

La bóveda de la habitación H-100 del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz, España). Hipótesis e interpretaciones a partir de la evidencia arqueológica

The vault of room H-100 at the site of Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz, Spain). Hypotheses and interpretations based on archaeological evidence

LUIS MIGUEL CARRANZA PECO
Instituto de Arqueología (CSIC-Junta de Extremadura)
luismiguelcarranza@iam.csic.es
<https://orcid.org/0000-0002-6861-6210>

JOSEP R. CASALS
J.R. Casals Digital Heritage
jrcasals@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5574-7679>

MANUEL FORTEA LUNA
Universidad de Extremadura
fortea@unex.es
<https://orcid.org/0000-0002-9700-9823>

SEBASTIÁN CELESTINO PÉREZ
Instituto de Arqueología (CSIC-Junta de Extremadura)
scelestino@iam.csic.es
<https://orcid.org/0000-0002-2050-7090>

ESTHER RODRÍGUEZ GONZÁLEZ
Instituto de Arqueología (CSIC-Junta de Extremadura)
esther.rodriguez@iam.csic.es
<https://orcid.org/0000-0002-5813-9035>

Resumen

En este trabajo planteamos la posibilidad de que las bóvedas sin cimbra, un recurso ampliamente documentado en el Mediterráneo Oriental y Central, ya se utilizasen en el extremo occidente durante la I Edad del Hierro. Para ello, analizamos los restos arquitectónicos recuperados en la denominada habitación H-100 del yacimiento tartésico de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz). A partir de aquí, hemos evaluado pormenorizadamente los principales sistemas de cubrición utilizados en el Mediterráneo protohistórico. El resultado de la investigación muestra cómo la bóveda es la alternativa más acorde con la evidencia arqueológica, con las características de la sala y con la propia lógica constructiva.

Palabras clave: arquitectura de tierra, Primera Edad del Hierro, Protohistoria, Tarteso

Abstract

In this paper we consider the possibility that vaults without shoring, a resource widely documented in the Eastern and Central Mediterranean, were already in use in the far west during the Early Iron Age. To this end, we analysed the architectural remains recovered from the so-called room H-100 at the Tartessian site of Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz). From here, we have evaluated in detail the main roofing systems used in the protohistoric Mediterranean. The result of the research shows that the vault is the alternative most in keeping with the archaeological evidence, the characteristics of the room and the construction logic itself.

Key words: Earthen architecture, Early Iron Age, Protohistory, Tartessus

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO / HOW TO CITE THIS ARTICLE

Carranza Peco, L.M., Fortea Luna, M., Rodríguez González, E., Casals J.R. y Celestino Pérez, S. (2024): "La bóveda de la habitación h-100 del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz, España). Hipótesis e interpretaciones a partir de la evidencia arqueológica". *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid*, 50(2): 189-213. <<https://doi.org/10.15366/cupauam2024.50.2.007>>.

1. Introducción: cúpulas y bóvedas como parte de la tradición mediterránea

En los análisis arquitectónicos de los contextos arqueológicos de la I Edad del Hierro de la península ibérica, la investigación ha asumido el uso de cubiertas planas como la única alternativa posible para la interpretación y reconstrucción de la cubierta de los edificios. Aunque esta interpretación es el resultado, entre otras cuestiones, de la falta de evidencias arqueológicas que permitan analizar los sistemas de cubrición de los edificios; al mismo tiempo, consideramos que se ha realizado una sobre explotación de paralelos, generalizando el modelo de cubiertas planas elaboradas mediante forjados de madera y ramajes posteriormente recubiertos de tierra. En esas interpretaciones ha podido influir el hecho de que las cubiertas planas se consideran más sencillas en su ejecución que otras opciones como las cúpulas o las bóvedas, por lo que la cubierta horizontal debería ser la opción más lógica. No obstante, se trata de un axioma que se aleja de la realidad constructiva (Carranza *et alii*, e.p.). Además, debemos tener en cuenta que, si bien se admite que las plantas cuadrangulares llegaron con los fenicios, no suele incidirse en el hecho de que junto a ellas también habrían llegado distintos sistemas de cubrición asociados a este tipo de plantas; y, entre todas las opciones, en el Levante ya existía una larga tradición en el empleo de soluciones que no se basaban en líneas rectas, caso de los arcos, las cúpulas y las bóvedas (p. ej. el-Naggar, 1999; Spencer, 1979; Emery, 1958; Besenval 1984; Beek, 1987; Dieter, 2003; Dalley, 2017). Sin embargo, aún no se conoce el momento de su origen o de su introducción en la península ibérica.

Dichas soluciones constructivas se han documentado arqueológicamente en cronologías anteriores a la I Edad del Hierro en diferentes formas y contextos. Entre las distintas tipologías destacan las cúpulas realizadas por aproximación de hiladas, presentes desde finales del IV milenio a. C. (Aranda *et alii*, 2021) y de las que disponemos de algunos buenos ejemplos en el Suroeste, como el Tholos de la Pastora en Valencina de la Concepción (Sevilla) (Vargas *et alii*, 2019: 113-141); la torre-fortaleza identificada en el poblado calcolítico de Zambujal (Torres Vedras,

Portugal) (Arnold y Kunst, 2011: 36-86); o la existencia de una cúpula realizada mediante el empleo de un encofrado en el Tholos de Montelirio (Castilleja de la Cuesta, Sevilla) (Segovia Vergel *et alii*, 2016: 165-172) (figura 1). Este último caso demostraría además un conocimiento avanzado en geometría, necesario para elaborar el encofrado, aunque el proceso constructivo de la cúpula admite otras alternativas.

Estos ejemplos demuestran que, al menos estas tipologías, se conocían en la península ibérica con anterioridad a la colonización fenicia. Sin embargo, no existe continuidad, puesto que a partir de ese momento no se han documentado ejemplos ni de bóvedas ni de cúpulas para la cubrición de estancias. Por tanto, aunque se suele atribuir a Roma el gran desarrollo de las bóvedas con cimbra (Moya, 1987: 99-102) y al Imperio Bizantino la difusión mediterránea de las bóvedas autosustentadas de adobe y ladrillo (Choisy, 1883; 1899; Huerta, 2012: 11), existen razones de peso para cuestionar unas fechas tan tardías para su empleo en el Mediterráneo occidental. En otras palabras, resulta extraño el silencio arquitectónico de dichas técnicas y que estas no se manifesten en la arquitectura hasta época tardoantigua y medieval, dado que, como ya hemos argumentado de forma profunda en otros trabajos (Carranza *et alii*, e.p.), se trata de un recurso ventajoso en numerosos aspectos y de largo recorrido.

Sin embargo, existe una evidencia de la utilización de cúpulas de adobe que parece haber pasado desapercibida o gozado de poco peso por parte de la investigación arqueológica. Nos referimos a los hornos, cuyo caso más destacado en el suroeste costero se localiza en el emblemático yacimiento de El Carambolo (Camas, Sevilla), interpretado como un santuario de fundación fenicia (Fernández Flores y Rodríguez Azogue, 2022). Aquí, aunque ya se identificaron en trabajos anteriores (Fernández Flores y Rodríguez Azogue, 2022: 184-187), una reciente publicación (Ferrer y Fernández Flores, e.p.) ha permitido conocer en profundidad tanto la composición material como la técnica constructiva que se utilizó para la elaboración de los hornos. En varios de ellos se conservaron parte de las cubiertas, siendo especialmente interesantes para nuestro caso de estudio en los que se ha podido identificar el arranque de

