 2,18 m por 1,80 m que miden las jambas, que la propia estancia interior (Quintana Samayoa y Noriega Girón 1992, p. 59).

Otro ejemplo lo encontramos en el Edificio A de Nakum (figuras 256 y 257). La estancia de la crujea exterior de este templo tiene una luz de 92 cm, y la interior tan sólo tiene 60 cm de anchura, con una longitud de más de 15 m y una altura interior de 4,90 m, un espacio desproporcionado para realizar cualquier actividad en su interior (figura 256). Parece evidente que estos cuartos de templos, aunque reproducen el esquema tipológico de los palacios con varias crujeas paralelas, no pudieron ser espacios habitables. Los edificios situados en la cumbre de las grandes plataformas piramidales representaban, de forma simbólica, palacios, y los espacios interiores debieron cumplir una función meramente escenográfica de cara al público situado en las grandes plazas exteriores.

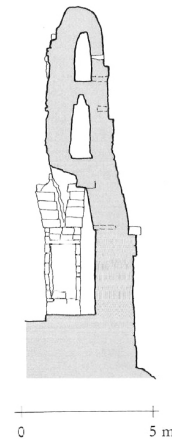


Figura 256. Sección del templo superior del Edificio A de Nakum, tomada de O. Quintana y W. Wurster (2001, p. 91).

Figura 257. Edificio A de Nakum desde la Plaza Central.

Esta situación alcanza el extremo en la arquitectura del área de Río Bec y en algunos sitios del área Chenes, donde llegan a reproducirse estos templos en altura mediante torres compactas con escalinatas impracticables (figura 258). Los espacios interiores de los edificios que se sitúan en la cumbre de estas torres, a veces incluso fingidos, pierden importancia frente a la representatividad, simbología y escenografía del volumen exterior (Gendrop 1983, p. 45-72).

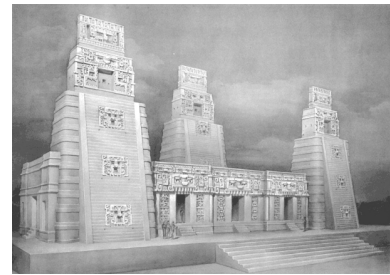


Figura 258. Reconstrucción ideal de la Estructura 1 de Xpuhil según T. Proskouriakoff (1976, p. 53).

En los edificios palaciegos, en cambio, las proporciones las proporciones de los espacios interiores y la relación entre el lleno y el vacío suelen ser totalmente diferentes. Aun estando limitada la anchura por el sistema estructural de la bóveda, los mayas construyeron en la arquitectura palaciega estancias más amplias, en las que podía haber una banqueta y un espacio de paso, o en las que pueden situarse dos personas enfrentadas, por lo que, funcionalmente, estos espacios abovedados son claramente distintos a los anteriores. Dos tercios de las estancias de palacios y cuadrángulos analizadas miden entre 1,90 y 3,30 m de anchura y es evidente que, con el desarrollo de la tecnología constructiva de la bóveda, los constructores mayas persiguieron ampliar la luz de los espacios, hasta llegar a los cuatro metros en algunos casos muy excepcionales, como veíamos en el apartado 7.1.



Figura 259. Portada provista de una columna central en una estancia del Palacio de los Cinco Pisos de Edzná.

Aun así, generalmente el espacio interior en la arquitectura maya es bastante limitado en cuanto a anchura y, por la ausencia de huecos hacia el exterior, es generalmente oscuro, sobre todo en las estancias a las que se accede desde otro cuarto previo. Esta percepción del espacio interior cambia ligeramente y gana amplitud con la introducción de portadas provistas de columnas (figura 259)

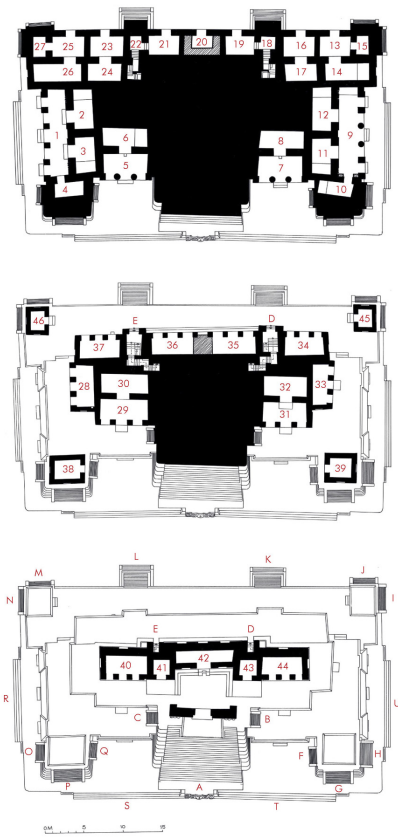


Figura 260. Plantas del Palacio de Santa Rosa Xtampak tomadas de H. Hohmann (2017, p. 20).

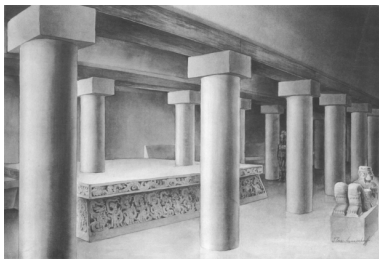


Figura 261. Reconstrucción del interior de un edificio del Grupo de las Mil Columnas según Tatiana Proskouriakoff (1976, p. 101).

en la arquitectura temprana del área Puuc y en algunos sitios del área Chenes (Gendrop 1983, p. 145-161). Tal y como apunta Hasso Hohmann (2017, p. 92-94), existe una gran diferencia espacial y funcional entre los cuartos con una o varias puertas y los que se abren con varias columnas, pues los primeros se podrían cerrar con sistemas de puertas percederas, tal y como veremos a continuación, mientras que los segundos difícilmente podrían ser cerrados y funcionarían como espacios semiabiertos, muchas veces previos y como antesala a cuartos más privados. En la figura 260 puede observarse cómo se logra de este modo la gradación de la privacidad en el Palacio de Santa Rosa Xtampak: obsérvese como ejemplos el conjunto formado por los cuartos 1, 2, 3 y 4 o la jerarquía entre los cuartos 5 y 6.

Esta gradación de la privacidad era necesaria en los conjuntos palaciegos, que eran la residencia de la élite y además funcionaban como centro de poder político y económico en las ciudades. Su configuración arquitectónica debía permitir pasar gradualmente del espacio más público al de la más completa intimidad (Vidal Lorenzo et al. 2013). Esto no sólo se podría conseguir con columnas y espacios cubiertos semiabiertos, sino también con espacios públicos como patios y plazas con diferentes niveles de privacidad. Un ejemplo puede verse en la Acrópolis de La Blanca, en la que el palacio principal vuelca a un patio con un carácter privado, protegido por otros edificios y elevado sobre la gran Plaza Norte, de carácter totalmente público (figura 253). Este grado de privacidad intermedio se da, asimismo, en conjuntos como la Acrópolis Central de Tikal, con diferentes patios y plazas protegidos y elevados respecto de los grandes espacios urbanos principales.

Tal y como señala George Andrews (1995e, p. 259-261), la verdadera revolución del espacio interior abovedado en la arquitectura maya monumental llega con el sistema constructivo adintelado del período Floreciente Modificado de Chichén Itzá, a partir del año 1000 d.C., que ya hemos comentado en el apartado 7.2.2. La sustitución de los muros de carga por vigas de madera apoyadas sobre hiladas de columnas como soporte de las bóvedas permitió cambiar radicalmente el carácter de los espacios interiores: la profundidad del espacio interior dejó de estar condicionada por el ancho máximo de las bóvedas y se consiguió introducir luz natural a través de varias crujías paralelas, lo que abrió nuevas posibilidades espaciales nunca antes concebidas (figura 261).

7.3.1.3. Elementos constructivos y de mobiliario interior

Para comprender funcionalmente el espacio interior hemos analizado los sistemas de accesos y circulaciones, las dimensiones y proporciones y las relaciones de jerarquía y privacidad. Otro aspecto que puede aproximarnos a conocer

las actividades que tenían lugar en los espacios abovedados son los elementos constructivos y de mobiliario interior, o bien las huellas de éstos que se han conservado en los interiores de las estancias. En la base de datos se han registrado diferentes tipos de elementos constructivos que se han identificado *in situ*. A continuación se describen y analizan los más relevantes.

Uno de los elementos de mobiliario son las banquetas, unos bancos contruidos generalmente de mampostería y posteriormente estucados, donde presumiblemente los usuarios de estos espacios se sentarían o se recostarían (Muñoz Cosme 2006, p. 84), tal y como se muestra en las escenas cortesanas representadas en las vasijas cerámicas. Existen banquetas de diferentes tipos y formas, también decoradas, y su tamaño en relación al de la estancia es asimismo variable (figura 262). De las estancias abovedadas registradas en la base de datos, un 29% conservan una o varias banquetas, aunque este elemento es mucho más común en algunas áreas geográficas que en otras: mientras que un 53% de las estancias registradas en Petén tienen banqueta, en el área Puuc este porcentaje apenas supera el 10%, lo que podría indicar que posiblemente hubo elementos de mobiliario contruidos con materiales perecederos o que la forma de utilización de las estancias fuera distinta (Andrews 1994c, p. 26). La existencia de banquetas también puede resultar útil para determinar la función de los espacios interiores en diferentes tipologías arquitectónicas. Un dato interesante en este sentido es que no se ha registrado ninguna banqueta en estancias de edificios tipo templo.

Además de las banquetas, existen otros elementos constructivos relacionados con la función del espacio interior. En varias de las estancias registradas se han identificado nichos u hornacinas que servirían para depositar o almacenar diferentes objetos (figura 262). También se han documentado respiraderos o ductos, unos huecos de pequeño tamaño realizados en los muros y pasantes desde el interior hasta el exterior (Muñoz Cosme 2006, p. 83). A estos conductos en los muros se les han atribuido funciones como la ventilación o la iluminación de los espacios, y parece ser que también podrían tener significados astronómicos o religiosos (May Castillo 2014). En Palenque estos respiraderos tienen forma de “T” o de *Ik*, un símbolo que en maya significa “aliento, espíritu, soplo vital o vida” (Gendrop 1997, p. 110). Aunque son mucho menos frecuentes en la arquitectura maya, hay algunos edificios con ventanas: en Tikal hay varios ejemplos como el Palacio de las Ventanas (figura 263), el Edificio 5D-46 o el Palacio Maler (5D-65). Otro ejemplo singular en el que encontramos ventanas es el Templo de las Siete Muñecas de Dzibilchaltún.

Otro tipo de elementos que nos aportan información sobre cómo se habitaban las estancias son las huellas que se conservan del mobiliario interior de



Figura 262. Interior de uno de los cuartos del Palacio Maler de Tikal.

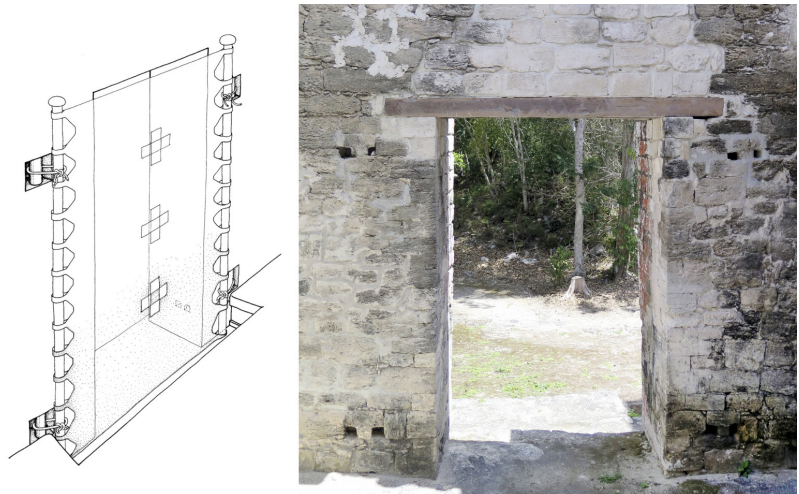


Figura 263. Interior de uno de los cuartos del Palacio de las Ventanas de Tikal.

carácter perecedero, como los elementos textiles o de fibras vegetales. Tal y como se muestra en las representaciones de las vasijas, la arquitectura maya fue una arquitectura vestida y los espacios interiores estaban engalanados con tejidos, pieles y petates, cortinajes, cojines y alfombras (Vidal Lorenzo 2006; Delvendahl 2010, p. 182-184). En la toma de datos se han registrado y fotografiado diferentes elementos vinculados con el mobiliario interior, y según sus características podemos dividirlos en las siguientes categorías:

- a) Pasacordeles que pudieron servir para pasar cuerdas que amarraran los sistemas de cierre de las puertas o para sujetar los cordones de los cortinajes que protegían los interiores de la intemperie y les dotaban de privacidad, de manera que pudieran correrse y descorrerse fácilmente (Gendrop 1997, p. 21). Los hay de diferentes formas y normalmente aparecen a los dos lados de las puertas, uno en la parte superior y uno en la inferior (figura 264). Algunos están formados por un nicho en el muro con una pieza cilíndrica vertical de piedra o de madera inserta en su interior (figura 265a) que permite el paso de una cuerda a su alrededor (Muñoz Cosme 2006, p. 83). Otras veces son una pieza especial inserta en el muro que incorpora uno o varios orificios para pasar el cordel (figuras 265b, c, d y e), y en algunos casos menos comunes están contruidos con una pieza de cerámica empotrada en el muro (figura 265f).

Figura 264. Izquierda: Hipótesis del cierre de las puertas mediante pasacordeles realizada por Hasso Hohmann (2017, p. 118). Derecha: Pasacordeles en la Estructura I de Chicanná.



- b) Anillos de amarre formados por pequeños aros de piedra empotrados en la fábrica que podrían servir como pasacordeles o cortineros. Son característicos del área Puuc (figura 265g).

- c) Colgadores o ganchos de piedra insertos en el muro, típicos también del área Puuc, y que en ocasiones tienen forma de pie (Andrews, Gendrop y Siller 1985, p. 48). Aparecen situados en los lados de las puertas o en los muros hastiales (figura 265h).
- d) Otra tipología son las depresiones circulares situadas en las jambas de las puertas (figura 265i), que presumiblemente servían para encajar las barras de los sistemas de cierre de las puertas realizados con maderas, tejidos o fibras vegetales (figura 266), por lo que se les ha denominado “portavaras” (Andrews, Gendrop y Siller 1985, p. 48). Muchas veces aparece uno en la parte superior y dos en la parte inferior (Andrews 1994c, p. 25).



- a. Pasacordel en el Templo de la Cruz Foliada de Palenque.
 b. Pasacordel en la Estructura 4B2 o Palacio Sur de Sayil.
 c. Pasacordel en la Estructura XX de Chicanná.
 d. Pasacordel en la Estructura 11 de Acanmul.
 e. Pasacordel en la Casa Colorada de Chichén Itzá.
 f. Pasacordel formado con una pieza cerámica en el Edificio 3E1 de Chilonché.
 g. Fragmento de un cortinero en el Conjunto de Las Monjas de Chichén Itzá.
 h. Colgador en forma de pie en la Estructura 1 de Chacmultún.
 i. Portavaras en la parte inferior del muro del cuarto 7 del Edificio 6J2 de La Blanca.

Figura 265. Ejemplos de distintos elementos constructivos relacionados con el mobiliario interior y con el uso de textiles en el interior de las estancias.



Figura 266. Izquierda: Reconstrucción hipotética de varios sistemas de cierre de puertas con portavaras según Hasso Hohmann (2017, p. 120). Derecha: Portavaras en el Palacio de las Ventanas de Tikal.

- e) Y, por último, los travesaños o morillos que, como ya hemos visto, tenían una función constructiva y una vez finalizado el edificio se utilizarían como elementos de mobiliario interior para colgar cortinajes y utensilios.

Los exteriores de los edificios, aunque hoy los vemos desnudos, estuvieron revestidos de estuco, decorados y pintados de brillantes colores. Además, en algunos casos se ha podido documentar que se utilizaron protecciones textiles en las fachadas para tamizar y controlar la luz que entraba al interior de los espacios, tan potente en estas latitudes. En edificios como el Templo V o el Palacio Maler de Tikal se han documentado unos pequeños orificios sobre los vanos de las puertas, bajo la cornisa media, que presumiblemente estaban destinados a colocar una estructura de madera que sostendría algún tipo de toldo (Quintana Samayoa y Noriega Girón 1992, p. 59-60). En *Palaces of the Royal Court at Tikal* Peter Harrison (2003, p. 107) propone una hipótesis al respecto (figura 267).

Sería muy interesante realizar un análisis más detallado de las diferentes huellas de los elementos de mobiliario, de cierres y protecciones, tanto los situados en las fachadas como en el interior de las estancias. A partir de su clasificación y considerando su función y posición en cada cuarto se podría reconstruir

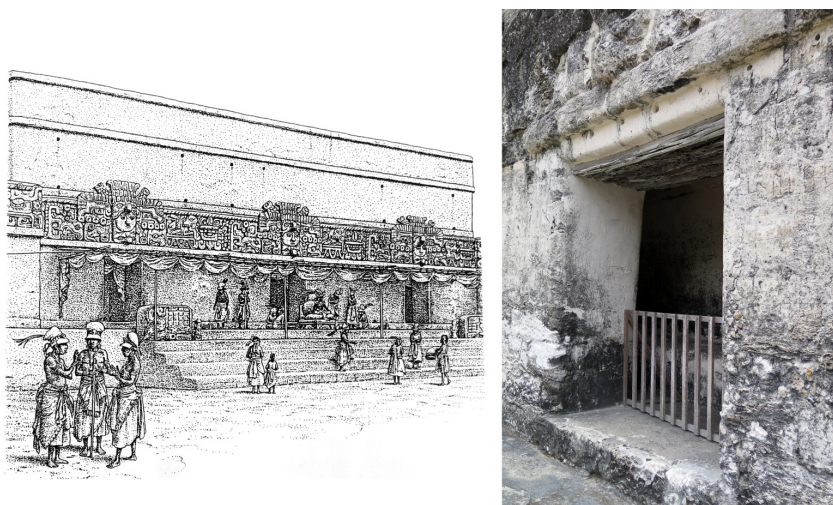


Figura 267. Izquierda: Reconstrucción hipotética del Palacio Maler de Tikal según P. Harrison (2003, p. 107). Derecha: Vano de la fachada principal de dicho edificio, donde se aprecian sobre el dintel los orificios donde se colocarían los toldos.

hipotéticamente el mobiliario y el ambiente de los espacios interiores, para poder aproximarnos a las relaciones de jerarquía y privacidad entre las diferentes estancias del edificio y, en definitiva, a su función y a la manera de habitar esta arquitectura.

7.3.1.4. La representación del espacio interior en las fuentes iconográficas

La principal fuente iconográfica donde se representa el espacio interior de la arquitectura monumental son las vasijas policromas, que nos aportan datos sobre cómo se usaban las estancias. Sobre la superficie curva de estos vasos cerámicos se plasman en numerosas ocasiones escenas figurativas que aportan mucha información sobre la vida cortesana en los palacios. Con la técnica de la fotografía periférica o *rollout* se han podido “desplegar” las imágenes de las vasijas cilíndricas para analizar más fácilmente el conjunto de la representación. Muchos de estos *rollouts* de vasijas mayas se pueden consultar a través de la base de datos *Maya Vase Data Base*, creada por Justin Kerr (2008).

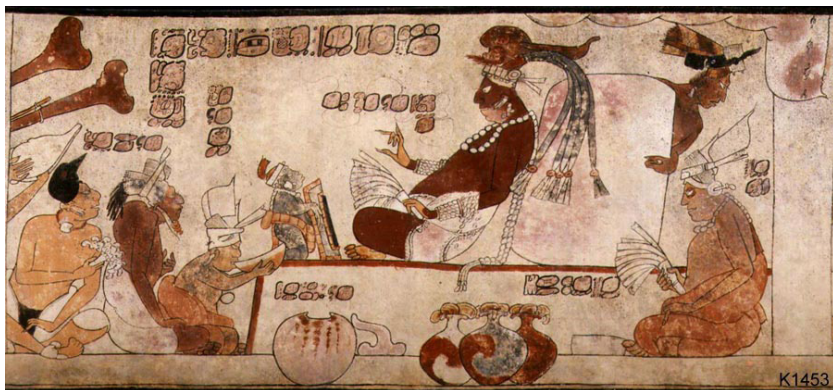


Figura 268. Vasija K1453. Tomada de *Maya Vase Database* (Kerr 2008).

Figura 269. Vasija K2695. Tomada de *Maya Vase Database* (Kerr 2008).



Figura 270. Vasija K1728. Tomada de *Maya Vase Database* (Kerr 2008).



Por lo general, en las escenas de las vasijas destaca un personaje principal que, sentado en una banqueta o trono, presta atención a otros personajes visitantes que, desde una posición inferior, le entregan tributos o dialogan con este gobernante (figura 268). En algunos casos se representa el momento en que un dirigente se está preparando para una ceremonia o ritual (Vidal Lorenzo et al. 2013), tal y como ocurre en la vasija K2696, hallada en un entierro en el Edificio 5D-46 de Tikal (figura 269).

En estas escenas la arquitectura apenas se representa, pero se sugiere que se sitúan en espacios interiores por la aparición de elementos de mobiliario. Por ejemplo, las banquetas y los tronos, a veces vestidos con una estera sobre la que aparece sentado o recostado el personaje principal. En muchas de estas vasijas se aprecian cortinajes en la parte superior de la estancia, lo que nos permite entender el uso de elementos de mobiliario como los pasacordeles, cortineros o colgadores que hemos visto anteriormente (Vidal Lorenzo 2006). En la vasija con referencia K1728 (figura 270), procedente de Motul

de San José, uno de los personajes sujeta una barra de madera con un cortinaje o elemento textil (Delvendahl 2010, p. 309). Es posible que esta barra se insertara en colgadores o cortineros dispuestos en los muros, o incluso cabría la posibilidad de que apoyara en los morillos.

Otra fuente iconográfica que puede aportarnos información son los grafitos incisos en los muros, una manifestación artística más popular y libre de los cánones estrictos del arte oficial (Vidal Lorenzo y Muñoz Cosme 2009). En algunas ocasiones se representan escenas o acontecimientos que podían haber tenido lugar en la misma estancia en la que se grabó el grafito, lo que supone una fuente de información muy relevante sobre la utilización del espacio interior. Un ejemplo destacado lo hallamos en el Edificio 6J1 o Palacio de Oriente de La Blanca. En uno de los muros del cuarto principal de este edificio se ha documentado una escena incisa en la que varios personajes ofrecen tributo a un gobernante y que podría haber tenido lugar en esa misma estancia (figura 271).

En los grafitos se representa en muchas ocasiones la arquitectura de una manera más explícita que en las vasijas. Se han documentado ejemplos en los que aparecen basamentos piramidales, edificios de varios pisos y hasta canchas de juegos de pelota, así como plazas y calzadas. También se representan en muchos casos estructuras de madera y hoja de palma (Feliu Beltrán 2017). El estudio detallado de estas representaciones puede aportarnos mucha información sobre las actividades que tenían lugar en los espacios urbanos, así como sobre la visión que tenían los mayas de las ciudades y de su propia arquitectura.

7.3.2. Funciones del espacio abovedado

Con los resultados obtenidos del estudio sobre el espacio interior y a partir de la información registrada en la base de datos, se han establecido ocho tipologías funcionales de los espacios abovedados (tabla 15). La que más predomina, con más de un 80% de los casos, es la de la estancia habitable que, como veremos, puede tener distintos usos específicos. A continuación vamos a analizar cada una de estas tipologías funcionales de los espacios cubiertos con bóvedas.

Estancias

Las estancias abovedadas albergaron diferentes usos según la tipología arquitectónica del edificio al que pertenecen. Por lo general, se considera que los espacios interiores de los palacios tenían funciones residenciales o administrativas, y es posible que también rituales o ceremoniales en algunos casos

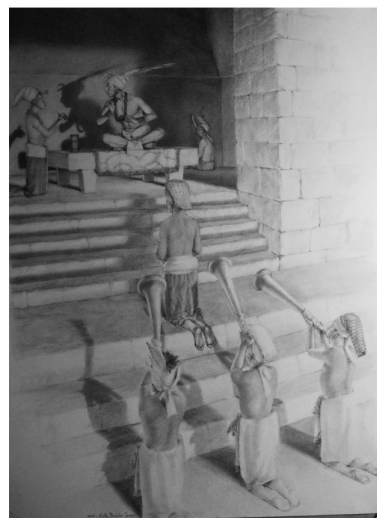


Figura 271. Superior: Escena representada en un grafito inciso en el Palacio de Oriente de La Blanca. Inferior: Reconstrucciones ideales de la escena. Dibujos de Érika Mejide. Fuente: Proyecto La Blanca.

Función del espacio abovedado	nº bóvedas	%
Estancias	320	81,8%
Cuartos de templo	23	5,9%
Tumbas	4	1,0%
Arcos urbanos	15	3,8%
Escaleras interiores	7	1,8%
Pasadizos	10	2,6%
Pasos bajo escalinatas	6	1,5%
Aligeramientos en cresterías	5	1,3%
Canalizaciones	1	0,3%
	391	100 %

Tabla 15. Número de bóvedas registradas según la función del espacio que cubren.

(Vidal Lorenzo et al. 2013). A partir del análisis arquitectónico del edificio, considerando la distribución, las circulaciones y las huellas de los elementos de mobiliario en cada caso, y basándonos en las representaciones de las vasijas o los grafitos, se puede intuir, en algunos casos, cómo podrían utilizarlas sus habitantes.

Siendo el uso general de los espacios palaciegos el residencial o el administrativo, parece claro que los diferentes cuartos de un mismo palacio podrían tener distintas funciones específicas. Esto resulta evidente en numerosas ocasiones por la jerarquía establecida entre las diferentes estancias, bien sea por su tamaño, su posición en el edificio o por las servidumbres de accesos entre los diferentes cuartos. Algunos cuartos palaciegos tendrían una función secundaria o de *espacio servidor*, que complementaría la actividad del espacio principal o *espacio servido*¹⁰¹. En ocasiones, el hallazgo de múltiples objetos y utensilios en una determinada estancia durante las investigaciones arqueológicas ha permitido establecer su función como espacio de almacenamiento (Vidal Lorenzo, Vázquez de Ágredos Pascual y Muñoz Cosme 2016, p. 282). En otros casos, esta función de almacenaje de alimentos o utensilios se ha podido suponer a partir del análisis compositivo de la planta del edificio, que permite establecer jerarquías y relaciones de dependencia entre los diferentes espacios. Un ejemplo de ello puede observarse en el Palacio de Oriente o Edificio 6J1 de La Blanca. La estancia principal de este palacio está flanqueada por dos pequeños cuartos, dispuestos ortogonalmente a los principales, y a los que sólo se puede acceder desde la misma estancia (figura 272). En el grafito que hemos visto anteriormente, aparece representado un gobernante recibiendo una ofrenda o tributo (figura 271), por lo que es posible que estas estancias adyacentes a la principal sirvieran para almacenar objetos y utensilios, es decir, como espacio servidor de la estancia central (Vidal Lorenzo, Vázquez de Ágredos Pascual y Muñoz Cosme 2016, p. 285).

¹⁰¹ La clasificación de los espacios arquitectónicos en *espacios servidos* y *espacios servidores* fue establecida por el arquitecto Louis I. Kahn (1901-1974). Véase al respecto A. González Capitel (1996).

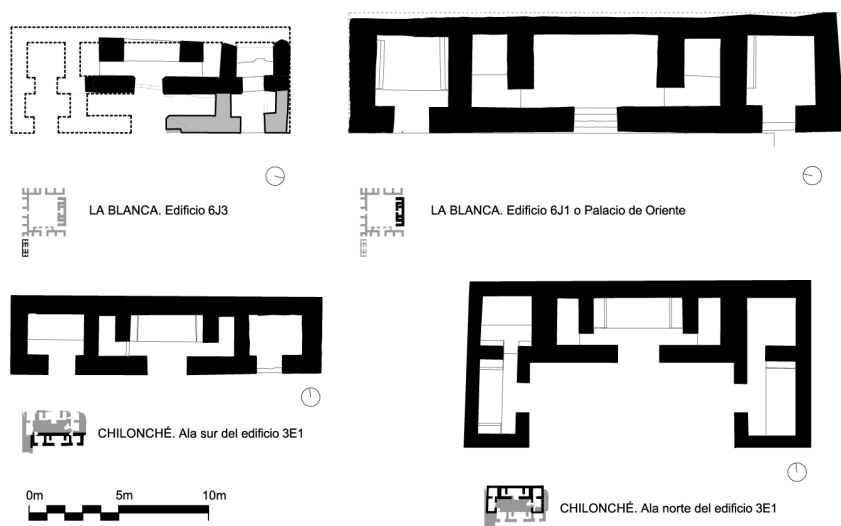


Figura 272. Plantas de los Edificios 6J3 y 6J1 de La Blanca y de las alas norte y sur del Edificio 3E1 de Chilonché. Modificado de G. Muñoz, A. Peiró, L. Gilabert y R. Martínez (2015, p. 364).

Este esquema de distribución y jerarquía entre espacios aparece también en otros edificios como el 6J3 de La Blanca o el 3E1 de Chilonché en sus alas norte y sur (figura 272). También se han identificado distribuciones similares en las Estructuras 5D-46 y 5D-49 de la Acrópolis Central de Tikal o en el Edificio N de Nakum, lo que podría indicar la existencia de unos espacios específicos destinados al almacenaje de bienes que, además, por su configuración y posición en el edificio, podrían ser fácilmente custodiados (Vidal Lorenzo, Vázquez de Ágredos Pascual y Muñoz Cosme 2016, p. 285; Muñoz Cosme et al. 2015). Entre los edificios analizados se han identificado esquemas similares que podrían indicar esta función de almacenaje de varias de sus estancias abovedadas. Algunos ejemplos son: las Estructuras 20, 33, 42 y 44 de Yaxchilán; el ala este del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal (figura 273); y las alas occidental y septentrional del Patio Sureste del Conjunto de las Monjas en Chichén Itzá.

Un caso muy singular de reutilización de un cuarto abovedado como espacio de almacenamiento se da en el sitio de Labná. Una de las estancias del primer piso del palacio principal de este sitio fue sellada y reutilizada, en una etapa posterior, como chultún¹⁰², con una superficie de captación del agua de lluvia situada en la terraza de la segunda planta del edificio (Thompson 1970, p. 77-78; Zapata 1985, p. 23). Sin embargo, se trata de un caso aislado y no puede considerarse una tipología funcional de los espacios abovedados, pues normalmente estos depósitos se construían excavados en el terreno, para almacenar agua u otro tipo de alimentos como grano o maíz (Puleston 1971).

En algunos casos, por la tipología del edificio, sus rasgos arquitectónicos o los elementos funcionales que se conservan en el interior de la estancia, se

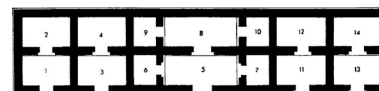


Figura 273. Planta del edificio este del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal tomada de G. Andrews (1994b, p. 33).

¹⁰² Comunicación personal de Lourdes Toscano Hernández.

han podido identificar usos muy específicos y singulares de algunas estancias abovedadas. Tal es el caso de las cámaras de vapor de los temascales. Los sistemas de drenaje para la evacuación del agua y las huellas, a veces, de un hornillo en el interior del cuarto, indican el uso del espacio como temascal o baño de vapor, una actividad basada en una tradición mesoamericana con un carácter no sólo higiénico sino también terapéutico, social y ceremonial (Mataredona Desantes 2014). En la base de datos se han registrado varias estancias que presumiblemente se utilizaron como cámara de vapor de un temascal. Los ejemplos más destacados son la del Edificio 26 de Nakum o la cámara de la Estructura P7 de Piedras Negras, que conserva en su interior el hornillo de piedra donde se generaba el vapor y, además, presenta la singularidad de que, sobre la bóveda, dispone de un aljibe para el almacenamiento del agua de lluvia.



Figura 274. Cuarto interior del Edificio A de Nakum, con una luz de 60 cm.

Cuartos de templos

Ya hemos visto que en algunos templos, aunque se imitan formal y tipológicamente las estancias de los palacios, distribuidas en varias crujías paralelas, los espacios interiores son tan angostos que no pudieron ser estancias habitables. En estos casos la función del espacio abovedado pudo tener un carácter simbólico y escenográfico de cara al público situado en los grandes espacios urbanos frente a los que normalmente se sitúan los templos.

Hemos considerado que los espacios abovedados que tendrían esta función simbólica y representativa son los cuartos de templos que no superan los 1,20 m de luz, basándonos en la hipótesis de que en un cuarto con una dimensión menor no podrían realizarse actividades de índole residencial o administrativa, y que tampoco son espacios de paso ni pasadizos, pues están cerrados en sus extremos. Los ejemplos más claros de ello se dan en los templos de Petén, como por ejemplo en los templos mayores y en varias estructuras de la Acrópolis Norte o de Mundo Perdido de Tikal¹⁰³. También se ha identificado esta función en otros templos de Petén como el Edificio A de Nakum (figuras 256, 257 y 274) o la Estructura 216 de Yaxhá, en los que sobre las grandes plataformas piramidales se sitúan cuartos que apenas alcanzan un metro de luz (figura 275).

Sin embargo, para identificar esta función especial, además de la luz del cuarto, debe considerarse también la tipología del edificio y sus características arquitectónicas. Hay casos en los que los cuartos abovedados de los templos no son tan angostos, pero por su posición en lo alto de grandes escalinatas parece lógico pensar que no fueron construidos para habitar en su interior, sino más bien como espacios simbólicos y escenográficos, de marcado carácter ceremonial y ritual. Tal es el caso, por ejemplo, de los cuartos de las

¹⁰³ Véanse como ejemplos en el catálogo las Estructuras 5D-86, 5D-87 de Mundo Perdido y el Templo 23 de la Acrópolis Norte.



Figura 275. Estructura 216 de Yaxhá. Tomada de Ó. Quintana (2013, p. 202).

últimas fases constructivas del Templo del Adivino en Uxmal (figura 276). Los cuartos del edificio superior o Templo V, correspondientes a la última etapa (figura 277), tienen luces de unos dos metros, lo que en otro edificio podría considerarse una estancia habitable, pero por su situación en lo alto de una escalinata de gran pendiente no parece viable pensar que estos espacios albergaran funciones residenciales o administrativas. Por ello, también se considera con esta función denominada “cuarto de templo” a los espacios abovedados situados sobre grandes estructuras piramidales.



Figura 276. Templo del Adivino en Uxmal.

En algunos palacios hay cuartos estrechos de menos de 1,20 m de anchura, pero, como ya hemos visto, podrían ser espacios servidores de otras estancias más importantes. Para aproximarnos a la función de un espacio abovedado es por tanto necesario considerar otros factores además de la luz, como las características arquitectónicas del edificio y su tipología.

Tumbas

Una función singular de los espacios abovedados es la funeraria. En ocasiones las tumbas eran cámaras abovedadas clausuradas, sobre las cuales se construía, generalmente, el edificio dedicado al personaje difunto. Un ejemplo de esta práctica de marcado carácter simbólico es la tumba abovedada del gobernante de Tikal Jasaw Chan K'awiil I (figura 278), que reinó en Tikal entre el 682 y el 734 d.C. y a quien se le dedicó el Templo I (Vidal Lorenzo y Muñoz Cosme 1997, p. 46).

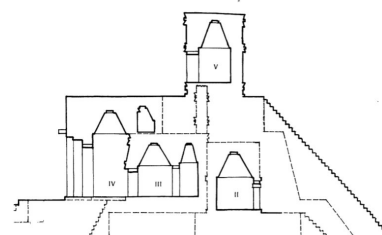


Figura 277. Fases constructivas del Templo del Adivino en Uxmal. Sección tomada de G. Andrews (1993b).

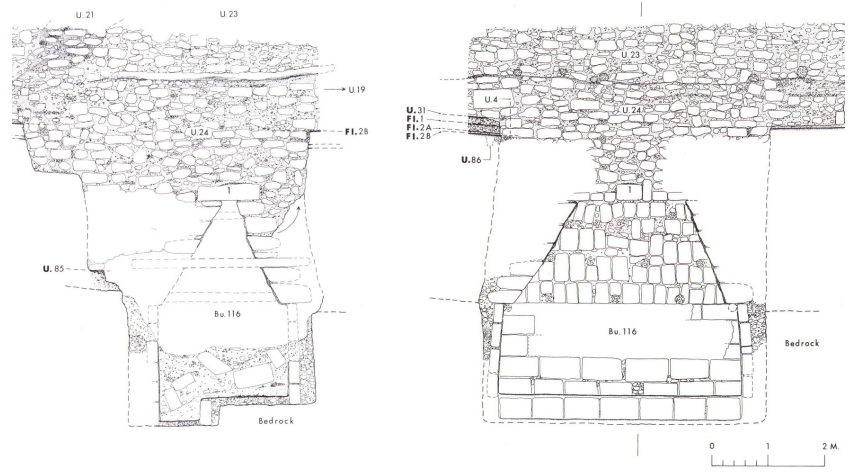


Figura 278. Secciones transversal y longitudinal de la bóveda del Entierro 116 en el Templo I de Tikal. Tomadas de W. R. Coe (1990, p. 258-259).

Es posible que las bóvedas más primitivas se construyeran para cubrir enterramientos. Algunos autores sitúan las primeras bóvedas del área maya en tumbas de los sitios de Uaxactún, Tikal y Holmul, en el área central de Petén, que pertenecerían al período Preclásico Tardío (Smith 1962, p. 203; Sharer 1998, p. 118; Werneke 2005, p. 107). En la base de datos se han registrado cuatro tumbas abovedadas, la mayoría de ellas con una toma de datos indirecta, pues no hay muchos casos que puedan visitarse en la actualidad. Una excepción es la tumba de Yax Pasaj Chan Yopaat, construida bajo la Estructura 18 de Copán en el 810 d.C. (Gutiérrez León 2010a, p. 533), y cubierta por una bóveda escalonada.

Uno de los ejemplos de tumba abovedada más singulares del área maya es la cripta de K'inich Janaab' Pakal (603-683 d.C.), en el Templo de las Inscripciones de Palenque. Esta cámara funeraria, descubierta en 1952, presenta múltiples peculiaridades. Se puede acceder a ella a través de una escalinata abovedada construida en el interior de la plataforma y por la que discurre un *psicoducto*, una conducción por la que se creía que el alma del difunto podía salir de la sepultura o permanecer en contacto con el mundo exterior (Ruz Lhuillier 1992, p. 303-304). La gran bóveda del enterramiento, de 3,75 m de luz, contiene un sarcófago de piedra con una losa de cierre exquisitamente tallada, en la que se representa el instante de la muerte de Pakal. Además, la cripta presenta varias singularidades desde el punto de vista formal y constructivo. Su planta en doble cruz está cubierta por bóvedas de sección recta que intersectan entre sí, y como refuerzo estructural, presenta unas grandes vigas de piedra que atraviesan la bóveda en sentido transversal (figura 279).

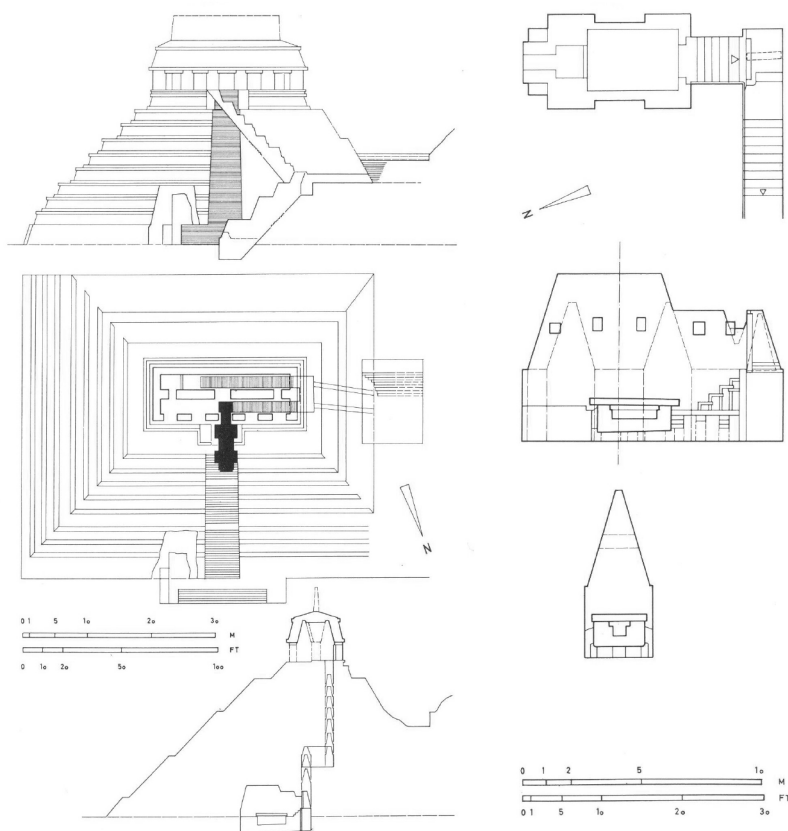


Figura 279. Cripta del Templo de las Inscripciones de Palenque. Tomado de H. Stierlin (1964, p. 46).

Pasadizos

Algunas bóvedas cubren espacios de paso o de circulación como pasadizos o escaleras, ya sea en el interior de un edificio o de carácter urbano. En la base de datos se han registrado diez pasadizos abovedados: en la mayoría de los casos estos pasajes tienen carácter urbano y comunican dos espacios de la ciudad, como por ejemplo dos plazas o dos patios, tal y como ocurre en Becán (figura 280) o en Cahal Pech (figura 281). También se han registrado pasajes urbanos abovedados en Naranjo y en San Clemente. En el Grupo G de Tikal un pasaje abovedado con directriz quebrada comunica el patio interior del conjunto con el exterior (figura 108).

En algunos casos especiales existen pasadizos abovedados en el interior de los edificios, como por ejemplo en el Palacio de Sayil. En la segunda planta de este complejo aparecen cuatro pasajes abovedados que dan a fachada y discurren hacia el interior del palacio, pero en la actualidad están bloqueados. Se desconoce si pudieron comunicar con escaleras interiores o con estancias que fueron rellenadas al construirse la tercera planta del palacio

Figura 280. Pasaje urbano abovedado en Becán.



Figura 281. Pasaje abovedado que comunica dos patios en el sitio de Cahal Pech.

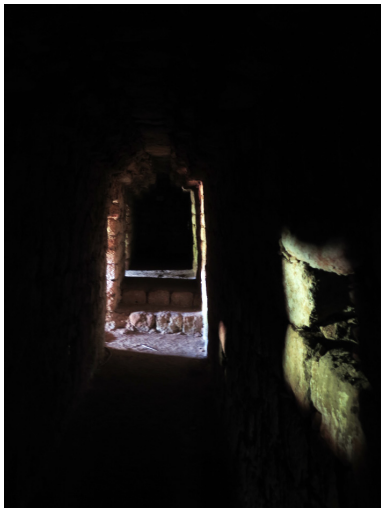


Figura 282. Interior de uno de los pasadizos abovedados del Satunsat de Oxkintok.

(Andrews 1993c, p. 80), y cabe la posibilidad de que estos espacios cumplieran una función escenográfica de cara al público situado en la gran plaza frente al palacio.

Un caso muy singular es el Satunsat de Oxkintok, considerado como un laberinto, con un marcado carácter ritual y parece ser que también astronómico (Muñoz Cosme 2006, p. 110). Los espacios interiores abovedados de este edificio, con una luz de entre 1,25 y 1,30 m, podrían considerarse asimismo pasadizos, pues cumplen una función de espacio de circulación (figura 282). Algo similar ocurre en el nivel inferior de la Estructura 19 de Yaxchilán, formada por un conjunto de pasadizos abovedados de trazado irregular que se comunican entre sí. Este edificio fue denominado “El Laberinto” por Teobert Maler, aunque es posible que su complejidad sea fruto de varias modificaciones y reformas (Sotelo Santos 1992, p. 107).

Escaleras interiores

Otros espacios de circulación abovedados son las escaleras interiores. Se han registrado siete ejemplos con diferentes configuraciones en planta: lineales de un solo tramo, de dos tramos en “L” o de tres tramos en “U”. Algunos ejemplos destacados son la del Edificio A-XVIII de Uaxactún o la escalera interior del Edificio 5D-46 de la Acrópolis Central de Tikal, conocido como Garra de Jaguar o Caracol¹⁰⁴ (figura 283).

¹⁰⁴ También se han identificado escaleras interiores abovedadas en otros edificios como la Estructura II de Becán, en el ya mencionado Edificio 19 de Yaxchilán, el Edificio 3E2 de Chilonché o en la Estructura IV de San Clemente.

Normalmente comunican dos niveles del edificio y, en algún caso, el interior de un edificio y un espacio urbano situado a diferente nivel, como la escalera cubierta de Cahal Pech, que comunica el interior de un edificio con una plaza situada en un nivel inferior (figura 284). Cuando la longitud del tramo lo requiere, las escaleras abovedadas se construyen mediante segmentos de bóvedas con directriz horizontal que van escalonándose en la sección vertical, para poder mantener la altura de cabezada necesaria durante el recorrido tanto ascendente como descendente, tal y como ocurre en el ejemplo de Cahal Pech o en la escalera abovedada que conduce a la cripta en el interior del Templo de las Inscripciones de Palenque (figura 279).

Arcos urbanos

Un tipo especial de espacios de paso cubiertos con bóvedas son los arcos urbanos. Mientras que una bóveda cierra y delimita un espacio, el arco se construye sin testeros, resultando una porción de bóveda cuya sección transversal queda vista. A esta tipología arquitectónica que comunica dos espacios abiertos, ya sean públicos o privados, la hemos denominado “arco urbano”¹⁰⁵. Su función suele ser marcar un punto de acceso importante a un lugar (Pollock 1980, p. 565), muchas veces con un marcado carácter simbólico y representativo. La diferencia entre los arcos y los pasadizos urbanos que hemos visto está en este carácter simbólico de “puerta” que tienen los arcos y también en la proporción de la planta del espacio cubierto, definida por la relación entre la longitud y la luz de la bóveda, que generalmente es mayor en los pasadizos.

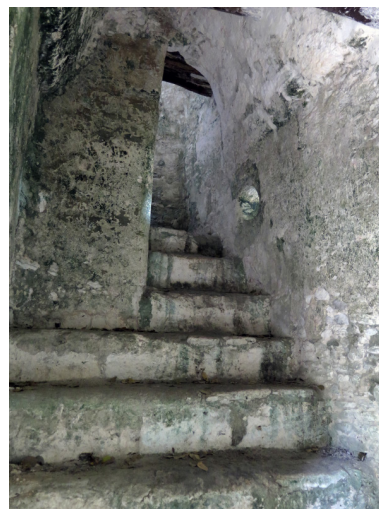


Figura 283. Escalera interior en el Edificio 5D-46 de Tikal.



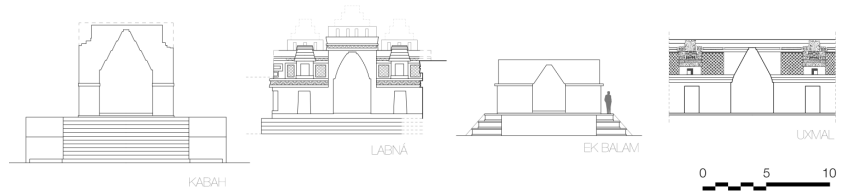
Figura 284. Escalera abovedada en Cahal Pech.

Figura 285. Arco urbano en El Palomar de Uxmal.

¹⁰⁵ Véase el artículo *El arco urbano en la arquitectura maya* (Gilbert Sansalvador, Peiró Vitoria y Martínez Vanaclocha 2017).

Existen diferentes tipos de arcos urbanos, desde los que son un edificio exento como el arco de Kabah hasta los que forman parte de la composición de la fachada del edificio, como el del Cuadrángulo de las Monjas o el del Conjunto de El Palomar de Uxmal (figuras 285 y 286). En la base de datos se han registrado 15 arcos urbanos¹⁰⁶, y 20 ejemplos más han sido identificados durante los trabajos de toma de datos *in situ* y documentación bibliográfica.

Figura 286. Alzados de los arcos urbanos de Kabah, Labná, Ek Balam y del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal. Tomado de L. Gilabert, A. Peiró y R. Martínez (2017, p. 62).



Pasos bajo escalinatas

La tipología funcional denominada “paso bajo escalinata” (tabla 15) se ha asignado a los espacios abovedados que, en edificios de dos o más plantas, abren un paso en el macizo de la escalinata. Estos espacios tienen una doble función: la de circulación y la constructiva, ya que permiten reducir un gran volumen de material de relleno. Están cubiertos bien por una bóveda entera, que se abre en el macizo de la escalinata, o bien por media bóveda adosada a la fachada del edificio (figuras 287 y 288).

Figura 287. Bóveda bajo escalinata en la Estructura 4 del Grupo B de Cobá.

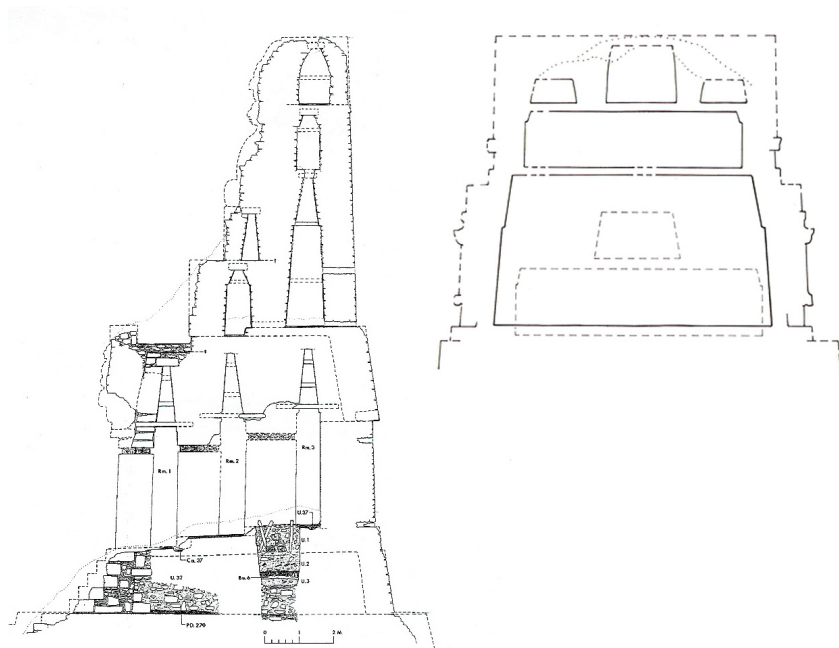


¹⁰⁶ Además de los nombrados y los que aparecen en la figura 286, en la base de datos se han registrado varios arcos urbanos más en los sitios de Uxmal, Oxkintok, Acanmul, Chichén Itzá, Cahal Pech y Tikal.

En algunas ocasiones la planta alta del edificio se construye en una fase posterior de ampliación y, mediante un paso abovedado de este tipo, se resuelve el acceso a las estancias de las plantas inferiores que quedan detrás de la nueva escalinata. En la base de datos se han registrado seis ejemplos de bóveda bajo escalinata en sitios como Cobá, Edzná, Ek Balam y Kabah, aunque existen muchos más.

Aligeramientos en cresterías

Existen también espacios abovedados inaccesibles en el interior de las cresterías, que se construían para aligerar estos grandes volúmenes. En las monumentales cresterías de los templos de Petén hay incluso varios niveles de cámaras abovedadas. Tal es el caso, por ejemplo, de la crestería del Templo I de Tikal, cuyas secciones se muestran en la figura 289. Cuando las cresterías son caladas, como ocurre por ejemplo en los edificios de Yaxchilán, estas cámaras abovedadas presentan múltiples ventanas (figura 290).



Un caso muy singular de cámaras de crestería es el del Edificio VII del sitio de La Honradez, en Petén, conocido como el Edificio de las Tres Torres. Se trata de una estructura de tres estancias dispuestas en “U” y con altas cresterías. Su peculiaridad radica en que sus bóvedas cumplen una doble función de cubierta de la estancia y de aligeramiento de la crestería¹⁰⁷ (figura 291). En este caso no hay separación entre el cuarto y el interior la crestería, por lo que el espacio



Figura 288. Media bóveda bajo escalinata en la Estructura 2C3 de Kabah.

Figura 289. Secciones transversal y longitudinal de la crestería del Templo I de Tikal. Modificado de W. R. Coe (1990, p. 253, 255).

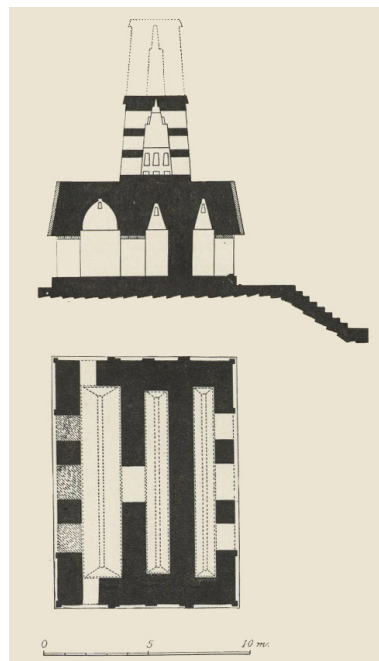


Figura 290. Planta y sección de la Estructura 6 de Yaxchilán según Teobert Maler (1903).

¹⁰⁷ Esta singularidad se da también en el Edificio XV del sitio cercano de Chochkitam (Quintana Samayoa 2008, p. 181).

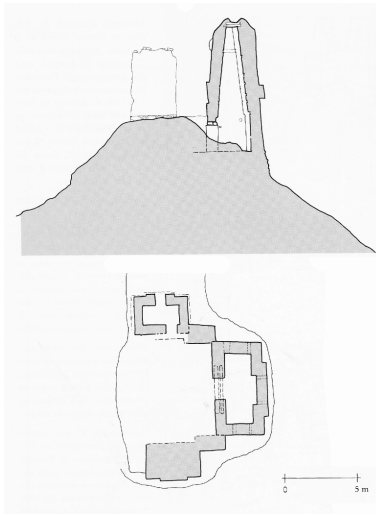


Figura 291. Planta y sección del Edificio VII de La Honradez. Tomado de O. Quintana y W. Wurster (2001, p. 74-75).

tiene continuidad vertical y una altura interior de más de 8,00 m. La bóveda, medida desde el arranque hasta la tapa, alcanza una altura de unos 5,60 m (Quintana Samayoa 2013, p. 97).

Canalizaciones

Y, por último, una función muy singular del espacio abovedado en la arquitectura maya es la de formar parte de una infraestructura urbana como es un acueducto. Los sistemas de captación y acumulación de agua eran fundamentales en las ciudades mayas, que necesitaban abastecerse tanto para las actividades de construcción como para el consumo humano. Es por ello que los mayas utilizaron diferentes tipos de infraestructuras hídricas según sus necesidades y según las características de cada zona geográfica: chultunes, diques, canales, aguadas, pozos y también acueductos (Muñoz Cosme 2006, p. 112-114).

En Palenque se descubrió que un gran acueducto abovedado transcurría enterrado a través de la zona central de la ciudad (Ruz Lhuillier 1955, p. 33). La bóveda que cubre esta conducción de agua tiene una luz aproximada de 2,10 m y una altura total de hasta 3,60 m. En algunos tramos cuenta con unas vigas de piedra a modo de travesaños (figura 292).

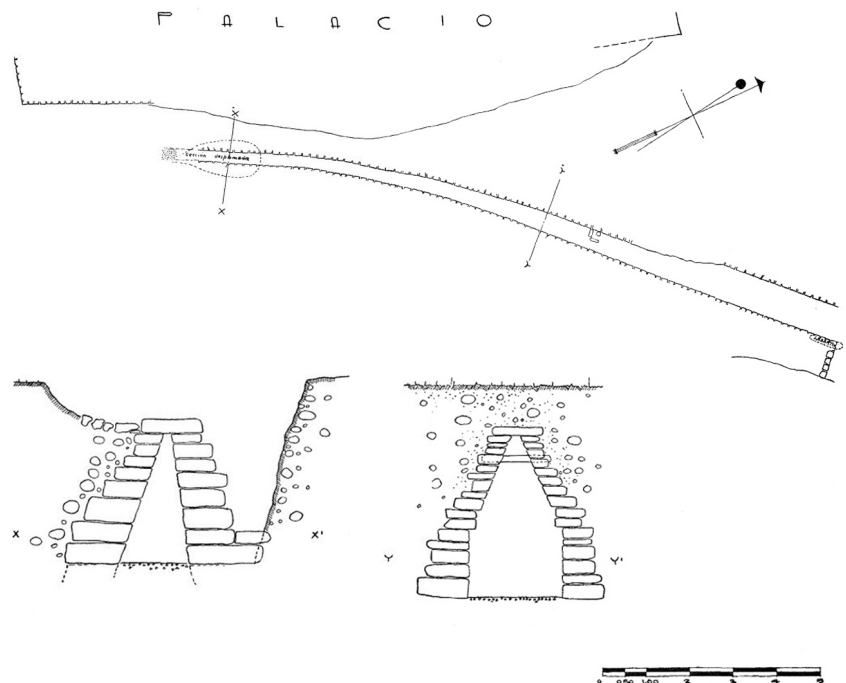


Figura 292. Planta y secciones del Acueducto de Palenque. Modificado de A. Ruz Lhuillier (1955, p. 34-35).

7.4. Aspectos simbólicos

La arquitectura y el urbanismo maya tienen un gran contenido simbólico. Las características de los edificios están muchas veces determinadas por cuestiones de orientación o astronómicas, y además en muchos casos tienen significados simbólicos según su posición respecto a otros edificios o según su forma. Por ello, para comprender las características más notables de esta arquitectura es necesario considerar otros aspectos relacionados con la manera de entender el mundo de los mayas antiguos (Muñoz Cosme 2006, p. 56).

La construcción de edificios con cubiertas de fábrica de piedra se produce en el momento de máximo auge de la civilización maya, y el empleo del material pétreo constituye en sí mismo una herramienta más para la representación del poder en la arquitectura de la élite. Sin embargo y, a pesar de ser uno de los elementos más arquetípicos de esta arquitectura, la bóveda no se representa ni en los códices ni en ninguna vasija conocida hasta el momento (Villalobos 2001, p. 11), por lo que parece que no era un componente relevante en las representaciones iconográficas del poder.

A continuación vamos a analizar dos aspectos de carácter simbólico que tienen relación con nuestro objeto de estudio. En primer lugar, las tapas de bóveda pintadas, que son una evidencia para numerosos autores de que el momento final de la construcción de las bóvedas, con la colocación de esta última pieza, tenía un marcado carácter ritual. En segundo lugar analizaremos las referencias simbólicas a la casa maya tradicional en la arquitectura monumental de piedra y, especialmente, en los espacios abovedados de los palacios.

7.4.1. Las tapas de bóveda pintadas

En algunos casos la pieza central de la tapa de la bóveda aparece pintada (figura 293). Por lo general se representa a una figura enmarcada por franjas de glifos o distintos diseños, normalmente de color rojo y a veces combinado con negro. En la mayoría de las tapas de bóveda aparece el dios K o K'awiil (Valencia Rivera 2016, p. 271), relacionado con el maíz, la lluvia y la sangre, y asociado a los gobernantes y a la élite. Esta deidad está caracterizada por la forma de gancho en la pupila, la nariz alargada y encorvada y los colmillos prominentes (Staines Cicero 2008). Según varios autores, esta práctica simbólica de decorar la pieza central de la tapa está vinculada con el ritual de dedicación y sacralización del edificio al finalizar su construcción (Carrasco Vargas 1987; García Campillo 1998; Staines Cicero 2001, 2008).

Las tapas pintadas son muy comunes en las regiones Puuc y Chenes y en otros lugares de las Tierras Bajas del Norte. Se han hallado ejemplos en Santa Rosa



Figura 293. Tapa de bóveda 1 de Ek Balam. Tomada de L. Staines Cicero (2008, p. 41).

Xtampak, Hochob, Dzibilnocac, Kiuic, Uxmal, Kabah, Chichén Itzá, Ek Balam...etc, aunque no son exclusivas de estas regiones, también se han localizado tapas pintadas en el área de Río Bec, en sitios como Becán y Chicanná (Carrasco Vargas 1987, p. 17; Staines Cicero 2001, p. 391) y algunos ejemplos puntuales en Calakmul y en Caracol (Valencia Rivera 2016, p. 272), por lo que es posible que existieran muchas más en las que el revestimiento de estuco o la capa pictórica no se han conservado.



Figura 294. Casa maya actual en Santa Elena, Yucatán.

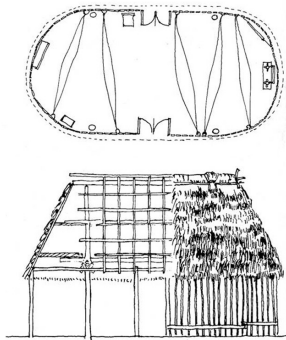


Figura 295. Planta y sección-alzado de una casa maya tipo. Tomadas de F. J. López Morales (1993).

¹⁰⁸ La tapa 1 de Ek Balam (figura 293) indica la fecha de cierre de la habitación de un personaje concreto, con la expresión: “(En) (11 Ok) 13 Chak Siho’m, (en) tiempos del 12 tuun en 5 Ajaw, entonces fue cubierto el cuarto de la casa de Tz’ihb’am Tuun”, lo que se corresponde con el 30 de agosto del 841 d.C. (Lacadena García Gallo 2003, p. 24-26).

¹⁰⁹ Sobre los materiales y el procedimiento constructivo tradicional de esta vivienda vernácula véase el artículo *La cabaña como arquetipo de la arquitectura maya* (Gilbert Sansalvador 2017).

Estas piezas decoradas fueron reportadas ya por los primeros exploradores y estudiosos de área maya a finales del siglo XIX, como Teobert Maler, que ya las describió como piedras dedicatorias (Staines Cicero 2008, p. 43). Normalmente la pieza decorada es la central en relación a la longitud de la estancia (Andrews 1994c, p. 25). Esta era la última losa que se colocaba, previamente estucada y pintada, para cerrar el espacio interior durante el proceso constructivo de los edificios (Hohmann 2017, p. 128). En muchos casos las inscripciones realizadas en las tapas incluyen la fecha en la que se finalizaba la construcción de la estancia¹⁰⁸, y en algunos ejemplos concretos dan nombre a la estructura que las contiene (Valencia Rivera 2016, p. 272).

7.4.2. La casa como arquetipo en la arquitectura maya

Numerosos autores han visto en la bóveda maya una transposición en piedra de la arquitectura doméstica de materiales perecederos, una referencia a la casa tradicional, que en la cosmovisión maya es un objeto de culto y que en numerosas ocasiones se representa en pinturas, grafitos y hasta en las decoraciones de las fachadas.

La choza maya es una pequeña unidad habitacional que aún se puede encontrar en algunas zonas de la península de Yucatán, Chiapas o Guatemala. Apoyada sobre una plataforma de mampostería, se construye con paredes de madera y barro y cubierta de hojas de palma colocadas sobre un armazón de madera, siendo un espacio muy adecuado para el clima tropical y de rápida autoconstrucción con materiales disponibles en el entorno¹⁰⁹ (figuras 294 y 295). Esta tipología de vivienda vernácula constituye un legado de los antiguos mayas que aún sigue vigente en los mayas de hoy y que forma parte de su identidad cultural. Además, es un elemento cargado de simbología y significado, pues la casa estuvo relacionada con su cosmovisión y en ella quedan plasmados sus conocimientos del entorno y de la orientación, así como el aprovechamiento de las condiciones climáticas.

Las proporciones y el sistema constructivo de esta vivienda vernácula han permanecido prácticamente invariables desde las épocas más tempranas de la civilización maya. En las antiguas ciudades de las Tierras Bajas, rodeando el área central donde vivía la élite en monumentales palacios de piedra, se

expandían grandes superficies de grupos habitacionales cuyas evidencias han podido registrarse en la actualidad por la permanencia de las plataformas donde asentaban las chozas perecederas. Además de las huellas de las viviendas, se han hallado abundantes restos de cultura material asociados a la vida cotidiana de sus habitantes: vasijas y platos cerámicos, utensilios líticos como metates y manos de moler o agujas de hueso para tejer.

Las evidencias arqueológicas de antiguas casas mayas se remontan al período Preclásico en sitios como Cuello, Kaminaljuyú o El Mirador (Sharer 1998, p. 92, 107, 125). En el sitio arqueológico de Uaxactún, durante las excavaciones realizadas en los años 30 por la Carnegie Institution of Washington en el complejo palaciego A-V, se halló una plataforma absidal de 80 cm de altura y dimensiones de 7,30 m de largo y 4,50 m de ancho, con las huellas de cuatro postes situados formando un rectángulo de 3,35 x 2,50 m (Smith 1950, p. 18-19). Estos restos se han fechado en el período Clásico Temprano (250-500 d.C.), lo que demuestra la continuidad en el tiempo de esta tipología arquitectónica (figura 296). Otra evidencia de la existencia de esta tipología en los tiempos antiguos se halla en algunas pinturas murales, como por ejemplo en el panel del Templo de los Jaguares de Chichén Itzá, o también en los grafitos, en los que aparecen numerosas representaciones de chozas de madera y hojas de palma (Feliu Beltrán 2017).

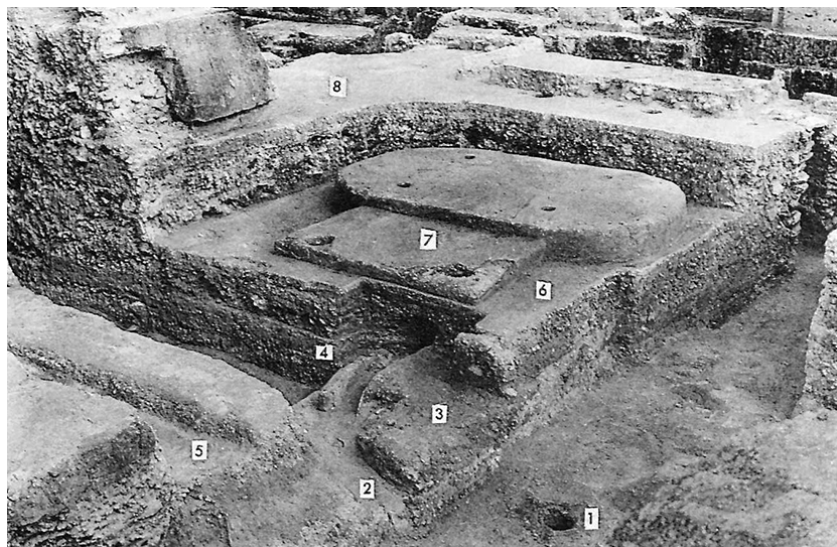


Figura 296. Plataforma con las huellas de los cuatro postes de una choza hallada durante la investigación de la Estructura A-V de Uaxactún. Tomada de A. L. Smith (1950).

En la arquitectura palaciega maya existen numerosas referencias a la vivienda primitiva, no sólo en la búsqueda del parecido formal de los espacios interiores, sino también en la utilización de motivos iconográficos que remiten a

elementos de la construcción vegetal. A veces incluso se representa la propia choza en las fachadas de los palacios, como símbolo y objeto de culto.

Referencias al espacio interior de la casa maya



Figura 297. Interior de una casa maya actual en Santa Elena.

Para describir las construcciones de fábrica y las características de la bóveda maya, varios autores hacen referencia a la petrificación de una forma preexistente (Thompson 1911; Stierlin 1964, p. 96), refiriéndose a la trasposición de la forma de la cubierta a dos aguas de la choza a la bóveda de lados inclinados (figura 297).

Principalmente, el espacio interior de una bóveda recuerda a la casa por la forma de su sección transversal, especialmente cuando tiene forma recta. La inclinación de las bóvedas en la arquitectura de Petén suele estar entre los 60 y 65° sobre la horizontal, un valor muy similar a la pendiente de las cubiertas de palma de guano. Mientras en la cabaña se busca esta inclinación para la correcta evacuación del agua de lluvia, en los palacios la inclinación viene determinada por el sistema estructural.

Como se ha indicado anteriormente, la inclinación de los testeros en algunas áreas geográficas también podría ser un recurso para la imitación del espacio doméstico. En la arquitectura del Clásico Tardío de Petén los testeros se construyen normalmente con sillares y con cierta inclinación hacia el interior de la estancia, lo que aparentemente no obedece a ninguna razón de carácter estructural o constructivo, sino que más bien podría responder a una voluntad estética o simbólica.

Un detalle constructivo que se mantiene prácticamente invariable en los edificios abovedados de todos los estilos y épocas es el voladizo de arranque de la bóveda, que recorre el perímetro interior de las estancias. Se trata de un recurso constructivo que además podría interpretarse como un guiño al cambio de plano y de material que se da en la coronación del muro de bajareque de la choza. Pero quizás el elemento del espacio interior de los palacios que visualmente más recuerda al de la cubierta vegetal son los morillos, que nos remiten a los travesaños horizontales que se colocan a mitad de la altura de las tijeras de la cabaña y ayudan a dar rigidez a la estructura de madera.

La representación de la casa en las fachadas

En las fachadas de los edificios, las referencias a la casa maya son de carácter iconográfico y se dan sobre todo en la arquitectura Puuc, conocida precisamente por la profusa decoración de los frisos con mosaicos de piedra tallada.

Un primer tipo son los motivos decorativos que aluden a elementos constructivos de la casa de madera y palma. El ejemplo más claro son los junquillos, unos cilindros de piedra que recuerdan al empalzado vertical del bajareque, y que se utilizaron en multitud de edificios para decorar tanto el friso como la parte inferior de la fachada. Tanto es así que dan nombre a uno de los subestilos de la arquitectura Puuc Clásica. Los junquillos están tallados en piedra caliza y tienen un volumen desbastado en su parte posterior para anclarse al relleno. A veces se intercalan con unos tamborcillos que recuerdan a una atadura con bejuco.

Otra referencia a la cubierta vegetal la encontramos en las molduras de tipo lazo, que simulan una atadura y se utilizan en muchos edificios Puuc, tanto en la cornisa media del edificio como en la del remate. Esta moldura está formada por tres piezas de piedra tallada que forman una sección vertical simétrica, recorre toda la fachada y produce un juego de sombras muy característico de la decoración Puuc. Uno de los mejores ejemplos para observar estas referencias a la choza es la Casa de las Tortugas de Uxmal, cuyo friso está decorado con junquillos y delimitado por dos molduras en forma de lazo, la superior decorada con tortugas.

El segundo tipo, y la referencia más directa, es la representación de la choza en los frisos de las fachadas, combinada con otros motivos iconográficos como celosías, grecas, junquillos, serpientes o mascarones de Chaac, el dios de la lluvia. Aparecen en puntos importantes de los frisos, centradas en la fachada o sobre las puertas. Algunos ejemplos conocidos son el Arco de Labná,



Figura 298. Representación de la casa maya en la fachada del ala norte del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal.



Figura 299. Representación de la choza en la Acrópolis de Ek Balam.

el Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal en sus alas norte, sur y oeste (figura 298), o el Palacio de Chacmultún.

También existen representaciones de la choza del tamaño de la fachada completa, como en la Acrópolis de Ek Balam, donde la decoración está realizada en estuco (figura 299). Un caso singular es la decoración del friso del edificio oeste del Cuadrángulo de los Pájaros de Uxmal, que reproduce en piedra una textura similar a la del guano de una cubierta vegetal y le confiere a la totalidad del edificio una imagen de choza maya, decorada con pájaros tallados en piedra (figura 300).

Aunque la construcción con fábrica es un elemento más para la representación del poder de la élite, resulta evidente que en la arquitectura maya existe una veneración a la vivienda doméstica. La trasposición de algunos elementos constructivos de la arquitectura de madera a la arquitectura pétreo palaciega produce una sensación de armonía basada en el orden y las proporciones naturales de la construcción primitiva, de forma similar a como ocurre en los órdenes y las formas clásicas de la arquitectura grecorromana, en la que también puede reconocerse esta trasposición en piedra de las primitivas construcciones de madera (Choisy 1899, p. 288). En cuanto a la imitación de la casa en el espacio interior abovedado, cabe señalar que los avances en la tecnología constructiva y la evolución estética que se producen durante varios siglos en la arquitectura maya clásica perfeccionan la imagen interior que rememora la vivienda vernácula.



Figura 300. Fachada del edificio oeste del Cuadrángulo de los Pájaros de Uxmal.

7.5. Propuesta de clasificación de la bóveda maya

Una vez realizado el estudio arquitectónico de la bóveda maya y considerando la totalidad de las bóvedas estudiadas, podemos establecer los criterios para su clasificación y definir las tipologías existentes para cada una de las variables analizadas. En la tabla 16 se muestra de forma sintética la propuesta de clasificación general de la bóveda maya según distintos criterios que atienden a características funcionales, formales y constructivas de las bóvedas. Mediante la definición de cada una de estas variables pueden describirse con precisión las características de una bóveda maya.

La clasificación propuesta incluye solamente variables cualitativas, a las que habría que añadir las variables cuantitativas, como las diferentes medidas y proporciones estudiadas en los apartados anteriores, para obtener una definición precisa de la bóveda objeto de estudio. Asimismo, en algunos casos sería necesario registrar las singularidades que puede presentar una bóveda y que no se recogen en esta taxonomía de carácter general.

Los diferentes criterios de clasificación se pueden dividir en siete categorías o puntos de vista que deben tenerse en cuenta la hora de definir y caracterizar una bóveda (tabla 16):

- la función del espacio abovedado que cubre
- la forma en planta
- la forma de la sección transversal
- la forma de la sección longitudinal
- las características constructivas generales
- los rasgos constructivos de las semibóvedas
- los rasgos constructivos de los testeros

La función del espacio abovedado que cubre es ya un criterio de clasificación, y según esta variable dichos espacios pueden dividirse en nueve tipologías funcionales. La más común es la de estancia, que a su vez puede tener una función principal en el edificio o ser un espacio auxiliar, secundario o servidor. Además, los espacios abovedados de los edificios mayas pueden tener funciones más singulares como las de los cuartos de los templos, de carácter simbólico y representativo, o también pueden ser tumbas, arcos urbanos, escaleras interiores, pasadizos, pasos bajo escalinata, cámaras de aligeramiento en el interior de las cresterías o canalizaciones.

La siguiente categoría es la forma en planta de la bóveda, en la que se incluyen dos criterios de clasificación: el tipo de directriz de la bóveda, que puede

(Página opuesta)

Tabla 16. Propuesta de clasificación general de la bóveda maya.

CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN			CARACTERÍSTICAS			
CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	Función del espacio abovedado	Estancia	Espacio principal Espacio auxiliar o servidor			
		Cuarto de templo				
		Tumba				
		Arco urbano				
		Escalera interior				
		Pasadizo o pasaje				
		Paso bajo escalinata				
		Cámara de crestería				
Canalización						
CARACTERÍSTICAS FORMALES	Forma de la planta	Tipo de directriz	Recta Curva Quebrada			
		Proporción de la planta	Rectangular Cuadrada			
	Forma de la sección transversal (semibóvedas)	Forma del intradós	Recta	Plana Quebrada		
			Cóncava	Arco menor de 90° Semicircular		
			Escalonada	Forma del escalonamiento	Vertical Inclinado	
				Estereotomía del escalonamiento	Simple	Dovelas del mismo tipo Varios tipos de dovelas
			Botella			
			Convexa			
	Forma del arranque	Con voladizo Sin voladizo Voladizo invertido				
	Forma del remate superior	Solamente tapa Ménsula previa a la tapa Ménsula y dos tapas apoyadas formando un vértice Sin tapa y con remate en ángulo				
	Forma de la sección longitudinal (testeros)	Forma del intradós	Vertical			
			Inclinada	Pendiente menor que la de las semibóvedas Pendiente similar a la de las semibóvedas		
Escalonada			Forma del escalonamiento	Vertical Inclinado		
	Estereotomía del escalonamiento	Simple	Múltiple Combinado			
Forma del arranque	Con voladizo Sin voladizo					
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	Características constructivas generales	Sistema constructivo	Muros de carga y bóvedas Muros de carga y techos mixtos Sistema adintelado			
		Tipo de piedra	Caliza Arenisca Riolita Traquita Toba volcánica Basalto			
		Tipo de dinteles	Madera	Vigas escuadradas Rollizos		
	Características constructivas de las semibóvedas	Tipo de dovela	Sin labra			
			Laja			
			Careada			
			Bloque			
			Tipo Petén			
			Cuña			
	Bota					
	Ladrillo					
	Pieza en el arranque	Igual que el resto de dovelas Pieza horizontal de mayor tamaño				
Existencia de morillos	Con huecos de morillos Sin huecos de morillos					
Características constructivas de los testeros	Estereotomía	Sillares				
		Sillares y llaves de atado				
		Dovelas				
Pieza en el arranque	Igual que el resto Pieza horizontal de mayor tamaño					
Proceso constructivo	Muro hastial que se adosa a una bóveda previamente construida Construido en dos fases: primero hasta impostas y después la parte superior Hiladas coincidentes con las de las semibóvedas					

ser recta, curva o quebrada; y la proporción de la planta, que en general es rectangular, pero en algunos casos singulares es cuadrada o aproximadamente cuadrada, pues la relación entre la longitud y la luz se aproxima a la unidad.

En cuanto a la forma de la sección transversal, definida por la morfología de las dos semibóvedas, la bóveda puede clasificarse en varias tipologías según la forma del intradós, la del arranque y la del remate superior. La forma del intradós es la variable que tradicionalmente se ha utilizado para clasificar las bóvedas. Atendiendo a este criterio pueden tener forma recta, cóncava, convexa, de botella o escalonada. Estas últimas se han dividido a su vez en tipologías específicas según la forma y la estereotomía del escalonamiento (figura 131).

Resulta muy interesante observar no sólo la forma de la sección transversal de la bóveda sino también la de la sección longitudinal, definida por los testeros, que cierran el espacio interior en los extremos y que tienen características formales y constructivas particulares en cada área geográfica y según el período cronológico que se considere. La forma de la sección longitudinal de la bóveda estará definida por la sección de estos testeros, que puede ser vertical, inclinada o escalonada, y por la forma del arranque en la línea de impostas.

En cuanto a los criterios de clasificación de carácter constructivo, existen tres que responden a las características constructivas generales del edificio y son determinantes en la definición de la bóveda. En primer lugar, el sistema constructivo, para el que se establecen tres tipologías: muros de carga y bóvedas, muros de carga y techos mixtos y el sistema adintelado. Además, resulta muy interesante definir con qué tipo de piedra está construida la bóveda, pues sus características físicas y su sistema de extracción determinan en muchas ocasiones los rasgos estereotómicos de la bóveda. Por último, la definición del tipo o los tipos de dinteles situados sobre los vanos de las puertas resulta de gran importancia, pues determinarán en muchos casos el proceso de deterioro hasta el colapso de la estructura abovedada.

Las características constructivas propias de las bóvedas incluyen las de las semibóvedas y las de los testeros. Atendiendo a los rasgos de las primeras, podrán clasificarse en varias tipologías según el tipo de dovelas, el tipo de pieza en el arranque y la existencia o no de morillos. Atendiendo a los rasgos de los testeros, pueden dividirse en varios tipos según la estereotomía, el tipo de pieza en el arranque y el proceso constructivo de estos hastiales en relación con el de las semibóvedas.

Esta clasificación funcional, formal y constructiva de la bóveda maya según diecisiete criterios distintos puede utilizarse, complementada con un levantamiento arquitectónico, para documentar y registrar bóvedas en el área maya, categorizar sus características y compararlas con las de otros ejemplos. Cada bóveda estudiada puede pertenecer a una de las variantes definidas para cada criterio y, en algunos casos, a varias de ellas, como por ejemplo en el tipo de dintel. El establecimiento de las 77 características diferentes que se muestran en la tabla 16 se ha realizado a partir del análisis de la muestra de bóvedas considerada y de las referencias a otras bóvedas tomadas de la bibliografía existente, por lo que es posible que existan bóvedas con otros rasgos especiales que no se han tenido en cuenta y que se podrían añadir para recoger la totalidad de las variantes de bóvedas mayas que existen.

8. Origen, evolución y variantes geográficas de la bóveda maya

En las construcciones mayas más primitivas los techos de los edificios situados sobre las plataformas eran de estructura de madera y hoja de palma. En ocasiones se han registrado las huellas de los cuatro postes que sostenían estas cubiertas perecederas heredadas de la arquitectura doméstica, como por ejemplo en la ya mencionada subestructura del Complejo A-V de Uaxactún¹¹⁰ (Smith 1950) o en varias subestructuras de la Acrópolis Norte de Tikal (Coe 1990, p. 217). Probablemente con la utilización del mortero de cal se empiezan a construir muros de fábrica, sobre los que al inicio se apoyaban cubiertas vegetales como sistema de techumbre y, posteriormente y con el avance de la tecnología, el edificio completo empezó a construirse de piedra, con el sistema de muros de carga y bóvedas (Muñoz Cosme 1999, p. 43).

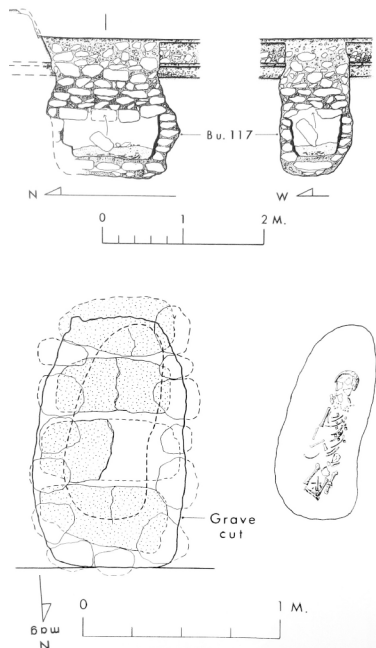


Figura 301. Entierro 117 en la Estructura 5D-Sub1 de la Acrópolis Norte de Tikal. Tomado de W. R. Coe (1990).

Las primeras cámaras abovedadas del área maya aparecen en tumbas del área central de Petén, en los sitios de Uaxactún y Tikal, en los inicios de nuestra era (Smith 1962, p. 203-205; Gendrop 1997, p. 132). Las más antiguas registradas hasta el momento pertenecen al período Preclásico Tardío y se hallaron durante las excavaciones realizadas por la Universidad de Pennsylvania en la Acrópolis Norte de Tikal. En estas investigaciones se documentaron varias cámaras funerarias excavadas en la roca y cubiertas con una hilada de losas de piedra horizontales (figura 301). Es probable que, para poder cubrir espacios más amplios sin la necesidad de contar con piezas monolíticas de grandes dimensiones, se empezaran a disponer hiladas de piedras en voladizo progresivo hasta aproximar las dos partes y cerrarlas con una tapa superior de menor tamaño. Existen varios ejemplos de ello en tumbas de este mismo conjunto, como los entierros 85 y 167, hallados en diferentes subestructuras del Grupo 5D-2 y datados en torno al año 75 d.C. (Coe 1990, p. 806). Posiblemente de esta manera surgieron las primeras bóvedas, normalmente escalonadas y con una forma muy irregular resultante del proceso constructivo (figura 302).

Esta técnica constructiva se extendió a los espacios habitables de la arquitectura monumental, a edificios de diferentes tipologías como templos y palacios, y se utilizó en la totalidad de las Tierras Bajas, manteniéndose hasta el

¹¹⁰ Véase el apartado 7.4.2.

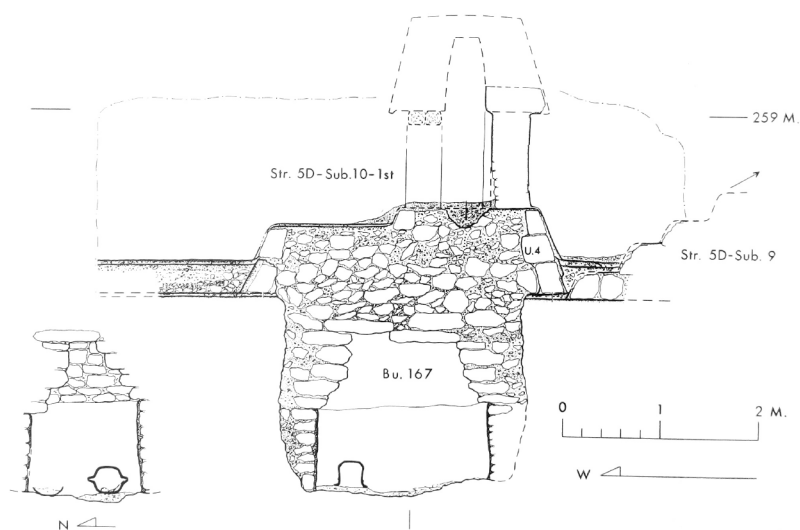


Figura 302. Secciones transversal y longitudinal del Entierro 167 en la Estructura 5D-Sub10 de la Acrópolis Norte de Tikal. Tomado de W. R. Coe (1990).

Postclásico, por lo que tuvo una prolongada tradición constructiva de más de 1.000 años. El desarrollo de la técnica de la bóveda permitió mejorar el sistema y conseguir, en general, mayores luces y alturas, reducir el espesor de los muros y lograr superficies interiores más perfeccionadas. Sin embargo, existen muchas diferencias en la tecnología constructiva de las bóvedas de cada zona geográfica. Las características del material pétreo, los sistemas para su extracción, el desarrollo de la calidad de los morteros y los avances de la técnica estereotómica en cada área geográfica determinaron las particularidades de las bóvedas en cada región y su evolución en el tiempo, condicionando en muchos casos los rasgos arquitectónicos y estilísticos de los edificios, que en numerosas ocasiones responden más a cuestiones constructivas que estéticas.

El registro de los datos cronológicos de los edificios a los que pertenecen las bóvedas estudiadas, tomados de las fuentes bibliográficas disponibles y equiparados mediante una tabla de equivalencias que permite comparar las cronologías y estilos establecidos para cada área geográfica (véase apartado 6.1.2.2), nos ha permitido estudiar la evolución de los rasgos de las bóvedas tanto en general como en cada región en particular, como veremos a continuación.

Considerando la totalidad de las bóvedas estudiadas y teniendo en cuenta las características de la muestra analizada, la tendencia general es que los valores de luz y altura de las estancias abovedadas aumentan gradualmente con el tiempo, y especialmente en el período Clásico Terminal^{III} (figuras 303 y 304). El valor medio de la altura de la bóveda, medida en vertical desde la línea de impostas hasta la cara inferior de la tapa, se mantiene constante entre el Clásico Temprano y el Tardío, y aumenta considerablemente en el período Terminal (figura 305).

^{III} Al igual que en el apartado 7.1, para el análisis de la luz no se han considerado las bóvedas con sistema constructivo de forjado mixto. Asimismo, para el estudio de las alturas no se han tenido en cuenta las bóvedas que cubren espacios con funciones singulares como tumbas, cámaras de cresterías, pasos bajo escalinata, etc. que pueden ofrecer valores atípicos.

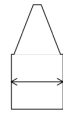


Figura 303. Evolución del valor medio de la luz de las bóvedas estudiadas durante el período Clásico (bóvedas consideradas: 206).

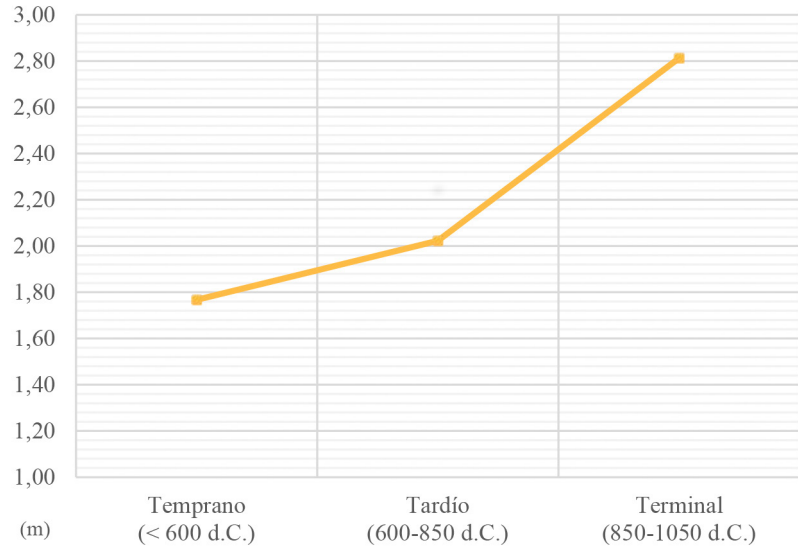
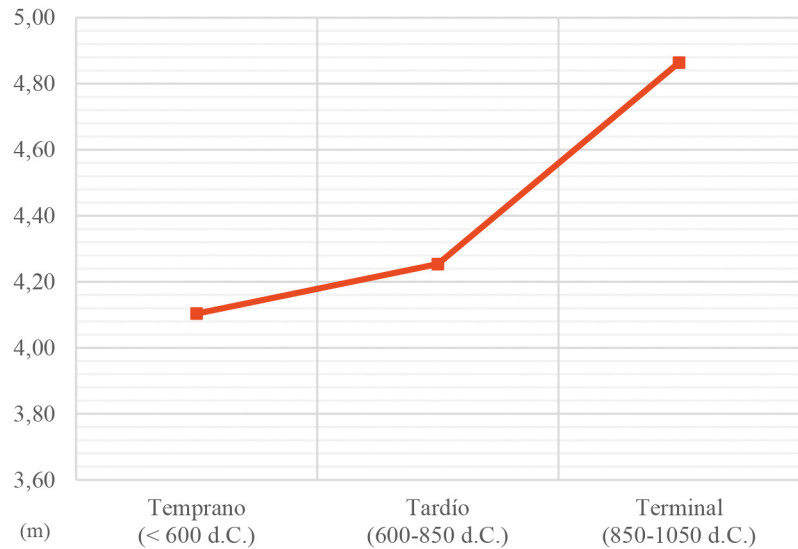


Figura 304. Evolución del valor medio de la altura total de las estancias abovedadas estudiadas durante el período Clásico (bóvedas consideradas: 130).