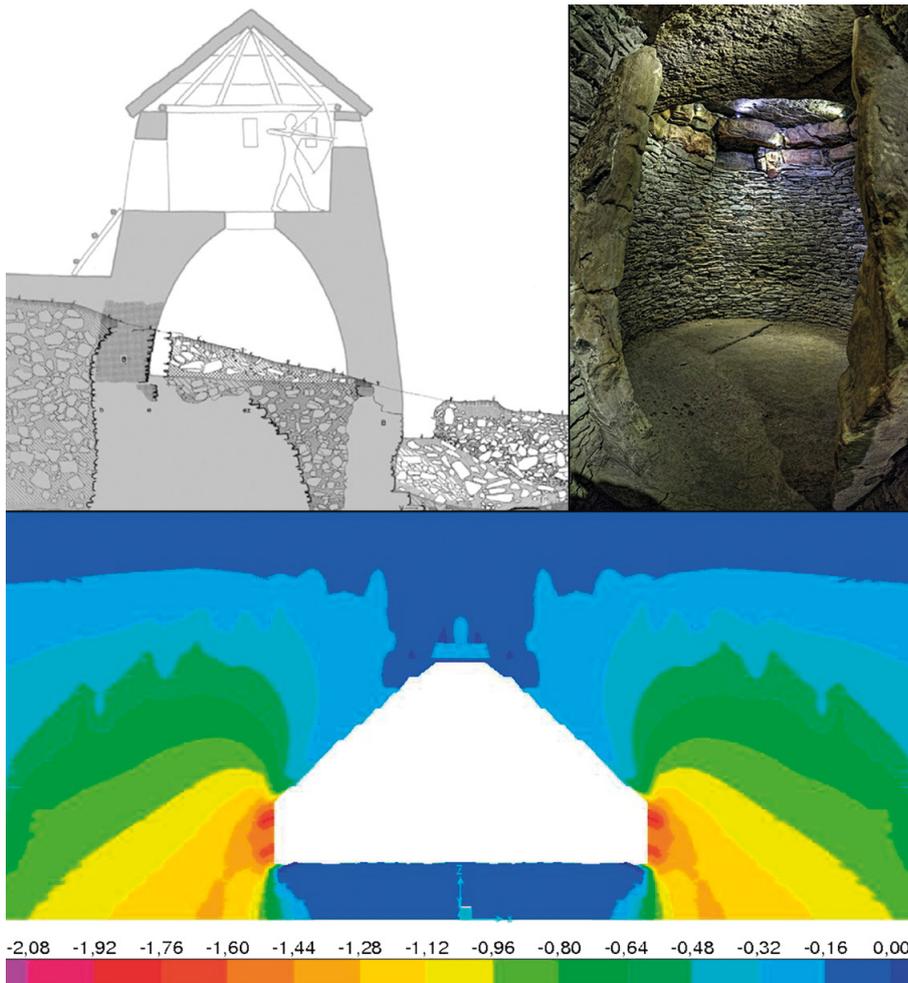


Figura 1. Izquierda: Propuesta de reconstrucción de una de las torres fortificadas del poblado protohistórico de Zambujal (Torres Vedras, Portugal) (Arnold y Kunst, 2011: 82, fig. 29.). Derecha: Imagen de la cámara principal del Tholos de la Pastora en Valencina de la Concepción (Sevilla) (Vargas et alii, 2019: 121, fig. 5). Abajo: Diagrama de tensiones propuesto en el estudio de la bóveda de la cámara principal del Tholos de Montelirio en Castilleja de la Cuesta (Sevilla) (Segovia Vergel et alii, 2016: 171, fig. 8)

Figure 1. Left: Proposed reconstruction of one of the fortified towers of the protohistoric settlement of Zambujal (Torres Vedras, Portugal) (Arnold and Kunst, 2011: 82, fig. 29.). Right: Image of the main chamber of the Tholos de la Pastora in Valencina de la Concepción (Seville) (Vargas et al., 2019: 121, fig. 5). Below: Stress diagram proposed in the study of the vault of the main chamber of the Tholos de Montelirio in Castilleja de la Cuesta (Seville) (Segovia Vergel et al., 2016: 171, fig. 8)

cúpulas. Todas ellas fueron de sección semicircular o hemiesférica construidas por aproximación de hiladas mediante el empleo de adobes recortados de distinta métrica y composición (Ferrer y Fernández Flores, e.p.). Las cronologías arrancan de la etapa denominada como Carambolo II (siglo VII a. C.), si bien la mayor parte de los restos constructivos asociados a hornos corresponden a la última etapa de uso del complejo o Carambolo I (finales del siglo VII a. C.) y al último momento de ocupación protohistórica del edificio (siglos VII-VI a. C.) en

relación a las actividades metalúrgicas llevadas a cabo en el mismo (Ferrer y Fernández Flores, e.p.).

Al caso del Carambolo debemos sumar ahora el horno documentado en la VI campaña de excavación del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz), perteneciente a una de las fases de ocupación más tardías del sitio. En el caso concreto del sistema de cubrición, comparte la misma técnica constructiva que la utilizada en los hornos de El Carambolo, la aproximación de hiladas mediante el recorte de adobes colocados de forma radial (figura 2).



Figura 2. Izquierda: Sección horizontal de la cubierta del horno 2051 documentado en el Carambolo I en el que se observa su fábrica mediante aproximación de hiladas (Imagen cedida por Álvaro Fernández Flores y Araceli Rodríguez Azogue). Derecha: Sección horizontal del horno documentado en el sector Este del yacimiento de Casas del Turuñuelo. Proyecto Construyendo Tarteso

Figure 2. Left: Horizontal section of the roof of kiln 2051 documented at Carambolo I, showing its construction by approximation of courses (Image courtesy of Álvaro Fernández Flores and Araceli Rodríguez Azogue). Right: Horizontal section of the oven documented in the eastern sector of the site of Casas del Turuñuelo. Construyendo Tarteso Project

La conclusión que podemos extraer es evidente: la cúpula de adobes por aproximación de hiladas fue utilizada para solucionar la cubierta de estos hornos, lo que demuestra que, al menos en el suroeste peninsular, conocían perfectamente la técnica constructiva. Por tanto, la actual invisibilidad que durante la I Edad del Hierro presentan los sistemas de cubrición la podemos atribuir a otras cuestiones: el mal estado de conservación de los edificios construidos en tierra, la casi inexistente preservación de los niveles de cubierta y los problemas asociados a su proceso de excavación.

En este sentido, en el mismo yacimiento de Casas del Turuñuelo ya se sugirió la posibilidad de que una de las estancias contase con una bóveda como sistema de cubrición (Rodríguez González y Celestino, 2017: 187).

Es por ello que en este trabajo recuperamos esta hipótesis para exponer los distintos datos arqueológicos de la denominada estancia H-100, pasando a evaluar las posibles soluciones que pudieron llevarse a cabo para su cubrición teniendo en cuenta todas las variables posibles, lo que incluye tanto la evidencia arqueológica directa e indirecta, como los cálculos estructurales y de geometría. Así, veremos cómo entre todas las opciones, la bóveda resulta la solución más lógica y coherente respecto a la información disponible.

2. Contexto cultural y territorial del yacimiento Casas del Turuñuelo

La etapa de transición entre el Bronce Final y la I Edad del Hierro trajo consigo una serie importante de cambios y transformaciones de todo tipo, fruto de la nueva situación del Mediterráneo en la que los fenicios fueron los principales protagonistas. Entre todas las áreas en las que estos movimientos fueron produciendo transformaciones, debemos destacar el núcleo formado por Huelva, Cádiz y Sevilla, en el suroeste de la península ibérica. Sobre el producto cultural y político surgido de la interacción entre foráneos e indígenas en este territorio también se han producido intensos debates, así como distintos posicionamientos a la hora de identificarlo como Tarteso (Campos y Alvar, eds., 2013 con bibliografía). Sea como fuere, se observa cada vez con mayor claridad cómo en este contexto se dio un profundo proceso de hibridación con aportes exógenos orientales y contribuciones locales, lo que creó una nueva realidad cultural a la que denominamos Tarteso (Celestino y López Ruiz, 2020). Eso sí, este territorio no debe entenderse como una unidad política, sino que muestra una extensa pluralidad cultural y peculiaridades propias en cada zona. Por el contrario, también presenta gran cantidad de elementos comunes, lo que hace que consideremos

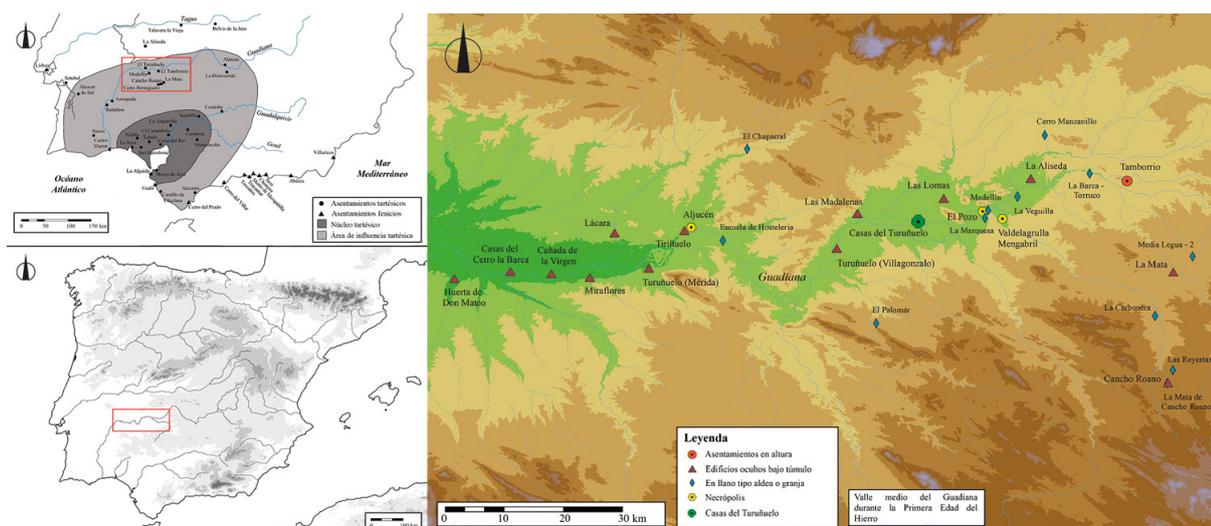


Figura 3. Poblamiento del valle medio del Guadiana durante la I Edad del Hierro. Proyecto Construyendo Tarteso

Figure 3. Settlement of the Middle Guadiana Valley during the 1st Iron Age. Constructing Tartessus Project

dentro del mismo marco cultural tartésico a las gentes emplazadas en el suroeste peninsular entre los siglos IX-VI a. C., cuya presencia se extendió hasta el siglo V a. C. en el tramo medio del río Guadiana (Rodríguez González, 2018). Toda esta dinámica incluye a la arquitectura, elemento de expresión cultural de primer orden en el que vemos cómo se mantienen características comunes entre los distintos yacimientos del suroeste y el resto del mundo mediterráneo, como el uso del adobe y las plantas cuadrangulares, pero con sus propias peculiaridades en cada una de las zonas.

A partir de ahí, el principal problema para conocer la arquitectura de Tarteso es el hecho de que en el área nuclear la conservación de los edificios resulta irregular, puesto que se emplazan en zonas que han experimentado una sucesión de momentos de ocupación en diversos momentos históricos. Esto ha llevado a que en gran parte de los casos únicamente se conserven los sobrecimientos de piedra y, en todo caso, reducidos vestigios constructivos, aunque con algunas valiosas excepciones, como son Doña Blanca (Puerto de Santa María, Cádiz) (Ruiz Mata, 2022), o el ya citado Carambolo (Fernández Flores y Rodríguez Azogue, 2022). Por el contrario, en el caso del valle medio del Guadiana es donde se están descubriendo una serie de yacimientos con un estado de conservación inusual. Dentro de este conjunto de sitios destacan Cerro Borreguero (Zalamea

de la Serena, Badajoz) (Celestino y Rodríguez González, 2018), Cancho Roano (Zalamea de la Serena, Badajoz) (Celestino 2022, con bibliografía) y La Mata (Campanario, Badajoz) (Rodríguez Díaz, 2004) como los que ya han sido excavados en extensión. Por otro lado, el edificio de Casas del Turuñuelo es la más reciente incorporación, aunque continúa en proceso de excavación. Lo importante para nuestro trabajo es el hecho de que los yacimientos clasificados como edificios tartésicos ocultos bajo túmulo (figura 3), tipología a la que pertenecen los yacimientos citados del Guadiana, sufrieron un complejo proceso de clausura en el que se produjo, sucesivamente, su incendio, destrucción, relleno, sellado y abandono del sitio (Rodríguez González, 2020: 283). Este cúmulo de factores, unidos a que no se construyeron nuevos edificios sobre ellos y a las condiciones de humedad constante y regular al estar ubicados junto al río es lo que ha permitido conservar su arquitectura de forma excepcional.

El caso del yacimiento de Casas del Turuñuelo supone el edificio de tierra mejor conservado de toda la Protohistoria del Mediterráneo occidental, lo que está permitiendo el estudio detallado de su arquitectura y de sus elementos constructivos, además de registrar técnicas inéditas hasta esos momentos (Rodríguez González *et alii*, 2020: 426). Estas peculiaridades son las que nos ha llevado a estudiar en profundidad los sistemas de cubrición empleados y,



Figura 4. Vista aérea del túmulo de Casas del Turuñuelo con la planta excavada al finalizar la VI Campaña de excavación, junio de 2024. Proyecto Construyendo Tarteso

Figure 4. Aerial view of the tumulus of Casas del Turuñuelo with the excavated floor plan at the end of the 6th excavation campaign, June 2024. Building Tartessus Project

sobre todo, a considerar la ampliación de posibilidades en cuanto a las distintas soluciones constructivas que pudieron haberse utilizado.

3. La estancia H-100

Aunque ya era conocido desde los años 80 del pasado siglo (Suárez de Venegas, 1986), los trabajos arqueológicos no dieron inicio hasta el año 2014 (Rodríguez González, 2018 con bibliografía), continuando hasta el presente (figura 4). Durante las primeras campañas, desarrolladas en la parte alta y central del túmulo, salió a la luz una de las mayores estancias del yacimiento, la denominada H-100.

Aunque este espacio ya ha sido publicado con anterioridad (Celestino *et alii*, 2016; Rodríguez González y Celestino, 2017; Celestino *et alii*, 2023), presentamos a continuación una revisión de su sistema de cubrición, un estudio gracias al cual hoy podemos aportar nuevos matices y datos que permiten dar consistencia a la hipótesis de partida.

3.1. Datos arquitectónicos y hallazgos en la estancia H-100

La estancia H-100 (figura 5), de orientación este-oeste, presenta unas dimensiones de $\pm 5,30$ m por $\pm 11,50$ m, alcanzando una superficie total de ± 61 m². La habitación se encuentra cerrada por cuatro muros



Figura 5. Imagen aérea y sección Norte-Sur de la habitación H-100 del yacimiento de Casas del Turuñuelo. Proyecto Construyendo Tarteso

Figure 5. Aerial image and north-south section of room H-100 at the site of Casas del Turuñuelo. Construyendo Tarteso Project

de adobe con diferentes dimensiones, función arquitectónica y estado de conservación. Los muros largos, dispuestos en los lados norte y sur, presentan alturas máximas de 1,30 m en el tramo sur, el mejor conservado, puesto que la ejecución de una fosa medieval y parte de una cimentación de piedra de esa misma cronología dañaron severamente el lienzo norte. La principal peculiaridad métrica es que la pareja de muros largos presenta un ancho de $\pm 1,70$ m, contrastando con el $\pm 1,20$ m de los muros cortos.

También destaca el hecho de que el muro sur presenta una leve curvatura, progresiva y con una gradación uniforme de 80° hacia el interior de la sala (figura 5); si bien en el caso del muro norte no es tan evidente, tanto por el peor estado de conservación como por el banco corrido que se le adosa. Uno de los puntos clave se encuentra en el rincón que forma

el encuentro entre el muro corto este y el muro largo sur, donde se aprecia la unión de los dos muros sin ningún tipo de rotura y, si bien no podemos determinar el aparejo y la unión de los adobes, sí queda clara la continuidad de los revestimientos. Esto evidencia que la curvatura del muro sur no se debe a patologías modernas. En todo caso, podría ser consecuencia de un desvío del muro durante la vida útil del edificio posteriormente reparado, lo que le habría dado uniformidad gracias a un nuevo revestimiento.