A medida que se avanza en la tecnología constructiva de la bóveda, disminuye el coeficiente de luz λ , definido por el cociente entre el espesor de los muros y la luz de la bóveda¹¹². Este valor mide la solidez de la estructura, que en la muestra considerada disminuye ligeramente en la transición entre el Clásico Temprano y el Tardío, y se reduce a la mitad en el Clásico Terminal (figura 306).

Estos datos pueden darnos una visión de la tendencia general de las características métricas de las bóvedas, pero debemos tomarlos con precaución, pues en cada área geográfica el auge constructivo se produce en un intervalo

¹¹² En el apartado 7.2.5.1 se define el coeficiente de luz λ y las consideraciones que se han tomado para su cálculo.

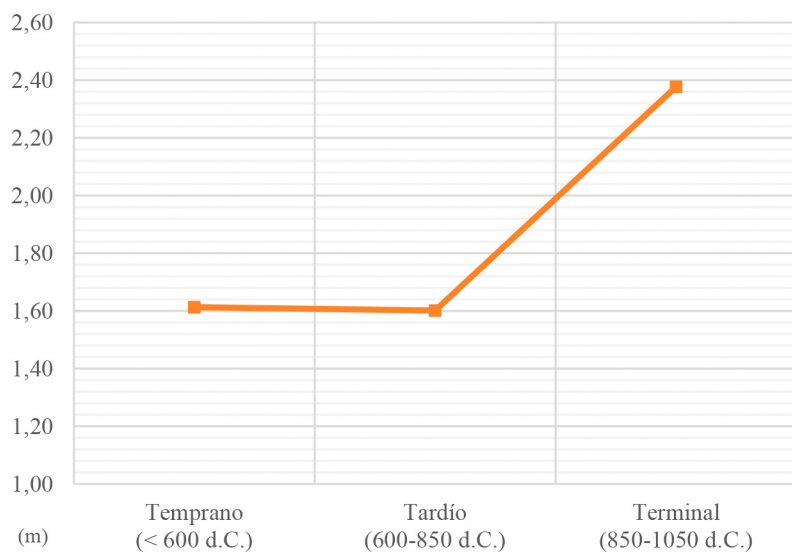


Figura 305. Evolución del valor medio de la altura de las bóvedas estudiadas durante el período Clásico (bóvedas consideradas: 123).

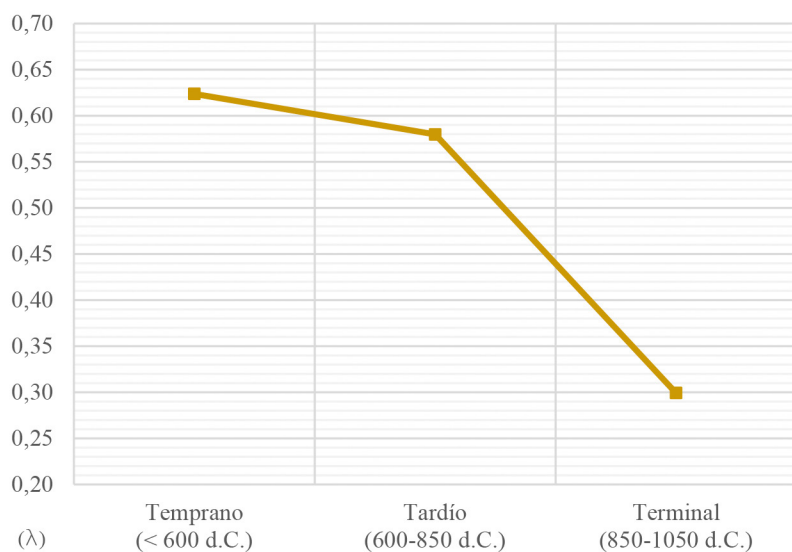


Figura 306. Evolución del valor medio del coeficiente de luz λ de las bóvedas estudiadas durante el período Clásico (bóvedas consideradas: 140).

cronológico diferente y, además, la técnica avanza en un mayor o menor grado y de una determinada manera según la región que consideremos. Por otro lado, debe tenerse en cuenta que la muestra analizada no es equilibrada en cuanto a número de bóvedas por zona geográfica ni por período cronológico, y estos resultados no pueden extrapolarse a todos los casos¹¹³. Para poder entender por qué se producen estos resultados y cómo es la evolución de las bóvedas en el tiempo de manera más precisa, es necesario analizarlas por áreas geográficas. En el siguiente apartado se presentan los resultados del análisis de las características y la evolución de las bóvedas en las diferentes regiones estudiadas.

¹¹³ Véase la descripción y caracterización de la muestra de bóvedas estudiada en el capítulo 5.

8.1. La bóveda en las diferentes regiones del área maya

En cada una de las áreas geográficas estudiadas las bóvedas presentan rasgos constructivos particulares que se convierten en elementos diferenciadores de cada región. Existen diferencias en cuanto a tipo de dovelas, dimensiones de luz y altura, forma de la sección transversal, características de los testeros, y también en detalles constructivos como el arranque y el remate de la bóveda. Muchas veces la tecnología constructiva determina los rasgos arquitectónicos y estilísticos de los edificios de cada región, y a la vez los aspectos funcionales, formales y simbólicos de los edificios pueden determinar las características de las bóvedas y de otros elementos constructivos, por lo que es importante considerar sus particularidades teniendo en cuenta las características específicas de la arquitectura de cada sitio.

En cuanto a los tipos de dovela identificados en cada una de las áreas geográficas estudiadas (figura 307), como veíamos en el capítulo anterior, existen formas de dovelas especializadas que sólo se utilizaron en una o en dos de las regiones, tras un proceso evolutivo de la tecnología específico de cada zona. Tal es el caso de las dovelas tipo Petén o de las dovelas en forma de cuña y bota. El tipo de material pétreo puede determinar asimismo la utilización de un tipo determinado de dovela en una región, como ocurre con las dovelas lajas en el área del Usumacinta o también en el caso singular de Comalcalco con el uso del ladrillo. Las dovelas sin labra se utilizaron en todas las regiones, generalmente en las épocas más tempranas, y los tipos con un nivel de trabajo intermedio como las dovelas careadas o las de tipo bloque se usaron en varias regiones y en diferentes períodos a medida que se avanzaba en la técnica constructiva. Como veremos más adelante, la utilización de un mismo tipo de dovelas especializadas en dos regiones nos habla de las relaciones entre ambas y de la transferencia del conocimiento constructivo. Son ejemplos de ello las áreas Chenes y Puuc, con varios rasgos constructivos en común, o el área Puuc y determinados sitios del Norte de Yucatán como Chichén Itzá.

En la figura 308 se muestra un gráfico de dispersión en el que se han colocado todos los valores de luz de las bóvedas analizadas en cada área geográfica. Se han diferenciado con colores los datos de luz de las estancias de los de las bóvedas de cuartos de templos, arcos urbanos y espacios abovedados con funciones singulares como tumbas, cámaras de aligeramiento en cresterías, pasadizos, escaleras, etc. Asimismo, se han señalado las bóvedas construidas con el sistema constructivo de techos mixtos, que pueden ofrecer valores atípicos.

Mediante esta comparativa y considerando las limitaciones de la muestra, se puede apreciar cuáles son los intervalos de luz más frecuentes en cada área y

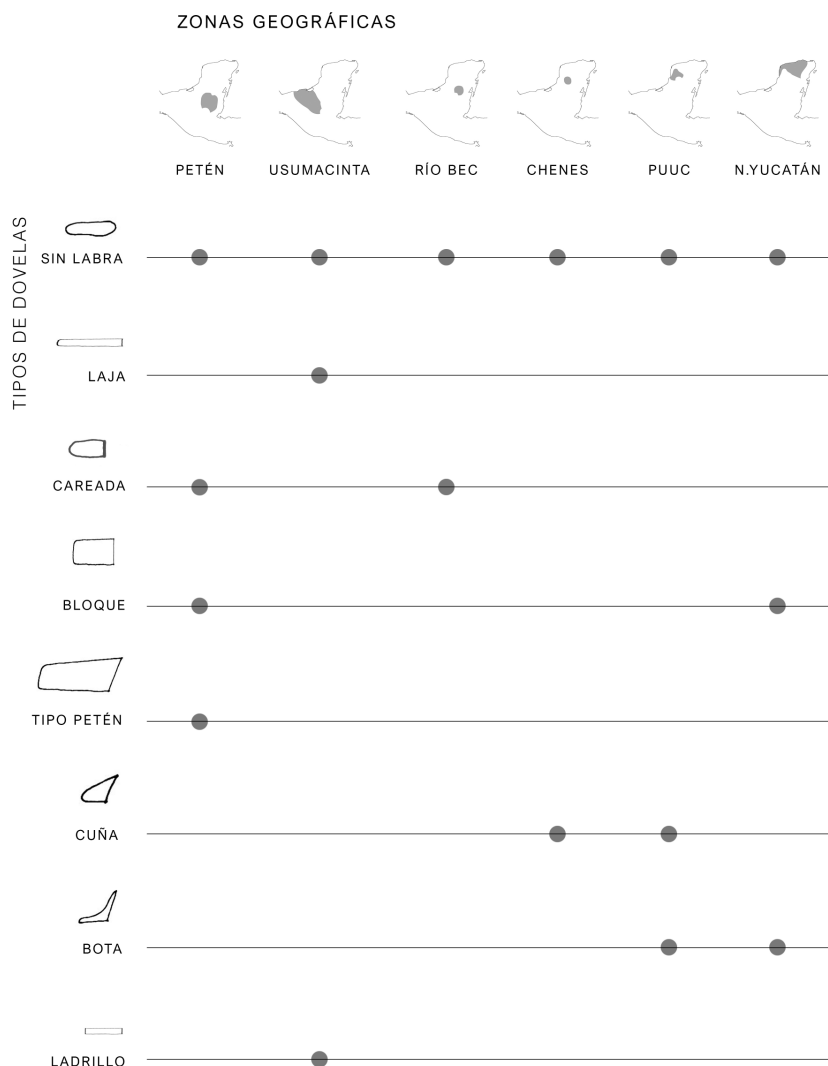


Figura 307. Tipos de dovelas registrados en cada una de las zonas geográficas estudiadas.

las diferencias entre éstas. En la figura 309 se comparan en porcentajes las luces de la muestra, exceptuando las áreas de Motagua y Costa del Caribe, en las que no se cuenta con suficientes datos. Se observa que sólo se han registrado bóvedas con menos de 1,20 m de luz en el área del Usumacinta y principalmente en Petén, por la existencia de los denominados cuartos de templo (véase el apartado 7.3.2). En general la mayoría de las bóvedas se sitúan entre los 1,20 y los 2,60 m de luz, a excepción de en el área Puuc, donde más de la mitad de los casos registrados son mayores de 2,60 m. Asimismo, las bóvedas con una luz superior a 3,30 m son excepcionales en todas las áreas excepto en el Puuc, donde se han registrado 16 casos. En el área del Usumacinta existen dos ejemplos que son casos muy singulares, uno de ellos es la cripta del Templo de las

(Página opuesta)
 Figura 308. Valores de luz de las bóvedas estudiadas por áreas geográficas (bóvedas consideradas: 233).

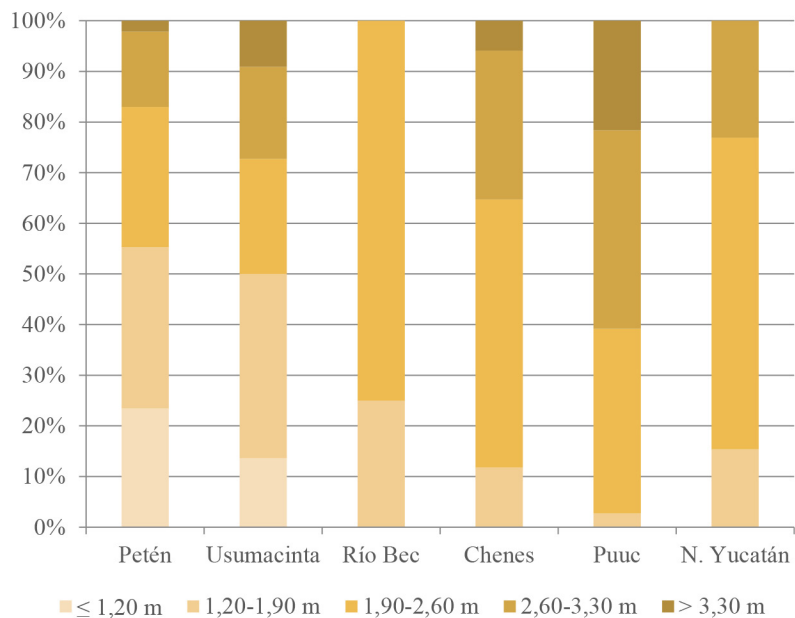


Figura 309. Valores de luz de las bóvedas estudiadas por áreas geográficas. Bóvedas consideradas: 228 (Petén 94; Usumacinta 22; Río Bec 8; Chenes 17; Puuc 74; N. Yucatán 13).

Inscripciones de Palenque, con 3,75 m y el otro es el cuarto exterior del Baño de Vapor P-7 de Piedras Negras, construido con el sistema de techo mixto y con una luz de 3,71 m. En Petén sólo superan este valor de luz las bóvedas del Edificio 6J1 de La Blanca, con anchuras de 4,00 y 4,16 m, que igualan los valores más altos de luz del área Puuc, lo que indica que este edificio tiene unas características constructivas excepcionales. Y finalmente en el área Chenes sólo un caso de entre los registrados iguala este valor de 3,30 m, y se trata de una de

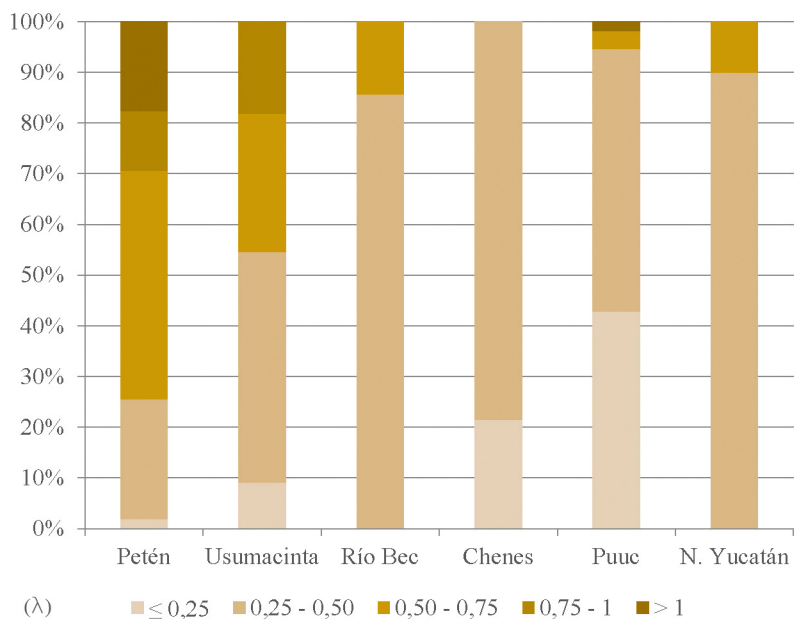


Figura 310. Valores del coeficiente de luz λ de las bóvedas estudiadas por áreas geográficas. Bóvedas consideradas: 149 (Petén 51; Usumacinta 11; Río Bec 7; Chenes 14; Puuc 56; N. Yucatán 10).

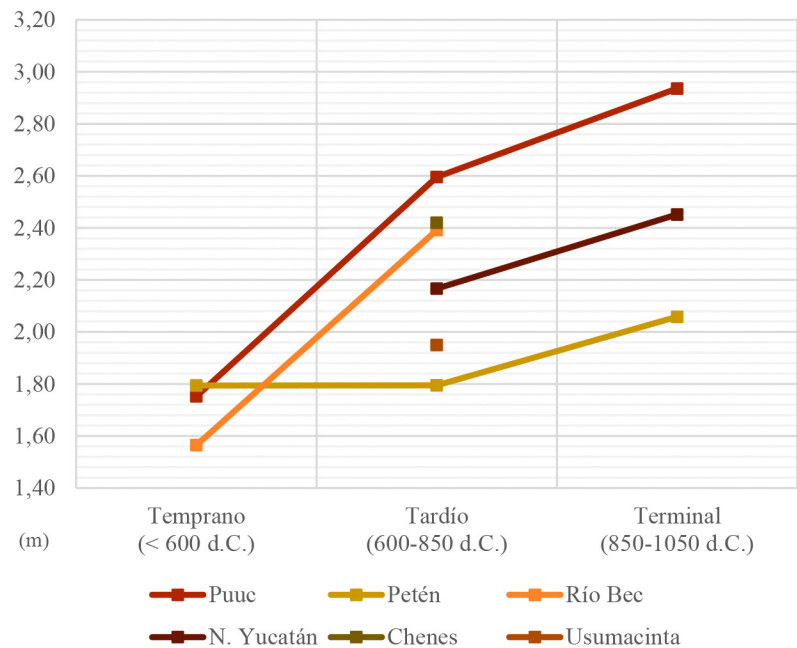
las bóvedas de la Estructura 93 de Dzehkabtún, que aunque pertenece a esta región tiene características del estilo Puuc Clásico, como veremos más adelante.

En la figura 310 se comparan en porcentajes los coeficientes de luz λ de las bóvedas por regiones. Se observa claramente la predominancia de las estructuras más macizas y sólidas en Petén y en las Tierras Bajas del Sur, con valores de λ más elevados, mientras que la zona con valores de λ menores, es decir, con edificios más ligeros, es el área Puuc, seguida de los Chenes.

En las figuras 311, 312, 313 y 314 se muestra la evolución de los valores medios de luz, alturas y coeficiente de luz en los diferentes períodos cronológicos del Clásico¹¹⁴, pero esta vez desglosados por zonas geográficas, con lo que pueden apreciarse las diferencias entre unas regiones y otras. Para las áreas de Chenes y Usumacinta solamente se dispone de datos de edificios del Clásico Tardío, por lo que en estos casos no se ha podido observar la evolución de los parámetros considerados, pero se incluyen los valores medios en este período con el objetivo de poderlos comparar con los de otras áreas¹¹⁵.

Como se observa en la figura 311, la luz de las bóvedas aumenta con el tiempo en todas las regiones estudiadas excepto en Petén. En esta zona el valor medio de la anchura de las bóvedas se mantiene constante entre el Temprano y el Tardío por la presencia de las luces reducidas de los cuartos de templos. Como hemos visto, en el Clásico Tardío se construyen en Petén edificios con luces

Figura 311. Evolución del valor medio de la luz de las bóvedas en cada región durante el período Clásico (bóvedas consideradas: 205).



¹¹⁴ Tal y como veíamos en el apartado 5.3, aunque se dispone de algunos datos de bóvedas de edificios del Postclásico, no son suficientes para estudiar las características ni la evolución de las bóvedas en este período.

¹¹⁵ En el caso de la zona de Río Bec se dispone de datos de edificios del Temprano y el Tardío, y en el Norte de Yucatán se ha estudiado la evolución del Tardío al Terminal.

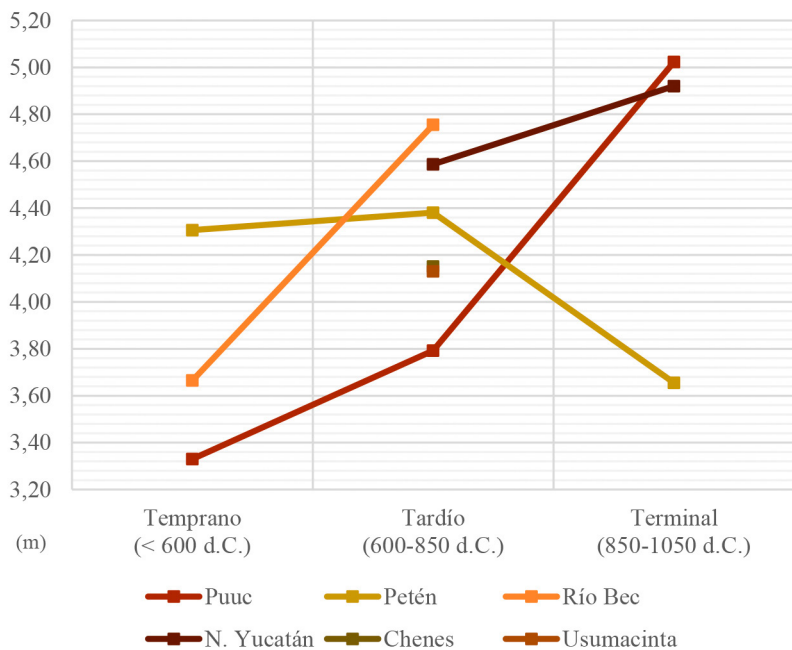


Figura 312. Evolución del valor medio de la altura de las estancias registradas en cada región durante el período Clásico (bóvedas consideradas: 130).

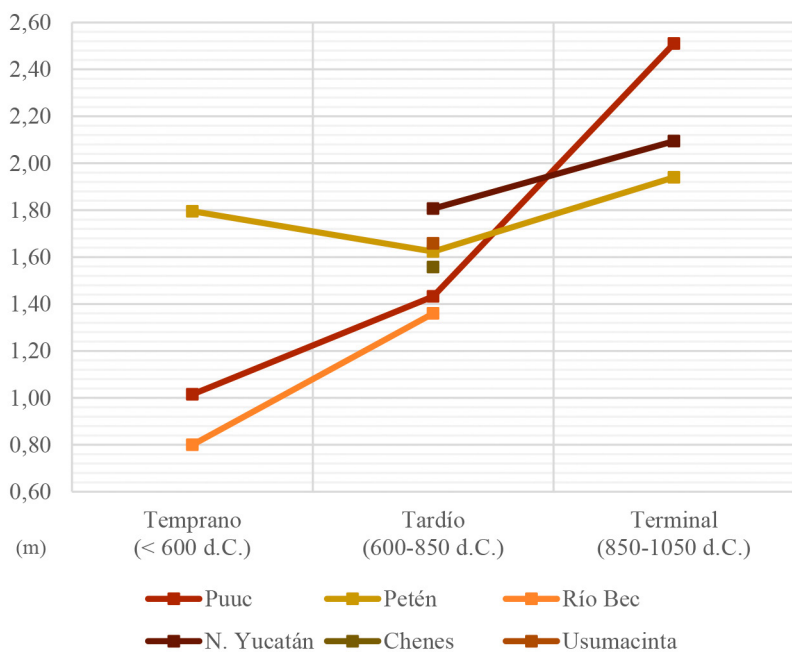


Figura 313. Evolución del valor medio de la altura de las bóvedas en cada región durante el período Clásico (bóvedas consideradas: 123).

considerables como las de los edificios La Blanca, pero son una excepción. Normalmente los palacios tienen estancias que no suelen superar los dos metros, y la existencia de espacios abovedados muy reducidos en los grandes templos piramidales, con valores cercanos a un metro de luz, disminuyen el valor

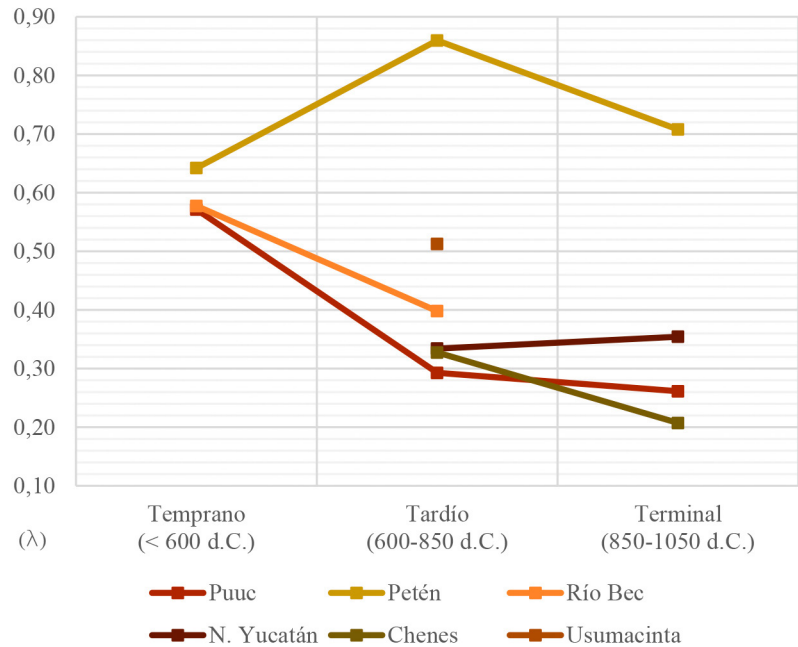


Figura 314. Evolución del valor medio del coeficiente de luz λ de las bóvedas en cada región durante el período Clásico (bóvedas consideradas: 139).

medio que se muestra en la figura 311. El auge en Petén durante el Clásico Tardío de este tipo de construcciones con una gran predominancia del macizo sobre el claro se aprecia claramente en la figura 314, que muestra la evolución del coeficiente de luz λ , definido por el cociente entre el espesor de los muros y la luz de la estancia (véase el apartado 7.2.5.1).

El aumento más acusado de la luz de las bóvedas se da en la arquitectura Puuc (figura 311) en la que, como veremos, el desarrollo y la mejora de la tecnología constructiva permitieron alcanzar soluciones estructurales avanzadas y lograr espacios más amplios. En el Puuc este parámetro aumentó considerablemente para el período Tardío, con el establecimiento del estilo arquitectónico Puuc Clásico. En la figura 314 se observa que el aumento de la luz en esta área se corresponde con el descenso del valor del coeficiente λ , de lo que se deduce que las estructuras son cada vez más ligeras. En los edificios más avanzados del Puuc Clásico y en los de estilo Uxmal Tardío, fechados en el período Terminal, aunque la luz sigue aumentando y el coeficiente λ descende, lo que llama más la atención es el aumento de la altura de las bóvedas (figura 313) y, por tanto, de las estancias (figura 312). Es interesante asimismo observar la proximidad en los valores medios de luz y alturas de las bóvedas de las áreas del Usumacinta y Petén durante el Clásico Tardío, así como las interacciones entre las áreas Río Bec y Chenes o Puuc y Chenes.

En los siguientes apartados se describen las particularidades y rasgos característicos de las bóvedas en cada una de estas áreas, con el objetivo de profundizar en las razones de las tendencias temporales expuestas y para definir las variantes regionales de la bóveda maya.

8.1.1. La bóveda en Petén

La bóveda típica en Petén es la de sección recta, construida con grandes dovelas trapezoidales labradas previamente con la inclinación del intradós, características y exclusivas de esta región. Las luces suelen ser reducidas, la mayoría no superan los 2,60 m de anchura, aunque existen notables excepciones (figura 308). Por lo general los testeros son inclinados, contruidos con sillares en la mayoría de las ocasiones, y algunas veces con dovelas, pero normalmente tienen una inclinación menor que las semibóvedas: mientras que la pendiente de los lados largos de la bóveda oscila entre los 55° y los 75° sobre la horizontal, en los testeros los valores más comunes están entre los 70° y los 80°. Las bóvedas se apoyan sobre muros de carga mixtos de gran espesor y tienen valores de λ elevados (figura 310). Estos muros están formados por dos caras de sillares bien labrados y un relleno interior de mampostería y los vanos de las puertas se abren mediante dinteles de vigas de maderas duras y resistentes en piezas cuadradas o en rollizos (figura 315).

Esta bóveda tipo, con ciertas variaciones en cuanto a dimensiones y proporciones tanto en planta como en sección transversal, se establece en los inicios del Clásico Tardío y se utiliza de forma generalizada en los edificios de este período y hasta el Clásico Terminal. Con esta tecnología se cubren las estancias palaciegas de numerosos edificios, como por ejemplo los de las grandes acrópolis, y también los edificios situados en la cumbre de las plataformas piramidales de los templos. Estas estancias angostas poco habitables, más bien de carácter simbólico y representativo, se cubren con bóvedas con las mismas características y con un coeficiente de luz λ muy alto, con valores mayores que 1, pues en estos cuartos suele ser mayor el espesor de los muros que la anchura de las estancias. Los grandes templos de Petén, como por ejemplo los principales de Tikal, la Estructura 216 de Yaxhá o el Edificio A de Nakum, pertenecen al período Clásico Tardío, por lo que, si observamos la evolución del coeficiente de luz λ de las bóvedas por zonas, en Petén es la única región en que éste aumenta, precisamente en el período central del Clásico, que fue la época de mayor auge constructivo en las Tierras Bajas Mayas (figura 314).

Hasta llegar a este tipo de bóveda con dovelas especializadas característica de la época de mayor esplendor y apogeo constructivo, los constructores de Petén experimentaron con bóvedas de diferentes formas y soluciones estereotómicas.



Figura 315. Bóveda en el grupo de Mundo Perdido de Tikal.



Figura 316. Bóveda del cuarto 6 de la Estructura A-XVIII de Uaxactún antes de los trabajos de restauración del edificio. Tomada de A. L. Smith (1937).



Figura 317. Bóveda en la Acrópolis Central de Naranjo.



Figura 318. Bóveda en el sitio de Holmul. Fotografía: Carlos A. Valcárcel García, 2009.



Figura 319. Bóveda en el Edificio E1 de la Acrópolis de Cahal Pech.

Las bóvedas más primitivas se construyeron con grandes bloques mediante la técnica de aproximación de hiladas. El intradós tenía forma irregular y se revestía con una gruesa capa de mortero de regularización. Encontramos algunos ejemplos de ello en los edificios de la Acrópolis Norte de Tikal o en los templos más primitivos del grupo de Mundo Perdido, datados en el Clásico Temprano¹¹⁶. El Edificio E-X de Uaxactún, datado asimismo entre el 250 y el 350 d.C. (Valdés Gómez 1988, p. 14), es una excepción para este período, con bóvedas de planta cuadrada y escalonamientos regulares formados por dovelas careadas y piedras de pequeño tamaño.

En otras ocasiones se utilizaban piedras sin labrar, acomodadas con ripios, que generaban formas irregulares o de botella como en el Edificio A-XVIII de Uaxactún, datado en el período final del Clásico Temprano (Valdés Gómez 1989, p. 35). Normalmente se colocaba una pieza horizontal de grandes dimensiones en el arranque, para resolver el apoyo en el muro y el voladizo de impostas, y sobre ésta se iba construyendo la bóveda con mampuestos y en aparejo concertado. El reducido tamaño de estas piezas las hacía más manejables, lo que facilitaría su transporte y colocación en obra. Posteriormente el intradós se revestía con una gruesa capa de estuco que en este caso se ha conservado en algunas zonas (figura 316). Otros ejemplos de bóvedas construidas con piedras sin labrar y con la forma de la sección transversal irregular los encontramos por ejemplo en la Acrópolis Central de Naranjo (figura 317).

El proceso de la especialización de las dovelas se inicia con piezas careadas, lo que permitía obtener un mayor control sobre la forma del intradós. Normalmente son de tamaño irregular y se acomodan con ripios. Se han registrado ejemplos en Holmul (figura 318), La Honradez, Xunantunich y en la Acrópolis de Cahal Pech (figura 319), cuyo auge constructivo se produjo en la transición del Clásico Temprano al Tardío, entre el 500 y el 700 d.C. (Awe, Campbell y Conlon 1991, p. 28). Los testeros en estas primeras épocas suelen ser verticales y muchas veces están contruidos como muros desde el piso hasta la tapa, sin el voladizo en impostas.

A medida que avanza la estereotomía, las dovelas adquieren una forma más especializada. En las bóvedas de los palacios del Clásico Tardío, la gran mayoría con forma de la sección transversal recta (figura 320), la pendiente del intradós se planifica *a priori* y se labra en cada pieza. En algunos casos se acomodan con pequeñas piedras intermedias, pero en los edificios con la técnica más perfeccionada las dovelas tienen un tamaño regular y se disponen en hiladas perfectamente horizontales y sin ripios, con lo que la superficie obtenida es más regular y se reviste con una capa de estuco (figura 321).

¹¹⁶ Véase como ejemplos el Templo 23 de la Acrópolis Norte y el Edificio 5D-86 de Mundo Perdido, ambos en Tikal.

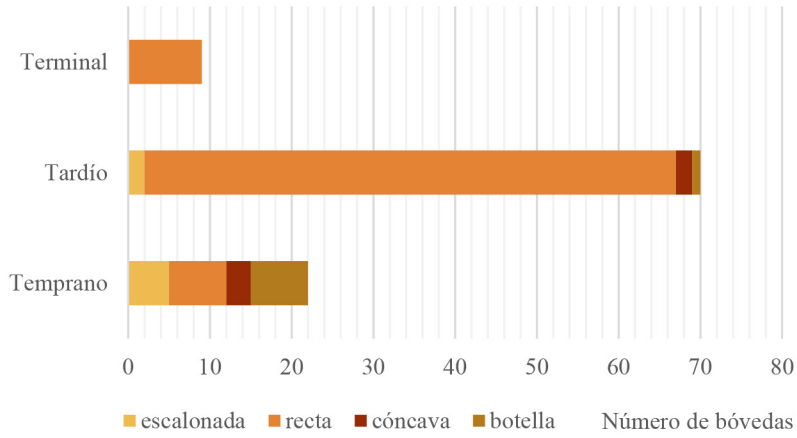


Figura 320. Principales tipos de formas de bóvedas registradas en Petén durante el período Clásico (bóvedas consideradas: 101).



Figura 321. Bóveda en el Edificio Z de Nakum.

8.1.2. La bóveda en los sitios de la cuenca del río Usumacinta

Las bóvedas registradas en los sitios del área del Usumacinta pertenecen al período Clásico Tardío. En los sitios más relevantes del área denominada Alto Usumacinta (Gendrop 1983, p. 16), como Yaxchilán, Bonampak o Piedras Negras, las bóvedas se construyen normalmente con lajas horizontales y alargadas poco trabajadas, y se revisten con gruesas capas de estuco para regularizar y alisar el intradós. Los testeros son por lo general ligeramente inclinados y presentan el voladizo en impostas al igual que las semibóvedas (figura 322).

Sobre los vanos de las puertas se utilizaron cargaderos formados por vigas de madera o monolíticos de piedra, a veces exquisitamente labrados con escenas de la realeza y escritura jeroglífica. Los dinteles de piedra labrada más



Figura 322. Estructura 7 de Yaxchilán.

reconocidos son los de Yaxchilán que, junto con las estelas, han permitido reconstruir gran parte de la historia dinástica del sitio (Sotelo Santos 1992). Conscientes de la debilidad de estos elementos en el sistema estructural de los edificios, los constructores mayas desarrollaron algunas soluciones para aligerar los dinteles, como por ejemplo escalonar las jambas para reducir su luz (figura 323) o crear formas de capialzado en el intradós para reducir el peso que soportan¹¹⁷. En algunas ocasiones incluso evitan los dinteles y los sustituyen por arcos de descarga: además de los casos de Palenque que veremos a continuación, son algunos ejemplos de ello la Estructura 25 de Yaxchilán y los Edificios P-7 y J-11 de Piedras Negras.

Estas soluciones de aligeramiento alcanzan su máximo esplendor en la arquitectura de Palenque. Este enclave predominante del Bajo Usumacinta, el mayor auge constructivo se produce entre el 650 y el 700 d.C., con edificios con una tecnología muy avanzada entre los que destacan el Gran Palacio y los Templos de la Cruz, de la Cruz Foliada, del Sol y el de las Inscripciones. Se trata de estructuras de dos crujías paralelas, en cuyo centro se levantan majestuosas cresterías caladas. Las bóvedas son de sección recta y se construyen con lajas horizontales revestidas con una gruesa capa de estuco que proporciona un acabado perfectamente liso. Tienen luces de entre 2,30 y 2,80 m y alturas interiores de entre 5,00 y 6,00 m (figura 324).



Figura 323. Puerta de la Estructura 25 de Yaxchilán.



Figura 324. Casa D del Palacio y Templo de las Inscripciones de Palenque.

En Palenque se adoptaron soluciones de aligeramiento de los rellenos con nichos de formas lobuladas, y se sustituyeron los dinteles de los muros centrales por arcos de gran altura que conducen la carga vertical a los muros

¹¹⁷ Véase como ejemplo la Estructura 19 de Yaxchilán.



Figura 325. Templo de la Cruz Foliada de Palenque.

laterales, aumentan la conexión espacial entre crujías y permiten abrir puertas de gran anchura (figura 325). En las fachadas el vacío adquiere predominancia sobre el lleno, y los muros se convierten casi en pilastras: por ejemplo, el vano central del Templo del Sol mide 3,20 m (figura 326). En la Casa C del Palacio la puerta central alcanza 3,65 m y el resto tienen 2,50 m de anchura. Estos grandes vanos se abrían con dinteles de vigas de madera que no se han conservado y la mayoría se han restaurado con cargaderos de hormigón armado.



Figura 326. Templo del Sol de Palenque.

8.1.3. La bóveda en el área de Río Bec

Las bóvedas registradas en el área de Río Bec, en sitios como Becán y Chiccanná, son de sección recta y se construyen con dovelas sin labrar o a lo sumo careadas o biseladas, que se acomodan dispuestas en voladizo progresivo con hiladas intermedias de ripios y cuñas (figura 327). El intradós de estas bóvedas se revestía con una gruesa capa de estuco para regularizar la superficie y conformar así el plano horizontal del voladizo de arranque en impostas. La inclinación de las semibóvedas varía entre 60 y 75° sobre la horizontal, siendo 65° el valor más común (Gillot 2018, p. 281). La proporción entre la altura de la bóveda y la altura total de la estancia no suele superar el valor de 0,30, por lo que la bóveda ocupa un tercio o menos de la altura (figura 328).



Figura 327. Estructura I de Chicanná.



Figura 328. Estructura X de Becán.

Los testeros se construyen por lo general como muros hastiales totalmente verticales, formados por sillares y sin voladizo a la altura de impostas. Por el aparejo y el tamaño de los sillares de los testeros, parece que en una primera etapa de la construcción se levantaban los cuatro muros perimetrales de la estancia hasta la altura de impostas, y la obra quedaría parada en esta fase intermedia hasta que los morteros fraguaran lo suficiente. En una segunda etapa se construían las semibóvedas y, adosándose a estas, la parte superior de los muros testeros (Gillot 2018, p. 364). En varios ejemplos se aprecia sobre la coronación de los muros la junta constructiva que se produce en este nivel intermedio de la obra, además de un ligero cambio en el tamaño y el aparejo de los muros hastiales a partir de esta altura. Las bóvedas presentan huellas de morillos en una única hilada que apoya sobre la coronación de los muros, en el arranque de la bóveda, y en otros casos presentan esta primera hilada y una fila más situada aproximadamente a mitad de la altura de la bóveda (Gillot 2018, p. 387).

8.1.4. La bóveda en los Chenes

Si bien las áreas de Río Bec y Chenes presentan tipologías y rasgos arquitectónicos similares y a veces su arquitectura se analiza de forma conjunta¹¹⁸ (Potter 1977; Gendrop 1983), las bóvedas de los edificios más sobresalientes de ambas regiones muestran características diferenciadas. Aunque en el área Chenes hay algunos casos de bóvedas construidas con piedras sin labrar y con hiladas intermedias de ripios como en la zona de Río Bec¹¹⁹, la mayoría de bóvedas registradas se construyen con dovelas especializadas en forma de cuña, con

¹¹⁸ Véase el apartado 2.2.3.3 en el estado de la cuestión.

¹¹⁹ Véase como ejemplo la Estructura II del sitio de Hochob.



Figura 329. Bóveda en el Palacio de Santa Rosa Xtampak.



Figura 330. Detalle del revestimiento de estuco de la ménsula de remate en el Palacio de Santa Rosa Xtampak.

la cara del intradós bien labrada, los bordes aristados y la parte posterior desbastada. Se acomodan con pequeñas lascas intermedias, pero la superficie de intradós que generan es bastante regular y se recubría con una capa de estuco como acabado final (figura 329).

Algunas bóvedas tienen sección transversal recta y otras son cóncavas, y en varios casos presentan la moldura de remate previa a la tapa, como por ejemplo en el Edificio A1 de Dzibilnocac o en el Palacio de Santa Rosa Xtampak, en las que este detalle se perfeccionaba con el revestimiento de estuco (figura 330). Estos rasgos junto con la estereotomía de las dovelas demuestran la interacción entre esta área y la zona Puuc, que se dio en ambas direcciones y puede apreciarse no sólo en la técnica constructiva de las bóvedas, sino también en otros rasgos arquitectónicos y en algunos motivos utilizados en la decoración de las fachadas, como los mascarones o los junquillos¹²⁰.

Las características de los testeros en el área Chenes son variables. Se construyen, en algunos casos, como muros verticales y sin voladizo a la altura de impostas (figura 331). En edificios como por ejemplo el denominado Boca de Serpiente de Santa Rosa Xtampak o en la Estructura II de Hochob puede apreciarse que se construyó una bóveda corrida y posteriormente se partió en sentido longitudinal en varias estancias con muros hastiales que se adosan al intradós. En otros casos aparece una junta seca en la línea de impostas y un cambio en el aparejo de la fábrica de los testeros, de lo que puede deducirse



Figura 331. Estructura 1 de Tohcok.

¹²⁰ Los períodos de influencia entre las áreas de Río Bec, Chenes y Puuc fueron analizados minuciosamente por Paul Gendrop (1983).

que se construyeron en dos etapas diferenciadas de la obra¹²¹. A veces presentan un voladizo de arranque y una primera piedra hilada de piedras diferenciada del resto por tener mayor tamaño y una proporción más horizontal, tal y como ocurre en los testeros de los edificios del área Puuc pertenecientes a los estilos Puuc Temprano y Puuc Clásico.

La interacción entre las áreas Chenes y Puuc se aprecia, además de en algunos rasgos arquitectónicos comunes, en la existencia de edificios con características constructivas propias de la región vecina. En la zona Chenes encontramos edificios que pueden clasificarse en los estilos establecidos para el Puuc, como por ejemplo la Estructura 93 de Dzehkabtún (Andrews 1995e, p. 47) o el Cuadrángulo Sureste de Santa Rosa Xtampak (Andrews 1988b, p. 161). Ocurre lo mismo en el área Puuc: en sitios como Uxmal encontramos edificios con características arquitectónicas y constructivas propias de la región Chenes, como por ejemplo los Templos Chenes I y II o las Estructuras 15 y 16, próximas al Juego de Pelota (figura 332).

En algunos edificios de los sitios del área Chenes como Santa Rosa Xtampak, Nohcacab II y Dzibiltún, y también en el edificio principal del sitio de Payán, en el área de Río Bec, se han hallado las huellas de unos rollizos de madera situados sobre los dinteles de las puertas e insertos en el relleno de las bóvedas. Estas barras tienen una mayor longitud de los dinteles y habrían sido colocadas, según varios autores (Andrews et al. 1987, p. 55-56; Hellmuth 1989, p. 26), como refuerzo y alivio de éstos.



Figura 332. Templo Chenes I en Uxmal.

¹²¹ Véase como ejemplo el Templo Chenes I de Uxmal (figura 332).

8.1.5. La bóveda en el área Puuc

La bóveda más común en el área Puuc está construida con dovelas bien talladas y especializadas en forma de cuña, con la parte posterior desbastada o con una espiga para anclarse al relleno resistente. La mayoría tienen forma cóncava, aunque también existen muchos casos de bóvedas con sección recta, y por lo general presentan el detalle de la ménsula de remate previa a la tapa. Los testeros arrancan con un voladizo a la altura de la línea de impostas, suelen ser verticales o presentan una ligera inclinación hacia el interior y están contruados, al igual que los muros, con sillares de poco espesor. En estos edificios los vanos de las puertas suelen salvarse con dinteles monolíticos de piedra.

Estas características son las más comunes y quizás las que definen a gran parte de los edificios de esta área (Pollock 1980, p. 575), pero la tecnología constructiva en la región Puuc experimentó una gran evolución en el tiempo, que se puso de manifiesto en el perfeccionamiento de la estereotomía y la fabricación de rellenos de mampostería y argamasa de cal de gran resistencia. Las diferentes etapas de esta evolución tecnológica se pueden ver superpuestas en sitios con una larga tradición constructiva, como por ejemplo Oxkintok¹²². En los muros verticales los sillares pasaron de ser grandes bloques apoyados uno sobre otro, a placas de piedra caliza finamente talladas que sólo se tocan en los bordes y actúan como un encofrado del relleno. Asimismo, la técnica constructiva de las bóvedas evolucionó considerablemente, desde las formadas por grandes losas que vuelan una sobre la otra en hiladas horizontales, hasta bóvedas monolíticas en las que el núcleo adquiere toda la capacidad resistente y las dovelas son piezas altamente especializadas que se anclan al relleno y actúan como un encofrado permanente.