El último detalle constructivo a destacar en el muro sur es el arranque de un pequeño saliente que se localizó en su coronación, a 1 m de altura desde el pavimento más moderno y 2 m desde el muro este. La regularidad en su forma y revestimiento corrobora que se trata de un moldeado intencional, y no fruto de la deformación ocasionada por la

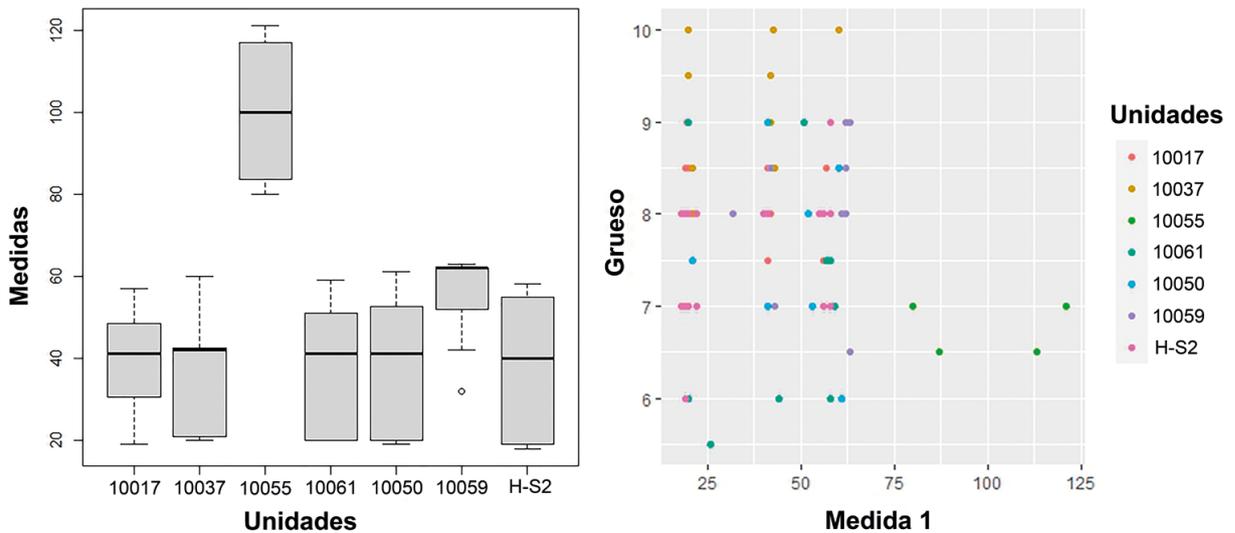


Figura 6. Diagrama de dispersión de la primera toma de muestras métricas de los adobes de yacimiento de Casas del Turuñuelo
Figure 6. Scatter plot of the first metric sampling of the adobes from the Casas del Turuñuelo site

destrucción del edificio. Sin embargo, y aunque en un primer momento fue identificado como el inicio de una ménsula o elemento decorativo, tampoco podría descartarse que se trate del punto bajo de una pechina, interpretación que tomamos con cautela.

En cuanto al resto de muros, debemos destacar la complejidad registrada en el paramento este, único punto en el que se ha localizado un acceso a la estancia. Aquí se han documentado distintas remodelaciones, con un primer vano de $\pm 2,53$ m de luz que dejó muestras de la carpintería y del sistema de puertas primigenio. En un momento más avanzado de la vida útil del edificio se construyeron nuevas jambas y escalones que estrecharon el acceso hasta los $\pm 1,70$ m. Estos añadidos se asocian a una nueva estrategia de cerramiento que también ha dejado numerosas evidencias, como son las maderas conservadas en forma de carbones, las improntas de la carpintería o el picado de las paredes, posiblemente relacionado con la marquetería de la nueva puerta.

Hemos podido documentar la fábrica de los muros gracias a un sondeo realizado en el extremo suroeste de la sala durante la primera intervención arqueológica en el sitio, así como por la documentación de piezas *in situ*. En consecuencia, sabemos que los cuatro muros se encuentran elaborados mediante el empleo del adobe con diversa composición (Cutillas-Victoria *et alii*, 2024) y formato, alternando piezas de $40 \times 20 \times 10$ cm, $55 \times 40 \times 10$ cm y 55×20

$\times 10$ cm, módulos empleados en gran parte del edificio (Carranza *et alii*, 2023: 159). Sin embargo, el estudio de estos patrones de medidas está siendo analizado actualmente mediante la aplicación de métodos estadísticos que nos permiten conocer la métrica empleada en esta tipología de construcciones (Carranza 2024: 23). Así, los avances preliminares, realizados sobre 65 adobes del yacimiento de Casas del Turuñuelo, establecen el valor medio del grosor en ± 8 cm, mientras que los 10 cm son las medidas máximas (figura 6).

A todos los detalles constructivos *in situ* anteriores hay que sumar tanto los materiales ausentes como los recuperados en el proceso de excavación. En efecto, durante la etapa de vaciado de la estancia no se localizó resto alguno de estructuras verticales más allá de los muros, ya fuesen pilares, pilastras, pies derechos o algún otro elemento destinado a la sujeción de una cubierta. Del mismo modo, también carecemos de restos constructivos que puedan asociarse a ningún tipo de cubiertas horizontales. Esto contrasta de forma significativa con el resto de estancias del edificio, dado que en todas aquellas que estuvieron cubiertas por forjados planos se han podido recuperar algún tipo de resto que lo evidencia, caso de los restos de vigas carbonizadas o de las improntas dejadas por la materia vegetal de los forjados, una de las evidencias más claras y comunes en el yacimiento. Es decir, H-100 es la única estancia

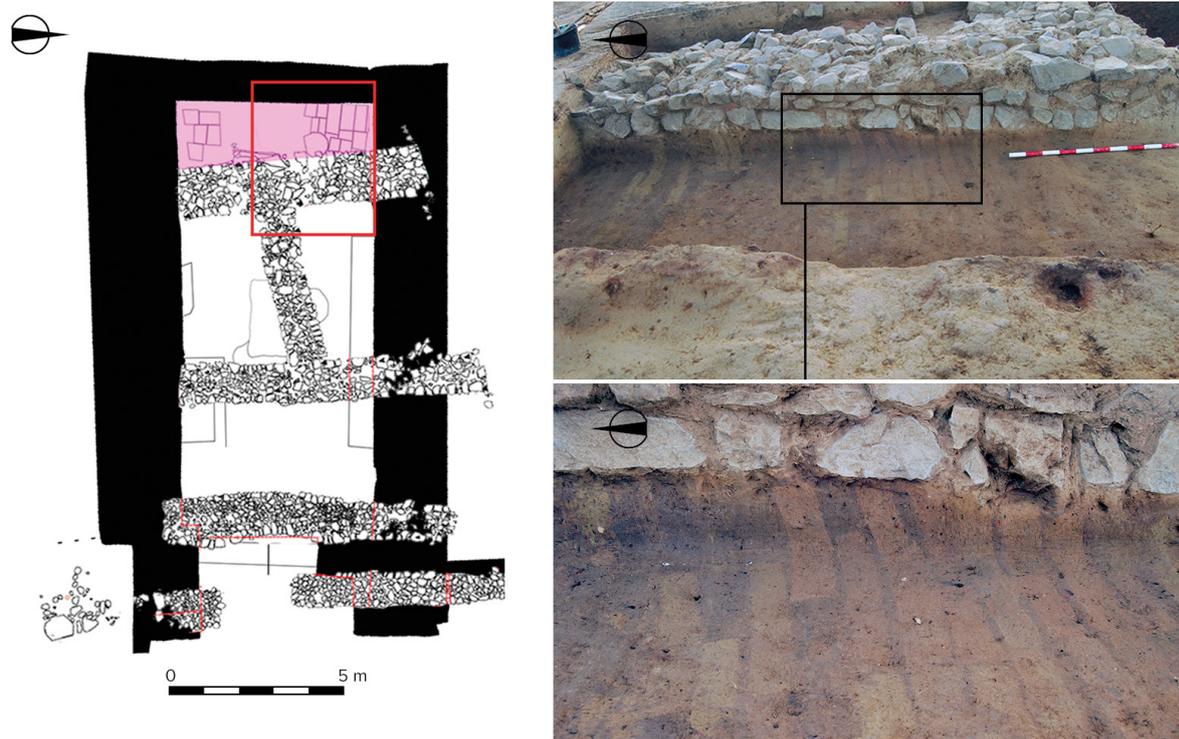


Figura 7. Localización del derrumbe de adobes en disposición Norte-Sur situado en el extremo oeste de la estancia H-100 y bajo la fase medieval del yacimiento de Casas del Turuñuelo. Proyecto Construyendo Tarteso

Figure 7. Location of the north-south adobe collapse located at the west end of room H-100 and under the medieval phase of the site of Casas del Turuñuelo. Constructing Tartessus Project

en la que hemos comprobado que no se encontraba al aire libre, pero que no ha dejado muestra alguna de haber tenido una cubierta plana formada mediante forjados.

Por el contrario, sí se documentó abundante material modulado dentro del relleno de la estancia. En las cotas más altas sorprendió el hallazgo de numerosas hiladas de adobe en orientación norte-sur en el extremo oeste de la sala, limitados por los propios muros de la estancia H-100 (figura 7). Lo llamativo es que, aunque se identificó como parte del posible derrumbe de los muros, mantenían una disposición regular, además de que las hiladas se disponían de forma inclinada, con una gradación de $\pm 80^\circ$ respecto a la línea horizontal. Sin embargo, estas cotas superiores fueron las más afectadas por la construcción de edificios posteriores en lo alto del túmulo. Así, aunque esta unidad de adobes se encontraba seccionada por los cimientos de una construcción medieval, sería posible que se hubiese extendido en dirección este.

El segundo hallazgo de material constructivo encontrado en la sala como parte del relleno

es un derrumbe de adobes rubificados que colmata toda la superficie de la estancia en orientación este-este, con una mayor concentración de material en la zona central que junto a los muros (figura 8, UE 148). Esa disposición resulta significativa en tanto que concuerda con las dinámicas de colapso y derrumbe habituales de arcos, cúpulas y bóvedas (Heyman, 1982; 1988; 1995; Huerta, 2004: 71 y ss.). En este punto, también se ha comprobado mediante la aplicación de técnicas arqueométricas cómo el incendio asociado a la fase de clausura alcanzó temperaturas de 900° (Rodríguez González y Celestino, 2017: 187), lo que provocó la fragmentación y desintegración de gran parte del material constructivo asociado a los muros y a la cubierta. De hecho, se ha documentado fehacientemente cómo se inició un proceso de vitrificación para el cual son necesarios entre 900 y 1200°C (Caro, 2002: 74) descontrolado y heterogéneo, tanto en los fragmentos de revestimiento como en los propios adobes. Esto contrasta con otros contextos de los que disponemos en el yacimiento en los que los adobes se han cocido

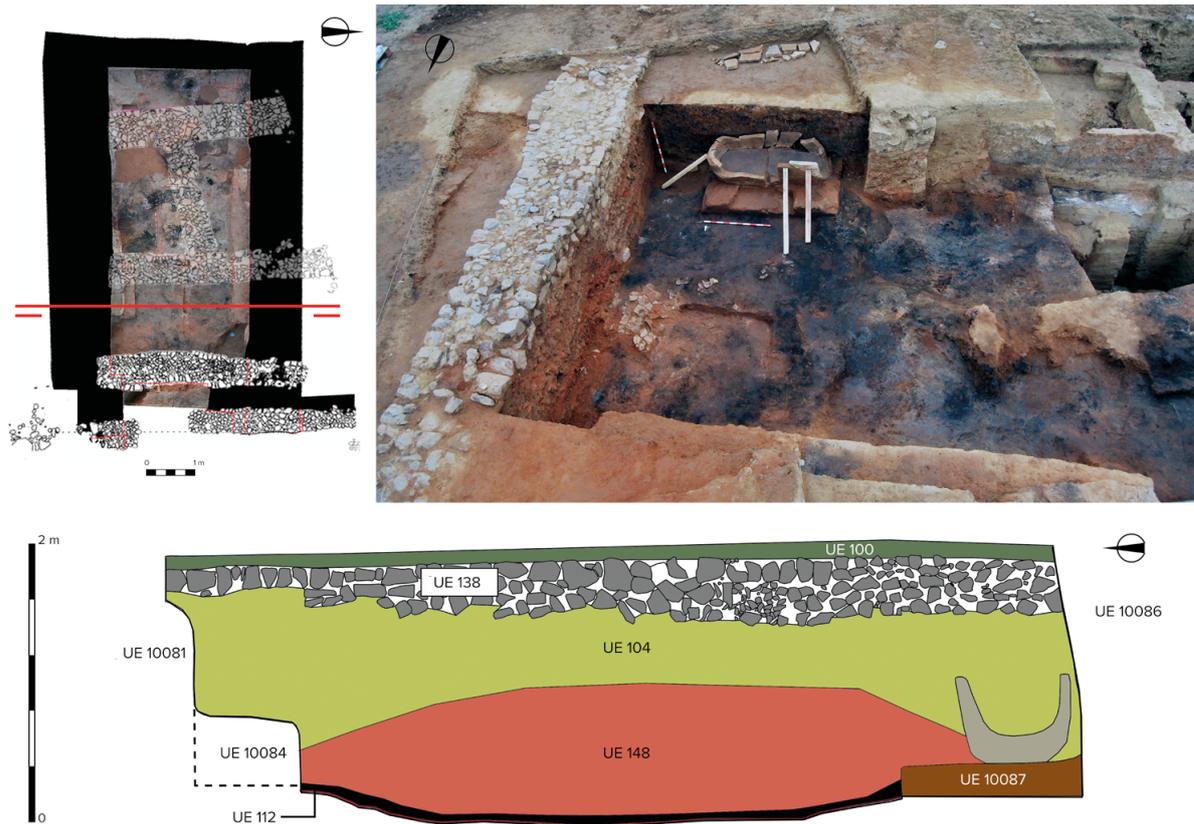


Figura 8. Sección del proceso de excavación de la estancia H-100 en el que se aprecia el derrumbe de adobes rubificados (UE 148)

Figure 8. Section of the excavation process of room H-100 showing the collapse of rubified adobe (UE 148)

parcialmente por el incendio, pero sin alcanzar las temperaturas registradas en H-100, lo que habla del efecto horno que se produjo, el cual también invita a pensar en la existencia de una bóveda.

El incendio y la destrucción asociada a la clausura ritual del edificio, unido a las alteraciones fruto de la construcción medieval, ha provocado que contemos con un importante volumen de material constructivo dentro del relleno de la estancia, pero en forma de adobes sumamente fragmentados. Esto ha causado que no hayamos podido recuperar el módulo completo de dichos adobes, a excepción de los gruesos, los cuales presentan los 8 cm de media, al igual que en el resto del edificio. En cuanto a la composición de los mismos, hemos comprobado que contaban con un bajo porcentaje de materia vegetal, por lo que cobran sentido las densidades aparentes obtenidas de $2-1,8 \text{ g} \times \text{cm}^3$ ($2000-1800 \text{ kg} \times \text{m}^3$).

Por último, debemos mencionar por su enorme interés los restos de mortero de cal hallados en el sector oeste de H-100, pues son una muestra de los

recursos tecnológicos con los que contaron los constructores. Este material se utilizó para formar las paredes de una pileta embutida en el propio suelo de la estancia, además de que parte del pavimento estuvo recubierto de un mortero similar. Lo que nos interesa a nivel compositivo es que, aunque actualmente nos encontramos trabajando en su caracterización, las últimas técnicas arqueométricas que hemos aplicado han arrojado evidencias de que el mortero puede contener yeso en su composición. La importancia de este material es que cuenta con una serie de características que permitirían la realización y el desarrollo sistemas de cubrición específicos en los que ahondaremos más adelante.

3.2. Compatibilidad e incompatibilidad de sistemas de cubrición

A partir de toda la información expuesta, la cuestión principal consiste en analizar qué alternativas de cubrición pudieron darse a partir de la evidencia

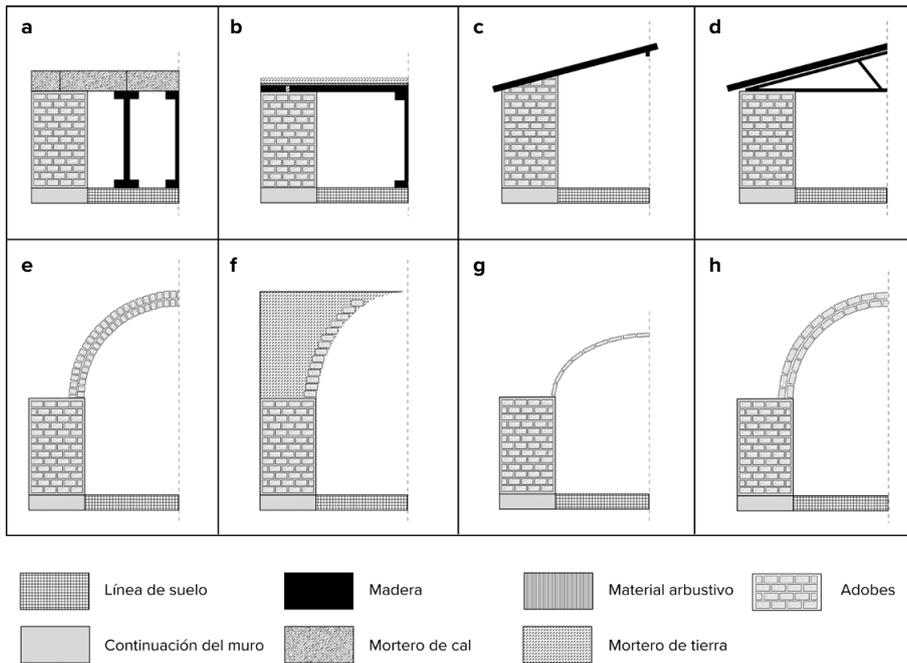


Figura 9. Esquemización de los tipos de cubiertas básicas planteadas en el estudio de la cubrición de la estancia H-100 de Casas del Turuñuelo. a. Adintelada con bloques de mortero de cal. b. Forjados con terraza transitable. c. A un agua. d. A varias aguas con cerchas. e. Bóveda de rosca con cimbra. f. Bóveda por aproximación de hiladas. g. Bóveda tabicada. h. Bóveda de cañón por hojas inclinadas. Elaboración propia