Tradicionalmente se han utilizado los conceptos de “recubrimiento”, “revestimiento” o “chapado” (*veneer* en inglés) para designar la función de los sillares y las dovelas de la arquitectura Puuc Clásica. En analogía con las técnicas actuales también se ha denominado “encofrado perdido”, pues los sillares servían como un molde del relleno que después de su fraguado no se recuperaba y quedaba visto. Hans Prem (1995, p. 33) apunta que este término parece más adecuado que la palabra “revestimiento”, que por definición hace referencia a una capa añadida en una segunda etapa de la construcción. En la misma línea, George F. Andrews reivindica lo poco adecuado de la denominación “chapado del relleno” (*veneer-over-concrete*), pues las dovelas no tienen solamente una función decorativa o de protección, sino que están trabadas con el núcleo mediante espigas y tienen la función constructiva de retener al relleno mientras fragua como un “encofrado permanente”. El verdadero recubrimiento de estas estructuras sería, según Andrews, la capa de estuco que cubría todas las superficies (Andrews 1995e, p. 121).

¹²² Véase la tabla cronológica de los edificios registrados en el apartado 6.1.2.2 (tabla 11).

El desarrollo de la técnica y la mejora de las capacidades resistentes de los rellenos les debieron permitir ampliar la luz y la altura de las bóvedas y lograr superficies cada vez más perfeccionadas, como veremos a continuación.

La arquitectura del área Puuc es sin duda la más documentada y estudiada. Numerosos autores entre los que destacan Harry E. D. Pollock, Paul Gendrop y George F. Andrews realizaron durante el siglo XX registros exhaustivos de las características de numerosos edificios de la región y establecieron estilos arquitectónicos que permiten aproximar la cronología del edificio basándose en sus rasgos arquitectónicos, constructivos y decorativos. Así, la gran mayoría de los edificios documentados se han clasificado en los siguientes estilos (Andrews 1995e):

Oxkintok Temprano	(550 - 610 d. C.)
Proto-Puuc	(610 - 670 d.C.)
Puuc Temprano	(670 - 770 d.C.)
Puuc Clásico	(770 - 1.050 d.C.)

El Puuc Clásico es la época de mayor esplendor y se divide a su vez en los subestilos Junquillo, Mosaico y Uxmal Tardío, atendiendo principalmente a los elementos decorativos e iconográficos de las fachadas. En la definición de cada estilo, George Andrews (1995e, p. 102-112) describe las características de las bóvedas atendiendo a aspectos formales y constructivos. Sin embargo, la clasificación estilística contempla otros factores como por ejemplo los motivos decorativos de las fachadas, y son éstos muchas veces los que se toman para asignar el estilo del edificio, especialmente en las estructuras del período Puuc Clásico. Por ello, la tecnología constructiva de algunos edificios no se corresponde con el estilo asignado según la decoración de la fachada. Un ejemplo es la Casa de las Tortugas de Uxmal, clasificada como de estilo Junquillo (Andrews 1995e, p. 51), cuyas bóvedas presentan una ejecución perfeccionada que puede compararse con la de los edificios del estilo Uxmal Tardío. Otro ejemplo es la Estructura 2C6 de Kabah, también conocida como Codz Pop, que fue asignada al estilo Mosaico por la decoración de su fachada oeste (Andrews 1994a, p. 32), pero que presenta una ejecución en sus bóvedas más avanzada que las de otros edificios de este estilo. Investigaciones posteriores han podido hallar en las jambas de la fachada opuesta del edificio la tardía fecha de 987 d.C., lo que corroboraría esta hipótesis (Ligorred Perramon 1994).

Por todo ello, para analizar la evolución de la tecnología constructiva de la bóveda en el Puuc es importante que la consideremos de forma aislada, sin tener en cuenta otros rasgos arquitectónicos del edificio. A partir de los datos

tomados en campo y de los resultados obtenidos y basándonos en la secuencia propuesta por Andrews¹²³ (1995e, p. 113-125) podemos establecer cuatro etapas diferenciadas en la evolución de la tecnología constructiva de las bóvedas de esta área:

Primera etapa

En la primera fase son característicos los rasgos de los edificios atribuidos a los estilos Oxkintok Temprano y Proto-Puuc, datados en fechas anteriores al 670 d.C. (Andrews 1995e, p. 102-112). Las bóvedas se construyen con piedras o losas sin labra de gran tamaño, acomodadas con ripios, que vuelan una sobre la otra y se contrapesan por su propio peso o por un relleno posterior. Resultan secciones con formas escalonadas, de botella o cóncavas, con superficies de intradós muy irregulares que eran recubiertas con una gruesa capa de estuco de regularización.

Figura 333. Edificio Sur del Grupo Principal de Kankí.



Figura 334. Pasadizo abovedado del Satunsat de Oxkintok.



Los ejemplos registrados en la base de datos con las características de esta primera etapa del desarrollo de la técnica pertenecen al sitio de Kankí (figura 333) y a varios edificios de Oxkintok como la Estructura 3B5 (Pollock 1980, p. 305-307; Andrews 1993a), los edificios CA-5 y CA-6 del grupo Ah Canul (Muñoz Cosme 1990, p. 111) y el Satunsat (figura 334), que es uno de los edificios abovedados más primitivos que se conoce en el área¹²⁴ y que ha sido datado en el siglo V de nuestra era (Ligorred Perramon 2010b, p. 365).

¹²³ Véase el apartado 2.2.3.1 en el estado de la cuestión.

¹²⁴ En el Edificio MA-1 de Oxkintok se halló una subestructura con bóvedas escalonadas y características arquitectónicas similares a las de Satunsat (Fernández Marquínez 1992), por lo que podría tener una cronología similar.

Segunda etapa

Andrews propone una segunda etapa de transición en la que se incluyen desde edificios con una tecnología similar a la de la fase anterior hasta otros más avanzados y próximos a las características del Puuc Clásico, por lo que se trata de una etapa experimental en la que se van ensayando algunas mejoras, y que incluiría la mayoría de los edificios clasificados como de estilo Puuc Temprano (Andrews 1995e, p. 113).

En este período las bóvedas pasan de construirse con losas y piedras sin labra a ejecutarse con dovelas que empiezan a ser especializadas, con forma de cuña y ancladas al relleno mediante una espiga posterior. Se suelen acomodar con ripios o pequeñas lascas, pero la cara interior de la dovela está trabajada, con lo que se consigue una superficie más regular en el intradós. Para resolver el apoyo sobre el muro se sitúa un bloque horizontal de mayor tamaño en el arranque de la bóveda que forma el voladizo de impostas y sobre el que se van colocando las dovelas. Esto genera una primera hilada diferenciada por su proporción, lo que se establece como un rasgo característico de las bóvedas del área Puuc, y que en muchos casos se lleva también a los muros testersos.

Algunos ejemplos de bóvedas de esta fase intermedia se han registrado en la Estructura 4 de Labná (figura 335); en el Mirador o Estructura 3B2 de Sayil y en las Estructuras 1A5, 1A6 y 2C1 de Kabah.

Tercera etapa

La tercera etapa abarca los edificios de gran parte del período Puuc Clásico, la época de mayor esplendor y de la que se conserva un mayor número de estructuras. En las bóvedas de esta fase la superficie expuesta de la dovela está cada vez más perfeccionada y sólo contacta con las piezas contiguas en los bordes, finamente tallados. La forma posterior de la dovela varía desde la cuña redondeada hasta la triangular, y la más perfeccionada se acerca a la forma de “L” (figura 336). Las tapas de la bóveda se apoyan en dos piezas planas que vuelan sobre la última dovela y forman la característica ménsula de remate (figura 337).

Un edificio típico de esta fase está construido, según Andrews (1995e, p. 126), con 24 piezas diferentes totalmente especializadas que forman las diferentes partes del edificio, sin considerar las decoraciones. En las semibóvedas se necesitarían cuatro tipos de piezas: los bloques horizontales de arranque de la bóveda, las dovelas, las piedras utilizadas en la ménsula de remate y las losas



Figura 335. Estructura 4 de Labná. Fotografía de Andrea Peiró Vitoria, 2015.

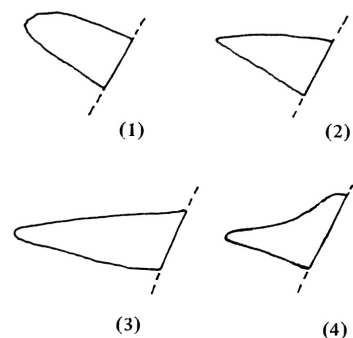


Figura 336. Tipos de dovelas que pueden encontrarse en la FASE 3 y en general en los edificios del estilo Puuc Clásico según G.F. Andrews (1995e, p. 119): (1) bloque; (2) cuña; (3) bloque largo en el arranque de la bóveda; (4) bota.



Figura 337. Bóveda en el Palacio Chich (CA-7) de Oxkintok.

de tapa. Algunas de las dovelas necesitaron ser modificadas para crear los huecos para los morillos (véase el apartado 7.2.4.1). Para la construcción de los dos lados cortos de la bóveda se necesitarían tres tipos de piezas: bloques horizontales para la hilada de impostas, sillares como los de los muros y piedras talladas con forma triangular para resolver el encuentro con las semibóvedas, a las que normalmente se adosan¹²⁵. La especialización de las piezas de piedra talladas en el edificio debió permitir estandarizar el trabajo de cantería y optimizar los trabajos y el tiempo de la obra.

En la base de datos se han registrado cerca de cincuenta bóvedas que pertenecen a esta fase de la tecnología constructiva del Puuc, en los sitios de Chacmul-tún, Kabah, Labná, Sayil, Uxmal y Xlapak.

Cuarta etapa

A la cuarta y última etapa pertenecen los edificios en los que la tecnología constructiva alcanza su máximo auge: la estereotomía de todas las piezas especializadas del edificio está mucho más cuidada, con superficies muy lisas y bordes perfeccionados. Las bóvedas tienen generalmente más altura y la sección transversal es recta o ligeramente cóncava (figura 338). Se construyen con dovelas altamente especializadas con forma de bota y situadas en hiladas perfectamente regulares sin lascas intermedias y rompiendo la continuidad de las juntas verticales.

Normalmente las botas tienen una cara inclinada en el intradós y otra horizontal, lo que permitía ir construyendo la bóveda por tongadas horizontales. En

Figura 338. Edificio 22 de Uxmal.



¹²⁵ En muchos casos las semibóvedas se construyen con una longitud unos centímetros mayor que la de la estancia y los muros testeros se adosan al intradós mediante piezas triangulares adaptadas. En otros casos, sin embargo, los testeros se construyen previamente con piezas enteras y las semibóvedas se adosan los hastiales.

algunos casos en los que el derrumbe parcial ha dejado la sección constructiva de la bóveda vista, se puede apreciar en el relleno esta construcción por hileras. A veces la altura de éstas coincide en las semibóvedas y en los testeros, de lo que se deduce que se construirían los cuatro lados de la bóveda a la vez. Los testeros de los edificios de esta etapa se construyen con sillares de poco espesor y presentan una ligera inclinación hacia el interior. El intradós de la bóveda resulta perfectamente liso y sólo necesitaría una fina capa de estuco de revestimiento como acabado final (figura 339). Para conseguir una mayor luz de los vanos de las puertas, en los edificios de esta última fase se utilizaron más frecuentemente dinteles de vigas de madera, la mayoría de los cuales no se han conservado.

Los ejemplos más representativos de esta última fase de la evolución tecnológica se hallan en el sitio de Uxmal, en edificios como el Palacio del Gobernador, las alas norte, este y oeste del Cuadrángulo de las Monjas, el Edificio 22 o la Casa de las Tortugas, y también en el mencionado Edificio 2C6 o Codz Pop de Kabah (figura 340).

En esta secuencia del desarrollo de la técnica existen varios ejemplos de bóvedas que se sitúan en un punto intermedio entre una etapa y otra, pues son en algunos aspectos más avanzadas que en otros y muestran la introducción progresiva de las mejoras técnicas. Un ejemplo es el edificio 1 de Chacmul-tún, clasificado como de estilo Mosaico (Andrews 1995e, p. 67) y con ciertas características como la factura, la calidad de labra y el aparejo del intradós de las bóvedas propias de la tercera etapa de la secuencia expuesta. Sin embargo, las dovelas presentan una forma de bota muy estilizada, con tamaños muy variables y con el plano de apoyo inclinado, lo que nos indica que es posible que en este caso los constructores estaban ya ensayando este tipo de dovela, sin llegar aún al nivel de perfección de los ejemplos del estilo Uxmal Tardío (figura 341).

Para lograr las superficies tan lisas de esta cuarta etapa y también para los casos de la tercera etapa en que la forma del intradós es cóncava, a veces prácticamente semicircular, es posible que los mayas contaran con algún tipo de cimbra o guía auxiliar de madera durante el proceso constructivo, como veíamos en el apartado 7.2.5.3.

Evolución de las características geométricas de las bóvedas Puuc

En la arquitectura Puuc, al haber sido estudiada tan exhaustivamente, se puede asignar una cronología relativa entre edificios mucho más concreta que en cualquier otra región del área maya. La mayoría de los edificios registrados en la base de datos se han podido asignar a una de las cuatro etapas que acabamos



Figura 339. Estancia central del Palacio del Gobernador de Uxmal.



Figura 340. Estancia del Edificio Codz Pop (2C6) de Kabah.



Figura 341. Bóveda de la Estructura 1 de Chacmultún.

de ver, por lo que en esta área es posible estudiar la evolución de las bóvedas en el tiempo de una manera mucho más pormenorizada. Sin embargo, debemos considerar las limitaciones que supone datar los edificios por su tecnología constructiva, pues hay que tener en cuenta que siempre es posible y puede ser común utilizar sistemas anteriores más sencillos y cuya eficacia ha sido previamente probada (Muñoz Cosme 2006, p. 55). Tomado estas precauciones y las limitaciones de la muestra, se ha estudiado la variación de la forma de la sección transversal, la luz y las alturas de las bóvedas de esta área en las cuatro etapas de la evolución de la tecnología constructiva consideradas, que se corresponden aproximadamente con el desarrollo del período Clásico (figuras 342, 343, 344 y 345).

Figura 342. Principales tipos de formas de las bóvedas registradas en el área Puuc durante el período Clásico (bóvedas consideradas: 126).

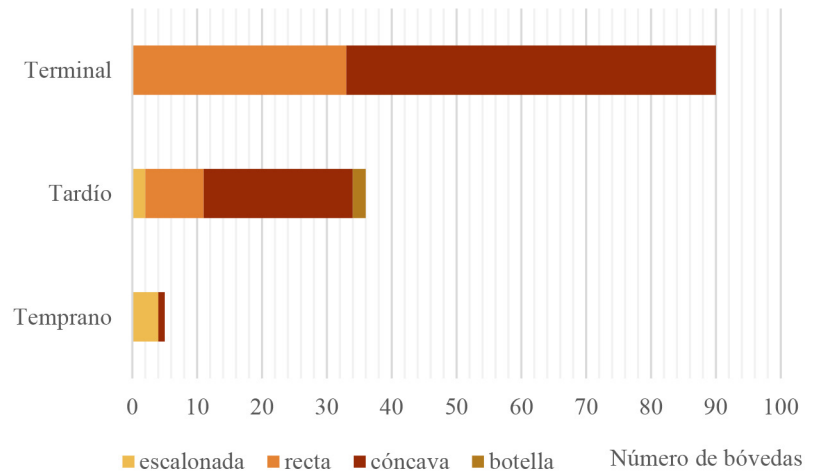
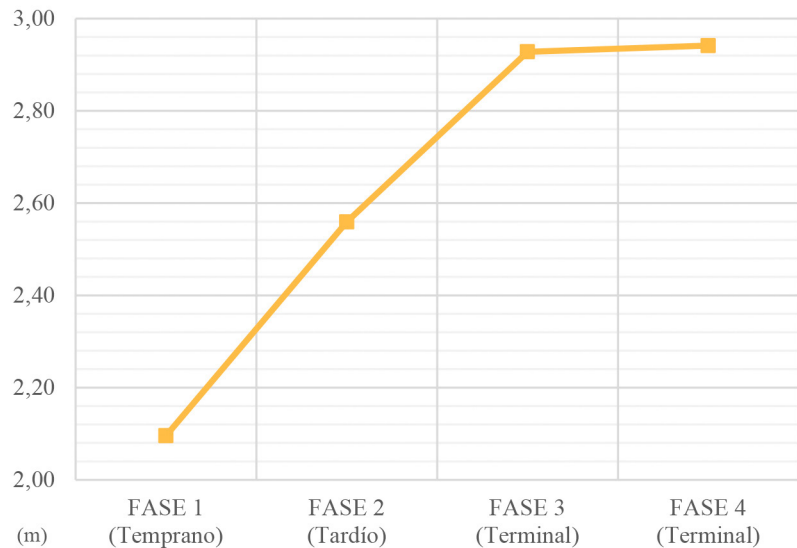


Figura 343. Evolución del valor medio de la luz de las bóvedas registradas en el área Puuc (bóvedas consideradas: 75).



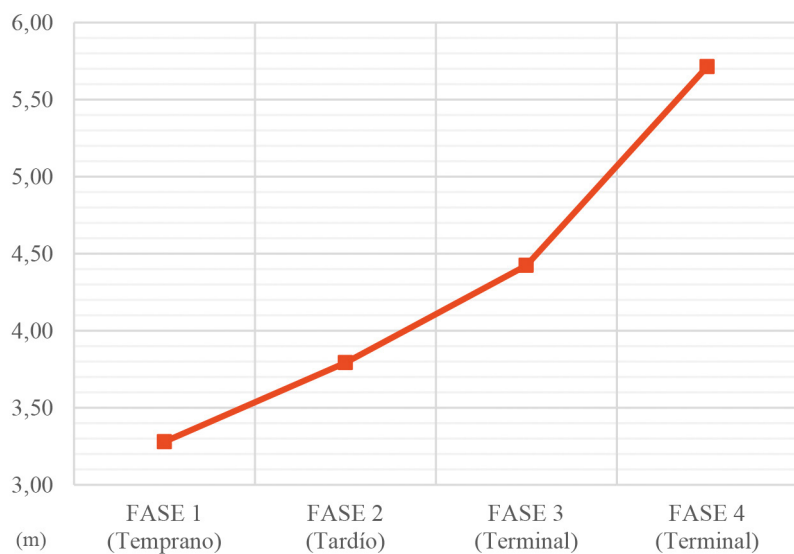


Figura 344. Evolución del valor medio de la altura de las estancias registradas en el área Puuc (bóvedas consideradas: 45).

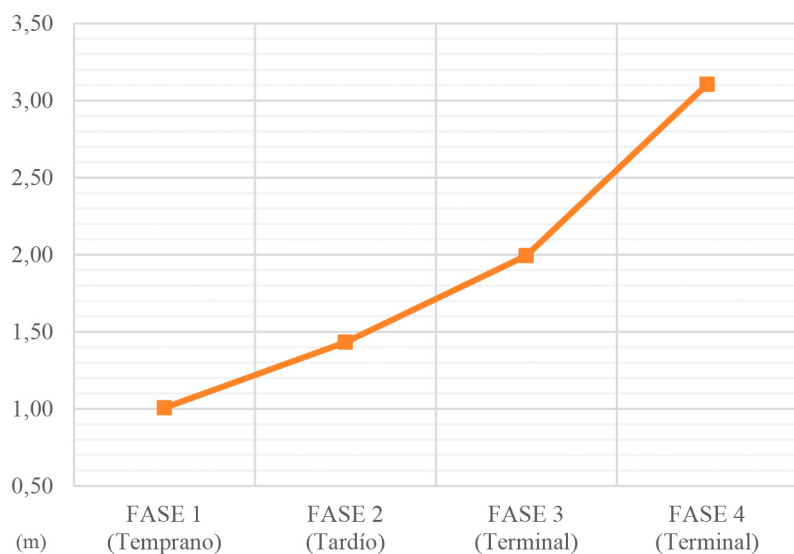


Figura 345. Evolución del valor medio de la altura de las bóvedas registradas en el área Puuc (bóvedas consideradas: 43).

8.1.6. La bóveda en el Norte de Yucatán

El área denominada Norte de Yucatán es un territorio amplio y en cuanto a las características de las bóvedas, muy heterogéneo. Además, presenta varias circunstancias que dificultan el análisis de toda esta área como un conjunto: la primera, que no ha sido tan estudiada ni documentada como el Puuc; en segundo lugar, que muchos de los sitios de esta zona no conservan las bóvedas; y, en tercer lugar, porque en este territorio se incluyen sitios con cronologías muy



Figura 346. Interior del Templo de las Siete Muñecas de Dzibilchaltún.

disparos y que han recibido influencias de fuera del ámbito maya, como por ejemplo Chichén Itzá, por lo que no existe una tradición constructiva única y con los datos disponibles no es posible por el momento establecer unas características de bóvedas tipo si no es para cada sitio concreto.

En esta área se han registrado datos de bóvedas de los sitios de Dzibilchaltún, Xcambó, Ek Balam y Chichén Itzá. En la ciudad de Mayapán, con una ocupación larguísima desde los inicios de nuestra era hasta la caída de la ciudad alrededor del 1450 d.C. (Peraza Lope 2010, p. 412), no se han podido registrar suficientes ejemplos para determinar un patrón en cuanto a la ejecución de las bóvedas.

Las bóvedas registradas en Dzibilchaltún están construidas con piedras sin labrar. Las más singulares son sin duda las del Templo de las Siete Muñecas, una subestructura datada en el 700 d.C. que fue rellenada y cubierta por un edificio más tardío, del que sólo se han conservado algunas evidencias (Grube 2001, p. 462; Maldonado Cárdenas 2010, p. 386). Como ya hemos visto anteriormente, presenta la singularidad de que las bóvedas se unen en las esquinas, y su directriz se quiebra formando un cuadrado en planta (figura 111). La sección del intradós es irregular y presenta una gran cantidad de morillos (figura 346). De características similares y con ejecución burda es la bóveda que cubre la Subestructura 38, construida con piedras sin labrar y de reducidas dimensiones. En la Estructura 57, conocida como el Templo Parado y datada en la primera mitad del siglo IX d.C. (Maldonado Cárdenas 2010, p. 386), se conservan parcialmente las bóvedas, de una mayor altura y con algunos rasgos similares a los edificios Puuc, como una primera hilada de bloques labrados y la ménsula de remate previa a la tapa, pero el intradós se construye con pequeñas piedras sin labra, y se cubre con una gruesa capa de estuco de regularización (figura 347).



Figura 347. Estructura 57 de Dzibilchaltún.

Los edificios registrados en el sitio de Ek Balam están datados entre los siglos VIII y IX de nuestra era (Vargas de la Peña y Castillo Borges 2010) y presentan, por lo general, bóvedas con sección recta formadas por bloques careados de labra burda y acomodados con ripios (figura 348). La mayoría de los testeros son hastiales verticales sin voladizo en impostas. Un caso muy singular es la Estructura 18, un arco urbano de planta cruciforme con tres bóvedas de sección recta dispuestas ortogonalmente¹²⁶.

En Chichén Itzá se da la situación especial de que existen dos tipos muy diferenciados de bóvedas que pertenecen a edificios de estilos diferentes. El primero de ellos es el denominado estilo “Maya-Chichén”, con algunas características que recuerdan al estilo Puuc Clásico, y datado en el período Floreciente Puro, entre el 800 y el 1000 d.C. Al siguiente período, denominado Floreciente Modificado (1000 – 1200 d.C.), pertenecen los edificios del estilo conocido como “Tolteca-Chichén” (Andrews V 1979; Andrews 1995e, p. 247-264). Esta arquitectura se caracteriza por introducir rasgos y elementos procedentes de otras partes de Mesoamérica, en un intercambio histórico que no ha podido definirse con exactitud hasta la actualidad¹²⁷ (Schmidt 2010, p. 401). En cuanto a la construcción abovedada y también en el concepto de espacio interior supuso un cambio muy importante, pues introdujo el sistema adintelado de bóvedas de piedra sobre dinteles de madera y columnas dispuestas en varias crujías paralelas, lo que permitió obtener espacios interiores continuos y diáfanos (véase el apartado 7.2.2).

Las bóvedas del período Floreciente Puro registradas pertenecen a los edificios conocidos como la Casa del Venado (Estructura 3C7), la Casa Colorada (3C9, figura 349) y el Conjunto de Las Monjas (4C1). Aunque los edificios de Chichén Itzá de este período han sido comparados con los de estilo Puuc Clásico y muestran algunos rasgos arquitectónicos y decorativos similares a éstos, en cuanto a tecnología constructiva presentan notables diferencias¹²⁸. Las bóvedas registradas en estos edificios son de sección recta y no están construidas con dovelas cuña ni bota, sino con bloques de talla tosca y con la cara del intradós biselada, que se acomodan con ripios, lo que genera un intradós irregular que se revestía con una gruesa capa de estuco. Los testeros suelen ser verticales o ligeramente inclinados, con voladizo a la altura de impostas, y el remate de la bóveda se resuelve con la ménsula previa a la tapa como en el área Puuc (figura 350). Las bóvedas de este período más perfeccionadas son las del ala este del Conjunto de las Monjas, con dovelas mejor labradas y un intradós más regular. Presentan además la singularidad de que, en lugar de rematarse con una pieza de tapa, sobre la ménsula la bóveda se cierra con dos losas apoyadas entre sí formando un vértice.



Figura 348. Detalle de bóveda en la Estructura 16 de Ek Balam.



Figura 349. Estructura 3C9 o Casa Colorada de Chichén Itzá.



Figura 350. Estancia principal del edificio superior del Conjunto de las Monjas de Chichén Itzá.

¹²⁶ Véase una descripción más detallada de este arco en *El arco urbano en la arquitectura maya* (Gilbert Sansalvador, Peiró Vitoria y Martínez Vanaclocha 2017).

¹²⁷ Véase al respecto el trabajo de Jeff Karl Kowalski (2007).

¹²⁸ George Andrews (1995e, p. 265-273) analiza las diferencias entre la arquitectura Puuc Clásica y la del estilo Floreciente Puro.



Figura 351. Dinteles sobre columnas en la Estructura 3C6 de Chichén Itzá.

Figura 352. Testero de una de las bóvedas en el Templo de los Guerreros de Chichén Itzá.



Figura 353. Detalle del Templo Sur del Juego de Pelota de Chichén Itzá.

En los edificios del período Floreciente Modificado no se conservan bóvedas completas, pero han podido registrarse algunas evidencias en los Templos Norte y Sur del Juego de Pelota (2D1), en el Templo de los Guerreros (2D8) y en el de los Tableros Esculpidos (3C16). La principal innovación constructiva en este período es que las bóvedas se construyen sobre dinteles de madera apoyados en columnas, formadas por varias piezas cilíndricas y con un capitel rectangular en el que descansan los cargaderos (figura 351). Las bóvedas son de sección recta y se construyen con dovelas en forma de bota de reducido tamaño, con una cara horizontal para formar cada hilada y otra labrada con la inclinación del intradós. Los bordes y las superficies no están tan finamente tallados como en las bóvedas del estilo Uxmal Tardío y, según los datos disponibles¹²⁹, no arrancan con un voladizo ni con una pieza horizontal mayor, sino directamente con una primera dovela en forma de bota. Los testeros son verticales, formados por sillares y presentan el voladizo a la altura de la línea de impostas (figuras 352 y 353).



¹²⁹ Debemos tomar con precaución los detalles constructivos que se observan hoy día, pues algunos edificios del Grupo de las Mil Columnas de Chichén Itzá fueron restaurados a principios del siglo XX (Schávelzon 1989, p. 96).

9. La conservación de los edificios abovedados mayas

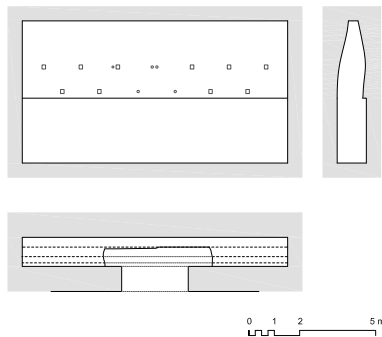


Figura 354. Planimetría esquemática de la bóveda del cuarto 3 del Templo 23 de la Acrópolis Norte de Tikal.

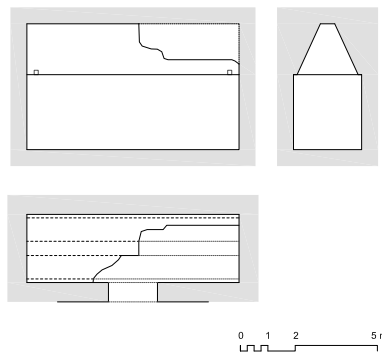


Figura 355. Planimetría esquemática de la bóveda del cuarto 3 del Edificio II de Huchob.

El valor y la relevancia del patrimonio arquitectónico maya está ampliamente reconocido a nivel internacional. Prueba de ello es que ocho ciudades mayas están declaradas por la UNESCO como Patrimonio Mundial de la Humanidad: Chichén Itzá, Uxmal, Calakmul, Palenque, Tikal, Copán, Quiriguá y Joya de Cerén. Sin embargo, y debido en parte a la gran cantidad de edificios que construyeron los mayas en toda el área de las Tierras Bajas, la situación actual de conservación difiere en gran medida entre unos sitios y otros, y en muchos casos existen edificios de gran valor patrimonial que se encuentran en situación de abandono y en grave riesgo de deterioro.

Por ello, en la actualidad el estudio y la investigación de cualquier parcela de la arquitectura maya debe hacerse con el objetivo último de contribuir a la conservación de este patrimonio. En nuestro caso, la observación del estado de conservación actual de los edificios, y en concreto de las bóvedas estudiadas, nos ha permitido analizar los procesos de deterioro que afectan a estas estructuras y evaluar las actuaciones de restauración que ya han sido realizadas, con el objetivo final de proponer unos criterios generales aplicables a la excavación, conservación y restauración de los edificios abovedados mayas.

9.1. Análisis del estado de conservación actual

Durante la toma de datos *in situ* se ha registrado información sobre el estado de conservación actual de cada bóveda estudiada. En primer lugar, se ha grafiado sobre una planimetría esquemática de la bóveda¹³⁰ la parte derruida, cuando es el caso (figuras 354 y 355), y se ha anotado el porcentaje de la superficie conservada en cada uno de los planos que forman la bóveda: la semibóveda principal, la semibóveda interior, el testero derecho, el testero izquierdo y la tapa. Estos porcentajes se han determinado en algunos casos de forma aproximada y mediante una inspección visual. En otros casos, cuando se ha realizado un levantamiento digital con fotogrametría, se han tomado a partir del soporte gráfico obtenido. Con ello se ha podido estudiar

¹³⁰ Las planimetrías realizadas se adjuntan en las fichas correspondientes del *Catálogo de bóvedas mayas* anexo.

cómo han fallado las bóvedas y qué proceso han seguido hasta la situación actual de derrumbe.

Siguiendo esta metodología se ha podido registrar la información completa sobre el estado de conservación de un total de 291 bóvedas, un 74,4% del total de la muestra. Para este análisis no se han considerado las bóvedas que no tienen estas cinco superficies establecidas, como por ejemplo las bóvedas sin testeros de los arcos urbanos o los pasadizos, ni tampoco los casos especiales de bóvedas con directriz curva o quebrada y que no tienen testeros.

En segundo lugar, para cada caso se ha anotado, a partir de una inspección visual, si los dinteles se han sustituido y si la bóveda ha sido restaurada o parcialmente restituida (figura 356), así como información complementaria sobre los materiales utilizados o los criterios de las intervenciones. En algunos casos se han registrado otras situaciones de conservación como, por ejemplo, bóvedas que presentan graves problemas de conservación producidos por operaciones de saqueo, como veremos más adelante, o edificios que aún no han sido excavados, ya sea en su totalidad o parcialmente (figura 357). En estos casos por lo general la parte derruida de la bóveda permanece enterrada, y cuando se va a intervenir resulta necesario un minucioso análisis y documentación del derrumbe, ya que puede aportar mucha información sobre las características constructivas del edificio. Otras situaciones singulares detectadas en cuanto a la conservación de la bóveda son los casos en que ésta se encuentra apeada mediante una estructura auxiliar o cuando se han instalado testigos y elementos de control y seguimiento de sus deformaciones.

Debemos considerar que los datos que se muestran en la tabla 17 no son representativos de la situación de conservación de los edificios abovedados en el área maya, pues muchas de las bóvedas estudiadas se han elegido por su buen estado de conservación, que permite analizar sus dimensiones y características constructivas. La muestra considerada puede ser representativa para establecer tipologías de bóvedas o analizar su funcionamiento, pero en cuanto a conservación, existen miles de bóvedas en el área maya que aún no han sido investigadas, o que incluso se han derruido totalmente, por lo que estos datos tienen como único objetivo el de reflejar la situación de los casos analizados.

Situación	nº bóvedas	%
Restaurada	73	18,7%
Dintel sustituido	118	30,2%
Existen apeos	9	2,3%
Por excavar	15	3,8%
Existen saqueos	11	2,8%
En monitorización	8	2,0%



Figura 356. Bóveda parcialmente restituida sobre un nuevo dintel en el Edificio VII de San Clemente.



Figura 357. Bóveda por excavar en el Ala Este del Conjunto del Cuartel de Santa Rosa Xtampak.

Tabla 17. Situación de las bóvedas estudiadas (casos considerados: 391).

Las bóvedas que tienen las cinco superficies mencionadas anteriormente y en las que se ha podido cuantificar el estado de conservación mediante porcentajes son 291 en total. De esta muestra, el 52% se conservan parcialmente y 141 casos, un 48,5%, se encuentran íntegras (figura 358). De estas últimas, más de la mitad han sido intervenidas mediante la sustitución de los dinteles y normalmente la reintegración parcial de la parte superior a éstos, derruida tras el colapso de los cargaderos. Sin embargo, existe un porcentaje considerable de bóvedas, 66 de las registradas, que se conservan completas y en las que, al menos aparentemente, no se han realizado intervenciones relevantes como reintegraciones o la sustitución de los dinteles. En muchos casos se han llevado a cabo actuaciones de consolidación, pero para este análisis consideramos como “restauración”¹³¹ la sustitución de los dinteles o la reintegración parcial o total de alguna de las superficies de la bóveda.

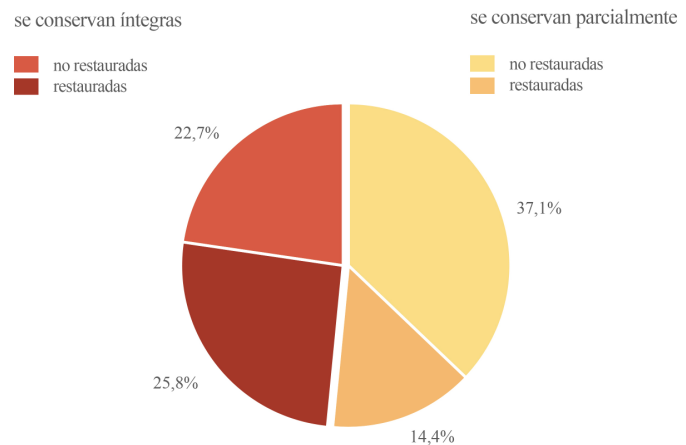


Figura 358. Estado de conservación y bóvedas restauradas de la muestra (casos considerados: 291).

El análisis del estado de conservación de las bóvedas que se mantienen parcialmente y que no han sido restauradas resulta muy interesante porque puede aportar información sobre cómo se ha producido el progresivo derrumbe en función de las características constructivas y geométricas de cada bóveda. Considerando esta selección de casos (un 37,1%, figura 358), la tabla 18 muestra cuántas bóvedas conservan cada uno de los planos íntegros o la combinación de varios de éstos. Además, en las bóvedas en las que se ha podido graficar la línea del derrumbe pueden analizarse no sólo los planos que se conservan íntegros, sino también en qué manera se conserva parcialmente cada uno de los lados. De estos datos pueden extraerse las reglas generales de los procesos de derrumbe que se producen en la mayoría de los casos.

¹³¹ “En la definición que se utiliza habitualmente, restaurar es sinónimo de recuperar o recobrar, es decir, volver a poner una cosa en aquel estado que antes tenía y, en concreto, el reparar un edificio del deterioro sufrido” (Vidal Lorenzo y Muñoz Cosme 1997, p. 106).

Bóvedas que se conservan parcialmente y no han sido restauradas	%
Conservan íntegra la semibóveda principal o exterior (Sppal)	0,0%
Conservan íntegra la semibóveda interior (Sint)	33,3%
Conservan íntegro el testero derecho (Tder)	44,4%
Conservan íntegro el testero izquierdo (Tizq)	50,0%
Conservan íntegra la tapa (t)	5,6%
Conservan íntegras ambas semibóvedas (Sppal y Sint)	0,0%
Conservan íntegros ambos testeros (Tder y Tizq)	25,0%
Conservan íntegros la semibóveda interior y ambos testeros (Sint, Tder y Tizq)	20,4%
Conservan íntegros la semibóveda interior, los testeros y la tapa (Sint, Tder, Tizq y t)	4,6%

En primer lugar, llama la atención que en ninguna de las bóvedas registradas que no se conservan íntegras está completa la semibóveda principal, considerada como la exterior o la que presenta uno o varios vanos de acceso. Este es el plano más vulnerable, debido a la presencia de los dinteles de las puertas, cuyo colapso es el principal desencadenante del derrumbe. Las losas de tapa, apoyadas en ambos lados de la bóveda, generalmente se derrumban junto con la semibóveda principal (figura 359), por lo que este sería el segundo plano más vulnerable, que en muy pocos casos se conserva íntegro en la muestra considerada, tal como muestran la tabla 18. A veces, si su longitud de empotramiento es suficiente, cuando se produce el derrumbe parcial de la semibóveda principal las tapas pueden permanecer ancladas entre la semibóveda interior y el relleno superior a ésta, pero no es lo más común (figura 360).

Tal y como veíamos en el apartado 7.3.1, en muchos casos los cuartos tienen una sola puerta, por lo que es mucho más frecuente que la semibóveda interior pueda mantenerse completa. Esta situación se da en un tercio de las bóvedas consideradas en la tabla 18. Existen algunos pocos casos, solamente cinco entre los considerados, en que el muro interior sí presenta vanos de acceso, pero la semibóveda se ha conservado íntegra, bien porque los dinteles se han mantenido, ya sean de piedra o de vigas de madera, o bien porque los vanos del muro interior se abren con arcos de descarga, como por ejemplo ocurre en varios edificios de Palenque. Además de la distribución de los vanos de acceso, otro factor que influye en la conservación de la semibóveda interior es la configuración de la planta del edificio en varias crujías paralelas. Como veíamos en el apartado 7.2.5, cuando hay varias crujías las semibóvedas centrales tienen forma simétrica en la sección transversal y se equilibran entre sí, por lo que son mucho más estables que las semibóvedas exteriores. Esto además se incrementa cuando sobre estos muros centrales se sitúa una crestería, que centra las cargas e introduce un efecto equilibrador (figura 361).

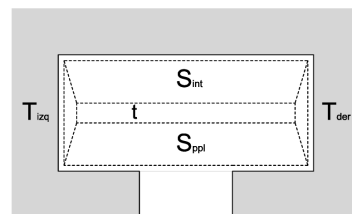


Tabla 18. Bóvedas según los planos conservados (casos considerados: 108).



Figura 359. Templo 23 de la Acrópolis Norte de Tikal, en el que se ha derrumbado la parte central de la semibóveda principal y de la tapa de la crujía interior.



Figura 360. Bóveda en el Edificio Y de Nakum



Figura 361. Fachada sur del Palacio-Templo o Estructura I de Tabasqueño.

Tal y como se observa en la tabla 18, la mitad de las bóvedas consideradas conservan uno de los testeros íntegros, y en una cuarta parte de los casos se mantienen ambos testeros completos. Es también frecuente que se conserven íntegros tanto los testeros como la semibóveda interior. En el capítulo 7 hemos visto que los lados cortos de las estancias no suelen tener puertas, por lo que sólo en algunas ocasiones tienen dinteles que puedan colapsar y producir su derrumbe. Normalmente los testeros se construyen adosados a las semibóvedas, como muros verticales o con una inclinación menor que éstas, por lo que son mucho más estables y, además, ofrecen un efecto de arriostamiento transversal a la bóveda que produce que los extremos de ambas semibóvedas se conserven mejor. Este efecto rigidizador aumenta cuando la longitud de la bóveda es reducida, por lo que, en bóvedas con características constructivas iguales, las que tienen una proporción de la planta más próxima al cuadrado se conservan mejor. Un ejemplo muy claro de ello se puede observar en el Edificio 6J2 de la Acrópolis de La Blanca: entre las bóvedas con iguales características de luz y distribución de accesos, las que más superficie mantienen son las de menor longitud, situadas en las esquinas del cuadrángulo (figura 253).

9.2. Procesos de deterioro hasta el colapso de las estructuras abovedadas mayas

Un edificio en situación de ruina parcial se convierte en una muy buena fuente de información para, por un lado, estudiar los diferentes elementos que componen las fábricas y analizar su proceso constructivo y, por otro lado, identificar las causas de su deterioro y comprender el proceso de derrumbe que se ha producido hasta llegar a la situación actual (Perelló Roso, Muñoz Cosme y Sender Contell 2009, p. 207). El conocimiento profundo de la técnica constructiva y de los procesos de deterioro es necesario para establecer criterios y estrategias adecuados para aplicar en los trabajos de excavación y consolidación de los edificios mayas.

El estado de conservación actual de estos edificios está condicionado por diversos factores que actúan conjuntamente y en diferente medida según el caso. En primer lugar, variables externas al edificio como los agentes meteorológicos, la vegetación, la fauna y la acción del hombre, tanto erosiva como constructiva, y en algunas ocasiones indiscriminadamente destructiva, cuando se producen, aún hoy en día, saqueos que persiguen el hallazgo de objetos de valor y dañan gravemente las estructuras arquitectónicas. Junto a estos factores externos actúan las variables de carácter intrínseco a las propias construccio-

nes, determinadas por la manera en que éstas fueron construidas, por los materiales utilizados y por sus posibles fallos, lo que, además, afecta directamente al grado de incidencia de los agentes de deterioro medioambientales. Es decir que, sin considerar las causas de deterioro de carácter antrópico, la conservación de un edificio dependerá fundamentalmente de la durabilidad del propio sistema constructivo y de sus elementos, y de la resistencia de la estructura a los agentes patológicos externos como la humedad, los cambios de temperatura o los organismos vivos como la vegetación. A continuación se analizan, a partir de los casos estudiados, los principales factores de deterioro que afectan a los edificios abovedados mayas.

9.2.1. Factores intrínsecos al sistema constructivo

En la mayoría de los casos el punto débil de estas estructuras son los dinteles que cubren los vanos de las puertas, y con más énfasis cuando éstos son de madera. Aunque los mayas utilizaron vigas de especies arbóreas de gran dureza y resistencia como el chicozapote, con el tiempo la madera pierde volumen, se pudre y colapsa. Además, su integridad puede verse afectada por el ataque de xilófagos.

En la figura 362 se observa que, si bien poco más de la mitad de las bóvedas registradas tuvieron dinteles originales de madera (54,4%), entre aquellas en que se han sustituido los dinteles casi un 90% tenían cargaderos de madera. Por otro lado, la mayoría de las bóvedas que se conservan íntegras y no han sido restauradas, casi un 75%, tienen dinteles de piedra.

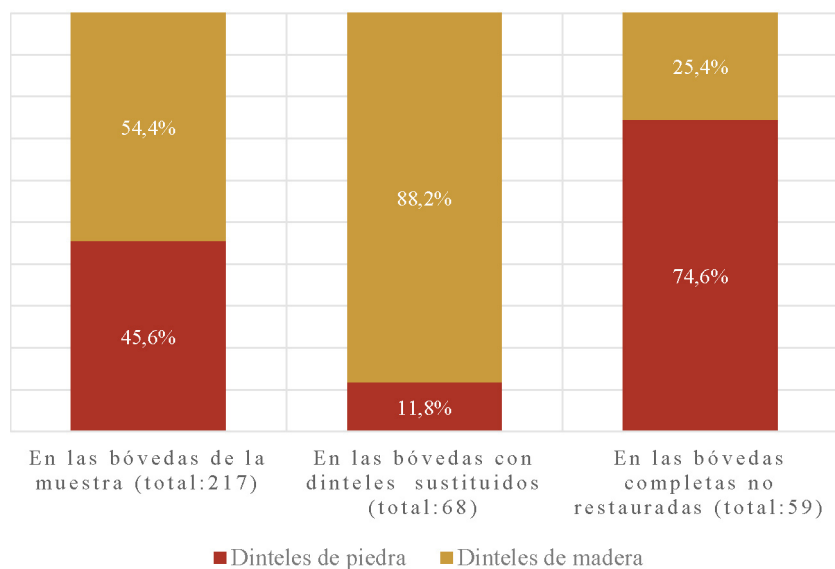


Figura 362. Tipo de dinteles originales según el estado de conservación de las bóvedas de la muestra.



Figura 363. Dintel de piedra apeado en el Cuad. Sureste de Santa Rosa Xtampak.

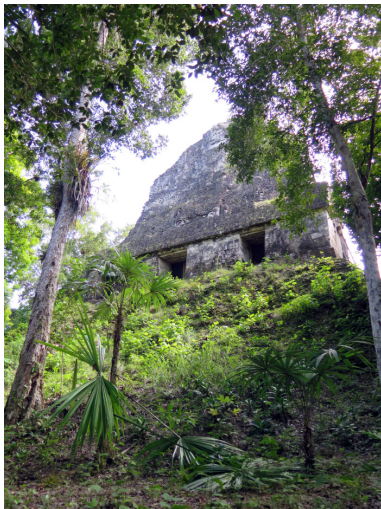


Figura 364. Templo de las Inscripciones de Tikal.

Los dinteles monolíticos de piedra permitían a los constructores mayas cubrir una luz limitada que, según los datos obtenidos, en pocas ocasiones supera un metro, condicionada por el espesor de la pieza y su resistencia a flexión. El deterioro del material pétreo, junto con el incremento del esfuerzo al que está sometido, pueden provocar el agotamiento de los dinteles de piedra, y en ocasiones aparecen fisuras que finalmente conducen a la rotura y al colapso del cargadero (figura 363). Muchas veces estos cargaderos de piedra tenían una longitud reducida de apoyo en los muros, por lo que el colapso de las jambas, monolíticas o formadas por varias piezas, también puede provocar el colapso del dintel y, por tanto, de la bóveda. Sin embargo, generalmente las bóvedas con dinteles de piedra y con anchuras de los vanos reducidas se han conservado mejor, y son otros agentes de deterioro los que en ocasiones les afectan en mayor medida.

Con dinteles de madera formados por varias vigas dispuestas en paralelo se podían obtener puertas mucho más anchas, gracias a la resistencia de la madera a tracción. En la Casa C y en el Templo del Sol de Palenque o en el Ala Oeste del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal los vanos centrales superan los 3,00 m de luz y, en general, son bastante comunes las puertas de más de 2,00 m de anchura: se han registrado casos en edificios de diferentes sitios como Uaxactún, Tikal, Nakum, La Blanca, Becán, Chicanná, Hochob y Copán.

En la muestra analizada, las bóvedas con dinteles originales de madera que se han conservado íntegras pertenecen al área de Petén y tienen en todos los casos cargaderos de rollizos, con luces que se aproximan a los 2,00 m, y en el caso del Edificio 5D-91 del Grupo de Siete Templos de Tikal alcanzan hasta los 2,55 m de luz. Algunos ejemplos pueden observarse en el Palacio de las Ventanas, el Palacio Maler o en el Templo 6 de Tikal, también denominado de las Inscripciones (figura 364). Estos rollizos proceden en muchos casos del tinto o palo de Campeche, una especie leñosa muy resistente y con una densidad alta, de valor 1,00, por lo que resulta óptima para utilizarse como elemento estructural (Muñoz Cosme 2006b, p. 61). Es posible que estos rollizos, al tener una sección con forma irregular, hayan formado un conjunto solidario con el mortero, lo que los ha protegido de la humedad y de los ataques de xilófagos, por lo que han perdurado durante siglos.

Muchas veces en los dinteles se labraban escenas de la realeza e inscripciones jeroglíficas, que han permitido datar numerosos edificios. Algunos ejemplos conocidos son los dinteles de piedra esculpida de Yaxchilán o los de madera de chicozapote de los templos de Tikal. Por esta misma razón en ocasiones han sido sustraídos de las estructuras. Uno de los primeros

ejemplos documentados de esta práctica fue la extracción del dintel de chizapote labrado de la Estructura 1A1 del Grupo Manos Rojas de Kabah durante la expedición de John Lloyd Stephens a Yucatán ya en la primera mitad del siglo XIX (figura 365):

“[...] Mr. Catherwood’s eye was arrested by a sculptured lintel, which, on examination, he considered the most interesting memorial we had found in Yucatan [...] The next day I saw them, and determined immediately, at any trouble or cost, to carry them home with me [...]” (Stephens 1843, p. 403).

Por tanto, los dinteles no sólo han sido una de las principales causas del colapso de las bóvedas por su propio deterioro, sino que también en ocasiones han estado en el punto de mira del expolio. En cualquier caso, el deterioro, la deformación o la desaparición de los cargaderos de los vanos provoca el inicio del colapso de las bóvedas. El proceso de derrumbe que se produce sigue unas pautas generales, pero varía en función de las características constructivas específicas de cada edificio, como vamos a ver ahora.

Ya hemos comentado que un tipo de estancia muy común en la arquitectura palaciega maya es el cuarto rectangular con una única puerta centrada en uno de sus lados largos. Con el deterioro y el colapso del dintel de este vano, la parte de la bóveda que se ve más afectada es el plano situado sobre éste, denominado semibóveda principal. En algunas ocasiones excepcionales, el dintel colapsa y la semibóveda se mantiene íntegra debido a la calidad del mortero y su resistencia a tracción, tal y como se observa en el cuarto 24 del Palacio de Labná (figura 366). Según la cohesión interna de la fábrica, determinada por el tipo de dovelas, la calidad del mortero y el estado de conservación del conjunto, a veces, tras el colapso del dintel, pueden formarse arcos muy rebajados que permiten que la semibóveda exterior se mantenga prácticamente íntegra. En la arquitectura Puuc, esta situación se produce en muchos casos por el carácter monolítico de las bóvedas y la elevada resistencia y elasticidad del mortero de cal del relleno. En Palenque, la construcción de las bóvedas con lajas horizontales que prácticamente ocupan todo su espesor desde el intradós hasta el trasdós, hace que el volumen sea monolítico y puedan generarse arcos de descarga muy rebajados sobre los vanos de las puertas. Pueden observarse varios ejemplos de ello en las fotografías tomadas a finales del siglo XIX por Alfred Maudslay en Palenque o por Teobert Maler en varios sitios de las áreas Puuc y Chenes, antes de que se llevara a cabo cualquier intervención en los sitios (figuras 367 y 368).

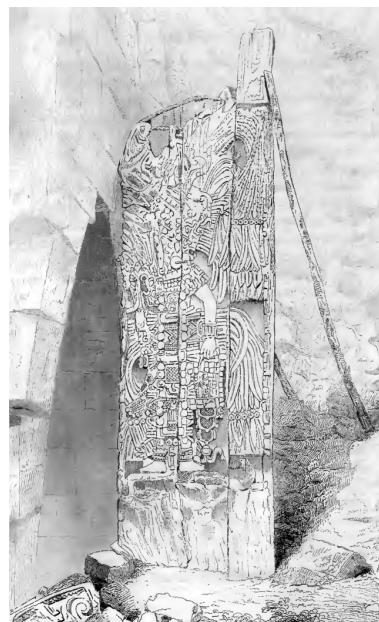


Figura 365. Dibujo de Frederick Catherwood del dintel de la Estructura 1A1 de Kabah, una vez sustraído de su posición. Tomado de J. Ll. Stephens (1843).



Figura 366. Vano de acceso al cuarto 24 del Palacio o Estructura 1 de Labná.

Figura 367. Fotografía de la Casa C de Palenque tomada por Alfred P. Maudslay (1902) a finales del siglo XIX.



Figura 368. Fotografía de Teobert Maler de la puerta central de la Estructura II de Hochob, tomada de *Península Yucatan* (1997).



Sin embargo, esto no siempre es posible y muchas veces el colapso del dintel forma un arco de descarga natural más peraltado (figura 369) o incluso se derrumba la totalidad de la parte central de la semibóveda exterior y, con ella, las piezas de tapa centrales (figura 359). La flecha del arco natural de descarga que se produce depende principalmente de la calidad de la misma fábrica, en cuan-

to a su traba, aparejo y a la elasticidad del mortero. Las fábricas bien trabadas y aparejadas o con un mortero de gran resistencia y elasticidad pueden producir arcos de descarga muy rebajados, y a medida que disminuye la cohesión interna o en fábricas deterioradas sometidas a los efectos de la intemperie, el arco de descarga natural se produce con un mayor peralte (Perelló Roso, Muñoz Cosme y Sender Contell 2009, p. 209).

Tras el colapso del dintel, en numerosas ocasiones se mantienen en pie los extremos de la semibóveda exterior, que conservan un apoyo firme sobre los muros y que, además, cuentan con el efecto de arriostamiento transversal de los testeros, por lo que las esquinas de las bóvedas suelen ser las zonas mejor conservadas (figura 370). En este proceso, la semibóveda interior, considerando que apoya sobre un muro ciego, puede permanecer en muchos casos intacta. Con el tiempo, la humedad penetra en la estructura, desprotegida de las capas de estuco de recubrimiento, y la semibóveda interior empieza a derrumbarse. En Petén la cohesión interna de los volúmenes de las semibóvedas no es tan elevada como por ejemplo en el Puuc, pues están formados por grandes dovelas apoyadas entre sí y contrapesadas por un relleno posterior que ejerce una función más gravitatoria que la de formar un sólido monolítico con las dovelas. A raíz de esto en muchos casos se forma una curva de desplome en la semibóveda interior (figura 371) que refleja el efecto de rigidización producido por los testeros en las esquinas (Perelló Roso 2006, p. 63).

Otra forma de derrumbe posible, unida a veces al provocado por el colapso de los dinteles, es el vuelco como sólido rígido de uno de los lados de la bóveda, provocándose un giro en el encuentro con la coronación del muro (Perelló Roso 2006, p. 64). Como ya hemos visto, según el tipo de dovelas utilizado, su traba con el relleno y la calidad del mortero, cada una de las semibóvedas puede formar, en mayor o menor medida, un volumen monolítico. Por otro lado, y debido al proceso constructivo de los edificios, realizado en varias fases y con capas intermedias de estuco como finalización de cada etapa, las bóvedas no están trabadas con los muros verticales, sino que apoyan sobre éstos a través de una superficie horizontal de contacto¹³². Cuando la bóveda entra en una situación de desequilibrio, esta junta seca en la coronación del muro permite que se produzca el vuelco de una de las semibóvedas hacia el interior de la estancia como un volumen monolítico (figura 372).

Por tanto, en el derrumbe de los edificios arruinados pueden hallarse muros o semibóvedas completas que han volteado y caído de forma íntegra, debido principalmente a la dureza y elasticidad del mortero de los rellenos¹³³. Un ejemplo de ello se dio en la excavación del cuarto 1 del Palacio de Oriente



Figura 369. Templo Este o Estructura 18 en el Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal.



Figura 370. Bóveda en el Grupo Mundo Perdido de Tikal.



Figura 371. Cuarto 4 del Edificio 6J2 de La Blanca antes del inicio de las labores de excavación en el sitio. Fotografía: Gaspar Muñoz Cosme, 2004.

¹³² Véase el apartado 7.2.4.

¹³³ Véase como ejemplo el caso del muro de la Estructura CA-3 de Oxkintok, investigada por la Misión Arqueológica de España en México a principios de los años 90 (Muñoz Cosme, Gilbert Sansalvador y Aliperta 2018).



Figura 372. Vuelco como sólido rígido de una bóveda en la Casa D del Palacio de Palenque.



Figura 373. Cuarto 1 del Palacio de Oriente de La Blanca durante su excavación. Fotografía: Ricardo Torres Marzo, 2008.

del sitio de La Blanca (figura 373). Tras la retirada de las primeras capas del derrumbe, se encontraron en el interior de la estancia dos de los lienzos de la bóveda que habían volcado de forma solidaria: en primer lugar había colapsado la semibóveda exterior, girando y cayendo hacia el interior de la estancia y, posteriormente y sobre ésta, se había desplomado el testero sur, que en este caso era el muro de cierre exterior del edificio, quedando como dos capas superpuestas en el derrumbe (Vidal Lorenzo y Muñoz Cosme 2009a, p. 34-35).

Además de estas formas generales de derrumbe, existen circunstancias propias de cada edificio que pueden desencadenar su colapso estructural en diferentes modos. A veces pueden ser defectos constructivos o irregularidades geométricas, pero también otros aspectos como por ejemplo las deformaciones completas del edificio producidas por asientos diferenciales del terreno o la presencia de subestructuras.

Los mayas, al igual que otras culturas mesoamericanas, tenían la costumbre de construir sobre lo construido. A la hora de levantar un nuevo edificio lo hacían sobre otro de época anterior que clausuraban y quedaba embebido en el basamento. Esta estrategia tenía un carácter simbólico y también una razón constructiva y económica de ahorro de material, mediante la cual los edificios podían ser cada vez más altos sin tener que construir nuevas plataformas. Por ello, en muchos casos se conservan, bajo los edificios visibles, varias fases constructivas, que en ocasiones son edificios completos que se mantienen intactos. Son casos paradigmáticos el Templo 16 de la Acrópolis de Copán, del que se conocen siete subestructuras, entre las que destaca la conocida como Rosalila, aunque existen numerosos ejemplos. Normalmente las puertas de estas estructuras se clausuraban y las bóvedas se rellenaban mediante sistemas de encajuelado que permitían dividir y compactar el relleno (Peiró Vitoria y Martínez Vanaclocha 2017). En la investigación de la subestructura 6J2-Sub2 de la Acrópolis de La Blanca durante la campaña de campo de 2016 se documentó que los mayas realizaron orificios en el remate de la bóveda clausurada para poder salir por la parte superior de la estancia una vez ésta estaba completamente colmatada (Vidal Lorenzo y Muñoz Cosme 2016b, p. 90). Los diferentes sistemas de relleno de las subestructuras que permanecen enterradas pueden tener influencia sobre el comportamiento estructural del edificio superior, pues la transmisión de las cargas verticales hasta el terreno se verá afectada por la discontinuidad en la capacidad resistente del volumen sobre el que se apoya, pudiéndose producir asientos diferenciales.

9.2.2. Agentes de deterioro externos

A los procesos de deterioro originados por causas intrínsecas del propio sistema constructivo se suman otros efectos desfavorables producidos por agentes externos que contribuyen al deterioro y aceleran el colapso y el derrumbe de las estructuras. Se trata de varios procesos patológicos que actúan simultáneamente. Uno de ellos es la entrada de agua en el interior de las fábricas, provocada por el deterioro de las superficies y la desaparición de las capas de estuco de protección. Además de debilitar el relleno resistente y lavar los morteros de las juntas, la humedad favorece la introducción de raíces de plantas y árboles de gran porte en la estructura, que en el clima tropical y en el medio selvático crecen rápidamente y ejercen fuertes presiones en los rellenos (figura 374), siendo uno de los agentes patógenos más importantes (Perelló Roso 2006, p. 64). A la hora de diseñar las acciones de consolidación y conservación de una estructura sobre la que han crecido especies vegetales, resulta fundamental cortar su crecimiento y eliminar las raíces del interior de las fábricas.

Otro efecto desfavorable sobre el comportamiento estructural es la disminución de la resistencia de algunas variedades de la piedra caliza cuando están expuestas a la intemperie y han perdido el revestimiento de estuco que protegía las superficies pétreas. Como parte de los trabajos de restauración del Templo III de Tikal se realizaron análisis físico-mecánicos comparativos de muestras de material pétreo obtenidas del propio edificio y de dos canteras del sitio (Valdés et al. 2001). El estudio permitió cuantificar la merma de las características mecánicas de la piedra caliza, comparando los valores obtenidos en las muestras de las canteras y en las del edificio, tomadas en la crestería del templo, la zona sometida a condiciones medioambientales más desfavorables. Con ello se demostró que este tipo de caliza, desprotegida por la desaparición de la capa de estuco de recubrimiento y expuesta a variaciones higrótérmicas importantes, sufre un proceso de degradación producido por disolución cársica, con lo que aumenta su porosidad y disminuye notablemente su resistencia (Valdés et al. 2001; Muñoz Cosme 2003, p. 373-376). Este tipo de deterioro de la piedra se puede observar hoy en día en varios sitios de Petén (figura 375). La figura 376 muestra una fotografía de uno de los cuartos del templo superior del gran edificio piramidal 216 de Yaxhá, en la que se puede observar una clara diferencia en la conservación de las dovelas de la parte central de la bóveda, que ha quedado expuesta a la intemperie tras el derrumbe, y las de la zona de la esquina, que se mantienen más protegidas frente a las variaciones higrótérmicas. En el área Puuc, en cambio, la piedra caliza no parece presentar este mismo tipo de degradación, por lo que es posible que se trate de variedades de caliza distintas, aunque sería necesario realizar ensayos específicos para confirmar esta hipótesis.



Figura 374. Bóveda del Edificio D de Nakum.



Figura 375. Deterioro de la piedra caliza por meteorización en la Acrópolis Central de Tikal.



Figura 376. Bóveda del Edificio 216 de Yaxhá.



Figura 377. Dintel de hormigón armado con graves problemas de conservación en la Casa de las Tortugas de Uxmal.

Además de los efectos desfavorables producidos por los microorganismos, las plantas y los árboles de gran porte que invaden las estructuras, en algunos casos se han detectado procesos de deterioro importantes provocados por animales. Los espacios abovedados interiores de los edificios mayas, oscuros, frescos y húmedos respecto al ambiente exterior, se convierten en ocasiones en el hábitat ideal para diferentes especies animales como pájaros, murciélagos e iguanas. En algunos casos una abundante población de este tipo de fauna puede representar un problema para las estructuras de fábrica. Además de los efectos químicos nocivos de los residuos que depositan en el interior de las estancias, se ha detectado que los murciélagos se introducen en los rellenos para crear sus nidos en el interior de las fábricas¹³⁴, rascando y disgregado su interior. Como medida de protección y conservación preventiva, en muchos edificios se colocan mallas de cierre en las puertas que impiden la entrada de cualquier intruso al interior de las estancias. Cuando los rellenos de las fábricas están deteriorados resulta conveniente consolidarlos, reforzando su interior con inyecciones de mortero de cal y sellando las juntas, unas acciones que deben formar parte del plan de conservación preventiva de los sitios.

Las causas de deterioro de carácter antrópico son de diversa índole. Las más graves son las causadas por los saqueos de las estructuras. Con el objetivo de encontrar objetos culturales como por ejemplo cerámica policromada o útiles de jade u obsidiana que puedan ser vendidos en el mercado negro de obras de arte, durante décadas los saqueadores han abierto y perforado indiscriminadamente las edificaciones mayas en ruinas. Taladran los rellenos de las plataformas y rompen muros, pisos, escalinatas y cualquier elemento para abrir túneles que dañan gravemente las estructuras y muchas veces provocan su colapso. La falta de conocimiento y valoración del patrimonio arquitectónico, sumada a su situación de abandono, propician que en muchas áreas las bandas organizadas destruyan el patrimonio cultural prehispánico y sus valores de manera irrecuperable (Quintana Samayoa 2013, p. 183-184).

En otras ocasiones y en edificios y sitios que sí gozan de una buena protección, una de las causas de deterioro puede deberse a los daños provocados, de manera no intencional, por las propias restauraciones realizadas en los edificios. Por ejemplo, con la utilización de materiales poco compatibles con los históricos como el mortero de cemento¹³⁵ o la restauración de los dinteles con vigas de hormigón armado. En muchos casos, debido al deficiente recubrimiento de las armaduras y a la entrada de humedad, estos nuevos cargaderos presentan graves problemas de conservación (figura 377).

Por otro lado, los sitios arqueológicos que son visitables se enfrentan además a las dificultades que para la conservación de sus edificios genera el turismo.

¹³⁴ Comunicación personal de José G. Huchim Herrera.

¹³⁵ El mortero de cemento, por su menor porosidad y mayor dureza, puede deteriorar gravemente el material pétreo. Además, el cemento tiene un elevado contenido de sales solubles, que pueden acabar cristalizando en la piedra caliza.

En los lugares donde la afluencia de visitantes es masiva, como por ejemplo en Tikal, Uxmal o Chichén Itzá, se pueden generar problemas de erosión en las propias estructuras. La mala conducta de algunos visitantes, inconscientes de la gravedad de sus acciones, unida a la falta de mantenimiento y protección y a las dificultades en la gestión y la vigilancia de los sitios, han generado muchos problemas. Uno de ellos en los estucos conservados en los muros, desgraciadamente en muchos edificios cubiertos por verdín y repletos de grafitis actuales.

9.3. Actuaciones de restauración en los edificios abovedados mayas

En el ámbito de la arquitectura maya no es frecuente encontrar bibliografía específica y detallada sobre las intervenciones de restauración que se han realizado en los edificios abovedados y que, sin embargo, en algunos casos han sido obras de gran magnitud. Normalmente se pueden consultar las actuaciones llevadas a cabo en los informes de las investigaciones arqueológicas de los diferentes sitios, que a veces no son fácilmente accesibles y en los que, por lo general, no suelen detallarse los criterios seguidos ni el alcance de las consolidaciones, restauraciones o restituciones realizadas, pues los informes de campo tienen un carácter principalmente arqueológico. Algunos autores sí que han tratado el tema de las intervenciones de restauración en los edificios más específicamente, tanto en estudios teóricos sobre los criterios y las principales actuaciones llevadas a cabo en el área (Schávelzon 1989; Matarredona Desantes 2015), como en obras específicas dedicadas al análisis de las intervenciones y las actuaciones de conservación en determinados sitios y edificios concretos (Muñoz Cosme 2006a; Huchim Herrera 2007; Quintana Samayoa 2013).



Figura 378. Edificios 5D-51 y 5D-52 de Tikal. Izquierda: fotografía de W. Heinze de 1966 tomada de C. Vidal y G. Muñoz (2012, p. 69). Derecha: fotografía actual.



Figura 379. Fachada sur del Edificio 1 de Chacmultún. Imagen superior: fotografía de principios del siglo XX tomada de T. Maler (1997). Imagen inferior: fotografía actual.

Una fuente documental muy útil para identificar las restauraciones que se han llevado a cabo en los edificios mayas son los grabados y fotografías históricas tomadas por los exploradores que recorrieron el área maya en el siglo XIX, como Frederick Catherwood, Desiré Charnay, Teobert Maler o Alfred Maudslay, entre otros. También la documentación resultante de las primeras grandes campañas de investigaciones realizadas durante el siglo XX en algunos sitios como, por ejemplo, las del Museo de la Universidad de Pennsylvania en Tikal o las de la Carnegie Institution of Washington en Chichén Itzá, entre otras. En las figuras 378 y 379 se muestran dos ejemplos comparativos de fotografías antiguas y actuales.

A veces las fotografías antiguas permiten observar el buen estado de conservación en el que se han mantenido algunos edificios. En la figura 380 pueden compararse dos fotografías tomadas con más de cien años de diferencia en una de las estancias del segundo piso del Edificio 52 de la Acrópolis Central de Tikal, conocido como el Palacio de los Cinco Pisos. La fotografía de la izquierda fue tomada por Maler en 1904, y la de la derecha fue tomada por la autora en 2015. Se observa que la bóveda, los dinteles de rollizos y también los morillos decorados originales se conservan en buen estado, mientras que los estucos de los muros, cubiertos por verdín, han sido además deteriorados con grafitis y marcas recientes de los visitantes.



Figura 380. Estancia del Edificio 5D-52 de Tikal. Izquierda: fotografía de principios del siglo XX tomada de T. Maler (1911). Derecha: fotografía actual.

El análisis detallado de la historia de la restauración de los edificios abovedados en el área maya, así como de los diferentes criterios de intervención utilizados en cada caso, excede del ámbito de este estudio y podría ser objeto de una investigación mucho más amplia, por lo que este apartado se limita a recoger consideraciones generales y algunas observaciones que se han realizado durante la toma de datos *in situ*.

La intervención realizada más frecuentemente en las bóvedas estudiadas consiste en la reposición o la sustitución de los dinteles y la reintegración de la parte desplomada de la semibóveda exterior, bien por técnicas de *anastilosis* cuando las dovelas se han conservado en buen estado en el derrumbe, o bien con nuevas piedras talladas expresamente en los casos en que las originales se han deteriorado o extraviado. Cuando tras el colapso de los dinteles, el arco de descarga natural que se genera es muy rebajado, la zona restaurada puede ser mínima, mientras que otras veces se han repuesto varias dovelas (figura 381). En el caso especial de la excavación de bóvedas de subestructuras que fueron



Figura 381. Vista interior de la primera crujía del Templo del Sol de Palenque, donde se aprecia la zona de la semibóveda restituida.



Figura 382. Cargadero de hormigón armado con problemas de conservación en el Edificio Codz Pop de Kabah.



Figura 383. Templo de las Siete Muñeca de Dzibilchaltún.

completamente rellenas, es posible reponer el dintel apeando correctamente el relleno superior antes de vaciar la estancia, y conservar de esta manera la bóveda íntegra¹³⁶.

Como decíamos anteriormente, uno de los principales problemas actuales de conservación de algunos edificios se ha generado a raíz de los daños causados por las propias restauraciones. Especialmente en los casos en que se han colocado dinteles de hormigón armado, sobre todo en las restauraciones realizadas durante la primera mitad del siglo XX, cuando los criterios de restauración diferían de los de hoy en día y no se contaba con el conocimiento técnico actual sobre las patologías que genera este material a largo plazo y sus problemas de compatibilidad con los materiales históricos (figura 382). Encontramos ejemplos en varios edificios de sitios como Uxmal, Kabah, Sayil, Chichén Itzá, Palenque o Copán.

En la Estructura 1-Sub de Dzibilchaltún, conocida como el Templo de las Siete Muñecas, se habían conservado algunos de los dinteles originales de madera. En las intervenciones de restauración llevadas a cabo a finales de los años 50, se dispusieron dinteles de hormigón ocultos en el relleno de la bóveda y se colocaron vigas de madera en la posición original de los cargaderos (figura 383), con lo que la viga de hormigón cumplía la función resistente pero el visitante sólo veía los dinteles de madera (Hellmuth 1989, p. 32; Schávelzon 1989, p. 157). En este caso el hormigón puede generar importantes daños en la estructura por su incompatibilidad con los materiales tradicionales. Los trabajos para revertir las restauraciones son operaciones de gran dificultad y muchas veces suponen un riesgo considerable para la conservación.

En intervenciones más recientes y con un criterio más acertado los dinteles se han restaurado con nuevas vigas de madera, cuando los originales eran de este material (figura 356), o en su caso con dinteles de piedra, aunque, como hemos visto, es menos frecuente.

Durante la toma de datos *in situ* se han observado algunas estrategias llevadas a cabo para diferenciar las partes restauradas de las que se mantienen originales. La más sencilla consiste en marcar el año de la fecha de la restauración en los nuevos dinteles colocados. Esta práctica se ha observado en varios sitios, tanto en nuevos cargaderos de madera como en algunos de piedra.

En el sitio de Nakum se han utilizado criterios de diferenciación más acusados. Tras la investigación de algunos de los espacios interiores de cuartos hasta el nivel del piso, las estancias fueron rellenas de nuevo con piedra sin mezcla (Quintana Samayoa 2013, p. 211), por lo que en la actualidad se mantienen selladas (figura 384). Se consolidaron los restos de las bóvedas existentes y

¹³⁶ Véase como ejemplo la bóveda del cuarto 2 de la Subestructura 6J2-Sub2 de La Blanca (Vidal Lorenzo y Muñoz Cosme 2016b).



Figura 384. Fachada oeste del Edificio R de Nakum.

cuando en algunos casos fue necesario colocar nuevas dovelas, éstas se dispusieron de forma escalonada en el plano de la sección transversal, presumiblemente para garantizar su diferenciación respecto de la fábrica original. Esta colocación escalonada ha generado que las dovelas tengan una coloración alterna muy marcada debido al diferente grado de protección de cada plano frente a la escorrentía (figura 385).



Figura 385. Bóveda en el Edificio D de Nakum.

En los trabajos de restauración del Edificio N del mismo sitio, llevados a cabo en 2004 y 2005, se repusieron los dinteles de las puertas con vigas de madera y se restituyeron las partes faltantes de las bóvedas. La de la crujía exterior del último nivel se encontraba muy deteriorada y, tal y como muestra la figura 386, decidió reintegrarse el espacio interior perdido con un armazón de madera que recompone la forma interior de la bóveda original (Quintana Samayoa 2013, p. 212).



Figura 386. Bóveda en el Edificio N de Nakum.

En algunos casos las bóvedas y otros elementos de los edificios, como por ejemplo las escalinatas o los frisos de mosaico de piedra tallada, se han restituido prácticamente en su totalidad por *anastilosis* a partir de los materiales hallados en el derrumbe. Los criterios generales para la restauración del patrimonio construido siempre han sido objeto de debates y opiniones, especialmente en cuanto a los límites de la reconstrucción, por lo que muchas de estas intervenciones han causado ciertas polémicas. En todos los casos resulta imprescindible realizar una documentación minuciosa del derrumbe para comprender las características del edificio y los mecanismos de deterioro que le han afectado.

En todas las actuaciones de conservación de los restos arqueológicos es muy importante considerar dos aspectos ya ineludibles en la actualidad. En primer lugar, el principio de mínima intervención, tal y como indica la Carta de Cracovia: “Como en el resto de los casos, los trabajos de conservación de hallazgos arqueológicos deben basarse en el principio de mínima intervención. Estos deben ser realizados por profesionales y la metodología y las técnicas usadas deben ser controladas de forma estricta” (VV. AA. 2000, p. 2). En segundo lugar, la necesidad de la intervención para facilitar la interpretación del edificio, con la visión de incorporar este patrimonio a la memoria colectiva de la sociedad. En este sentido ya no solamente es preciso intervenir para que el resultado final sea entendible por los expertos, sino que se debe hacer pensando en el conjunto de la sociedad que lo visita (Muñoz Cosme, Gilabert Sansalvador y Aliperta 2018).

9.4. Propuesta de criterios generales para la excavación, conservación y restauración

“[...] hay que actuar decididamente, tanto para detener los procesos destructivos como para conseguir diseñar un nuevo equilibrio del monumento distinto del original, que nos garantice una ruina paradójicamente estable y duradera. Por tanto, la actuación del restaurador es necesariamente creativa, muy limitada por respeto a las características y los valores del objeto que restaura, pero con una buena carga de imaginación en el diseño de las soluciones que es preciso adoptar para poder “congelar” ese proceso de deterioro que sufre el monumento.”

C. Vidal Lorenzo y G. Muñoz Cosme (1997, p. 108).

Los criterios generales que se proponen a continuación están basados en los acuerdos internacionales plasmados en la Carta de Venecia de 1964 (VV. AA. 1964), la Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico adoptada por ICOMOS en 1990 (VV. AA. 1990) y la Carta de Cracovia (VV. AA. 2000), resultado de la Conferencia Internacional sobre Conservación celebrada en el año 2000 en dicha ciudad polaca. Los procedimientos y estrategias de excavación y conservación más concretos aplicables a los edificios abovedados mayas se deben a sus particularidades y especiales circunstancias, principalmente por el medio en el que se emplazan y por la situación de abandono en la que han permanecido durante siglos, y en cada caso deberán adaptarse a las características constructivas y al estado de conservación de cada edificio en particular. La formulación de estas líneas guía toma como referencias

principales la metodología de excavación, restauración y conservación en el área maya propuesta por Gaspar Muñoz Cosme (2003, p. 304-319) y los procedimientos de conservación propuestos por Óscar Quintana Samayoa en *Ciudades mayas del noreste del Petén* (2013).

En primer lugar y como principio fundamental, todas las etapas de los trabajos de protección del patrimonio deben basarse en la colaboración efectiva de un equipo multidisciplinar formado por arqueólogos, arquitectos, restauradores y otros especialistas.

En vestigios con restos de arquitectura visible, la prioridad será su rescate y documentación, independientemente de si se dan las circunstancias adecuadas para que posteriormente pueda realizarse una investigación arqueológica. En esta primera fase se procederá a la identificación de los vestigios, la documentación detallada del estado actual, y la evaluación y el diagnóstico de su situación estructural y de conservación. En esta primera etapa de urgencia la prioridad será garantizar la seguridad de la estructura, utilizando apeos temporales cuando sea necesario. Asimismo, en las primeras labores de rescate debe controlarse la vegetación que puede estar afectando a la estructura y detener su crecimiento.

En el caso en que vaya a realizarse una investigación arqueológica en el conjunto, previamente a su inicio se diseñará e instalará un sistema de protección temporal frente a los agentes meteorológicos. Debe tenerse en cuenta que la excavación supone la exposición a la intemperie de materiales que han permanecido durante siglos enterrados en una situación de protección y equilibrio frente a los cambios ambientales. Su situación cambia drásticamente una vez que se descubren y se exponen al aire, a los cambios de temperatura y a un nuevo régimen de humedad.

Durante la investigación arqueológica es imprescindible realizar una documentación minuciosa del derrumbe que permita identificar elementos constructivos caídos como sillares, dovelas, elementos decorativos, piezas de cornisa...etc. La posición relativa de todos los elementos desplomados puede proporcionar mucha información sobre las características constructivas del edificio y sobre el proceso de desplome que ha sufrido. Por ello, es muy conveniente identificar y documentar todas las piezas caídas, a ser posible complementando el registro manual mediante levantamientos digitales que recojan todas las etapas de la excavación y permitan reconstruir la posición exacta de todos los elementos que se remuevan de su posición. La documentación digital de las piezas caídas permite abordar posteriormente procedimientos de *anastilosis* virtual, mediante los cuales pueden reconstruirse edificios de forma digital para su

investigación y difusión sin alterar los restos hallados y respetando el principio de mínima intervención.

Durante la excavación arqueológica es probable que se requiera realizar ciertas consolidaciones de urgencia para evitar un deterioro inmediato. Tal y como indica Gaspar Muñoz Cosme (2003, p. 312-313), en este estadio no se dispone aún de toda la información necesaria para adoptar decisiones definitivas sobre la restauración del edificio, por lo que estas consolidaciones deben utilizar técnicas y materiales reversibles.

Una vez finalizada la excavación del edificio, debe realizarse un levantamiento arquitectónico detallado de todas sus partes. Es conveniente que los levantamientos manuales se complementen con técnicas digitales que permitan obtener una documentación fiel y muy precisa de todos los restos existentes tal y como se han hallado en la excavación. Esta información debe archivar adecuadamente para que pueda ser consultable en el futuro.

Asimismo, se realizará un nuevo diagnóstico del estado de conservación de los diferentes materiales y elementos constructivos que componen la estructura, junto con un estudio patológico que debe servir como base para la planificación de la intervención.

Con toda la información obtenida en la excavación y con la restitución gráfica de los levantamientos, debe realizarse una investigación profunda sobre el edificio y previa a la intervención. El estudio tomará como base la bibliografía existente y los estudios sobre conjuntos similares, y contemplará aspectos históricos, tipológicos, iconográficos, constructivos y estructurales que deben analizarse por un equipo multidisciplinar. Con la información completa del objeto de estudio y junto con el estudio patológico y el diagnóstico del estado de conservación se podrá iniciar el diseño y la planificación de las actuaciones de intervención necesarias.

En cualquier proyecto de restauración y conservación del patrimonio arqueológico debe tomarse como objetivo principal el mantener fielmente la autenticidad e integridad de los restos existentes. En el caso que nos ocupa, los restos son estructuras arquitectónicas, a veces de escala monumental, por lo que la primera prioridad es la seguridad estructural. Tal y como se recoge en la Carta de Cracovia, los trabajos de conservación del patrimonio arqueológico deben basarse en el principio de mínima intervención, por lo que la restauración debe limitarse a garantizar la estabilidad y la correcta conservación de la estructura (VV. AA. 2000). Para ello, se realizarán, según el caso, restituciones de volúmenes faltantes, reparaciones o sustituciones de piezas deterioradas y consolidaciones de aquellas partes que lo necesiten. La intervención realizada debe

asegurar la compatibilidad con los materiales existentes, poder reconocerse y, además, ser eventualmente reversible.

Cuando sea necesaria la colocación de un nuevo dintel para garantizar la estabilidad de la parte conservada de la bóveda, éste debe tener unas características similares a los dinteles que tenía la estructura: debe respetarse el material original, ya sea piedra o madera, y la forma y configuración de los cargaderos en vigas escuadradas o en rollizos de sección circular. En la medida de lo posible las restituciones de dovelas deben realizarse con las piezas originales halladas en el derrumbe mediante la técnica de *anastilosis*.

Una vez realizadas las intervenciones y consolidaciones oportunas para garantizar la conservación de la estructura, tanto de sus elementos constructivos como de los restos de revestimientos de estuco que se hayan preservado, deberá diseñarse e instalarse un sistema de protección definitivo frente a la lluvia. Cuando se conserva completo el sistema de techos y bóvedas, deberá garantizarse la impermeabilidad de la cubierta del edificio frente al agua de lluvia y prever un sistema eficiente para su evacuación. En los casos en que las bóvedas no se hayan conservado completas será necesario instalar techados o cubiertas para garantizar la adecuada protección de los vestigios. El diseño y la construcción de estos elementos ajenos a la estructura debe tener en cuenta asimismo la evacuación del agua de lluvia, contar con un plan específico de mantenimiento y procurar la integración con la ruina.

Las intervenciones realizadas deben tener la máxima durabilidad posible, pero siempre resulta imprescindible inspeccionar periódicamente el estado constructivo del edificio y llevar a cabo actuaciones de mantenimiento que deben recogerse en un manual de conservación propio del edificio. Cualquier intervención debe ir acompañada de un plan de gestión y mantenimiento. Éste contemplará acciones de conservación preventiva como la revisión periódica o, cuando sea necesario, la monitorización de los movimientos que pueda sufrir la estructura, la limpieza y el control de la vegetación y el mantenimiento específico de los sistemas de cubierta y de evacuación del agua de lluvia. Asimismo, el plan de gestión debe contemplar una estrategia de protección y tutela del bien.

Según la Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico, “su presentación al gran público es un medio esencial para promocionarlo y dar a conocer los orígenes y el desarrollo de las sociedades modernas. Al mismo tiempo, es el medio más importante para promocionar y hacer comprender la necesidad de proteger este patrimonio” (VV. AA. 1990). Sin embargo, en el caso del patrimonio arquitectónico maya, los vestigios son en algunas áreas

tan abundantes que no siempre resulta viable que todos puedan ser visitables, por lo que en muchos casos las acciones de conservación estarán dirigidas a identificar, documentar, conservar y catalogar, “no para el uso y disfrute actual, sino como grandes reservas de identidad cultural que se “congelan” para un futuro” (Quintana Samayoa 2013, p. 218).

En la figura 387 se resumen las acciones a desarrollar y algunas consideraciones que deben tomarse en cuenta, divididas en dos fases: la Fase A, de identificación y rescate, puede realizarse independientemente de si se continúa con una Fase B. Debemos ser conscientes de que por el momento no resulta viable, ni económica ni medioambientalmente, realizar investigaciones arqueológicas en todo el patrimonio arqueológico maya. Por ello, cuando se excava debe ser prioritario poder consolidar y conservar posteriormente los restos hallados. Cuando esto no es posible, es preferible limitarse a realizar labores de documentación, rescate y protección que permitan detener el deterioro de la estructura, investigar sus características visibles y preservar su integridad para que, en un futuro y cuando sea posible, ésta pueda ser investigada en profundidad con todas las garantías de conservación. En los casos en que es viable

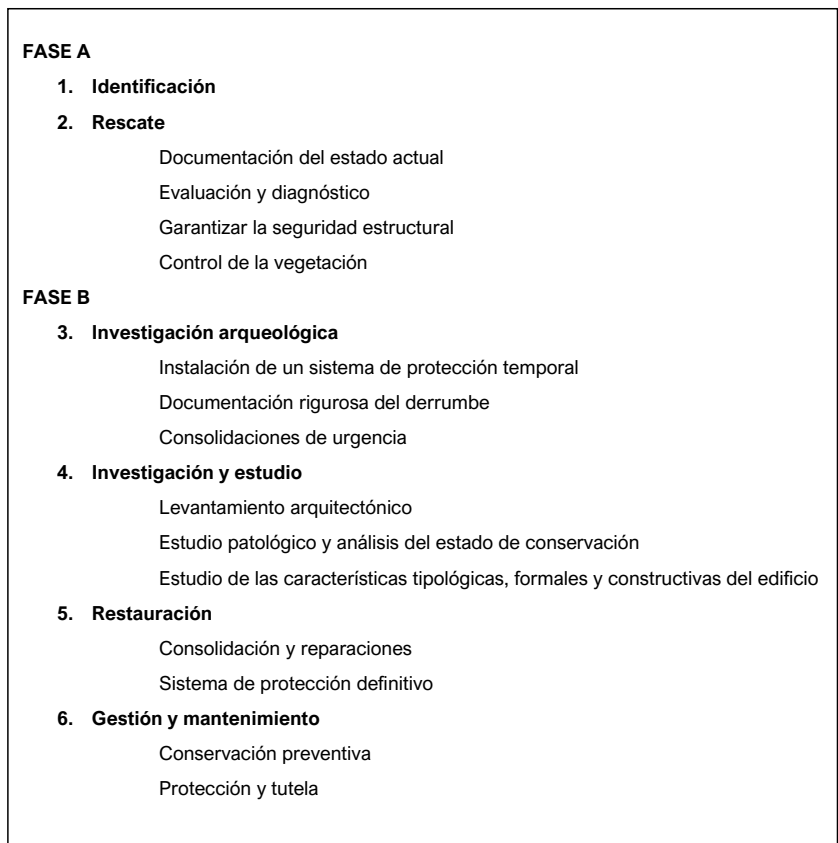


Figura 387. Acciones a seguir en los trabajos de conservación de los edificios abovedados mayas.

y se dispone de los medios para acometer una investigación arqueológica, es imprescindible realizar previamente a ésta las acciones de la Fase A y, además, llevar a cabo las acciones de investigación, restauración, mantenimiento y gestión que se plantean en la Fase B.

En algunos casos puede darse la necesidad de intervenir edificios que ya fueron excavados e investigados arqueológicamente en su momento, se encuentran totalmente descubiertos, y en la actualidad requieren acciones de consolidación o restauración. En ocasiones es posible que ya se haya realizado una restauración anterior y ahora requiera de otras intervenciones, o puede presentarse la situación de que una restauración anterior esté generando problemas y sea necesario revertirla. En estos casos deberá realizarse una primera evaluación y un diagnóstico y, cuando sea necesario, la instalación de estructuras de apeo temporales para garantizar la seguridad estructural del edificio. Tras estas actuaciones previas, se pasará al punto 4 de la Fase B y se realizará un riguroso levantamiento arquitectónico, un estudio patológico y un análisis del estado de conservación general del edificio. A partir de estos datos y con el apoyo de las investigaciones realizadas hasta el momento sobre la arquitectura y la cultura maya en general, se elaborará un estudio actualizado del edificio en cuestión para poder plantear una intervención lo más adecuada posible. Esta deberá ir acompañada de un plan de mantenimiento y gestión que incluya estrategias de conservación preventiva.

En cualquier caso, si el edificio va a ser visitable se deberá contar con instrumentos gestión de la visita pública. Los planes de gestión de los sitios deben manejar estrategias de protección, conservación y puesta en valor específicas junto con planes de interpretación y accesibilidad tanto física como intelectual al objeto patrimonial.

10. Conclusiones

Por lo general, el estudio y la investigación de la arquitectura maya se ha realizado en el ámbito disciplinar de la arqueología. Este hecho, junto con la falta de participación de equipos multidisciplinarios en las excavaciones e investigaciones, ha provocado que en muchos casos los estudios sobre este patrimonio adolezcan de falta de profundidad en determinados temas constructivos y estructurales. La investigación del patrimonio construido maya, por su carácter arquitectónico, precisa de estudios y actuaciones complementarios a la excavación arqueológica que, aunque en ocasiones se han considerado secundarios, resultan fundamentales:

El primero de ellos es el levantamiento arquitectónico y la documentación rigurosa de las estructuras en su estado actual de conservación. Con frecuencia la arquitectura maya se ha dibujado de forma simplificada, por lo que la documentación gráfica no recoge aspectos constructivos relevantes como el tamaño y la forma de los sillares y las dovelas, los tipos de aparejos o los diferentes detalles constructivos del edificio. Además, en numerosas ocasiones los vestigios se representan de forma idealizada o en su estado hipotético, lo que supone una merma en el rigor de la documentación de los restos hallados y en el registro de su estado de conservación. La aplicación en el área maya de técnicas digitales de levantamiento como el escáner láser o la fotogrametría, aún incipiente, supone una ventaja en este sentido y puede ser un apoyo muy útil para la planificación y el seguimiento de las labores de excavación, así como para la investigación de esta arquitectura.