Figure 9. Diagram of the basic types of roofs proposed in the study of the roofing of room H-100 at Casas del Turuñuelo. a. Linteled with lime mortar blocks. b. Floor slabs with walkable terrace. c. One-water. d. Multi-pitched with trusses. e. Screw vault with falsework. f. Vault by approximation of courses. g. Partitioned vault. h. Pitched brick vault. Own elaboration

arqueológica y del contexto histórico-cultural. En este punto, estamos asumiendo que la sala no estaría al aire libre, puesto que no existe ningún indicador que apoye esta hipótesis, como serían las superposiciones de revestimientos y reparaciones de pavimentos asociadas a las labores de mantenimiento. Por consiguiente, y si bien existen diferentes criterios y clasificaciones de los sistemas de cubrición (cf. Martínez Fernández, 2010: 90), utilizamos la siguiente categorización (figura 9), atendiendo a las alternativas básicas disponibles en el mundo antiguo y valorando todas y cada una de las posibilidades. En cuanto a cúpulas y bóvedas, la clasificación se ha basado en el proceso constructivo y el aparejo, por lo que admiten distintos materiales y geometrías.

Para cubrir espacios que presenten una planta cuadrangular es posible implementar estrategias horizontales u oblicuas, ya sea mediante dinteles de piedra o diferentes alternativas basadas en el empleo de material vegetal. El problema determinante

es que estos sistemas tienen limitaciones estructurales establecidas por la relación entre los materiales y la dimensión de los espacios. Sin embargo, le prestamos especial atención a esta tipología en tanto que las cubiertas planas construidas mediante forjados son las más habituales en el mundo fenicio y en el ámbito tartésico, incluyendo al yacimiento de Casas del Turuñuelo.

En el caso de haberse cubierto con dinteles de piedra (figura 9a), habríamos encontrado, para empezar, problemas previos a la puesta en obra, como son los asociados a la gestión y manipulación de un material duro, su extracción, tallado y transporte, aspectos bien estudiados para el mundo romano mediterráneo (p. ej. Pensabene, 1972; Herman *et alii*, 1998; Russell, 2008; 2012). Más importante aún es que, como desarrolla Heyman en su *Esqueleto de piedra* (1995), las estructuras de fábrica trabajan bien a compresión, mal a flexión y nada a tracción (con matices). Esto quiere decir que, de haber tenido una cubrición adintelada,

las piezas estarían limitadas a una luz máxima antes de quebrar, por lo que deberían haber contado con algún tipo de soporte intermedio capaz de soportar las cargas. Junto a esto, destaca que en el yacimiento tampoco se han localizado en ninguno de los vanos piedras con el tamaño suficiente que hagan pensar que formaban parte de un adintelamiento pétreo.

Dentro del yacimiento encontramos varios casos en los que se ha documentado el trabajo de materiales pétreos para uso arquitectónico: las cuarcitas semilabradas de los cimientos y sobrecimientos, los bloques de mortero de cal utilizados en la escalera del patio (Rodríguez González *et alii*, 2020) y las pizarras trabajadas colocadas en escalones y pavimentos. El primer supuesto únicamente muestra que conocían el material, pero no que lo utilizaran como parte de elementos constructivos que no fuesen los cimientos y sobrecimientos. En cuanto a los bloques de mortero de cal, cuyo estudio detallado publicamos en anteriores trabajos (Rodríguez González *et alii*, 2021), evidencian que conocían la tecnología necesaria para la elaboración de bloques paralelepípedos de mortero de cal. Además, existen datos que sugieren que los bloques utilizados en la escalera podrían haber formado parte de otra edificación o elemento constructivo, sin que la escalera fuese su destino original. Con esto vemos que se disponía del conocimiento técnico necesario para la elaboración de bloques; sin embargo, no se ha recuperado evidencia física de que en algún momento estuviesen en la habitación H-100.

En cuanto a la posibilidad de que los forjados hubieran sido realizados de madera (figura 9b), tendríamos la necesidad inicial de identificar el taxón para conocer sus cualidades físicas y capacidades estructurales. Así, al igual que en el caso de los dinteles, la dimensión de la sala habría estado condicionada por la longitud y resistencia de las vigas, pero con la diferencia de que la madera es un material que sí trabaja bien a flexión. Diversos trabajos centrados en la reconstrucción paleoambiental de la península ibérica (Carrión, 2012: 553 y ss.), otros enfocados en la cuenca del Guadiana durante la I Edad del Hierro (Hernández Carretero, 2008), así como las recopilaciones de análisis polínicos y antracológicos, atestiguan la amplia disponibilidad de taxones de la familia *Pinaceae* (pino) en el entorno

(Rodríguez González, 2020: 288-293). Esto coincide con el hecho de que los taxones asociados al pino fueron los que se utilizaron en la construcción de los edificios tartésicos del Guadiana Medio, como se documentó en La Mata (Campanario, Badajoz) (Duque, 2004: 345-385) o en el propio Turuñuelo de Guareña. Dicha especie (pino silvestre) puede alcanzar los 30-40 metros de talla y fuste, aunque varía, al igual que el resto de sus características, dada la amplitud ecológica en la que se desarrolló (Vignote Peña, 2016). Es decir, sí se dispondría de maderas con la suficiente talla para salvar la luz de la estancia. Sin embargo, aunque existen casos de cubiertas de madera que cubren luces amplias, las características de los taxones de la familia *Pinaceae* y las grandes cargas habrían hecho complicado salvar una luz tan grande sin disponer de algún elemento intermedio, al igual que sucedía en el caso de los dinteles pétreos.

A este respecto, también resulta llamativo cómo en otras estancias del yacimiento, de luces mucho menores, sí se utilizaron pilares de madera para sostener las vigas que forman parte de los forjados de las cubiertas, caso de la Estancia S-1, también denominada Estancia del Banquete (Rodríguez González y Celestino, 2019). Por tanto, que en salas más pequeñas se encuentren estos elementos y que en otra más grande y de mayores exigencias estructurales no aparezcan, resulta un dato revelador. La única explicación sería que en el caso de H-100 se hubiese producido el desmonte de las piezas de madera, práctica que se ha documentado en otros edificios de similares características constructivas y filiación cultural, como en el ya citado Carambolo (Camas, Sevilla) (Fernández Flores y Rodríguez Azogue, 2022: 115). Sin embargo, esa actividad de reaprovechamiento y reutilización de la madera no se ha documentado en ninguna otra parte del edificio. Al contrario, se han localizado evidencias de los forjados en todas y cada una de las estancias que estuvieron cubiertas mediante este sistema, ya sea gracias a las improntas o por los restos del vigado y entrevigado. Por último, debemos destacar que los sistemas expuestos de cubiertas planas no exigen grandes grosores en los estribos para soportar los empujes, por lo que tampoco se requeriría realizar muros de la anchura que presenta H-100.