El segundo aspecto que resulta necesario es el estudio constructivo en profundidad de los edificios. Examinar los materiales, las técnicas y el proceso constructivo en cada caso permite relacionar edificios de diferentes lugares y plantear hipótesis sobre la transferencia del conocimiento tecnológico entre diferentes regiones, lo que puede contribuir a la construcción de la historia cultural de la civilización maya antigua. Además, la técnica constructiva puede ser un criterio más para datar los edificios, junto con otros como los rasgos

estilísticos e iconográficos, los análisis cerámicos o de material orgánico y los datos epigráficos. Por otro lado, el conocimiento constructivo de los edificios resulta clave para la evaluación de los procesos de deterioro que les afectan y para la elaboración de un diagnóstico certero sobre su estado de conservación actual. Una vez analizada esta información es posible seleccionar los criterios y diseñar las actuaciones más adecuadas para su consolidación y restauración.

El tercer aspecto a considerar son las labores de conservación y protección necesarias para garantizar que los vestigios hallados puedan mantenerse en buen estado tras su excavación. Asimismo, las actuaciones realizadas en los edificios deben incluir instrumentos de gestión y estrategias de mantenimiento y conservación preventiva una vez finalizada la excavación. Cuando, además, los edificios van a ser visitables, se deben aplicar estrategias de puesta en valor y de gestión de la visita pública.

Como conclusión de todo lo anterior se constata que la investigación del patrimonio maya, cuyo carácter arquitectónico resulta indiscutible, requiere la colaboración efectiva de un equipo multidisciplinar compuesto de arquitectos, arqueólogos, historiadores, restauradores, gestores culturales y otros especialistas que puedan atender todas y cada una de las acciones necesarias para su estudio y conservación.

En este contexto general, el estudio de la bóveda maya, que es un elemento eminentemente arquitectónico, no había sido tratado hasta la fecha de manera específica. Durante la investigación del estado de la cuestión se detectó que existen pocos trabajos que atiendan a su tecnología, sus variantes y su evolución. Las clasificaciones que se habían realizado hasta el momento adolecían de falta de una visión completa y de rigor científico. En muchos casos no estaban basadas en el análisis de datos tomados en campo, sino que habían sido retomadas de autores anteriores y modificadas o ampliadas, y muchas veces eran más muestrarios de ejemplos concretos y formas singulares que propuestas de tipologías.

El estudio preliminar de la arquitectura maya y las experiencias previas en los trabajos de investigación en el sitio de La Blanca nos permitieron comprobar que las características de las bóvedas, así como los materiales utilizados en su construcción y los procedimientos de puesta en obra, determinaron la forma y la geometría de los espacios interiores y los rasgos estéticos y estilísticos de los edificios. Por ello, su estudio resulta fundamental para comprender las razones del diseño arquitectónico en las ciudades mayas.

A partir del análisis del estado de la cuestión, y partiendo del objetivo general de contribuir, por un lado, al avance del conocimiento científico y, por otro, a la conservación del patrimonio construido maya, se fijaron los objetivos específicos de esta investigación.

Una de las principales labores planteadas fue la de realizar un estudio específico y en profundidad sobre la bóveda maya, de cara a establecer, como primer objetivo, una clasificación que nos permitiera identificar los tipos existentes y que sirviera como base para caracterizar cualquier bóveda dentro de este ámbito. La metodología propuesta para lograr este objetivo se ha basado fundamentalmente en la recopilación de información y el análisis minucioso de una amplia muestra de bóvedas de diferentes períodos cronológicos y zonas geográficas de las Tierras Bajas Mayas. La principal estrategia llevada a cabo para tal efecto fue la toma de datos en campo, realizada mediante la cumplimentación de una ficha para el registro de las bóvedas diseñada *ad hoc*, la documentación fotográfica y, en algunos casos, el levantamiento arquitectónico con técnicas manuales y digitales. Este trabajo de campo se llevó a cabo en 48 sitios arqueológicos de diferentes regiones de las Tierras Bajas Mayas y posteriormente se complementó con información obtenida de las fuentes bibliográficas, de manera que se obtuvo una abundante documentación sobre numerosos edificios abovedados, de los que se seleccionaron 391 bóvedas como muestra para el estudio.

Todos los datos recopilados se han introducido en una base de datos de bóvedas mayas que permite su comparación y facilita su manejo. Este repositorio, cuyas variables y estructura se definen en el capítulo 6, es una herramienta para el registro y la documentación de las bóvedas mayas que puede ser utilizada y ampliada por otras investigaciones futuras. La documentación recopilada en la base de datos se muestra en el *Catálogo de bóvedas mayas*, anexo a este volumen, que constituye la base de la presente investigación.

Con toda la información recabada, procesada e introducida en esta base común y, a partir de la extracción y la explotación de los datos analíticos, se ha realizado un estudio de la bóveda maya con enfoque arquitectónico, que contempla aspectos formales, geométricos, constructivos, estructurales, funcionales y simbólicos. En el capítulo 7 se analiza la totalidad de la muestra de bóvedas desde estos puntos de vista, con el objetivo de obtener una visión global de las variables, tanto cualitativas como cuantitativas, que definen la bóveda maya y de las distintas soluciones que existen en el territorio de las Tierras Bajas Mayas.

En primer lugar, las bóvedas se han estudiado geométricamente, tanto en planta como en las secciones transversal y longitudinal. Así, se han analizado las diferentes soluciones formales y las dimensiones y proporciones del espacio abovedado, con especial énfasis en la luz, la principal limitación de este sistema constructivo. Un aspecto novedoso es el estudio, tanto formal como constructivo, de los testeros, que muestran características propias en cada zona y en cada período cronológico, y que aportan información sobre el procedimiento constructivo de los edificios.

En el apartado 7.2 se analizan las características constructivas y estructurales de las bóvedas, en varios aspectos como los materiales empleados o la estereotomía de la piedra, que resultan claves para el análisis del proceso constructivo. El tipo de material pétreo utilizado y los sistemas de extracción en cantera influyeron notablemente en las soluciones constructivas y, por ende, en los rasgos arquitectónicos de los edificios. Por ello, es necesario que se aborden investigaciones que contemplen análisis específicos para la caracterización y el estudio comparativo de los diferentes tipos de piedra que se utilizaron en las construcciones antiguas de las diferentes regiones de las Tierras Bajas Mayas. Con el tiempo, el desarrollo y el dominio del trabajo de cantería permitió a los constructores mayas planificar previamente la forma de las bóvedas, diseñar diferentes tipos de dovelas especializadas y lograr superficies del intradós muy lisas y regulares que sólo requerían una fina capa de estuco como acabado.

El estudio del proceso constructivo y de los medios auxiliares que se utilizaron durante la construcción de los edificios es muy importante de cara a profundizar en el conocimiento las técnicas antiguas de puesta en obra. Además, el análisis del proceso de ejecución de los edificios ofrece un punto de vista privilegiado para comprender los mecanismos de deterioro que les han afectado y para poder evaluar el estado de conservación actual de las estructuras. Un elemento muy característico, prácticamente universal, de las bóvedas mayas, son los morillos, un sistema de medios auxiliares de madera que se utilizaba como andamiaje durante la construcción de los edificios y que posteriormente servía, además, para las labores de mantenimiento de los revestimientos de estuco y las decoraciones. El análisis de las huellas de estos travesaños de madera en las bóvedas estudiadas nos ha permitido establecer patrones de distribución de estas vigas en el intradós de las bóvedas que se relacionan directamente con las características estilísticas de los edificios. Este hecho evidencia que las diferencias en la tecnología constructiva que se dieron entre las diferentes regiones y a lo largo de los distintos períodos temporales determinaron en gran medida los rasgos estilísticos de los edificios.

A partir del estudio del sistema estructural de los edificios abovedados hemos podido determinar que, si bien el principio fundamental de estas construcciones es la técnica de avance de hiladas, la evolución tecnológica de la bóveda en determinadas zonas del área maya condujo a soluciones muy avanzadas que estructuralmente no se corresponden exactamente con el comportamiento de una bóveda por aproximación. Con el avance de la tecnología constructiva, el desarrollo de la técnica estereotómica y el aumento de la capacidad resistente de los morteros de cal, los mayas lograron volúmenes monolíticos formados por la unión solidaria de las dovelas y el relleno posterior. Este cambio en el sistema estructural se dio especialmente en el área Puuc, pero sus principios se han identificado asimismo en la arquitectura característica de la zona Chenes, lo que nos habla de las influencias y la interrelación entre estas dos áreas vecinas. El desarrollo de este sistema permitió a los constructores mayas ampliar la luz de los espacios sin la necesidad de ensanchar los muros soporte, con lo que se consiguieron estructuras más ligeras, formadas por un relleno resistente y una cara externa de piedra muy bien labrada que adquiere la función de lo que podríamos denominar como un “encofrado permanente” en analogía a las técnicas actuales. Este afán de conseguir espacios más amplios y de mayor altura culmina en los edificios más tardíos del área Puuc, atribuidos al estilo Uxmal Tardío, como por ejemplo el Palacio del Gobernador de Uxmal. Para conseguir las superficies de intradós perfectamente regulares que se dan en estos edificios, en su construcción sería necesaria la utilización de una estructura auxiliar de madera que sirviera de guía para la colocación de los estilizados sillares de los muros y las dovelas en forma de bota de las bóvedas, y que garantizara la estabilidad de la estructura hasta que los rellenos de argamasa y mortero de cal fraguaran y adquirieran la resistencia suficiente. Seguramente esta estructura auxiliar se apoyaría en los morillos, pero son aún necesarios estudios más específicos para dilucidar su morfología y sus características concretas.

Para analizar desde el punto de vista funcional los espacios abovedados, en el apartado 7.3 se ha realizado un estudio sobre el espacio interior en la arquitectura maya monumental, tomando como principal fuente de información el propio edificio. Considerando aspectos como la proporción, los accesos, la circulación y las relaciones de privacidad entre espacios, y estudiando las huellas de los elementos funcionales y de mobiliario interior que permanecen en las estancias, se aportan algunos resultados que contribuyen a avanzar en el conocimiento sobre cómo se utilizaban estos espacios abovedados y cuáles eran sus funciones en cada caso. En origen los mayas utilizaron el sistema de cubierta de bóveda para el uso funerario y en tumbas enterradas, y posteriormente lo extendieron a todo tipo de espacios en su arquitectura monumental:

arcos urbanos, zonas de paso y circulación, cámaras de aligeramiento en el interior de las cresterías y, principalmente, estancias abovedadas con funciones diversas en la mayoría de templos y palacios. Precisamente la técnica constructiva fue uno de los principales factores que determinaron las características de estos espacios interiores. La limitación de la anchura de los cuartos, impuesta por el sistema estructural de aproximación de hiladas horizontales, hizo que las estancias interiores de la arquitectura maya sean, por lo general, espacios estrechos y oscuros. Los constructores mayas desarrollaron importantes avances en la tecnología constructiva en aras de aumentar la anchura de los espacios, y lograron luces que alcanzan los cuatro metros, principalmente en el área Puuc, como ya hemos visto, pero también en otros casos, como en el ejemplo excepcional del Edificio 6J1 de la Acrópolis de La Blanca, en el área de Petén. Además, diseñaron soluciones para aumentar la entrada de luz natural en las estancias, como la utilización de las portadas provistas de columnas, características de las áreas vecinas Puuc y Chenes. En el caso especial de la arquitectura más tardía de Chichén Itzá, influenciada por corrientes culturales provenientes del centro de México, el concepto del espacio interior cambia radicalmente con la introducción del sistema adintelado, en el que las bóvedas apoyan sobre dinteles de madera y columnas. Este cambio de sistema, que sólo se dio de manera puntual en este enclave, permitió conseguir espacios diáfanos y continuos y desarrollar tipologías arquitectónicas novedosas en el área maya como las salas hipóstilas o los edificios formados por varias galerías. Sin embargo, debido a la menor durabilidad de este sistema, hoy en día sólo se conservan algunas evidencias de las bóvedas de los edificios de este período.

Por último, se han analizado los aspectos simbólicos relacionados con la utilización de la bóveda en la arquitectura maya. La construcción de edificios con cubierta de fábrica de piedra se produce en el momento de máximo auge de la civilización maya y constituye una herramienta más para la representación del poder en la arquitectura de la élite. Al mismo tiempo y paradójicamente, los techos abovedados de piedra tienden a imitar la forma interior de la vivienda doméstica, construida con materiales perecederos. Es evidente que en la arquitectura monumental existe una veneración a la casa maya, que se toma como objeto de culto y se representa en las fachadas de notables edificios. Resulta llamativo que los avances en la tecnología constructiva y la evolución estética que se producen durante varios siglos perfeccionan la imagen interior que rememora la vivienda vernácula. Esta dimensión simbólica, así como en la bóveda, está presente en numerosos aspectos de esta cultura y resulta fundamental para explicar las características de su arquitectura.

Una vez realizado el análisis arquitectónico general y a partir de los resultados obtenidos, se han identificado todos los parámetros que definen a las bóvedas y se ha propuesto una clasificación general de la bóveda maya según varios criterios que responden a cuestiones funcionales, formales y constructivas. Esta clasificación, que se incluye en el apartado 7.5, es una nueva aportación al estudio de este elemento constructivo y se revela como una herramienta muy completa para definir con precisión las características de una bóveda maya. Además, ofrece las principales variables de estudio y comparación entre unas bóvedas y otras, lo que contribuye al análisis científico de este elemento constructivo tan característico de la arquitectura maya.

Aunque la delimitación territorial del ámbito de esta investigación es muy ambiciosa, pues se extiende a todo el territorio de las Tierras Bajas Mayas, el tratamiento generalista del tema de estudio nos ha permitido obtener una visión amplia y de conjunto sobre las variables que definen a la bóveda maya, así como el poder comparar sus características a nivel territorial. La introducción de los datos cronológicos de los edificios, obtenidos de las fuentes bibliográficas, en el estudio comparativo de las bóvedas nos ha permitido analizar su evolución a lo largo del tiempo y comprobar cómo influyeron los avances de la tecnología constructiva en el desarrollo de la arquitectura maya, tanto en general como a nivel local por áreas geográficas concretas.

A partir del análisis pormenorizado de los datos recopilados, se han caracterizado las bóvedas que se dan en cada una de las regiones estudiadas y en los diferentes períodos cronológicos, lo que se planteaba como tercer objetivo específico de la investigación y se desarrolla en el capítulo 8. Con ello, se ha comprobado que existen diferencias sustanciales en las soluciones constructivas empleadas en cada zona geográfica y según el período temporal que se considere. Como decíamos, estas diferencias han determinado en muchos casos los rasgos arquitectónicos y estilísticos de los edificios. Además, a partir de las características específicas de las bóvedas ha sido posible establecer patrones en cuanto a los procesos de deterioro y derrumbe que han sufrido tras su abandono y hasta la actualidad.

La arquitectura abovedada del área de Petén, con una larga tradición constructiva, se caracteriza por la unidad y la continuidad de la técnica, con construcciones masivas y, en la arquitectura más avanzada, bóvedas de sección recta formadas por dovelas altamente especializadas con la pendiente del intradós previamente labrada, colocadas en hiladas horizontales y contrapesadas por el relleno posterior. La homogeneidad en las soluciones constructivas habla en este caso de la especialización en el oficio de los constructores, y la

observación detallada de rasgos constructivos comunes entre diferentes sitios, como por ejemplo ocurre en el caso de Nakum y La Blanca, indica que hubo una transferencia de conocimiento constructivo entre estos dos enclaves.

En el área del Usumacinta el tipo de piedra y su extracción en forma de lajas generaron unos rasgos arquitectónicos diferenciadores que alcanzan su máximo auge en la arquitectura de Palenque, en la que además se introdujeron varias soluciones constructivas singulares, como el aligeramiento de los rellenos mediante nichos con formas lobuladas o la construcción de arcos entre crujías paralelas como sustitución de los dinteles. La construcción de las bóvedas en lajas horizontales ha provocado que en estos edificios las fábricas tengan una gran cohesión interna y tras el colapso de los dinteles se formen arcos de descarga muy rebajados que han permitido que se conserven en muchos casos las semibóvedas exteriores. Se trata de un buen ejemplo para ver cómo las características constructivas y estereotómicas de las bóvedas determinan en gran medida la forma de deterioro y el estado de conservación actual de las estructuras.

Mediante el estudio de las bóvedas de las Tierras Bajas Mayas del Norte hemos podido constatar que, si bien la arquitectura de las áreas de Río Bec y Chenes se ha estudiado en muchos casos de forma conjunta por la existencia de varios rasgos comunes, desde el punto de vista de la construcción abovedada, la arquitectura Chenes tiene muchas más similitudes e interrelaciones con la región Puuc que con la zona central de la península de Yucatán. Mientras que en esta última las bóvedas se construyen con piedras sin labra y acomodadas con ripios, en el área Chenes las dovelas labradas se fueron especializando y adquiriendo la forma de cuña que se emplea en los edificios del estilo Puuc Clásico. En estas dos regiones vecinas Puuc y Chenes, cuyas relaciones de influencia se dan en una dirección u otra según el momento temporal que se considere, se empieza a introducir el sistema de bóvedas monolíticas, formadas por un relleno resistente y una piel exterior de piedra. Este nuevo sistema se desarrolla con más énfasis en la arquitectura Puuc, donde además el trabajo de cantería alcanza su máximo auge y nivel de especialización. La evolución de la técnica constructiva en esta área y los avances en la estereotomía se conocen con mayor detalle gracias a los prolíficos trabajos de varios investigadores especializados en esta área, entre los que destacan Harry E.D. Pollock y George F. Andrews. Este último inició el análisis específico de la evolución de la tecnología constructiva en el área Puuc, y estableció cuatro fases de desarrollo (Andrews 1995e), que en este trabajo hemos contrastado y comprobado mediante los datos del corpus de bóvedas estudiadas.

El análisis comparativo realizado entre las características de las bóvedas de diferentes áreas geográficas, considerando el factor temporal, contribuye al avance del conocimiento de las relaciones territoriales entre las distintas regiones y, en definitiva, a la construcción de la historia arquitectónica y cultural de la antigua civilización maya.

Considerando la importancia actual del patrimonio arquitectónico maya y con el propósito de contribuir no sólo al avance en su conocimiento, sino también a su conservación, se fijó como cuarto objetivo específico de este estudio el establecer criterios y procedimientos adecuados para la excavación, conservación y restauración de los edificios abovedados mayas. Para ello, se partió del análisis del estado de conservación de los edificios registrados, con el objetivo de estudiar los procesos de deterioro y las formas de colapso que les afectan. Se comprobó que, como decíamos, en muchos casos dependen de sus características constructivas, por lo que de nuevo se pone de manifiesto que la investigación de la arquitectura maya desde el punto de vista constructivo resulta determinante para la conservación de este patrimonio.

En el capítulo 9 se proponen una serie de criterios generales para la excavación, conservación y restauración de los edificios abovedados mayas. En la actualidad y en varias regiones existen aún numerosos vestigios arquitectónicos en abandono y en peligro de colapso, por lo que es necesario abordar trabajos de inventario y documentación para detectar esta arquitectura en peligro y llevar a cabo consolidaciones de urgencia. Como decíamos al inicio, en los casos en que se realicen investigaciones arqueológicas es necesaria la participación de equipos multidisciplinarios y especializados. Resulta imprescindible que en cualquier excavación se realicen labores de documentación y levantamiento arquitectónico y una investigación especializada que incluya estudios arquitectónicos, constructivos y estructurales. A la hora de consolidar y restaurar estos edificios deben aplicarse los criterios y las recomendaciones establecidas en las cartas internacionales del restauro, todo ello en aras de garantizar, de la mejor manera posible, la conservación del patrimonio arquitectónico maya.

Esta investigación contribuye al avance del conocimiento científico de la arquitectura maya y a la preservación y la conservación de este patrimonio construido, pudiendo ser el germen de posibles estudios posteriores más específicos sobre las construcciones históricas en el ámbito prehispánico.

Bibliografía

- ADAM, J.P., 2002. *La construcción romana: materiales y técnicas*. León: Editorial de los Oficios.
- ALIPERTA, A., 2018. *La arquitectura palaciega maya del periodo Clásico Tardío: geometría y medidas en la Acrópolis de La Blanca (Petén, Guatemala)* [Tesis doctoral inédita]. Università degli Studi di Firenze y Universidad Politécnica de Valencia.
- ÁLVAREZ, C., 1984. *Diccionario etnolingüístico del idioma maya yucateco colonial*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- ANDREWS, G.F., 1978. *Architectural survey. Palenque, Chiapas, Mexico*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1981. *Architectural survey. Tikal, Guatemala: range-type buildings*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1983. *Xkichmook revisited. Puuc vs Chenes architecture*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1984. *Edzna, Campeche, Mexico: settlement patterns and monumental architecture*. University of Oregon. Culver City: Foundation for Latin American Anthropological Research.
- ANDREWS, G.F., 1985. *The architectural survey at Sayil. A report of the 1985 field season*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1986a. *Architectural survey: Petén, Belize and Toniná*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.

- ANDREWS, G.F., 1986b. *Architectural survey. Chenes Region. 1985-1986 field season*, 2 vols. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1986c. *Los estilos arquitectónicos del Puuc. Una nueva apreciación*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- ANDREWS, G.F., 1987a. *Architectural survey. Rio Bec Region*, 2 vols. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1987b. *Chenes and Chenes-Puuc architecture at Santa Rosa Xtampak, Campeche, Mexico*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1987c. *Architectural survey Chenes archaeological region field season*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1988a. *Architectural survey. Chenes region*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1988b. *Architectural survey. Santa Rosa Xtampak*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1989a. *Architectural survey. Chenes-Puuc transitional zone. 1987, 1988, 1989 field seasons*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1989b. *Architectural survey. Chenes region*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1989c. *Architectural survey. Puuc archaeological region*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1989d [1967]. *Comalcalco. Tabasco, Mexico. Maya art and architecture*. Culver City, California: Labyrinthos.

- ANDREWS, G.F., 1990a. *Architectural survey. Puuc archaeological region. 1984 field season*, 7 vols. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1990b. *Architectural survey at Kabah, Yucatan*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1990c. Architectural Surveys of the Rio Bec, Chenes and Puuc Regions: Progress and Problems. En: H.J. Prem (ed.), *Hidden among the Hills. Maya Archaeology of the Northwest Yucatan Peninsula*. Bonn: Verlag Anton Saurwein, pp. 247-288.
- ANDREWS, G.F., 1991a. *Architectural survey at Chichen Itza*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1991b. *Architectural survey. Tikal, Guatemala. The temples*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1992. *The palaces at Sayil*. George F. and Geraldine D. Andrews papers. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1993a. *Architectural survey at Oxkintok 1971-1993*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1993b. *Architectural survey at Uxmal*, 4 vols. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1993c. *Architectural survey. Puuc region*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1994a. *Architecture at Kabah, Yucatan, Mexico*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1994b. *Architecture at Uxmal*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.

- ANDREWS, G.F., 1994c. *Palaces and palace complexes in the Puuc Region*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1994d. *The Nunnery Quadrangle at Uxmal*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1995a. *Architectural survey at Calakmul*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1995b. *Architectural survey at Sahbecan, Balamku & Edzna*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1995c. *Architectural survey in the Northern Plains area*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1995d. *Architectural survey in the Rio Bec region*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1995e. Architecture of the Puuc Region and the Northern Plains Area. En: *Pyramids and Palaces, Monsters and Masks. The Golden Age of Maya Architecture, vol. I*. Lancaster, California: Labyrinthos.
- ANDREWS, G.F., 1997a. *Architectural survey Yucatan and Campeche field season*. [Documento inédito]. George F. and Geraldine D. Andrews papers. Alexander Architectural Archive, University of Texas, Austin.
- ANDREWS, G.F., 1997b. Architecture of the Chenes Region. En: *Pyramids and Palaces, Monsters and Masks. The Golden Age of Maya Architecture, vol. II*. Lancaster, California: Labyrinthos.
- ANDREWS, G.F., P. GENDROP, V. RIVERA, J.A. SILLER y A. VILLALOBOS, 1985. Reconocimiento arquitectónico en la región de Río Bec, Campeche, marzo 1985. Consideraciones generales. *Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana*, núm. 5, pp. 35-46.
- ANDREWS, G.F., P. GENDROP, V. RIVERA, J.A. SILLER y A. VILLALOBOS, 1987. Reconocimiento arquitectónico en la región de los Chenes, Campeche, marzo 1986. Consideraciones generales. *Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana*, núm. 10, pp. 51-84.

- ANDREWS, G.F., P. GENDROP y J.A. SILLER, 1985. Elementos arquitectónicos del Puuc floreciente. *Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana*, núm. 5, pp. 47-50.
- ANDREWS IV, E.W., 1942. Yucatán: Architecture. *Carnegie Institution Washington Year Book*, núm. 41, pp. 257-263.
- ANDREWS IV, E.W., 1962. Excavaciones en Dzibilchaltún, Yucatán, 1956-1962. *Estudios de Cultura Maya*, núm. 2, pp. 149-183.
- ANDREWS IV, E.W. e I. ROVNER, 1975. Archaeological Evidence on Social Stratification and Commerce in the Northern Maya Lowlands: Two Mason's Tools Kits from Muna and Dzibilchaltun, Yucatan. *Archaeological Investigations on the Yucatan Peninsula*. New Orleans: Tulane University, pp. 81-102.
- ANDREWS V, E.W., 1979. Some Comments on Puuc Architecture of the Yucatan Peninsula. En: L. Mills (ed.), *The Puuc: New Perspectives*. Pella, Iowa: Central College, pp. 1-17.
- AQUINO LARA, D. y E. BARRIOS, 2010. La arquitectura de Nakum: El reflejo material de la evolución cultural. En: B. Arroyo, A. Linares y L. Paiz (eds.), *XXIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala, pp. 75-89.
- AWE, J.J., M.D. CAMPBELL y J. CONLON, 1991. Preliminary Analysis of the Spatial Configuration of the Site Core at Cahal Pech, Belize and its Implications for Lowland Maya Social Organization. *Mexicon*, vol. 13, núm. 2, pp. 25-30.
- AWE, J.J., 2013. Journey on the Cahal Pech time machine: An archaeological reconstruction of the dynastic sequence at a Belize valley Maya polity. *Research Reports in Belizean Archaeology*, no. 10, pp. 33-50.
- BARNHART, E.L., 2001. *The Palenque Mapping Project: Settlement and Urbanism at an Ancient Maya City* [Tesis doctoral inédita]. Universidad de Texas, Austin.
- BARRERA RUBIO, A., 2015. *En busca de los antiguos mayas. Historia de la arqueología en Yucatán*. Mérida, México: Dante.
- BAUDEZ, C., 1993. *Jean-Frédéric Waldeck, peintre. Le premier explorateur des ruines mayas*. París: Hazan.
- BAUDEZ, C. y S. PICASSO, 1990. *Las ciudades perdidas de los mayas*. Madrid: Aguilar, S. A. de Ediciones.

- BENAVIDES CASTILLO, A., 1997. *Edzná: una ciudad prehispánica de Campeche*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- BENAVIDES CASTILLO, A., 2010a. El norte de Campeche. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 291-321.
- BENAVIDES CASTILLO, A., 2010b. El sur de Campeche y de Quintana Roo. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 322-351.
- BESENVAL, R., 1984. *Technologie de la voûte dans l'Orient Ancien*. París: Éditions Recherche sur les Civilisations.
- BLOM, F., 1928. San Clemente Ruins, Peten Guatemala. *Journal de la Société des Américanistes*, vol. 20, pp. 93-102.
- BLOM, F., 1932. The «Negative Batter» at Uxmal. En: M. Ries (ed.), *Middle American Papers*. New Orleans: Tulane University, pp. 559-565.
- BLOM, F. y O. LA FARGE, 1926. *Tribes and temples*. N.Orleans: Tulane University.
- BOËTHIUS, A., 1994 [1970]. *Etruscan and Roman Architecture*. Yale: Yale University Press. Pelican History of Art.
- BUSSAGLI, M., 1974. *Arquitectura oriental*. Madrid: Aguilar.
- CAMINO OLEA, M.S., J. LEÓN VALLEJO, A. LLORENTE ÁLVAREZ, J. MONJO CARRIÓ y S. VEGA AMADO, 2001. *Diccionario de arquitectura y construcción*. Madrid: Munilla-Lería.
- CARRASCO VARGAS, R., 1987. Nuevas tapas de bóveda decoradas, en la región central de Yucatán. *Mexicon*, vol. 9, núm. 1, pp. 16-20.
- CARR, R.F. y J.E. HAZARD, 1961. *Map of the ruins of Tikal, El Petén, Guatemala*. Tikal report n° 11. Philadelphia: University of Pennsylvania.
- CATHERWOOD, F., 1844. *Views of Ancient Monuments in Central America, Chiapas, and Yucatan*. London.
- CEJUDO COLLERA, M., 2002. Análisis tipológico de la bóveda Maya. Su posible desarrollo cronológico. *Memoria del Tercer Congreso Internacional de Mayistas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad de Quintana Roo, pp. 697-709.

- CEJUDO COLLERA, M., 2015. La bóveda maya, ¿una falsa bóveda? En: S. Huerta y P. Fuentes (eds.), *Actas del Noveno Congreso Nacional y Primer Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, pp. 397-406.
- CHANNING, A. y F.J.T. FROST, 1909. *The American Egypt: a record of travel in Yucatan*. Londres: Hutchinson & Co.
- CHARNAY, D., 1885. *Les Anciennes Villes du Nouveau Monde. Voyages d'explorations au Mexique et dans l'Amérique Centrale*. París: Librairie Hachette.
- CHOISY, A., 1899. *Histoire de l'architecture*. París: Gauthier-Villars.
- CIUDAD REAL, A., 1872. Relación de las cosas que sucedieron al padre Fray Alonso Ponce en las provincias de la Nueva España. En: Marqués de la Fuensanta (ed.), *Colección de documentos inéditos para la historia de España*, tomo LVIII. Madrid: Real Academia de la Historia.
- COE, W.R., 1990. *Excavations in the Great Plaza, North Terrace and North Acropolis of Tikal. Tikal Report 14*. Philadelphia: Universidad de Pennsylvania Museum.
- COMO, M.T., 2007. *L'architettura delle «Tholoi» micenee. Aspetti costruttivi e statici*. Roma: Università degli studi Suor Orsola Benincasa.
- COMO, M.T., 2009. The Construction of Mycenaean Tholoi. *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*. Cottbus: Brandenburg University of Technology, pp. 385-391.
- CROCI, G. y A. VISKOVIC, 1999. The Pyramid of Chephren, the Colosseum, and the Temples of Angkor: Diagnosis and safety evaluation. En: L. Sikkels Taves (ed.), *The use and need for Preservation Standards in Architectural Conservation*. Fredericksburg: American Society for Testing and Materials, pp. 189-210.
- CRUZ OROZCO, J., 2005. Magatzems de no res: l'arquitectura del comerç del fred. *I Jornades del Parc Natural de la Serra de Mariola. Patrimoni cultural: arquitectura rural*. Alcoi: Conselleria de Territori i Habitatge de la Generalitat Valenciana, pp. 9-36.
- DE LANDA, D., 2011. *Relación de las cosas de Yucatán*. Mérida: Dante.
- DE PIERREBOURG, F., 2014. Umbral. En: F. De Pierrebourg y M. Humberto Ruz (eds.), *Nah, otoc. Concepción, factura y atributos de la morada maya*. México: Instituto de Investigaciones Filológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 7-20.

- DELVENDAHL, K., 2010. *Las sedes del poder. Evidencia arqueológica e iconográfica de los conjuntos palaciegos mayas del Clásico Tardío*. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.
- DORMION, G. y J.Y. VERD'HURT, 2000. The pyramid of Meidum, architectural study of the inner arrangement. *World Congress of Egyptology, El Cairo*, pp. 2-24.
- DUMARÇAY, J., 2005. *Construction Techniques in South and Southeast Asia*. Leiden, Boston: Brill.
- EBERL, M., 2001. La muerte y las concepciones del alma. En: N. Grube (ed.), *Los mayas. Una civilización milenaria*. Colonia: Könemann, pp. 310-321.
- EKHOLM, G.F., 1953. A Possible Focus of Asiatic Influence in the Late Classic Cultures of Mesoamerica. *Society for American Archaeology*, pp. 72-89.
- EL-NAGGAR, S., 2005. Les couvrements de granit dans les pyramides de Giza. En: P. János (ed.), *Structure and Significance. Thoughts on Ancient Egyptian Architecture*. Viena: Verlag Der Österreichischen Akademie Der Wissenschaften, pp. 429-438.
- ERRÁZURIZ, J., 2000. Ideas americanas aparecen en el sudeste asiático. *Pharos*, vol. 7, núm. 2, pp. 5-17.
- ESCRIG, F., 1997. *Las grandes estructuras de los edificios históricos: desde la antigüedad hasta el gótico*. Sevilla: Universidad de Sevilla. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción.
- FELIU BELTRÁN, N., 2017. Arquitectura y urbanismo maya a través de los grafitos. *Restauración Arqueológica*, vol. XXV, núm. especial, pp. 66-83.
- FERNÁNDEZ MARQUÍNEZ, Y., 1992. *Excavaciones en el Grupo May, Oxkintok, Yucatán, México*. [Tesis doctoral inédita]. Departamento de Historia de América II de la Universidad Complutense de Madrid.
- FOLAN, W.J., L.A. FLETCHER, J. MAY HAU y L.F. FOLAN, 2001. *Las Ruinas de Calakmul, Campeche, México. Un lugar central y su paisaje cultural*. Campeche: Centro de Investigaciones Históricas y Sociales de la Universidad Autónoma de Campeche.
- FRENCH, K.D., 2007. *Proyecto Hidro-Arqueológico de Palenque*. Disponible en: <http://www.famsi.org/reports/05076es/05076esFrench01.pdf> [Fecha de consulta: 27 marzo 2018]. FAMSI, Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies.

- GALLEGOS GÓMORA, M.J. y R. ARMIJO TORRES, 2005. Sistemas constructivos y materiales en la arquitectura de Comalcalco, Tabasco. *XXV Convegno Internazionale di Americanistica. Perugia 9, 10 e 11 maggio 2003 / Xalapa 21, 22, 23 e 24 ottobre 2003*. Lecce: Argo, pp. 391-398.
- GALLEGOS GÓMORA, M.J. y R. ARMIJO TORRES, 2017. Comalcalco la ciudad maya de ladrillos: descubriendo su pasado y la conservación de su futuro. *Restauro Archeologico*, vol. XXV, núm. especial, pp. 128-147.
- GARCÍA CAMPILLO, J.M., 1998. Textos augurales en las tapas de bóveda clásicas de Yucatán. En: A. Ciudad, Y. Fernández y J.M. García (eds.), *Anatomía de una civilización: aproximaciones interdisciplinarias a la cultura maya*. Madrid: Sociedad Española de Estudios Mayas, pp. 297-322.
- GARCÍA LISÓN, M. y A. ZARAGOZÁ CATALÁN, 2000 [1983]. *Arquitectura rural primitiva en secà*. Castellón: Generalitat Valenciana.
- GENDROP, P., 1970. *Arte Prehispánico en Mesoamérica*. México: Trillas.
- GENDROP, P., 1977. *Quince ciudades mayas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- GENDROP, P., 1983. *Los estilos Río Bec, Chenes y Puuc*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- GENDROP, P., 1987a. *Compendio de arte prehispánico*. México: Trillas.
- GENDROP, P., 1987b. Nuevas consideraciones en torno a los estilos Río Bec y Chenes. *Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana*, núm. 10, pp. 39-49.
- GENDROP, P., 1997. *Diccionario de arquitectura mesoamericana*. México: Trillas.
- GENDROP, P. y D. HEYDEN, 1975. *Arquitectura mesoamericana*. Madrid: Aguilar.
- GILABERT SANSALVADOR, L. y G. MUÑOZ COSME, 2015. Análisis de las bóvedas mayas de la Acrópolis de La Blanca (Petén, Guatemala). En: S. Huerta y P. Fuentes (eds.), *Actas del Noveno Congreso Nacional y Primer Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, pp. 729-737.
- GILABERT SANSALVADOR, L., A. PEIRÓ VITORIA y R. MARTÍNEZ VANACLOCHA, 2017. El arco urbano en la arquitectura maya. *Restau-ro Archeologico*, vol. XXV, núm. especial, pp. 48-65.

- GILLOT, C., 2018. *L'art de bâtir à Río Bec (Campeche, Mexique)*. [Tesis doctoral inédita]. Universidad de Montreal.
- GLAIZE, M., 2009. The Monuments of the Angkor Group. Disponible en: www.theangkorguide.com [Fecha de consulta: 5 diciembre 2017].
- GÓMEZ, O., 2007. Proyecto Plaza de los Siete Templos de Tikal: los edificios del sur de la plaza. En: J.P. Laporte, B. Arroyo y H. Mejía (eds.), *XX Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2006*. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología, pp. 492-518.
- GONZÁLEZ CAPITEL, A., 1996. La alternativa a la modernidad convencional: la arquitectura de Louis Kahn. En: A. González Capitel (ed.), *Arquitectura europea y americana después de las vanguardias*. Madrid: Espasa Calpe, pp. 475-508.
- GORNÉS HACHERO, J.S., 2016. *Sociedad y cambio en Menorca: sistematización de los contextos arqueológicos de las navetas funerarias entre el 1400 y el 850 cal ane*. [Tesis doctoral inédita]. Universitat Autònoma de Barcelona.
- GRAHAM, I., 1992. *Corpus of MAYA hieroglyphic inscriptions*, Vol. 4-2 Uxmal. Cambridge, Massachusetts: Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University Press.
- GRAHAM, I. y E. VON EUW, 1977. *Corpus of MAYA hieroglyphic inscriptions*, Vol. 3-1 Yaxchilán. Cambridge, Massachusetts: Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University Press.
- GRAHAM, I. y E. VON EUW, 1997. *Corpus of MAYA hieroglyphic inscriptions*, Vol. 8-1 Cobá. Cambridge, Massachusetts: Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University Press.
- GRUBE, N., 2001. *Los mayas. Una civilización milenaria*. Colonia: Könnemann.
- GUARDADO, L., 2006. *Análisis de la arquitectura expuesta del sitio prehispánico Nakum* [Trabajo académico inédito]. Facultad de Arquitectura de la Universidad San Carlos de Guatemala.
- GUTIÉRREZ LEÓN, G.J., 2010a. Copán. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 527-551.

- GUTIÉRREZ LEÓN, G.J., 2010b. Quiriguá. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 552-559.
- GUTIÉRREZ LEÓN, G.J., 2010c. Urbanismo y arquitectura mayas. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 53-79.
- HARRISON, P.D., 2003. Palaces of the Royal Court at Tikal. En: J. Joyce Christie (ed.), *Maya Palaces and Elite Residences. An Interdisciplinary Approach*. Austin: University of Texas Press, pp. 98-119.
- HELLMUTH, N.M., 1989. *Wood that has lasted one thousand years: lintels and vault beams in Maya temples and palaces*. Yale: Peabody Museum of Natural History.
- HERMES, B., Z. CALDERÓN, E. PINTO y R. UGARTE, 1996. Investigación arqueológica en Nakum, Yaxhá y Topoxté, región noreste de Petén. En: J.P. Laporte y H. Escobedo (eds.), *IX Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 1995*. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología, pp. 1-20.
- HIQUET, J., 2018. Operación II.1: Sondeos estratigráficos en los Grupos A y C. En: P. Nondédéo, D. Michelet, J. Begel y L. Garrido (eds.), *Proyecto Petén-Norte Naachtún 2015-2018: Informe de la octava temporada de campo 2017*. [Documento inédito]. Instituto de Antropología e Historia de Guatemala, pp. 29-122.
- HOHMANN, H. y A. VOGRIN, 1982. *Die Architektur von Copán (Honduras): Vermessung, Plandarstellung, Untersuchung der baulichen Elemente und des räumlichen Konzepts*. Graz: Akademische Druck- und Verlagsanstalt.
- HOHMANN, H. y A. VOGRIN, 2001. Unidad de espacio y tiempo: la arquitectura maya. En: N. Grube (ed.), *Los mayas. Una civilización milenaria*. Colonia: Könemann, pp. 194-215.
- HOHMANN, H., 1979. Gewölbekonstruktionen in der Maya-Architektur. *Mexicon*, vol. 1, núm. 3, pp. 33-36.
- HOHMANN, H., 2005. A Maya keystone vault at La Muñeca. *Mexicon*, vol. 27, núm. 4, pp. 73-77.

- HOHMANN, H., 2017. *The Maya Temple-Palace of Santa Rosa Xtampak, Mexico. Documentation and Reconstruction of Form, Construction and Function*. Graz, Austria: Verlag der Technischen Universität Graz.
- HOLMES, W.H., 1895. *Archeological studies among the ancient cities of Mexico. Part I: Monuments of Yucatan*. Chicago: Field Columbian Museum. Anthropological Series.
- HOLMES, W.H., 1897. *Archeological studies among the ancient cities of Mexico. Part II: Monuments of Chiapas, Oaxaca and The Valley of Mexico*. Chicago: Field Columbian Museum. Anthropological Series.
- HUCHIM HERRERA, J.G., 2007. *Intervenciones de Restauración en el Templo del Adivino de Uxmal, Yucatán*. [Trabajo académico inédito]. Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Yucatán.
- HUCHIM HERRERA, J.G. y L. TOSCANO HERNÁNDEZ, 1998. Algunas anotaciones acerca de los sistemas constructivos de los edificios de Uxmal y Labná. *Memorias del Tercer Congreso Internacional de Mayistas (9 al 15 de julio 1995)*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 729-739.
- HUCHIM HERRERA, J.G. y L. TOSCANO HERNÁNDEZ, 2015. Arquitectura Puuc: sistemas constructivos y restauración. En: S. Huerta y P. Fuentes (eds.), *Actas del Noveno Congreso Nacional y Primer Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, pp. 831-839.
- HUERTA, S., 2004. *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- HUNTER, C.B., 1986 [1974]. *A Guide to Ancient Maya Ruins*. Norman: University of Oklahoma Press.
- KERR, J., 2008. Maya Vase Database. An archive of rollout photographs created by Justin Kerr. Disponible en: www.mayavase.com [Fecha de consulta: 30 abril 2018].
- KESSELI, R. y M. PÄRSSINEN, 2005. Identidad étnica y muerte: torres funerarias (chullpas) como símbolos de poder étnico en el altiplano boliviano de Pakasa (1250-1600 d. C.). *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, vol. 34, núm. 3, pp. 379-410.

- KOWALSKI, J.K., 1987. *The House of the Governor. A Maya Palace at Uxmal, Yucatán, México*. Norman: University of Oklahoma Press.
- KOWALSKI, J.K., 2007. What's «Toltec» at Uxmal and Chichén Itzá? Merging Maya and Mesoamerican Worldviews and World Systems in terminal Classic to Early Postclassic Yucatan. En: J.K. Kowalski y C. Kristan-Graham (eds.), *Twin Tollans: Chichén Itzá, Tula, and the epiclassic to early postclassic Mesoamerican world*. Washington: Harvard University Press, pp. 251-313.
- KUBLER, G., 1975. *The art and architecture of Ancient America*. New York: Penguin Books.
- KUTSCHER, G., 1971. *Bauten der Maya. Aufgenommen in den Jahren 1886 bis 1905 und beschrieben von Teobert Maler*. Berlín: Mann.
- LACADENA GARCÍA GALLO, A., 2003. *El Corpus Glífico de Ek' Balam, Yucatán, México*. Disponible en: www.famsi.org/reports/01057es [Fecha de consulta: 13 julio 2018]. FAMSI, Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies.
- LAPORTE, J.P. y V. FIALKO, 1995. Un reencuentro con Mundo Perdido, Tikal, Guatemala. *Ancient Mesoamerica*, vol. 6, núm. 1, pp. 41-94.
- LIENDO STUARDO, R., 2010. El Usumacinta. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 143-183.
- LIGORRED PERRAMON, J., 1994. El estilo Puuc Tardío: escultura y arquitectura del Codz Pop de Kabah (Yucatán, México). *Boletín Americanista*, núm. 44, pp. 171-177.
- LIGORRED PERRAMON, J., 2010a. Kabah. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 372-374.
- LIGORRED PERRAMON, J., 2010b. Oxkintok. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 364-366.
- LLOYD, S., 1973. *Arquitectura mediterránea prerromana*. Madrid: Aguilar.