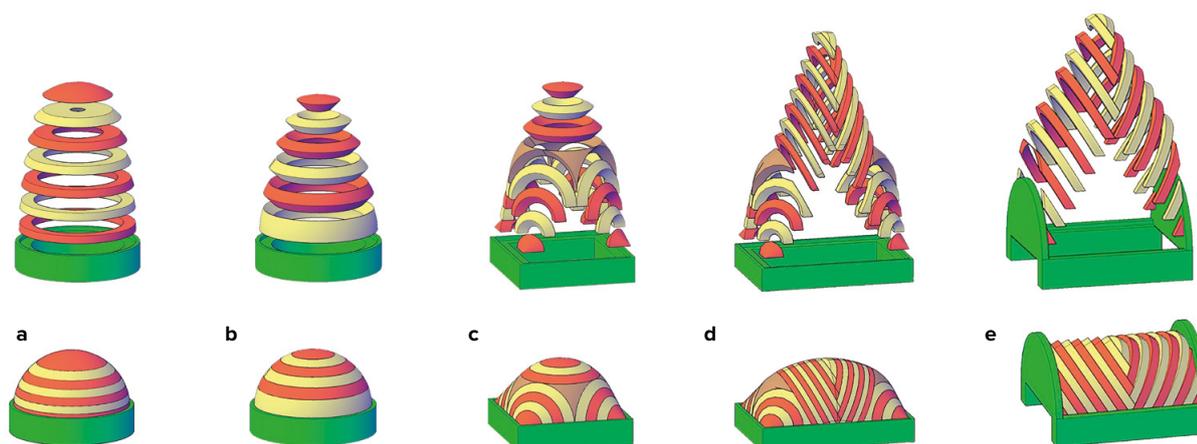


Figura 10. Evolución hipotética desde la cúpula de hiladas horizontales a la bóveda autosustentada. a. Despiece de una cúpula circular de hiladas horizontales. b. Despiece de una cúpula circular de hiladas inclinadas. c. Despiece de una cúpula de base cuadrada de hiladas inclinadas. d. Despiece de la bóveda mesopotámica. e. Despiece de la bóveda de cañón por hojas inclinadas

Figure 10. Hypothetical evolution from the horizontally tiered dome to the self-supporting vault. a. Exploded view of a circular horizontally tiered dome. b. Exploded view of a circular slanted tiered dome. c. Exploded view of a square-based slanted tiered dome. d. Exploded view of the Mesopotamian vault. e. Exploded view of the pitched brick vault

Un aspecto que no se ha mencionado respecto a las cubiertas planas es que, además de otras exigencias, siempre requieren de una pequeña inclinación (1-5 %); la necesaria para el evacuado de aguas y para que la erosión por la lluvia sea mínima (Gil Albarracín, 1992; Nourissier *et alii*, 2002), pero siempre contando con que la superficie siga siendo transitable. Si bien este requisito no cambia sustancialmente el funcionamiento estructural de la cubierta, sí varía en el caso de que se hubiese realizado una cubierta a una o a varias aguas (figuras 9c y 9d).

Si nos atenemos a los sistemas de cubiertas no basados en líneas rectas, encontraríamos, como primera alternativa, las cúpulas dobles sucesivas. Aquí debemos tener en cuenta que el hecho de cubrir con una cúpula un espacio de base cuadrada implica la solución de problemas geométricos y constructivos complejos, como desarrollamos en anteriores trabajos (figura 10) (Carranza *et alii*, e.p.). En el caso que nos atañe, la adaptación del cuadrado al círculo se pudo haber solucionado mediante la ejecución de las pechinas. Esto nos hace pensar en la supuesta ménsula-pechina encontrada en la pared sur de H-100. Sin embargo, al no estar ubicada en un punto central de la sala, no encajaría desde el punto de vista métrico con ninguna geometría cupuliforme. Por consiguiente, la hipótesis de la existencia de varias cúpulas sucesivas no es coherente con los datos

que disponemos, puesto que, si bien existen tipologías que no necesitarían elementos auxiliares para su construcción (como en el caso de los hornos del Carambolo y el de Casas del Turuñuelo), sí habrían requerido de un muro u otro elemento constructivo con capacidad portante. Por otra parte, el grosor diferenciado de los cuatro muros indica que únicamente los dos muros largos tendrían una función estructural y una capacidad portante, circunstancias que nos inducen a pensar, aún con más convicción, en la posibilidad que este espacio de H-100 se hubiera cerrado mediante la construcción de una bóveda.

El primer grupo constructivo de bóvedas es el que utiliza elementos auxiliares encargados de soportarla durante el proceso de construcción y que luego son removidos, como cimbras, cerchas o puntales entre otros (figura 9e). El principal problema es que este tipo de soportes se retiran una vez concluida la obra, por lo que no quedan muestras de su empleo (Fortea y López Bernal, 2012: 29), aunque sí pueden evidenciarse por el tipo de aparejo. Además, también es importante tener en cuenta, especialmente en el caso de las cimbras, que su coste puede suponer un alto porcentaje en la construcción de la bóveda (Fortea y López Bernal, 2012: 29-31; Huerta, 2012: 11).

En nuestro caso, el hecho de no haberse conservado ni adobes completos, ni piezas pétreas o adoveladas, nos hace pensar en que, en caso de haberse

empleado un sistema de bóveda que requiriese cimbra u otro sustento auxiliar momentáneo, habría sido necesariamente con el propio adobe cuadrangular de $40 \times 20 \times 8$ cm, dato determinante para los cálculos necesarios que garanticen la viabilidad de nuestra propuesta. Cabe destacar, eso sí, que existen ejemplos directos de adobes trapezoidales en el yacimiento coetáneo de Cancho Roano (Zalamea de la Serena, Badajoz), formando parte de un altar escalonado perteneciente a su primera fase constructiva o Cancho Roano C, datada a comienzos del siglo VI a. C. (Celestino, 2001: 28-29, figs. 6 y 7). Sin embargo, el hecho de encontrar un caso aislado en el que el adobe tenga otra forma a la habitual, no significa que necesariamente se haya fabricado con un molde de tales dimensiones, sino que pudo cortarse para un uso concreto.

Una alternativa al caso anterior sería la bóveda de rosca, con una tipología en la que los adobes son dispuestos a soga (dejando vistas las caras menores), arrancando desde los dos lados largos, para lo que necesitan una estructura auxiliar para su construcción. Su proceso constructivo y sus variantes ya fueron descritos por Auguste Choisy (1883: 19-30), si bien no deja de ser una simple prolongación de los arcos construidos con cimbra, pero trabados entre sí en dirección longitudinal para cubrir un espacio rectangular en lugar de un vano. Así, las hiladas inferiores de adobe se podrían colocar sin ayuda de elementos auxiliares de sujeción mientras crean un cuerpo trabado, aunque a partir de cierto punto sí se hacen necesarios los apoyos para concluir el proceso de construcción, pudiendo utilizarse una amplia gama de elementos auxiliares, entre los que destacan las cimbras.

Esta opción tampoco necesitaría ningún tipo de apoyo en los muros cortos en tanto que las fuerzas recaen únicamente sobre los muros largos, únicos con función estructural. En consecuencia, el propio proceso de construcción tampoco habría requerido sustento de los muros cortos, por lo que incluso se podría haber prescindido de ellos. Sin embargo, sí habría sido imprescindible la utilización de una cimbra capaz de sostener una bóveda de tales dimensiones. Como mencionamos anteriormente en el trabajo, la construcción de una cimbra de estas

características habría sobrepasado enormemente la complejidad y, posiblemente, los costes de la bóveda en sí misma. Además, este enorme gasto en madera podría haberse destinado a las cubiertas planas, con una inversión de esfuerzo menor. Por tanto, no parece una opción óptima desde el punto de vista de la lógica constructiva.

En segundo lugar, valoramos la opción de las bóvedas que no dependen de elementos auxiliares para su construcción, es decir, las bóvedas autosustentadas. Dentro de este grupo constructivo podemos distinguir dos tipos: las denominadas de aproximación de hiladas (figura 9f) y las que dependen de un mortero de fraguado rápido y fuerte para evitar el deslizamiento y desprendimiento de las piezas (Choisy, 1883 [1997: 32-35]), caso de las bóvedas tabicadas (figura 9g) y las de hiladas inclinadas (figura 9h).

Como ya hemos señalado, la cimbra puede superar en coste y en complejidad de ejecución a la propia estructura que sostiene, por lo que a lo largo de la Historia se han ido buscando alternativas que permitiesen prescindir de su uso. En definitiva, el problema a solucionar consiste en cómo cerrar el espacio de una planta cuadrada o rectangular utilizando piezas más pequeñas que la propia luz de la sala y sin recurrir a elementos de madera.

Para cerrar la estancia H-100 con las mismas piezas con las que se construye el resto del muro, una de las opciones es el empleo de un aparejo en el que las sucesivas hiladas que forman la bóveda van cerrando hacia el interior del espacio que se desea cubrir (como sucede en los hornos). El problema es que, para que estas piezas no vuelquen hacia el interior, debemos colocar algún tipo de contrapeso que impida el colapso hasta que la bóveda esté concluida (Carranza *et alii*, e.p.). Este sistema constructivo cuenta con un largo recorrido en el Mediterráneo oriental, donde los tholos micénicos son sin duda los más representativos y mejor caracterizados, tanto desde el punto de vista geométrico como por la ejecución del proceso de construcción (Como, 2006; 2007; 2009). Además, es una estrategia que también está presente en el resto del Mediterráneo, caso de los dólmenes del suroeste de la península ibérica que mencionamos en la introducción (Arnold y Kunst, 2011: 36-86;

Vargas *et alii*, 2019: 113-141), los nuraghes sardos (Cappai y Pulina, 2017: 55-66) o las tumbas etruscas (Ortega, 1993: 59-61).