- LOMHOLT, I., 2016. Angkor Temples Cambodia. Disponible en: www.e-architect.co.uk/cambodia/angkor-wat-temple [Fecha de consulta: 5 diciembre 2017].
- LÓPEZ MORALES, F.J., 1993 [1987]. *Arquitectura vernácula en México*. México: Trillas.
- LOTEN, S.H., 1991. Tikal Vaulting. *Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana*, núm. 14, pp. 27-33.
- LOTEN, S.H., 2017. *Miscellaneous investigations in Central Tikal: Great Temples III, IV, V and VI. Tikal Report 23B*. Philadelphia: University of Pennsylvania. Museum of Archaeology and Anthropology.
- LOTEN, S.H., 2018a. *Miscellaneous investigations in Central Tikal: Structures in and around the Lost World Plaza. Tikal Report 23D*. Philadelphia: University of Pennsylvania. Museum of Archaeology and Anthropology.
- LOTEN, S.H., 2018b. *Miscellaneous investigations in Central Tikal: The Plaza of the Seven Temples. Tikal Report 23C*. Philadelphia: University of Pennsylvania. Museum of Archaeology and Anthropology.
- LOTHROP, S.K., 1924. *Tulum. An Archaeological Study of the East Coast of Yucatan*. Washington: Carnegie Institution of Washington.
- MALDONADO CÁRDENAS, R., 2010. Dzibilchaltún. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 383-389.
- MALER, T., 1903. *Researches in the central portion of the Usumatsintla Valley. Reports of explorations for the Museum*. Cambridge, Massachusetts: Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University Press.
- MALER, T., 1908. *Explorations of the Upper Usumatsintla and adjacent regions*. Cambridge, Massachusetts: Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University Press.
- MALER, T., 1910. *Explorations in the Department of Peten Guatemala and adjacent region*. Cambridge, Massachusetts: Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University.
- MALER, T., 1911. *Explorations in The Department of Peten Guatemala. Tikal. Report of explorations for the Museum*. Cambridge, Massachusetts: Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University Press.

- MALER, T., 1997. *Península Yucatán*. Edición a cargo de H.J. Prem e I. Graham. Berlín: Gebr. Mann Verlag.
- MARINO, L., 2000. *Il giardino del Museo Archeologico Nazionale di Firenze*. Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana e Museo Archeologico Nazionale di Firenze. Firenze: Giunti.
- MÁRQUEZ ROMERO, J.E. y J. FERNÁNDEZ RUIZ, 2009. *Dólmenes de Antequera. Guía oficial del conjunto arqueológico*. Sevilla: Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.
- MARQUINA, I., 1964 [1951]. *Arquitectura prehispánica*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- MARTIN, S. y N. GRUBE, 2008. *Chronicle of the Maya Kings and Queens: Deciphering the Dynasties of the Ancient Maya*. New York: Thames and Hudson.
- MATARREDONA DESANTES, N., 2014. La arquitectura del baño de vapor en la cultura maya. *Estudios de Cultura Maya*, núm. 44, pp. 11-40.
- MATARREDONA DESANTES, N., 2015. *La conservación del patrimonio arquitectónico maya. Primeras experiencias (1891-1969)*. [Tesis doctoral inédita]. Universidad Politécnica de Valencia.
- MAUDSLAY, A.P., 1902. Archaeology, 4 vols. En: F. Godman y O. Salvin (eds.), *Biología Centrali-Americana. Contributions to the Knowledge of the Fauna and Flora of Mexico and Central America*. Londres: Porter and Dulau & Company.
- MAY CASTILLO, M., 2014. *Análisis, estudio y conservación de los edificios astronómicos mayas. Arquitectura maya y urbanismo, una aproximación desde la astronomía y el paisaje*. [Tesis doctoral inédita]. Universidad Politécnica de Valencia.
- MAY CASTILLO, M. y G. MUÑOZ COSME, 2010. La ficha electrónica como instrumento para la investigación de la arquitectura maya. *Arché*, vol. 4-5, pp. 253-260.
- MONNIER, F., 2011. À propos du couvrement de la chambre dite «du Roi» dans la pyramide de Khéops. *Göttinger Miszellen: Beiträge zur ägyptologischen Diskussion*, núm. 231, pp. 81-96.

- MONNIER, F., 2014. La construction des grandes voûtes en chevrons de l' Ancien Empire. *Göttinger Miszellen: Beiträge zur ägyptologischen Diskussion*, núm. 242, pp. 89-104.
- MONNIER, F., 2017. The Monumental Vaults in Pyramids: A Major Technical Challenge. *Ancient Egypt*, vol. 17, núm. 5, pp. 36-39.
- MONTUORI, R. y L. GILABERT SANSALVADOR, 2018 [en prensa]. Documentación y estudio comparativo de cuatro bóvedas mayas del área Puuc. En: *Actas de las Jornadas de Investigación Emergente en Conservación y Restauración de Patrimonio*. Universidad Politécnica de Valencia.
- MORLEY, S.G., 1947. *La civilización maya*. México: Fondo de Cultura Económica.
- MOYA BLANCO, L., 1987. Arquitecturas cupuliformes. El arco, la bóveda y la cúpula. *Curso de Mecánica y Tecnología de los edificios antiguos*, pp. 97-119.
- MUÑOZ COSME, A., 1990. Laberintos, pirámides y palacios. Las fases arquitectónicas de la ciudad de Oxkintok. En: M. Rivera Dorado (ed.), *Oxkintok 3. Misión Arqueológica de España en México. Proyecto Oxkintok Año 1989*. Madrid: Ministerio de Cultura, pp. 99-111.
- MUÑOZ COSME, A., 1991. Cédula para el levantamiento de datos arquitectónicos en estructuras arqueológicas. *Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana*, núm. 14, pp. 78-81.
- MUÑOZ COSME, A., 1999. La arquitectura maya. En: G. Muñoz Cosme, C. Vidal Lorenzo y J.A. Valdés Gómez (eds.), *Los Mayas. Ciudades Milenarias de Guatemala*. Zaragoza: Ayuntamiento de Zaragoza, Generalitat Valenciana y Ministerio de Educación, pp. 43-49.
- MUÑOZ COSME, G., 2003. *Arquitectura maya. El Templo I de Tikal*. [Tesis doctoral inédita]. Universidad Politécnica de Valencia.
- MUÑOZ COSME, G., 2005. La arquitectura palaciega de la Blanca. En: G. Muñoz Cosme y C. Vidal Lorenzo (eds.), *La Blanca. Arqueología y desarrollo*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, pp. 25-33.
- MUÑOZ COSME, G., 2006a. *El Templo I de Tikal. Arquitectura y restauración*. Oxford: Bar International Series 1557.
- MUÑOZ COSME, G., 2006b. *Introducción a la arquitectura maya*. Valencia: General de Ediciones de Arquitectura.

- MUÑOZ COSME, G., 2006c. Proporción y arquitectura. En: G. Muñoz Cosme y C. Vidal Lorenzo (eds.), *La Blanca. Arqueología y clasicismo*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, pp. 27-36.
- MUÑOZ COSME, G., L. GILABERT SANSALVADOR y A. ALIPERTA, 2018 [en prensa]. La anastilosis como método para la restuaración del patrimonio precolombino. En: *Arquitectura e Iconografía Precolombina*.
- MUÑOZ COSME, G., A. PEIRÓ VITORIA, L. GILABERT SANSALVADOR y R. MARTÍNEZ VANACLOCHA, 2015. La última fase constructiva de la Acrópolis de La Blanca. El edificio 6J3. *Arché*, vol. 10, pp. 357-366.
- MUÑOZ COSME, G., Ó.A. QUINTANA SAMAYOA y N. MATARREDONA DESANTES, 2012. Ciudades ocultas. Patrimonio arquitectónico maya en riesgo en el noreste de Petén. *XXV Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2011*. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología de Guatemala, pp. 477-486.
- MUÑOZ COSME, G. y C. VIDAL LORENZO, 2001. Templos de Angkor. Más de cinco siglos de historia. *Loggia*, vol. 11, pp. 96-103.
- MUÑOZ COSME, G. y C. VIDAL LORENZO, 2004. Análisis comparativo de los diferentes sistemas constructivos en el área maya. En: J.P. Laporte, B. Arroyo, H. Escobedo y H. Mejía (eds.), *XVII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2003*. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología de Guatemala, pp. 736-748.
- MUÑOZ COSME, G. y C. VIDAL LORENZO, 2014. La Blanca, un asentamiento urbano maya en la cuenca del río Mopán. *LiminaR*, vol. XII, núm. 1, pp. 36-52.
- MUÑOZ COSME, G., C. VIDAL LORENZO y R. PERELLÓ ROSO, 2008. Características formales y constructivas de la bóveda maya del Palacio de Oriente de La Blanca. *Arché*, vol. 3, pp. 335-340.
- MUÑOZ COSME, G., C. VIDAL LORENZO y J.A. VALDÉS GÓMEZ, 1999. *Los Mayas. Ciudades Milenarias de Guatemala*. Zaragoza: Ayuntamiento de Zaragoza, Generalitat Valenciana y Ministerio de Educación.
- NORIEGA GIRÓN, R., B. GONZÁLEZ y E.F. VALIENTE, 2008. Procesos y resultados de las intervenciones de conservación en Nakum y el Edificio 218 de Yaxhá. En: J.P. Laporte, B. Arroyo y H. Mejía (eds.), *XXI Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2007*. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología, pp. 373-390.

- OCHOA RODRÍGUEZ, J.M., 2010. Tulum. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 445-447.
- ORTEGA ANDRADE, F., 1993. La Construcción Etrusca (I). *Revista de Edificación RE*, núm. 15, pp. 55-62.
- ORTEGA ANDRADE, F., 1996. Arcos, bóvedas y techos en la construcción etrusca. En: A. De Las Casas, S. Huerta y E. Rabasa (eds.), *I Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, pp. 399-409.
- PASZTORY, E., 2010. *Jean-Frédéric Waldeck: artist of exotic Mexico*. Albuquerque: University of New Mexico Press.
- PEIRÓ VITORIA, A., 2016. *La estructura urbana de las ciudades mayas del período Clásico*. [Tesis doctoral inédita]. Universidad Politécnica de Valencia.
- PEIRÓ VITORIA, A. y R. MARTÍNEZ VANACLOCHA, 2017. Sistemas constructivos de relleno de subestructuras en la arquitectura maya. Las acrópolis de La Blanca y Chilonché (Petén, Guatemala). En: S. Huerta, P. Fuentes y I.J. Gil Crespo (eds.), *Actas del Décimo Congreso Nacional y Segundo Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, pp. 1249-1257.
- PERAZA LOPE, C., 2010. Mayapán. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 412-417.
- PERELLÓ ROSO, R., 2006. *Comportamiento resistente de elementos históricos de fábrica en la arquitectura maya*. [Trabajo académico inédito]. Universidad Politécnica de Valencia.
- PERELLÓ ROSO, R., G. MUÑOZ COSME y M. SENDER CONTELL, 2009. La observación de las ruinas mayas y su análisis patológico como indicadores de su comportamiento estructural y constructivo. En: J.P. Laporte, B. Arroyo y H. Mejía (eds.), *XXII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2008*. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología, pp. 206-215.
- POLLOCK, H.E.D., 1937. Architectural details of temples E-X and A-XVIII. *Uaxactun, Guatemala: Group E. 1926-1931*. Washington: Carnegie Institution of Washington, pp. 297-301.

- POLLOCK, H.E.D., 1980. *The Puuc. An architectural survey of the hill country of Yucatan and Northern Campeche, Mexico*. Cambridge, Massachusetts: Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University.
- POLLOCK, H.E.D., R.L. ROYS, T. PROSKOURIAKOFF y A.L. SMITH, 1962. *Mayapan. Yucatan. Mexico*. Publication n° 619. Washington: Carnegie Institution of Washington.
- POTTER, D.F., 1977. *Maya architecture of the Central Yucatan Peninsula, Mexico*. New Orleans: Middle American Research Institute, Tulane University.
- PREM, H.J., 1995. Consideraciones sobre la técnica constructiva de la arquitectura Puuc. *Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana*, núm. 29, pp. 29-38.
- PROSKOURIAKOFF, T., 1976 [1946]. *An album of Maya Architecture*. Carnegie Institution of Washington. Publication 558. Norman, Oklahoma: University of Oklahoma Press.
- PUIG I CADAVALCH, J., 1901a. Arquitectura americana. En: L. Domènech i Montaner y J. Puig i Cadafalch (eds.), *Historia General del Arte: escrita e ilustrada en vista de los monumentos y de la mejores obras publicadas hasta el día*. Barcelona: Montaner y Simón, pp. 779-796.
- PUIG I CADAVALCH, J., 1901b. Arquitectura etrusca. En: L. Domènech i Montaner y J. Puig i Cadafalch (eds.), *Historia General del Arte: escrita e ilustrada en vista de los monumentos y de la mejores obras publicadas hasta el día*. Barcelona: Montaner y Simón, pp. 313-334.
- PULESTON, D.E., 1971. An Experimental Approach to the Function of Classic Maya Chultuns. *American Antiquity*, vol. 36, núm. 3, pp. 322-335.
- PUTNAM, R.E. y G.E. CARLSON, 1991. *Diccionario de Arquitectura, Construcción y Obras Públicas*. Madrid: Paraninfo.
- QUINTANA SAMAYOA, Ó.A., 2007. Investigaciones en las ruinas mayas de San Clemente, Petén, Guatemala. *Mexicon*, vol. 29, núm. 1, pp. 17-19.
- QUINTANA SAMAYOA, Ó.A., 2008. *La composición arquitectónica y la conservación de las edificaciones monumentales mayas del noreste de Petén*. [Tesis doctoral inédita]. Universidad Politécnica de Valencia.
- QUINTANA SAMAYOA, Ó.A., 2010. Nakum. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 215-216.

- QUINTANA SAMAYOA, Ó.A., 2013. *Ciudades mayas del noreste del Petén, Guatemala. Análisis urbanístico y conservación*. Wiesbaden: Deutsches Archäologisches Institut, Reichert Verlag.
- QUINTANA SAMAYOA, Ó.A. y R. NORIEGA GIRÓN, 1992. Intervenciones en el Templo V de Tikal, Petén, Guatemala. 1987-1991. *Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana*, núm. 20, pp. 53-76.
- QUINTANA SAMAYOA, Ó.A. y W.W. WURSTER, 2001. *Ciudades mayas del noreste del Petén, Guatemala. Un estudio urbanístico comparativo*. Mainz: KAVA, Philipp von Zabern.
- QUINTANA SAMAYOA, Ó.A. y W.W. WURSTER, 2002. Un nuevo plano del sitio Maya de Nakum, Petén, Guatemala. En *Beiträge zur Allgemeinen und Vergleichenden Archäologie*, vol. 22, pp. 243-276. Mainz: Kommission für Allgemeine und Vergleichende Archäologie, Verlag Philipp von Zabern.
- QUINTANA SAMAYOA, Ó.A. y W.W. WURSTER, 2004. Un nuevo plano del sitio Maya de Naranjo, Petén, Guatemala. En *Beiträge zur Allgemeinen und Vergleichenden Archäologie*, vol. 24, pp. 149-178. Mainz: Kommission für Allgemeine und Vergleichende Archäologie, Verlag Philipp von Zabern.
- QUINTANA SAMAYOA, Ó.A.; W.W. WURSTER y B. HERMES 2000. El plano del sitio Maya de Yaxhá, Petén, Guatemala. En *Beiträge zur Allgemeinen und Vergleichenden Archäologie*, vol. 20, pp. 261-286. Mainz: Kommission für Allgemeine und Vergleichende Archäologie, Verlag Philipp von Zabern.
- RAMÍREZ AZNAR, L.A., 1983. *Puuc. Testimonios del pueblo Maya*. Mérida, México: Maldonado Editores. Colección Voces de Yucatán.
- RHYNE, C.S., 2008. Architecture, Restoration, and Imaging of the Maya Cities of Uxmal, Kabah, Sayil, and Labná. The Puuc Region, Yucatan, Mexico. Disponible en: www.reed.edu/uxmal/ [Fecha de consulta: 10 septiembre 2016].
- RICKETSON, O.G. y E. BAYLES RICKETSON, 1937. *Uaxactún, Guatemala. Group E – 1926-1931*. Publication n° 477. Washington: Carnegie Institution of Washington.
- RIVERA DORADO, M., 1992. *Oxkintok 4: Misión Arqueológica de España en México. Proyecto Oxkintok Año 1990*. Madrid: Ministerio de Cultura, Dirección General de Bellas Artes y Archivos.

- RIVERA DORADO, M. y F. FERRÁNDIZ MARTÍN, 1989. Excavaciones en el Satunsat. En: M. Rivera Dorado (ed.), *Oxkintok 2: Misión Arqueológica de España en México. Proyecto Oxkintok Año 1988*. Madrid: Ministerio de Cultura, Dirección General de Bellas Artes y Archivos, pp. 63-75.
- ROONEY, D., 1999. *Angkor. An introduction to the temples*. Chicago: Odyssey Passport.
- ROYS, L., 1934. The Engineering Knowledge of the Maya. *Contributions to American archaeology, Carnegie Institution of Washington*, vol. II, núm. 6, pp. 27-105
- RUPPERT, K., 1935. *The Caracol at Chichen Itza, Yucatan, Mexico*. Washington: Carnegie Institution of Washington, Publication 454.
- RUPPERT, K. y J.H. DENISON, 1943. *Archaeological Reconnaissance in Campeche, Quintana Roo, and Petén*. Washington: Carnegie Institution of Washington, Publication 543.
- RUPPERT, K., J.E.S. THOMPSON y T. PROSKOURIAKOFF, 1955. *Bonampak, Chiapas, México*. Publication n° 602. Washington: Carnegie Institution of Washington.
- RUZ LHUILLIER, A., 1955. Exploraciones en Palenque: 1950. *Anales del Instituto Nacional de Antropología e Historia*, vol. 6, núm. 5, pp. 25-45.
- RUZ LHUILLIER, A., 1992. *El Templo de las Inscripciones de Palenque*. México: Fondo de Cultura Económica.
- SABLOFF, J.A. y G. TOURTELLOT, 1991. *The Ancient Maya City of Sayil: The Mapping of a Puuc Region Center*. New Orleans: Middle American Research Institute, Tulane University.
- SÁNCHEZ SUÁREZ, A., 2006. La casa maya contemporánea. Usos, costumbres y configuración espacial. *Península*, vol. 1, núm. 2, pp. 81-105.
- SCHÁVELZON, D., 1980. Viollet-le-Duc and the european vision of Maya archaeology in the nineteenth century. En: M.G. Robertson y E.P. Benton (eds.), *Fourth Palenque Round Table*. San Francisco: Precolumbian Art Research Institute, pp. 331-335.
- SCHÁVELZON, D., 1989. *La conservación del patrimonio cultural en América Latina. Restauración de edificios prehispánicos en Mesoamérica: 1750-1980*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

- SCHLIEMANN, H., 2012. *Ítaca, el Peloponeso, Troya. Investigaciones arqueológicas*. Madrid: Ediciones Akal.
- SCHMIDT, P.J., 2010. Chichén Itzá. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 400-411.
- SCHMIDT SCHOENBERG, P., 2006. La época prehispánica en Guerrero. *Arqueología Mexicana*, vol. XIV, núm. 82, pp. 28-37.
- SHARER, R.J., 1998. *La civilización maya*. México: Fondo de Cultura Económica.
- SHARER, R. J. y W. ASHMORE, 1979. *Quirigua reports*. University Museum Monograph 37. Philadelphia: The University Museum, University of Pennsylvania.
- SHARER, R.J. y L.P. TRAXLER, 2006. *The Ancient Maya*. Stanford, California: Stanford University Press.
- SMITH, A.L., 1937. Structure A-XVIII, Uaxactun. *Contributions to American Archaeology, Carnegie Institution of Washington*, vol. IV, pp. 1-27.
- SMITH, A.L., 1950. *Uaxactun, Guatemala: Excavations of 1931-1937*. Washington: Carnegie Institution of Washington.
- SMITH, A.L., 1962 [1940]. The Corbeled Arch in the New World. En: C.L. Hay, R.L. Linton, S.K. Lothrop, H.L. Shapiro y G.C. Vaillant (eds.), *The Maya and their neighbors: essays on middle American anthropology and archaeology*. New York: D. Appleton-Century Company, pp. 202-221.
- SOTELO SANTOS, L.E., 1992. *Yaxchilán*. México: Gobierno de Chiapas.
- SPINDEN, H.J., 1975 [1913]. *A study of Maya art: its subject matter and historical development*. New York: Dover Publications.
- STAINES CICERO, L., 2001. Las imágenes pintadas en las tapas de bóveda. En: B. De La Fuente (ed.), *La pintura mural prehispánica en México*. México: Instituto de Investigaciones Estéticas de la Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 389-402.
- STAINES CICERO, L., 2008. Las tapas de bóveda pintadas en el área maya. *Arqueología Mexicana*, vol. XVI, núm. 93, pp. 41-45.

- STANEKO, J.C., 1996. *Peeking at the Puuc: New views on the design, engineering and construction of ancient Maya architecture from Yucatan and northern Campeche*. [Tesis doctoral inédita]. Universidad de California, Berkeley.
- STEPHENS, J.L., 1843. *Incidents of Travel in Yucatan*. New York: Harper & Brothers.
- STIERLIN, H., 1964. *Maya: Guatemala, Honduras et Yucatán*. Friburgo: Office du Livre.
- STIERLIN, H., 2001. *Los mayas. Palacios y pirámides de la selva virgen*. Colonia: Taschen.
- STIERLIN, H., 2009 [1997]. *Grecia: de Micenas al Partenón*. Colonia: Taschen.
- STUART, G.E., J.C. SCHEFFLER, E.B. KURJACK y J.W. COTTIER, 1979. *Map of the Ruins of Dzibilchaltun, Yucatán, México*. New Orleans: Middle American Research Institute, Tulane University.
- TALONI, M. y E. BERARDI, 2016. *Tombe etrusche ricostruite nel giardino del Museo Archeologico di Firenze: foto storiche e documenti d'archivio*. Firenze: Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo. Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione.
- THOMAS, P.M., 1981. *Prehistoric Maya Settlement. Patterns at Becan, Campeche, Mexico*. New Orleans: Middle American Research Institute, Tulane University
- THOMPSON, E.H., 1911. The Genesis of the Maya Arch. *American Anthropologist*, vol. 13, núm. 4, pp. 501-516.
- THOMPSON, E.H., 1970 [1897]. The Chultunes of Labná, Yucatán: Report of Explorations by the Museum, 1888-89 and 1890-91. *Memoirs of the Peabody Museum of American Archaeology and Ethnology, Harvard University*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University,
- THOMPSON, J.E.S., 1945. Survey of the Northern Maya Area. *American Antiquity*, vol. 11, pp. 2-24.
- THOMPSON, J.E.S., 1967 [1954]. *The rise and fall of the Maya Civilization*. Norman: University of Oklahoma Press.
- TORRES MARZO, R., 2013. *Arte en piedra tallada. La lítica del asentamiento urbano maya de La Blanca, Petén, Guatemala*. [Tesis doctoral inédita]. Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Valencia.

- TOSCANO, S., 1952 [1944]. *Arte precolombino de México y de la América Central*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- UNESCO, 2005. World Heritage Centre. Disponible en: <http://whc.unesco.org/en/documents/112191> [Fecha de consulta: 5 diciembre 2017].
- VALDÉS GÓMEZ, J.A., 1988. Breve historia de la arquitectura de Uaxactún a la luz de nuevas investigaciones. *Journal de la Société des Américanistes*, vol. 74, pp. 7-23.
- VALDÉS GÓMEZ, J.A., 1989. El Grupo A de Uaxactún: manifestaciones arquitectónicas y dinásticas durante el Clásico Temprano. *Mayab*, núm. 5, pp. 30-40.
- VALDÉS GÓMEZ, J.A., 2010. Tikal. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 203-211.
- VALDÉS, J.A., 2010. Uaxactún. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 220-223.
- VALDÉS, J.A., C.A. GARCÍA, L.F. DE LEÓN, P.C. DE LEÓN, N. CHANQUÍN y J.P. HERRERA, 2001. *Aportes para la restauración: análisis físico-químicos y mecánicos de la mampostería de Tikal*. Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- VALENCIA RIVERA, R., 2016. *El rayo, la abundancia y la realeza. Análisis de la naturaleza del dios K'awiil en la cultura y la religión mayas*. [Tesis doctoral inédita]. Universidad Complutense de Madrid.
- VALIENTE CÁNOVAS, S., 1988. Excavaciones en el grupo Canul. El Palacio Ch'ich. En: M. Rivera Dorado (ed.), *Oxkintok 1: Misión Arqueológica de España en México. Proyecto Oxkintok Año 1987*. Madrid: Ministerio de Cultura, Dirección General de Bellas Artes y Archivos, pp. 44-57.
- VALVERDE VALDÉS, C., R. LIENDO STUARDO y G.J. GUTIÉRREZ LEÓN, 2010. *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México.
- VARGAS DE LA PEÑA, L. y V.R. CASTILLO BORGES, 2006. *Proyecto de Investigación y Conservación Arquitectónica en Ek' Balam. Informe de la Temporada de Campo 2005*. [Documento inédito]. Instituto Nacional de Antropología e Historia de México.

- VARGAS DE LA PEÑA, L. y V.R. CASTILLO BORGES, 2010. Ek' Balam. En: C. Valverde Valdés, R. Liendo Stuardo y G.J. Gutiérrez León (eds.), *Guía de arquitectura y paisaje Mayas*. Sevilla: Junta de Andalucía y Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 417-421.
- VEGAS, F., C. MILETO y V. CRISTINI, 2009. Corbelled dome architecture in Spain and Portugal. En: S. Mecca, L. Dipasquale y F.A. Sekeh (eds.), *Earthen Domes and Habitats. Villages of Northern Syria: an architectural tradition shared East and West*. Pisa: Edizioni ETS, pp. 81-89.
- VENY, C., 1974. Anotaciones sobre la cronología de las Navetas de Menorca. *Trabajos de prehistoria*, vol. 31, núm. 1, pp. 101-142.
- VIDAL LORENZO, C., 1990. Excavaciones en el grupo Ah Canul. En: M. Rivera Dorado (ed.), *Oxkintok 3. Misión Arqueológica de España en México. Proyecto Oxkintok Año 1989*. Madrid: Ministerio de Cultura, pp. 19-30.
- VIDAL LORENZO, C., 2006. Arquitecturas vestidas. Textiles de interior en la iconografía maya. En: V. Solanilla Demestre (ed.), *Actas de las III Jornadas Internacionales sobre Textiles Precolombinos, 2004*. Barcelona: Centre d'Estudis Precolombins de la Universitat Autònoma de Barcelona, pp. 129-141.
- VIDAL LORENZO, C. y G. MUÑOZ COSME, 1997. *Tikal. El Gran Jaguar*. Madrid: Endesa, Macua y García Ramos.
- VIDAL LORENZO, C. y G. MUÑOZ COSME, 2009a. *Informe de las investigaciones arqueológicas en el sitio de La Blanca, Petén, Guatemala (Octubre - Diciembre 2008)*. [Documento inédito]. Instituto de Antropología e Historia de Guatemala.
- VIDAL LORENZO, C. y G. MUÑOZ COSME, 2009b. *Los grafitos mayas. Cuadernos de arquitectura y arqueología maya 2*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- VIDAL LORENZO, C. y G. MUÑOZ COSME, 2010. Arquitecturas mayas sepultadas. Exploraciones en el interior de los basamentos de las Acrópolis de La Blanca y El Chilonché y otros hallazgos de la temporada de campo 2010. *Excavaciones en el exterior 2010. Informes y trabajos 5*. Madrid: Instituto del Patrimonio Cultural de España. Ministerio de Cultura, pp. 100-109.
- VIDAL LORENZO, C. y G. MUÑOZ COSME, 2012. *Tikal. Más de un siglo de arqueología*. Valencia: Universitat de València.

- VIDAL LORENZO, C. y G. MUÑOZ COSME, 2016a. Chilonché y La Blanca. Arquitectura monumental en la cuenca del río Mopán. *Arqueología Mexicana*, vol. XXIII, núm. 137, pp. 60-67.
- VIDAL LORENZO, C. y G. MUÑOZ COSME, 2016b. *Informe de las investigaciones arqueológicas del Proyecto La Blanca y su entorno, Petén, Guatemala (Abril 2015 - Junio 2016)*. [Documento inédito]. Instituto de Antropología e Historia de Guatemala.
- VIDAL LORENZO, C., M.L. VÁZQUEZ DE ÁGREDOS PASCUAL, P. HORCAJADA CAMPOS y G. MUÑOZ COSME, 2013. La expresión del poder en la arquitectura maya. En: V. Mínguez (ed.), *Las artes y la arquitectura del poder*. Castellón: Publicacions de la Universitat Jaume I, pp. 575-588.
- VIDAL LORENZO, C., M.L. VÁZQUEZ DE ÁGREDOS PASCUAL y G. MUÑOZ COSME, 2016. Storage Places in the Maya Area. En: L.R. Manzanilla y M.S. Rothman (eds.), *Storage in Ancient Complex Societies: Administration, Organization, and Control*. New York: Routledge. Taylor & Francis Group, pp. 271-292.
- VILLALOBOS, A., 2001. La falsedad del falso arco maya. *Bitácora*, vol. 5, pp. 4-13.
- VIOLLET-LE-DUC, E.E., 1863. *Cités et ruines américaines: Mitla, Palenque, Izamal, Chichen-Itza, Uxmal*. París: A. Morel & Cie.
- VIOLLET-LE-DUC, E.E., 1875. *Histoire de l'habitation humaine depuis les temps préhistoriques jusqu'à nos jours*. París: J. Hetzel.
- VV. AA., 1964. *Carta Internacional para la Conservación y la Restauración de Monumentos y Sitios*. II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos, Venecia 1964. Adoptada por ICOMOS en 1965. Disponible en: www.icomos.es/cartas-otros-textos-doctrinales/ [Fecha de consulta: 30 mayo 2018].
- VV. AA., 1990. *Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico*. Preparada por el Comité Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico (ICAHM) y adoptada por la Asamblea General del ICOMOS en Lausana en 1990. Disponible en: www.icomos.es/cartas-otros-textos-doctrinales/ [Fecha de consulta: 30 mayo 2018].
- VV. AA., 2000. *Carta de Cracovia. Principios para la Conservación y Restauración del Patrimonio Construido*. Versión española de Javier Rivera Blanco y Salvador Pérez Arroyo, Instituto Español de Arquitectura de la

- Universidad de Valladolid. Disponible en: <http://ipce.mcu.es/conservacion/intervencion.html>. [Fecha de consulta: 12 diciembre 2016].
- WAGNER, E., 2001. ...Y luego fue esculpida la preciosa piedra. Canteros y escultores mayas. En: N. Grube (ed.), *Los mayas. Una civilización milenaria*. Colonia: Könemann, pp. 338-339.
- WEEKS, J.M., J.A. HILL y C. GOLDEN, 2005. *Piedras Negras Archaeology, 1931-1939*. Philadelphia: University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology.
- WERNEKE, D.C., 2005. *A Stone Canvas: Interpreting Maya Building Materials and Construction Technology*. [Tesis doctoral inédita]. University of Texas, Austin.
- WILLIAMS BECK, L.A. y E. LÓPEZ DE LA ROSA, 1999. Historia de tres ciudades: Ah Kin Pech, Acanmul y San Francisco de Campeche. *Estudios de Cultura Maya*, vol. XX, pp. 93-116.
- WURSTER, W.W., 1993. Die Architektur der Maya. En: E. Eggebrecht, A. Eggebrecht, N. Grube y W. Seipel (eds.), *Die Welt Der Maya*. Viena: Verlag Philipp von Zabern, Mainz am Rhein, pp. 107-138.
- WURSTER, W.W., 2001. La arquitectura maya. En: E. Eggebrecht, A. Eggebrecht, W. Seipel, N. Grube y E. Krejci (eds.), *Maya' amaq' = Mundo Maya*. Guatemala: Cholsamaj, pp. 129-160.
- YAEGER, J., 2005. *Revisiting the Xunantunich Palace: The 2003 Excavations*. Disponible en: <http://www.famsi.org/reports/02082/02082Yaeger01.pdf> [Fecha de consulta: 19 julio 2018]. FAMSI, Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies.
- ZAPATA, R.L., 1985. Los chultunes de la región serrana de Yucatán. *Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana*, núm. 5, pp. 17-24.
- ZAPATA, R.L., 1991. Exploraciones Recientes en Kankí, Campeche, México. *Mexicon*, vol. 13, núm. 3, pp. 51-55.
- ZARAGOZÁ CATALÁN, A., 2000. La arquitectura popular de piedra en seco como memoria cultural. *VII Congreso Internacional Arquitecturas de piedra en seco*. Peñíscola: Centre d'Estudis del Maestrat y Generalitat Valenciana, pp. 105-124.

Agradecimientos

Esta investigación sobre la bóveda maya ha sido posible gracias al apoyo de muchas personas e instituciones que han contribuido, de diferentes maneras, a la elaboración del presente trabajo.

En primer lugar, quiero agradecer al director de esta tesis doctoral, el Dr. Gaspar Muñoz Cosme, su inestimable apoyo y el haberme introducido en el fascinante mundo de la investigación. Me gustaría agradecerle expresamente su dedicación y guía, y el haberme acompañado durante todas las etapas de la elaboración de esta tesis doctoral. Sus consejos, correcciones, revisiones y propuestas han sido determinantes en la realización de este trabajo sobre la bóveda maya.

Asimismo, quisiera agradecer su apoyo a la Dra. Cristina Vidal Lorenzo, quien junto con el Dr. Gaspar Muñoz Cosme, dirige el Proyecto La Blanca. A ambos, gracias por contagiarme la pasión por el estudio de la cultura maya y por darme la oportunidad de formar parte de su grupo de trabajo. Quiero agradecer a todos y cada uno de los compañeros del equipo su apoyo y entusiasmo en todos los trabajos realizados, tanto en Guatemala como en Valencia. Especialmente a Andrea Peiró Vitoria, Rosana Martínez Vanacllocha, Núria Feliu Beltrán, Patricia Horcajada Campos y Andrea Aliperta, por su ayuda y sus ánimos, por las enriquecedoras charlas y sugerencias y por todas las vivencias y experiencias compartidas durante este recorrido. A todo el equipo del Proyecto La Blanca, gracias.

La elaboración de esta tesis doctoral ha sido posible gracias al auspicio del Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad en I+D+i del Ministerio de Ciencia, Innovación e Universidades de España, a través de un Contrato Predoctoral para la Formación de Doctores (BES-2015-071296) concedido en el marco del proyecto de investigación “Arquitectura maya. Sistemas constructivos, estética formal y nuevas tecnologías” (BIA2014-53887-C2-1-P). La financiación recibida a través de dicho contrato FPI para la realización de estancias en el extranjero, así como la Beca del Programa de

Movilidad Académica concedida por la Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado, me han permitido realizar varias estancias en Centroamérica y han contribuido determinantemente a la obtención de los resultados de esta investigación.

Extiendo los agradecimientos a los investigadores que me han acogido durante las estancias realizadas en Yucatán: a la Dra. Lucía Tello Peón, Directora de la Unidad de Posgrado e Investigación de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Yucatán, por su apoyo durante mis estancias en dicho centro, y al Antropólogo Eduardo López Calzada, Delegado del Instituto Nacional de Antropología e Historia en Yucatán, por facilitarme el acceso y la toma de datos en los sitios arqueológicos y por su hospitalidad y amable acogida. Quisiera expresar mi profundo agradecimiento al Arqueólogo José Huchim Herrera, por acogerme en Uxmal, por su gran apoyo en Yucatán, por las enriquecedoras conversaciones mantenidas y por contagiarme la pasión por la arquitectura Puuc. Asimismo, quiero dar las gracias al Dr. Josep Ligorred Perramon, tutor de mis estancias en Mérida, por su apoyo, sus consejos y su hospitalidad, así como por acceder a revisar y evaluar esta tesis doctoral. Gracias también a la Dra. Mónica Cejudo Collera y al Dr. Markus Reindel por revisar esta tesis, por sus sugerencias y comentarios.

Los resultados obtenidos en este trabajo no se habrían podido alcanzar sin la ayuda de todas las personas e instituciones que me han apoyado, de diferentes modos, en las diferentes expediciones a México, Guatemala, Belice y Honduras, en las visitas a los sitios arqueológicos y en el trabajo de campo realizado. Gracias a todos los responsables, técnicos y vigilantes de los sitios arqueológicos estudiados, que me han permitido acceder a los edificios y me han acompañado en los recorridos, y a los que no podría nombrar de forma individual porque la lista sería interminable. Quisiera agradecer expresamente a la Dra. Rosario Domínguez y a Raymundo González por su apoyo en Campeche; a la Dra. Iken Paap por recibirnos en 2015 en Dzehkabtún; al Dr. Ilan Vit Suzan, director del sitio de Dzibilchaltún, por acompañarme en la visita al sitio y por los debates y charlas mantenidas; a la Arqueóloga Lourdes Toscano Hernández por sus enriquecedores comentarios y sugerencias; al Arqueólogo Marco Antonio Santos Ramírez, director de la zona arqueológica de Chichén Itzá, y al Arqueólogo Juan Octavio Juárez Rodríguez por su apoyo en este fascinante enclave; al Arquitecto Luis Fernando Cruz Pacheco por su apoyo en Uxmal y en varios sitios del área Puuc; a Don Hernán Perera Novelo, de Santa Elena Nohcacab, por enseñarme y resolver mis dudas sobre la *nah*, la casa maya; a Auner Fidel Teo Pineda y a Auner Isau Teo Rodríguez por su apoyo en una de

las visitas a Nakum; a los amigos de la Cooperativa Técnica Agropecuaria de Las Cruces (Petén), por acogernos en La Técnica y acompañarnos a Piedras Negras; y a Germán Pérez, chofer del Proyecto La Blanca, por su apoyo en Petén y por su amistad y energía positiva.

Gracias a los colegas y amigos de ambos lados del Atlántico que he ido conociendo durante este recorrido académico y personal y que han apoyado, directa o indirectamente, este trabajo: a Diana Calderón Coyotl, a Ana Laura Rosado Torres y especialmente a Patricia Andrea Amaya Medina, quien hizo que me sintiera como en casa durante mis estancias en México.

Y finalmente, muchas gracias a mis amigas y amigos del alma: Tere, Raquel, Laura, Aza, Pepem, Ibo, Noemí, Naiara, Maria y Lidia, por apoyarme durante estos años, por los ánimos en los momentos difíciles y por las celebraciones en los buenos momentos, por estar ahí en el día a día, cerca o lejos. Gracias a Riccardo Montuori, por su exquisito trabajo en la maquetación de esta tesis, por su ayuda, apoyo y ánimos cada día, por ser mi compañero de aventuras y estar siempre a mi lado. Y por supuesto a mi familia: a mis tíos y primos, a mis abuelos y sobre todo a mi querida hermana Maria y a mis padres, José Miguel y María Milagro, por estar ahí siempre y apoyarme en todo, *moltes gràcies*.

Listado de figuras

		pág.
CAPÍTULO 1	Figura 1.	Varios tipos de embocaduras de barracas de piedra en seco del interior de la Comunidad Valenciana. Modificado de M. García Lisón y A. Zaragoza Catalán (2000, p. 37)..... 19
	Figura 2.	Secuencia constructiva de una cúpula por aproximación de planta circular. Tomada de F. Vegas, C. Mileto y V. Cristini (2009, p. 84)..... 20
	Figura 3.	Representación esquemática de una bóveda por avance de hiladas maya. Tomada de A. Hohmann-Vogrin (2001, p. 199)..... 20
	Figura 4.	Planta y sección de la Cueva de la Menga en Antequera, datada en el 2500 a.C. Dibujo de Cayetano de Mergelina tomado de J. E. Márquez Romero y J. Fernández Ruiz (2009, p. 85)..... 24
	Figura 5.	Fotografía actual de la Naveta des Tudons. Tomada de J. S. Gornés Hachero (2016, p. 71)..... 24
	Figura 6.	Planta y sección longitudinal de la Naveta des Tudons. Tomada de C. Veny (1974)..... 24
	Figura 7.	Planta y sección de la Cueva del Romeral de Antequera. Dibujo de Cayetano de Mergelina tomado de J. E. Márquez Romero y J. Fernández Ruiz (2009, p. 85)..... 24
	Figura 8.	Primera antecámara de la Pirámide Roja en Dahshur. Tomada de F. Monnier (2017, p. 36)..... 25
	Figura 9.	Sección esquemática de la Pirámide de Meidum. Tomada de G. Dormion y J. Y. Verd’hurt (2000, p. 17)..... 25
	Figura 10.	Vista axonométrica del corredor adintelado de la Pirámide de Meidum con las cámaras escalonadas superiores de alivio. Dibujo de Franck Monnier..... 25
	Figura 11.	Sección por la Gran Galería de la pirámide de Keops en Giza. Modificado de F. Monnier (2011, p. 94)..... 26
	Figura 12.	Entrada a la Pirámide de Keops en Giza. Tomada de F. Monnier (2017, p. 37)..... 26

CRÉDITOS DE LAS IMÁGENES

Las fuentes de las figuras se indican en los pies de foto. Aquellas en las que no se indica su procedencia han sido tomadas o elaboradas por la autora.

Figura 13.	La Puerta de los Leones de Micenas en 1885. Tomada de H. Schliemann (2012).....	26
Figura 14.	Acceso al túmulo e interior de la cámara del Tesoro de Atreo. Imágenes tomadas de T. Como (2007, p. 18, 40).....	27
Figura 15.	Planta y sección del Tesoro de Atreo. Modificada de T. Como (2007, p. 18).....	27
Figura 16.	Plano de la planta baja del palacio de Tirinto según S. Lloyd (1973, p. 213).....	27
Figura 17.	Galerías de las casamatas del palacio de Tirinto. Tomada de S. Lloyd (1973, p. 214).....	27
Figura 18.	Jardín del Museo Arqueológico Nacional de Florencia.....	28
Figura 19.	Celda de la necrópolis del Crocifisso del Tufo, reconstruida en el Museo Arqueológico de Florencia.....	29
Figura 20.	<i>Tholos</i> de Casal Marittimo, reconstruido a principios del siglo XX en el Museo Arqueológico de Florencia. Tomadas de M. Taloni y E. Berardi (2016, p. 10-12).....	29
Figura 21.	Corredor abovedado de la tumba de Regolini Galassi en Cervetri. Tomada de A. Boëthius (1994, p. 95).....	29
Figura 22.	<i>Tholos</i> de la Montagnola en Sesto Fiorentino. Tomada de A. Boëthius (1994, p. 97).....	30
Figura 23.	Puerta de la muralla romana de Arpino. Tomada de J. P. Adam (2002, p. 179).....	30
Figura 24.	Exterior de la Cava del Buitre en Bocairent, Alicante. Fotografía de José Miguel Gilabert García, 2015.....	31
Figura 25.	Refugio de piedra en seco en el Alto Maestrazgo. Tomada de A. Zaragoza Catalán (2000).....	32
Figura 26.	Una de las estructuras del santuario de My Son en Vietnam. Fotografía: Gaspar Muñoz Cosme, 2009.....	33
Figura 27.	Bóveda por aproximación de bloques de piedra colocados a hueso en Bayon. Fotografía de Francesco Bandarin, tomada de Unesco (2005).....	33
Figura 28.	Alzado y sección de un <i>prasat</i> o torre-santuario tipo. Tomado de M. Glaize (2009, p. 22).....	34
Figura 29.	Edificio en Ta Prohm. Fotografía de Francesco Bandarin, tomada de Unesco (2005).....	34

	Figura 30. <i>Gopura</i> en el acceso norte a Angkor Thom. Fotografía de Tom Ravenscroft, tomada de I. Lomholt (2016).....	34
	Figura 31. Planta del conjunto central de Angkor Wat. Modificada de M. Glaize (2009, p. 58).....	35
	Figura 32. Sección de una de las galerías perimetrales de Angkor Wat. Tomada de J. Dumarçay (2005, p. 187).....	35
	Figura 33. Galerías abovedadas de Angkor Wat. Fotografía de Francesco Bandarin, tomada de Unesco (2005).....	35
	Figura 34. Torres funerarias o chullpas en Chosi Kani, en el altiplano boliviano. Tomada de R. Kesseli y M. Pärssinen (2005, p. 397).....	36
	Figura 35. Pasillo abovedado en la Estructura 14 del sitio de Xochipala (Guerrero, México). Fuente: INAH.....	36
CAPÍTULO 2	Figura 36. Sección este-oeste del Palacio de Palenque dibujada por J. Frederick Waldeck. Tomada de Pasztory (2010).....	41
	Figura 37. Dibujo de Waldeck en el que muestra su encuentro con un personaje en el Palacio de Palenque. Tomada de Pasztory (2010).....	41
	Figura 38. Autorretrato de Frederick Waldeck en la Casa A del Palacio de Palenque. Tomada de Baudez (1993, p. 90).....	41
	Figura 39. Vista de Frederick Catherwood (1844) de uno de los arcos del Palacio del Gobernador de Uxmal.....	42
	Figura 40. Dibujo de Frederick Catherwood (1844) del interior uno de los cuartos del edificio Codz Pop de Kabah.....	42
	Figura 41. Vista del interior de la estancia central del ala este del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal en la obra de John Stephens (1843, p. 309).....	42
	Figura 42. Dibujo de Frederick Waldeck con referencias a elementos asirios, egipcios y micénicos. Tomado de Pasztory (2010).....	43
	Figura 43. El arco de Labná en uno de los grabados más conocidos de Frederick Catherwood (1844).....	44
	Figura 44. El arco de Kabah en la obra de Désiré Charnay (1885, p. 322)....	44
	Figura 45. Forma más común del arco utilizado por los antiguos mayas según John Stephens (1843, p. 433).....	44
	Figura 46. Sección de una bóveda de Chichén Itzá según Viollet-le-Duc (1863, p. 50).....	45

Figura 47.	Planta y sección del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal según Viollet-le-Duc(1875,p.284-85).....	46
Figura 48.	Reconstrucción ideal del Cuadrángulo de las Monjas y la Pirámide del Adivino de Uxmal según Viollet-le-Duc (1875, p. 333).....	46
Figura 49.	Reconstrucción ideal de la fachada del Ala Norte del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal según Viollet-le-Duc (1875, p. 337).....	46
Figura 50.	Dibujo de uno de los arcos del Palacio del Gobernador de Uxmal realizado por A. Choisy (1899, p. 205).....	47
Figura 51.	Construcción por aproximación de hiladas en la arquitectura maya según A. Choisy (1899, p. 200).....	47
Figura 52.	Sección transversal del Templo de la Cruz de Palenque realizada por W. H. Holmes (1897, p. 201).....	48
Figura 53.	Fotografía de El Castillo de Chichén Itzá tomada por A. P. Maudslay (1902).....	49
Figura 54.	Fotografía de la Estructura 4 de Labná a principios del siglo XX, tomada de <i>Península Yucatán von Teobert Maler</i> (1997).....	49
Figura 55.	Planos del Palacio de las Ventanas de Tikal realizados por T. Maler en 1904. Tomado de Kutscher (1971).....	49
Figura 56.	Estudio estático de las bóvedas en la obra de L. Roys (1934, p. 37).	51
Figura 57.	Análisis estático de una bóveda de Tikal según S. Loten (1991, p. 30).....	53
Figura 58.	Puertas y arcos de diferentes sitios dibujados por J. F. Waldeck. Tomada de Baudez (1993, p. 173).....	54
Figura 59.	Ejemplos de arcos mayas según W. H. Holmes (1895, p. 51).....	55
Figura 60.	Ejemplos de arcos mayas según A. L. Smith (1962, p. 208-209)...	57
Figura 61.	Construcción típica en Uaxactún según A. L. Smith (1950).....	58
Figura 62.	Ejemplos de bóvedas de Uaxactún según A. L. Smith (1950).....	58
Figura 63.	Arcos mayas según S. Toscano (1952, p. 118).....	59
Figura 64.	Cortes transversales de las bóvedas mayas de piedras saledizas según S. G. Morley (1947, p. 382).....	60
Figura 65.	Secciones transversales de construcciones abovedadas del período Clásico según Sharer (Sharer y Traxler 2006, p. 216).....	61

	Figura 66. Tipos de bóvedas mayas según H. Stierlin (1964, p. 135).....	62
	Figura 67. Diferentes secciones de bóvedas mayas según P. Gendrop (1970, p. 97).....	64
	Figura 68. Ilustración que acompaña a la definición de bóveda en el <i>Diccionario de Arquitectura Mesoamericana</i> de P. Gendrop (1997, p. 34).....	65
	Figura 69. Tipos de bóvedas según la forma del espacio interior resultante propuestos por H. Hohmann (1979, p. 33-34).....	65
	Figura 70. Ejemplos de la variedad formal de bóvedas mayas según H. Hohmann (1979, p. 34).....	66
	Figura 71. Cuatro ejemplos de arcos mayas según C. B. Hunter (1986, p. 18).....	67
	Figura 72. Esquema de una bóveda monolítica según H. Hohmann (1979, p. 33).....	69
	Figura 73. Sección constructiva del Edificio con banda glífica de Xcochá realizada por H. Pollock (1980, p. 510).....	70
	Figura 74. Formas de secciones de bóvedas más usuales en el Puuc Clásico. Tomada de Andrews, Gendrop y Siller (1985, p. 49).....	72
	Figura 75. Formas de dovelas del Puuc Clásico según Andrews, Gendrop y Siller (1985, p. 49).....	72
	Figura 76. Secciones constructivas de algunos edificios con las que Andrews ejemplifica las cuatro fases de la evolución tecnológica del Puuc. Modificado de Andrews (1995e, p. 115-124).....	73
	Figura 77. Sección constructiva de la Estructura 57 de Dzibilchaltún. Tomada de E. Wyllys Andrews IV (1962, p. 171).....	74
	Figura 78. Sección de un edificio del período Floreciente Puro de Chichén Itzá. Tomada de Holmes (1895, p. 41).....	74
	Figura 79. Bóveda en la Estructura VIII de Becán. Tomada de D. F. Potter (1977, p. 55).....	75
	Figura 80. Perfiles de diferentes bóvedas de sitios del noreste de Petén según Óscar A. Quintana y Wolfgang W. Wurster (2001, p. 156-157).....	77
CAPÍTULO 5	Figura 81. Una de las bóvedas de la Subestructura 6J2-Sub2 de La Blanca durante la campaña de excavación de 2016. Fotografía: Andrea Aliperta.....	87
	Figura 82. Ficha de registro de bóvedas para la toma de datos en campo.....	88

Figura 83.	Fechas y sitios visitados en las campañas de trabajo de campo....	89
Figura 84.	Croquis del recorrido de reconocimiento realizado durante la primera visita a Chacmultún.....	90
Figura 85.	Croquis realizado <i>in situ</i> para la identificación de los cuartos del Palacio de las Ventanas de Tikal.....	91
Figura 86.	Toma de datos métricos en una bóveda de Sayil. Fotografía: José Miguel Gilabert García, 2017.....	91
Figura 87.	Diferentes croquis del levantamiento manual de la Casa de las Tortugas de Uxmal.....	92
Figura 88.	Toma de datos fotogramétrica del arco de Labná. Fotografía: Riccardo Montuori, 2017.....	93
Figura 89.	Toma de datos fotogramétrica con un foco de iluminación led en La Blanca. Fotografía: Núria Feliu Beltrán, 2017.....	93
Figura 90.	Secciones longitudinal y transversal de una bóveda del Edificio 1 de Chacmultún obtenidas del modelo fotogramétrico. Tomado de Montuori y Gilabert Sansalvador (2018).....	94
Figura 91.	Secciones longitudinal y transversal de una bóveda del Palacio de Xlapak obtenidas del modelo fotogramétrico. Tomado de Montuori y Gilabert Sansalvador (2018).....	95
Figura 92.	Sitios arqueológicos considerados en la muestra de bóvedas.....	100
Figura 93.	Divisiones estilísticas del área maya según P. Gendrop (1983, p. 16).	102
Figura 94.	Principales regiones arqueológicas de las Tierras Bajas Mayas del Norte según George F. Andrews (1995e, p. 274).....	103
Figura 95.	Número de bóvedas estudiadas por zona geográfica.....	104
Figura 96.	Niveles de información de las bóvedas registradas por zonas geográficas.....	104
Figura 97.	Número de bóvedas estudiadas por período cronológico.....	105
Figura 98.	Formulario de introducción de datos de la tabla “Sitio”.....	109
Figura 99.	Zonas geográficas establecidas para las Tierras Bajas Mayas.....	110
Figura 100.	Formulario de introducción de datos de la tabla “Edificio”.....	111
Figura 101.	Tipologías distributivas de edificios mayas según M. May y G. Muñoz (2010, p. 256).....	119

	Figura 102. Código para denominar las diferentes distribuciones de edificios con tipología distributiva “A” establecido por M. May y G. Muñoz (2010, p. 256).....	120
	Figura 103. Formulario de introducción de datos de la tabla “Bóveda”.....	122
	Figura 104. Planta con Esquema de Numeración de Cuartos (ENC) del edificio 1A6 de Kabah. Tomada de Andrews (1990b, p. 42).....	123
CAPÍTULO 7	Figura 105. Medidas principales de la bóveda en planta, sección longitudinal y sección transversal.....	126
	Figura 106. Detalle de una bóveda con ménsula de remate y medidas consideradas.....	128
	Figura 107. Secciones y principales variables geométricas consideradas para la definición geométrica y formal de las bóvedas.....	138
	Figura 108. Planta del Grupo G de Tikal según T. Maler (1911, p. 12).....	138
	Figura 109. Sección de El Caracol de Chichén Itzá según W. H. Holmes (1895).....	138
	Figura 110. Encuentro en esquina de dos bóvedas ortogonales en la Casa D de Palenque.....	138
	Figura 111. Planta del Templo de las Siete Muñecas de Dzibilchaltún. Modificada de G. Andrews (1995e, p. 250).....	139
	Figura 112. Valores de luz en la muestra registrada.....	139
	Figura 113. Valores de luz en la muestra registrada.....	140
	Figura 114. Cuarto 3 del Edificio 6J1 de La Blanca.....	140
	Figura 115. Hipótesis del estado inicial del Palacio de Oriente de La Blanca sobre una sección del edificio obtenida del levantamiento con escáner láser.....	141
	Figura 116. Cuarto 11 de la Estructura 5 de Chacmultún.....	141
	Figura 117. Arco de Kabah.....	141
	Figura 118. Comparativa de los valores de luz de las bóvedas registradas en templos y en palacios y cuadrángulos.....	141
	Figura 119. Valores de longitud en la muestra registrada.....	142
	Figura 120. Diferentes factores de proporcionalidad de la planta de las bóvedas.....	142
	Figura 121. Valores del factor de proporcionalidad de la planta.....	143

Figura 122. Bóveda de uno de los cuartos del Palacio Maler de Tikal.....	143
Figura 123. Bóveda en el Complejo de las Monjas de Chichén Itzá.....	143
Figura 124. Principales tipos de formas de la sección transversal de las bóvedas.....	144
Figura 125. Formas de la sección transversal en la muestra analizada.....	144
Figura 126. Bóveda de sección recta en el Edificio E de Nakum.....	144
Figura 127. Interior de uno de los cuartos del Palacio Sur de Sayil.....	145
Figura 128. Estructura 93 de Dzhehbaktún.....	145
Figura 129. Bóveda con escalonamiento múltiple vertical en el Edificio E-X de Uaxactún.....	146
Figura 130. Bóveda con escalonamiento múltiple inclinado en el Edificio 5D-91 de Tikal.....	146
Figura 131. Tipos de bóvedas escalonadas.....	146
Figura 132. Sección del Edificio A-XVIII de Uaxactún, con varias bóvedas en forma de botella. Tomada de A. L. Smith (1937, p. 46).....	147
Figura 133. Bóveda con forma de botella en el Edificio D de Nakum.....	147
Figura 134. Estructura 19 de Yaxchilán.....	147
Figura 135. Uno de los arcos del Palacio del Gobernador de Uxmal.....	148
Figura 136. Dibujo del arco trilobulado de Palenque realizado por J. Frederick Waldeck en 1833. Tomado de Baudez y Picasso (1990, p. 55).....	149
Figura 137. Arco trilobulado de la Casa A de Palenque.....	149
Figura 138. Pasaje abovedado del Grupo G de Tikal.....	150
Figura 139. Bóveda en el sitio de Manos Rojas, en el área de Río Bec. Tomada de David F. Potter (1977, p. 101).....	150
Figura 140. Bóveda de una subestructura del Conjunto A-V de Uaxactún.....	151
Figura 141. Ménsula de remate con el recubrimiento de estuco en el Palacio de Santa Rosa Xtampak.....	151
Figura 142. Bóveda con remate en ángulo en el Conjunto de las Monjas de Chichén Itzá. Tomado de W. H. Holmes (1895, p. 112).....	151

Figura 143. Detalle del remate en ángulo estucado en uno de los cuartos del Ala Este de las Monjas en Chichén Itzá.....	151
Figura 144. Valores de altura total interior de la estancia.....	152
Figura 145. Factores de proporción entre la altura y la anchura de la estancia abovedada.....	152
Figura 146. Valores de altura de la bóveda.....	153
Figura 147. Proporción de la sección transversal.....	153
Figura 148. Valores del factor de proporcionalidad entre la altura de la bóveda y la altura total de la estancia.....	153
Figura 149. Huella de los dinteles en el relleno del cuarto 5 del Edificio 6J2 de La Blanca.....	154
Figura 150. Cuarto 14 del Edificio 6J2 de La Blanca.....	154
Figura 151. Formas de los testeros.....	155
Figura 152. Testero inclinado en la Casa A del Palacio de Palenque.....	155
Figura 153. Muro hastial en el Edificio Boca de Serpiente de Santa Rosa Xtampak.....	156
Figura 154. Secciones transversal y longitudinal del cuarto oeste de la Casa de las Tortugas de Uxmal elaboradas mediante el levantamiento fotogramétrico. Tomada de R. Montuori y L. Gilabert (2018).....	156
Figura 155. Secciones longitudinales de dos cuartos del Palacio del Gobernador de Uxmal. Tomado de J. K. Kowalski (1987, p. 116).....	156
Figura 156. Canteras en Tikal. Fotografía de Gaspar Muñoz Cosme, 1993.....	158
Figura 157. Detalle de la fachada sur de la Casa de las Tortugas de Uxmal.....	158
Figura 158. Estructura 74 de Yaxchilán.....	158
Figura 159. Palacio en la Gran Acrópolis de Comalcalco. Tomada de M. J. Gallegos y R. Armijo (2017, p. 144).....	159
Figura 160. Posible sistema de andamiaje en Río Bec-B según Paul Gendrop (1997, p. 20).....	159
Figura 161. Restos de la decoración modelada en estuco de la fachada del Edificio 6 de Yaxchilán.....	159
Figura 162. Dintel de rollizos de madera en el Grupo G de Tikal.....	160

Figura 163.	Restos de los dinteles originales de madera en la Estructura 7 de Yaxchilán.....	160
Figura 164.	Algunas de las herramientas para el alisado del estuco halladas en Muna. Modificado de E. W. Andrews IV e I. Rovner (1975).....	161
Figura 165.	Plomada de cuarcita hallada en La Blanca.....	161
Figura 166.	Plomada en el sitio de Xunantunich.....	161
Figura 167.	Muros mixtos. Tomado de Ó. Quintana (2008, p. 202).....	162
Figura 168.	Detalle de una bóveda típica del Clásico Tardío de Petén. Tomado de O. Quintana (2008, p. 202).....	162
Figura 169.	Edificio de los Cinco Pisos de Edzná.....	163
Figura 170.	Sección de los Edificios 5D-50 y 5D-52 de la Acrópolis de Tikal según Teobert Maler. Tomada de G. Kutscher (1971).....	163
Figura 171.	Imagen actual de los Edificios 5D-50 y 5D-52 de la Acrópolis de Tikal desde el nivel inferior.....	163
Figura 172.	Temascal P-7 de Piedras Negras en la actualidad y en la reconstrucción de Tatiana Proskouriakoff (1976, p. 29).....	164
Figura 173.	Estancia de la Estructura J-11 de la Acrópolis de Piedras Negras.	164
Figura 174.	Secciones transversal y longitudinal del Entierro 196 de Tikal. Tomadas de W. R. Coe (1990).....	165
Figura 175.	Edificio en Tulum, donde se aprecian las huellas del forjado de vigas de madera.....	165
Figura 176.	Bóveda apoyada sobre dinteles de madera y columnas en forma de serpiente características del período Floreciente Modificado de Chichén Itzá. Tomado de W. H. Holmes (1895).....	166
Figura 177.	Planta del Templo de los Guerreros de Chichén Itzá tomada de G. Andrews (1995e, p. 343).....	166
Figura 178.	Sistema de bóvedas sobre dinteles de madera en el Templo de los Tableros Esculpidos de Chichén Itzá.....	166
Figura 179.	Formas de la bóveda según el tipo de dovela utilizado.....	169
Figura 180.	Bóveda de la Estructura II de Chicanná.....	169
Figura 181.	Edificio CA-6 en el Grupo Ah Canul de Oxkintok.....	169
Figura 182.	Edificio 7 de Yaxchilán.....	170

Figura 183.	Bóveda de la crujía interior de la Casa A del Palacio de Palenque.	170
Figura 184.	Bóveda en el Edificio 23 de la Acrópolis Norte de Tikal.....	171
Figura 185.	Bóveda de la Estructura 57 de Dzibilchaltún.....	171
Figura 186.	Detalle de la bóveda del cuarto 4 del Edificio 6J2 de La Blanca.	172
Figura 187.	Bóveda en el Edificio 218 de Yaxhá.....	172
Figura 188.	Bóveda de la crujía exterior del Palacio de las Ventanas de Tikal.	172
Figura 189.	Bóveda del Edificio 2 del Grupo Este de Kabah.....	173
Figura 190.	Tipo de remate superior de la bóveda según el tipo de dovela a partir de los datos de la muestra registrada.....	173
Figura 191.	Dovela bota en el Palacio del Gobernador de Uxmal.....	174
Figura 192.	Bóveda del cuarto oeste de la Casa de las Tortugas de Uxmal....	174
Figura 193.	Bóveda de ladrillo en el Palacio de Comalcalco. Fotografía de Gaspar Muñoz Cosme, 1992.....	174
Figura 194.	Ladrillo decorado con un motivo inciso procedente del Palacio de Comalcalco. Musée du Quai Branly, 2014.....	174
Figura 195.	Testero vertical en el Edificio XX de Chicanná.....	175
Figura 196.	Testero vertical en el Templo Chenes 1 de Uxmal.....	175
Figura 197.	Testero vertical con voladizo en Kankí.....	176
Figura 198.	Interior de la Estructura 3 de Bonampak.....	176
Figura 199.	Testero de la bóveda del cuarto 14 del Edificio 6J2 de La Blanca.	176
Figura 200.	Cuarto 8 del Edificio 3E1 de Chilonché.....	177
Figura 201.	Sillar en esquina en el Edificio I de Nakum.....	177
Figura 202.	Tipos formales de bóvedas escalonadas según el tipo de dovela.	178
Figura 203.	Sección del Edificio Sur de Kankí según Pollock (1980, p. 526).	178
Figura 204.	Sección del Edificio 3B5 de Oxkintok según Pollock (1980, p. 306).....	178
Figura 205.	Sistema de encajuelado de un basamento según G. Muñoz (2006, p. 92).....	179
Figura 206.	Palacio Maler en la Acrópolis Central de Tikal.....	179

Figura 207.	Edificio Q de Nakum. Se aprecia el aplanado de estuco en la coronación de los muros.....	180
Figura 208.	Detalle de la capa de estuco sobre la cama de los dinteles en el Edificio R de Nakum.....	181
Figura 209.	Fachada este de la Casa de las Tortugas de Uxmal, donde se aprecian los mechinales bajo la cornisa media.....	181
Figura 210.	Fachada principal del Palacio Maler de Tikal.....	182
Figura 211.	Edificio del Grupo G de Tikal.....	182
Figura 212.	Sección constructiva del cuarto 14 del Edificio 6J2 de La Blanca.....	183
Figura 213.	Detalle del retranqueo previo al arranque de la bóveda que se da en algunos edificios del Puuc.....	183
Figura 214.	Aparejo de las dovelas sin traba en el plano del intradós en la bóveda del cuarto 2 del Palacio de Oriente de La Blanca.....	184
Figura 215.	Detalle del remate de la bóveda del cuarto 3 del Edificio 6J2-Sub2 de La Blanca, donde se aprecia la tapa previamente estucada.....	184
Figura 216.	Sección constructiva del Palacio del Gobernador de Uxmal según J. Kowalski (1987, p. 101).....	185
Figura 217.	Detalle de la fachada oeste del Palacio del Gobernador de Uxmal.....	185
Figura 218.	Fachada del ala sur del Palacio de Labná.....	185
Figura 219.	Crestería apoyada sobre la fachada delantera en la Estructura 4 de Labná.....	186
Figura 220.	Edificio 74 de Yaxchilán.....	186
Figura 221.	Trasposición en piedra de la choza según E. H. Thompson (1911, p. 514).....	187
Figura 222.	Forma de trabajo de los morillos según L. Roys (1934, p. 52).....	187
Figura 223.	Bóveda en el ala este del Palacio de Labná. Tomada de H. E.D. Pollock (1980, p. 29).....	188
Figura 224.	Proceso constructivo de un edificio abovedado de Tikal según S. Loten (1991).....	188
Figura 225.	Sección de la crestería del Templo VI de Tikal según S. Loten (2017).....	189

Figura 226.	Croquis del cuarto 2 de la Subestructura 6J2-Sub2 de la Acrópolis de La Blanca donde se ha registrado la posición de los huecos de morillos. Proyecto La Blanca 2017.....	190
Figura 227.	Morillos decorados en el Edificio 5D-52 de Tikal.....	190
Figura 228.	Restos de la madera de un morillo en una bóveda del Edificio 6J2-Sub2 de La Blanca.....	190
Figura 229.	Diferentes tipos de cortes de las dovelas para la colocación de los morillos. Modificado de H. S. Loten (1991, p. 31).....	191
Figura 230.	Detalle de un hueco de morillo en la Casa de las Tortugas de Uxmal.....	191
Figura 231.	Detalle de un hueco de morillo doble sobre la línea de impostas de la en el Edificio Oeste del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal.....	191
Figura 232.	Distribución de los morillos en varias bóvedas del área de Petén.	192
Figura 233.	Distribución de los morillos en bóvedas de los sitios de Yaxchilán y Palenque, pertenecientes al área del Usumacinta.....	192
Figura 234.	Distribución de los morillos en bóvedas de las áreas de Río Bec y Chenes y en el caso concreto del Templo Chenes 1 de Uxmal.	192
Figura 235.	Distribución de los morillos en varias bóvedas de edificios del Puuc Clásico.....	194
Figura 236.	Distribución de los morillos en varias bóvedas de Uxmal, pertenecientes a las etapas más tardías del período Puuc Clásico.	194
Figura 237.	Hipótesis de colocación de plataformas de trabajo sobre los morillos en una bóveda de Río Bec según C. Gillot (2018, p. 395).....	195
Figura 238.	Bóveda en el Edificio 5D-86 de Mundo Perdido de Tikal.....	198
Figura 239.	Edificio 2C3 de Kabah.....	199
Figura 240.	Relación entre las variables geométricas de coeficiente de luz y alturas.....	200
Figura 241.	Coeficiente de luz λ en la muestra.	201
Figura 242.	Comparativa del coeficiente de luz λ en las bóvedas de Petén y del Puuc.....	201
Figura 243.	Relación entre las variables geométricas y la pendiente del intradós.....	202

Figura 244.	Sección de la Casa A del Palacio de Palenque. Tomada de W. H. Holmes (1895, p. 174).....	202
Figura 245.	Comparación entre diferentes inclinaciones del friso.....	202
Figura 246.	Geometría del modelo tras la construcción de la cubierta.....	203
Figura 247.	Geometría de las semibóvedas centrales en un edificio de dos crujeías.....	203
Figura 248.	Superior: Alzado sur de la Casa Colorada de Chichén Itzá tomado de G. Andrews (1991a, p.23). Inferior: Fotografía actual del edificio.....	203
Figura 249.	Muro del Juego de Pelota de Uxmal, en el que se aprecia la huella de los sillares desprendidos.....	204
Figura 250.	Secuencia hipotética del derrumbe de una bóveda de un edificio del Puuc Clásico según. H. Prem (1995, p. 30-31).....	205
Figura 251.	Número de estancias registradas según el número de muros con vanos de acceso.....	208
Figura 252.	Gráficos de acceso y circulación en diferentes tipologías distributivas de edificios tomados de J. C. Staneko (1996, p. 291).	208
Figura 253.	Planta de la Acrópolis de La Blanca con indicación de las superficies de bóvedas que se conservan.....	209
Figura 254.	Tipologías de distribución de las puertas.....	210
Figura 255.	Plantas de los templos mayores de Tikal. Modificada de O. Quintana y R. Noriega (1992, p. 57) y original de I. Marquina....	211
Figura 256.	Sección del templo superior del Edificio A de Nakum, tomada de O. Quintana y W. Wurster (2001, p. 91).....	212
Figura 257.	Edificio A de Nakum desde la Plaza Central.....	212
Figura 258.	Reconstrucción ideal de la Estructura 1 de Xpuhil según T. Proskouriakoff (1976, p. 53).....	212
Figura 259.	Portada provista de una columna central en una estancia del Palacio de los Cinco Pisos de Edzná.....	212
Figura 260.	Plantas del Palacio de Santa Rosa Xtampak tomadas de H. Hohmann (2017, p. 20).....	213
Figura 261.	Reconstrucción del interior de un edificio del Grupo de las Mil Columnas según Tatiana Proskouriakoff (1976, p. 101).....	213
Figura 262.	Interior de uno de los cuartos del Palacio Maler de Tikal.....	214

Figura 263.	Interior de uno de los cuartos del Palacio de las Ventanas de Tikal.....	214
Figura 264.	Izquierda: Hipótesis del cierre de las puertas mediante pasacordeles realizada por Hasso Hohmann (2017, p. 118). Derecha: Pasacordeles en la Estructura I de Chicanná.....	215
Figura 265.	Ejemplos de distintos elementos constructivos relacionados con el mobiliario interior y con el uso de textiles en el interior de las estancias.....	216
Figura 266.	Izquierda: Reconstrucción hipotética de varios sistemas de cierre de puertas con portavaras según Hasso Hohmann (2017, p. 120). Derecha: Portavaras en el Palacio de las Ventanas de Tikal.....	217
Figura 267.	Izquierda: Reconstrucción hipotética del Palacio Maler de Tikal según P. Harrison (2003, p. 107). Derecha: Vano de la fachada principal de dicho edificio, donde se aprecian sobre el dintel los orificios donde se colocarían los toldos.....	218
Figura 268.	Vasija K1453. Tomada de <i>Maya Vase Database</i> (Kerr 2008).....	218
Figura 269.	Vasija K2695. Tomada de <i>Maya Vase Database</i> (Kerr 2008).....	219
Figura 270.	Vasija K1728. Tomada de <i>Maya Vase Database</i> (Kerr 2008).....	219
Figura 271.	Superior: Escena representada en un grafito inciso en el Palacio de Oriente de La Blanca. Inferior: Reconstrucciones ideales de la escena. Dibujos de Érika Mejide. Fuente: Proyecto La Blanca.	220
Figura 272.	Plantas de los Edificios 6J3 y 6J1 de La Blanca y de las alas norte y sur del Edificio 3E1 de Chilonché. Modificado de G. Muñoz, A. Peiró, L. Gilabert y R. Martínez (2015, p. 364).....	222
Figura 273.	Planta del edificio este del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal tomada de G. Andrews (1994b, p. 33).....	222
Figura 274.	Cuarto interior del Edificio A de Nakum, con una luz de 60 cm.	223
Figura 275.	Estructura 216 de Yaxhá. Tomada de Ó. Quintana (2013, p. 202).....	224
Figura 276.	Templo del Adivino en Uxmal.....	224
Figura 277.	Fases constructivas del Templo del Adivino en Uxmal. Sección tomada de G. Andrews (1993b).....	224
Figura 278.	Secciones transversal y longitudinal de la bóveda del Entierro 116 en el Templo I de Tikal. Tomadas de W. R. Coe (1990, p. 258-259).....	225

Figura 279.	Cripta del Templo de las Inscripciones de Palenque. Tomado de H. Stierlin (1964, p. 46).....	226
Figura 280.	Pasaje urbano abovedado en Becán.....	227
Figura 281.	Pasaje abovedado que comunica dos patios en el sitio de Cahal Pech.....	227
Figura 282.	Interior de uno de los pasadizos abovedados del Satunsat de Oxkintok.....	227
Figura 283.	Escalera interior en el Edificio 5D-46 de Tikal.....	228
Figura 284.	Escalera abovedada en Cahal Pech.....	228
Figura 285.	Arco urbano en El Palomar de Uxmal.....	228
Figura 286.	Alzados de los arcos urbanos de Kabah, Labná, Ek Balam y del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal. Tomado de L. Gilabert, A. Peiró y R. Martínez (2017, p. 62).....	229
Figura 287.	Bóveda bajo escalinata en la Estructura 4 del Grupo B de Cobá.	229
Figura 288.	Media bóveda bajo escalinata en la Estructura 2C3 de Kabah.....	230
Figura 289.	Secciones transversal y longitudinal de la crestería del Templo I de Tikal. Modificado de W. R. Coe (1990, p. 253, 255).....	230
Figura 290.	Planta y sección de la Estructura 6 de Yaxchilán según Teobert Maler (1903).....	230
Figura 291.	Planta y sección del Edificio VII de La Honradez. Tomado de O. Quintana y W. Wurster (2001, p. 74-75).....	231
Figura 292.	Planta y secciones del Acueducto de Palenque. Modificado de A. Ruz Lhuillier (1955, p. 34-35).....	231
Figura 293.	Tapa de bóveda 1 de Ek Balam. Tomada de L. Staines Cicero (2008, p. 41).....	232
Figura 294.	Casa maya actual en Santa Elena, Yucatán.....	233
Figura 295.	Planta y sección-alzado de una casa maya tipo. Tomadas de F. J. López Morales (1993).....	233
Figura 296.	Plataforma con las huellas de los cuatro postes de una choza hallada durante la investigación de la Estructura A-V de Uaxactún. Tomada de A. L. Smith (1950).....	234
Figura 297.	Interior de una casa maya actual en Santa Elena.....	235

	Figura 298. Representación de la casa maya en la fachada del ala norte del Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal.....	236
	Figura 299. Representación de la choza en la Acrópolis de Ek Balam.....	237
	Figura 300. Fachada del edificio oeste del Cuadrángulo de los Pájaros de Uxmal.....	237
CAPÍTULO 8	Figura 301. Entierro 117 en la Estructura 5D-Sub1 de la Acrópolis Norte de Tikal. Tomado de W. R. Coe (1990).....	243
	Figura 302. Secciones transversal y longitudinal del Entierro 167 en la Estructura 5D-Sub10 de la Acrópolis Norte de Tikal. Tomado de W. R. Coe (1990).....	244
	Figura 303. Evolución del valor medio de la luz de las bóvedas estudiadas durante el período Clásico.....	245
	Figura 304. Evolución del valor medio de la altura total de las estancias abovedadas estudiadas durante el período Clásico.....	245
	Figura 305. Evolución del valor medio de la altura de las bóvedas estudiadas durante el período Clásico.....	246
	Figura 306. Evolución del valor medio del coeficiente de luz λ de las bóvedas estudiadas durante el período Clásico.....	246
	Figura 307. Tipos de dovelas registrados en cada una de las zonas geográficas estudiadas.....	248
	Figura 308. Valores de luz de las bóvedas estudiadas por áreas geográficas..	249
	Figura 309. Valores de luz de las bóvedas estudiadas por áreas geográficas.	250
	Figura 310. Valores del coeficiente de luz λ de las bóvedas estudiadas por áreas geográficas.....	250
	Figura 311. Evolución del valor medio de la luz de las bóvedas en cada región durante el período Clásico.....	251
	Figura 312. Evolución del valor medio de la altura de las estancias registradas en cada región durante el período Clásico.....	252
	Figura 313. Evolución del valor medio de la altura de las bóvedas en cada región durante el período Clásico.....	252
	Figura 314. Evolución del valor medio del coeficiente de luz λ de las bóvedas en cada región durante el período Clásico.....	253
	Figura 315. Bóveda en el grupo de Mundo Perdido de Tikal.....	254

Figura 316. Bóveda del cuarto 6 de la Estructura A-XVIII de Uaxactún antes de los trabajos de restauración del edificio. Tomada de A. L. Smith (1937).....	254
Figura 317. Bóveda en la Acrópolis Central de Naranjo.....	255
Figura 318. Bóveda en el sitio de Holmul. Fotografía: Carlos A. Valcárcel García, 2009.....	255
Figura 319. Bóveda en el Edificio E1 de la Acrópolis de Cahal Pech.....	255
Figura 320. Principales tipos de formas de bóvedas registradas en Petén durante el período Clásico.....	256
Figura 321. Bóveda en el Edificio Z de Nakum.....	256
Figura 322. Estructura 7 de Yaxchilán.....	257
Figura 323. Puerta de la Estructura 25 de Yaxchilán.....	258
Figura 324. Casa D del Palacio y Templo de las Inscripciones de Palenque...	258
Figura 325. Templo de la Cruz Foliada de Palenque.....	259
Figura 326. Templo del Sol de Palenque.....	259
Figura 327. Estructura I de Chicanná.....	260
Figura 328. Estructura X de Becán.....	260
Figura 329. Bóveda en el Palacio de Santa Rosa Xtampak.....	261
Figura 330. Detalle del revestimiento de estuco de la ménsula de remate en el Palacio de Santa Rosa Xtampak.....	261
Figura 331. Estructura 1 de Tohcok.....	261
Figura 332. Templo Chenes I en Uxmal.....	262
Figura 333. Edificio Sur del Grupo Principal de Kankí.....	265
Figura 334. Pasadizo abovedado del Satunsat de Oxkintok.....	265
Figura 335. Estructura 4 de Labná. Fotografía de Andrea Peiró Vitoria, 2015.....	266
Figura 336. Tipos de dovelas que pueden encontrarse en la Fase 3 y en general en los edificios del estilo Puuc Clásico según G.F. Andrews (1995e, p. 119).....	266
Figura 337. Bóveda en el Palacio Chich(CA-7) de Oxkintok.....	267

	Figura 338. Edificio 22 de Uxmal.....	267
	Figura 339. Estancia central del Palacio del Gobernador de Uxmal.....	268
	Figura 340. Estancia del Edificio Codz Pop (2C6) de Kabah.....	268
	Figura 341. Bóveda de la Estructura 1 de Chacmultún.....	269
	Figura 342. Principales tipos de formas de las bóvedas registradas en el área Puuc durante el período Clásico.....	269
	Figura 343. Evolución del valor medio de la luz de las bóvedas registradas en el área Puuc.....	269
	Figura 344. Evolución del valor medio de la altura de las estancias registradas en el área Puuc.....	270
	Figura 345. Evolución del valor medio de la altura de las bóvedas registradas en el área Puuc.....	270
	Figura 346. Interior del Templo de las Siete Muñecas de Dzibilchaltún.....	271
	Figura 347. Estructura 57 de Dzibilchaltún.....	271
	Figura 348. Detalle de bóveda en la Estructura 16 de Ek Balam.....	272
	Figura 349. Estructura 3C9 o Casa Colorada de Chichén Itzá.....	272
	Figura 350. Estancia principal del edificio superior del Conjunto de las Monjas de Chichén Itzá.....	272
	Figura 351. Dinteles sobre columnas en la Estructura 3C6 de Chichén Itzá...	273
	Figura 352. Testero de una de las bóvedas en el Templo de los Guerreros de Chichén Itzá.....	273
	Figura 353. Detalle del Templo Sur del Juego de Pelota de Chichén Itzá.....	273
CAPÍTULO 9	Figura 354. Planimetría esquemática de la bóveda del cuarto 3 del Templo 23 de la Acrópolis Norte de Tikal.....	275
	Figura 355. Planimetría esquemática de la bóveda del cuarto 3 del Edificio II de Hochob.....	275
	Figura 356. Bóveda parcialmente restituida sobre un nuevo dintel en el Edificio VII de San Clemente.....	276
	Figura 357. Bóveda por excavar en el Ala Este del Conjunto del Cuartel de Santa Rosa Xtampak.....	276
	Figura 358. Estado de conservación y bóvedas restauradas de la muestra.....	277

Figura 359.	Templo 23 de la Acrópolis Norte de Tikal, en el que se ha derrumbado la parte central de la semibóveda principal y de la tapa de la crujía interior.....	278
Figura 360.	Bóveda en el Edificio Y de Nakum.....	278
Figura 361.	Fachada sur del Palacio-Templo o Estructura I de Tabasqueño....	279
Figura 362.	Tipo de dinteles originales según el estado de conservación de las bóvedas de la muestra.....	280
Figura 363.	Dintel de piedra apeado en el Cuadrángulo Sureste de Santa Rosa Xtampak.....	281
Figura 364.	Templo de las Inscripciones de Tikal.....	281
Figura 365.	Dibujo de Frederick Catherwood del dintel de la Estructura 1A1 de Kabah, una vez sustraído de su posición. Tomado de J. Ll. Stephens (1843).....	282
Figura 366.	Vano de acceso al cuarto 24 del Palacio o Estructura 1 de Labná.	282
Figura 367.	Fotografía de la Casa C de Palenque tomada por Alfred P. Maudslay (1902) a finales del siglo XIX.....	283
Figura 368.	Fotografía de Teobert Maler de la puerta central de la Estructura II de Hochob, tomada de <i>Peninsula Yucatan</i> (1997).....	283
Figura 369.	Templo Este o Estructura 18 en el Cuadrángulo de las Monjas de Uxmal.....	284
Figura 370.	Bóveda en el Grupo Mundo Perdido de Tikal.....	284
Figura 371.	Cuarto 4 del Edificio 6J2 de La Blanca antes del inicio de las labores de excavación en el sitio. Fotografía: Gaspar Muñoz Cosme, 2004.....	284
Figura 372.	Vuelco como sólido rígido de una bóveda en la Casa D del Palacio de Palenque.....	285
Figura 373.	Cuarto 1 del Palacio de Oriente de La Blanca durante su excavación. Fotografía: Ricardo Torres Marzo, 2008.....	285
Figura 374.	Bóveda del Edificio D de Nakum.....	286
Figura 375.	Deterioro de la piedra caliza por meteorización en la Acrópolis Central de Tikal.....	286
Figura 376.	Bóveda del Edificio 216 de Yaxhá.....	286
Figura 377.	Dintel de hormigón armado con graves problemas de conservación en la Casa de las Tortugas de Uxmal.....	287

Figura 378. Edificios 5D-51 y 5D-52 de Tikal. Izquierda: fotografía de W. Heinze de 1966 tomada de C. Vidal y G. Muñoz (2012, p. 69). Derecha: fotografía actual.....	288
Figura 379. Fachada sur del Edificio 1 de Chacmultún. Imagen superior: fotografía de principios del siglo XX tomada de T. Maler (1997). Imagen inferior: fotografía actual.....	289
Figura 380. Estancia del Edificio 5D-52 de Tikal. Izquierda: fotografía de principios del siglo XX tomada de T. Maler (1911). Derecha: fotografía actual.....	290
Figura 381. Vista interior de la primera crujía del Templo del Sol de Palenque, donde se aprecia la zona de la semibóveda restituida.	290
Figura 382. Cargadero de hormigón armado con problemas de conservación en el Edificio Codz Pop de Kabah.....	291
Figura 383. Templo de las Siete Muñeca de Dzibilchaltún.....	291
Figura 384. Alzado oeste del Edificio R de Nakum.....	292
Figura 385. Bóveda en el Edificio D de Nakum.....	292
Figura 386. Bóveda en el Edificio N de Nakum.....	292
Figura 387. Acciones a seguir en los trabajos de conservación de los edificios abovedados mayas.....	297

Listado de tablas

		pág.
CAPÍTULO 5	Tabla 1. Niveles de información en el registro de bóvedas.....	91
	Tabla 2. Tipos de toma de datos en la muestra de bóvedas registrada.....	97
	Tabla 3. Número de bóvedas por nivel de información en la muestra considerada.....	98
	Tabla 4. Número de bóvedas según la información disponible.....	98
	Tabla 5. Distribución de los sitios, edificios y bóvedas consideradas en las Tierras Bajas Mayas del Norte y del Sur.....	99
	Tabla 6. Número de edificios y de bóvedas estudiadas en cada sitio arqueológico.....	101
	Tabla 7. Número de sitios, edificios y bóvedas estudiadas por zona geográfica.	103
	Tabla 8. Número de edificios y bóvedas estudiadas por período cronológico.	105
CAPÍTULO 6	Tabla 9. Número de campos en cada una de las tablas del banco de datos....	108
	Tabla 10. Tabla cronológica de equivalencias.....	114
	Tabla 11. Tabla cronológica de los edificios registrados en la Base de Datos de Bóvedas Mayas identificados por su ID.....	116
	Tabla 12. Número de campos de la tabla “Bóveda” por categorías.....	121
CAPÍTULO 7	Tabla 13. Tipos de dovelas en la muestra de bóvedas analizada.....	168
	Tabla 14. Número de estancias por tipología de distribución de las puertas...	210
	Tabla 15. Número de bóvedas registradas según la función del espacio que cubren.....	221
	Tabla 16. Propuesta de clasificación general de la bóveda maya.....	239
CAPÍTULO 9	Tabla 17. Situación de las bóvedas estudiadas.....	276
	Tabla 18. Bóvedas según los planos conservados.....	278

Resumen

Con una larga tradición constructiva que abarca más de diez siglos, la bóveda es uno de los elementos más característicos de la arquitectura maya. Este sistema de cubierta de fábrica de piedra, basado en el principio de aproximación de hiladas, muestra, por un lado, la continuidad que tuvieron las técnicas constructivas en esta antigua civilización y, por otro, las diferencias en la evolución tecnológica que se dieron entre las distintas regiones de las Tierras Bajas Mayas.

Esta tesis doctoral aborda el estudio de la bóveda maya mediante el registro y el análisis minucioso de una amplia muestra de bóvedas de diferentes zonas geográficas y períodos cronológicos. La información obtenida del trabajo de campo, complementada con la de las fuentes bibliográficas, se ha introducido en una base de datos de bóvedas mayas diseñada ex profeso que permite archivar, analizar y comparar todas las características de las bóvedas. A partir del análisis de este corpus de bóvedas desde un punto de vista arquitectónico, atendiendo a diferentes aspectos como la forma, la geometría, la función, el simbolismo y las características constructivas del espacio abovedado, con especial atención a los avances tecnológicos que se producen, se propone una clasificación general de la bóveda maya según varios criterios.

Mediante el estudio comparativo de la muestra se han identificado los rasgos característicos y las particularidades de las bóvedas de varias zonas geográficas y se ha analizado su evolución a lo largo del tiempo, lo que permite formular hipótesis sobre las relaciones históricas entre las diferentes regiones y las posibles transferencias del conocimiento constructivo.

Además, la observación del estado de conservación actual de los edificios estudiados nos ha permitido analizar los procesos de deterioro que afectan a estas estructuras y proponer como conclusión unos criterios generales aplicables a la excavación, conservación y restauración de los edificios abovedados mayas, una arquitectura de gran valor patrimonial y que, en muchos casos, se encuentra en grave riesgo de conservación.

Resum

Amb una extensa tradició constructiva de més de deu segles, la volta és un dels elements més característics de l'arquitectura maia. Aquest sistema de coberta de fàbrica de pedra, basat en el principi d'aproximació de filades, mostra, per una banda, la continuïtat que tingueren les tècniques constructives en aquesta antiga civilització i, d'altra banda, les diferències en l'evolució tecnològica que es produïren entre les diferents regions de les Terres Baixes Maies.

Aquesta tesi doctoral aborda l'estudi de la volta maia mitjançant el registre i l'anàlisi minuciosos d'una ampla mostra de voltes de diferents zones geogràfiques i períodes cronològics. La informació obtinguda en el treball de camp, complementada amb la de les fonts bibliogràfiques, s'ha introduït en una base de dades de voltes maies dissenyada expressament i que permet arxivar, analitzar i comparar totes les característiques de les voltes. A partir de l'anàlisi d'aquest corpus des d'un punt de vista arquitectònic, atenent a diferents aspectes com la forma, la geometria, la funció, el simbolisme i les característiques constructives de l'espai voltat, amb especial atenció als avenços tecnològics que es produeixen, es proposa una classificació general de la volta maia segons diferents criteris.

Durant l'estudi comparatiu de la mostra s'han identificat els trets característics i les peculiaritats de les voltes de diverses zones geogràfiques i s'ha analitzat la seua evolució al llarg del temps, el que permet formular hipòtesis sobre les relacions històriques entre les diferents regions i sobre les possibles transferències del coneixement constructiu.

A més, l'observació de l'estat de conservació actual dels edificis estudiats ens ha permès analitzar els processos de deteriorament que afecten a aquestes estructures, i proposar com a conclusió uns criteris generals aplicables a l'excavació, conservació i restauració dels edificis voltats maies, una arquitectura de gran valor patrimonial i que, en molts casos, es troba en greu risc de conservació.

Abstract

The vault, used by the ancient Maya for more than ten centuries, is one of the most characteristic elements of Mayan architecture. This stone roof system, based on the principle of corbelling, shows, on the one hand, the continuity of construction techniques employed by this ancient civilization and, on the other hand, how technological progress differs between the regions of the Maya Lowlands.

The present doctoral thesis examines the Mayan vault by recording and analysing a wide sample of vaults from different geographical zones and chronological periods. The data collected during fieldwork was complemented by results from previous studies and put into a database that was created to archive, analyse and compare all the features of the vaults. This corpus was then analysed from an architectural perspective, taking into account aspects such as form, geometry, function, symbolism and constructive features of the vaulted spaces, and paying special attention to the technological developments that were observed. Based on this analysis, a general classification of the Mayan vault according to various criteria was proposed.

The comparative analysis of the sample allowed to identify the particularities and the most characteristic features of the vaults of various geographical areas, as well as to study their development over time. In the light of the results, hypotheses may be formulated on the historical relationships between the different regions and the possible transfers of building knowledge.

Moreover, the evaluation of the buildings' current state of conservation allowed the author to determinate the deterioration processes that affect them. Therefore, some general criteria were also proposed for the excavation, conservation and restoration practices in the Mayan vaulted buildings, an architecture with a great heritage value but which often presents serious conservation problems.