En nuestro caso, la inspección minuciosa de los restos de adobe del interior de la estancia, especialmente de los morteros de unión entre las piezas, no nos han permitido asociarlos a este tipo de solución. Por tanto, si bien es uno de los tipos de bóvedas claramente presentes y frecuentes tanto en el mundo mediterráneo como en el suroeste de la península ibérica, y que también resulta coherente respecto a la diferenciación de grosores de muros largos y muros cortos, no parece que fuese la opción utilizada en el yacimiento.

Como segundo supuesto de la categoría de auto-sustentadas, valoramos las bóvedas tabicadas (figura 9g), las cuales, técnicamente hablando, dependen del yeso en lugar de la cimbra para asegurar la sujeción provisional de las piezas de adobe hasta que la bóveda comience a funcionar mecánicamente. Si bien se trata de la opción constructivamente menos viable, la incluimos en los cálculos debido a que existen indicios de la utilización de yeso como parte de los morteros de cal empleados en Casas del Turuñuelo.

El uso del yeso como parte de morteros de cal demostraría un conocimiento profundo del material, puesto que se habría utilizado para su correcto fraguado. No obstante, en la península ibérica la mitad oriental es rica en yeso, mientras que en la occidental el yeso escasea (IGME 2021), por lo que resultaría un recurso de difícil acceso. Esto explica el que se haya documentado un uso puntual y de carácter local del yeso en la construcción en yacimientos de la protohistoria levantina como Peña Negra (Crevillente, Alicante) (Pastor y Lorrio, 2023). Sin embargo, sigue siendo un material cuyo uso generalizado en la arquitectura no se puede llevar más atrás de la expansión musulmana en el siglo VII (Villanueva, 2005: 41-45). A partir de estas fechas, su utilización no se extendió en la arquitectura europea hasta el siglo XVIII, momento en el que se comenzó a estudiar científicamente por varios de los grandes arquitectos de la época, como Antoine-L. de Lavoisier (plaster de Paris, 1764 y *Traité élémentaire de chimie*, 1789) o Le Châtelier y Van't Hoff (Gilbert, 1987: 259-260).

Por su parte, la bóveda tabicada no se documenta en la península ibérica de forma clara hasta el siglo XIV (Martínez Fernández, 2010: 91), con algunos antecedentes almohades, por lo que incluso se ha sugerido el origen hispanomusulmán de la técnica (Fuentes *et alii*, 2014: 5). Del mismo modo, tampoco se han localizado adobes unidos entre sí con el aparejo a panderete (pegando sus cantos entre sí) característico de las bóvedas tabicadas. En consecuencia, no se cumplen dos de sus requisitos constructivos básicos, la necesidad de yeso de rápido secado y fuerte adherencia al que ya hemos atendido, y el ladrillo o adobe ligero, característica que no concuerdan con los módulos de adobe que manejamos en el yacimiento.

En último lugar, tenemos la opción que sugerimos en anteriores trabajos (Rodríguez González y Celestino, 2017: 187), las bóvedas que utilizan un aparejo de hiladas inclinadas como modo de prescindir de elementos auxiliares durante su construcción (figura 9h). Este caso también forma parte de una larga tradición próximo-oriental y mediterránea, cuyo ejemplo más representativo son las bóvedas de los almacenes del Rammeseum de la necrópolis de Tebas, popularizados posteriormente por Hassan Fathy¹ con el nombre de bóveda nubia (Fathy, 1969), sobre el que ya destacamos algunas imprecisiones importantes desde el punto de vista histórico (Carranza *et alii*, e.p.). Su proceso constructivo también fue descrito por Choisy (1883 [1997: 32-35]), la referencia bibliográfica más recurrente en la investigación.

Esta alternativa resulta estructuralmente viable en la estancia H-100, en tanto que las cargas se desvían exclusivamente hacia los muros largos. En cuanto a los muros cortos o testers, cumplen la función de sostener los arranques de la bóveda, por lo que son necesarios para el proceso de construcción, pero no necesitan tener capacidad portante, por lo que sus bajos requerimientos estructurales no les obligan

¹ El ejemplo de Hassan Fathy también resulta representativo del problema de las traducciones, omnipresente en la arquitectura de tierra. Así, el término original en francés «peuple» se tradujo como «poor» en su edición en inglés, y como «pobres» en español, modificando sustancialmente el significado e intención de toda la obra.

a tener una gran anchura. En cuanto al adobe utilizado, de métrica $40 \times 20 \times 8$ cm, unido a su densidad aparente, nos proporciona unas piezas de ± 10 kg de masa. Aquí aparece otra peculiaridad de este tipo de bóvedas: la distinta métrica y masa de los adobes se adapta fácilmente al proceso de construcción, simplemente variando el ángulo de inclinación para que el mortero fragüe y pueda sostener la pieza antes de colocar la siguiente. Como hemos podido comprobar con ensayos de campo y a través de arqueología experimental², con las características de los adobes descritos y la adherencia del mortero de tierra, un obrero podría ir ejecutando las hiladas de la bóveda de forma segura y eficiente con una inclinación igual o menor a 70° .

4. Hipótesis de reconstrucción de la cubierta de H-100

La alternativa más acorde respecto a la evidencia arqueológica, los materiales y las técnicas empleadas, la planta y estructura de los muros de la estancia, así como con el contexto histórico-cultural, y teniendo en cuenta además la propia lógica constructiva, es la bóveda de cañón por hojas inclinadas. Por ello, descartamos las opciones basadas en líneas rectas. La información recopilada nos permite calcular, primero, su geometría y funcionamiento estructural para, después, proponer el aparejo. A partir de la evaluación de posibilidades y de los cálculos que vamos a presentar, podemos diseñar una hipótesis de reconstrucción isométrica que se sustenta en una base científica.

4.1. Cálculos estructurales, geometría y aparejo

La herramienta utilizada para el análisis estructural de la bóveda ha sido un software de cálculo

propio denominado CARYBO³ (Cálculo de Arcos y Bóvedas) basado en la teoría de análisis límites desarrollada por Jack Heyman y cuya descripción y funcionamiento fue publicada en detalle en anteriores trabajos (Fortea y Pedrera, 2011). Lo que nos interesa es que esta herramienta nos permite, a partir de la geometría y las cargas, establecer las distintas tensiones de trabajo, puntos de articulación y los coeficientes de seguridad de los distintos elementos.

Para el cálculo de la altura de la cara interior de los muros de la habitación y el punto de arranque de la bóveda hemos utilizado como referencia el mismo desnivel de la escalera del patio, construida para salvar los 3 m de altura que hay entre la planta baja y el segundo nivel del edificio (Celestino y Rodríguez González, 2019: 352). En consecuencia, partiendo de la cota de suelo actual de H-100 como punto de arranque, calculamos la bóveda más rebajada posible respecto a las medidas de los muros largos y la luz de la estancia, dando como resultado una flecha mínima de 1,33 m de sección semielíptica que correspondería con la bóveda Tipo 1 (T-1) de Fortea y López Bernal (2012: 100). En cuanto al grosor de la bóveda, utilizamos los 40 cm (+2 cm de mortero de unión) formados por dos hojas superpuestas de adobe, coincidente con la métrica de $40 \times 20 \times 8$ cm y cuya densidad pudimos establecer en 20 (kN/m³). Así pues, la altura necesaria en el exterior de los muros es de 4 m. En caso de que en posteriores campañas se documentasen bóvedas anexas al norte y sur de H-100 que contrarrestasen los empujes laterales, el modelo únicamente variaría en el hecho de que estaría ganando seguridad y estabilidad. Por tanto, la altura calculada en este trabajo es la estructuralmente necesaria para sostener la bóveda sin contar con empujes que contrarresten las fuerzas que esta ejerce sobre los muros largos (figura 11).

Así, aunque podríamos haber optado por una bóveda con un mayor grosor, base más baja y sección

² Se reprodujo el arranque de una bóveda de cañón por hojas inclinadas utilizando adobes con una métrica, composición textural y densidad aparente igual que los documentados en el yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz).

³ El software CARYBO está Inscrito en el Registro Territorial de la Propiedad Intelectual de la Junta de Extremadura, con el asiento registral 14/2011/548, con fecha de efectos 18 de noviembre de 2011, según solicitud núm. BA/78/11, de acuerdo con la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996 de 12 de abril), cuyo título cesionario figura a nombre de Manuel Fortea Luna.

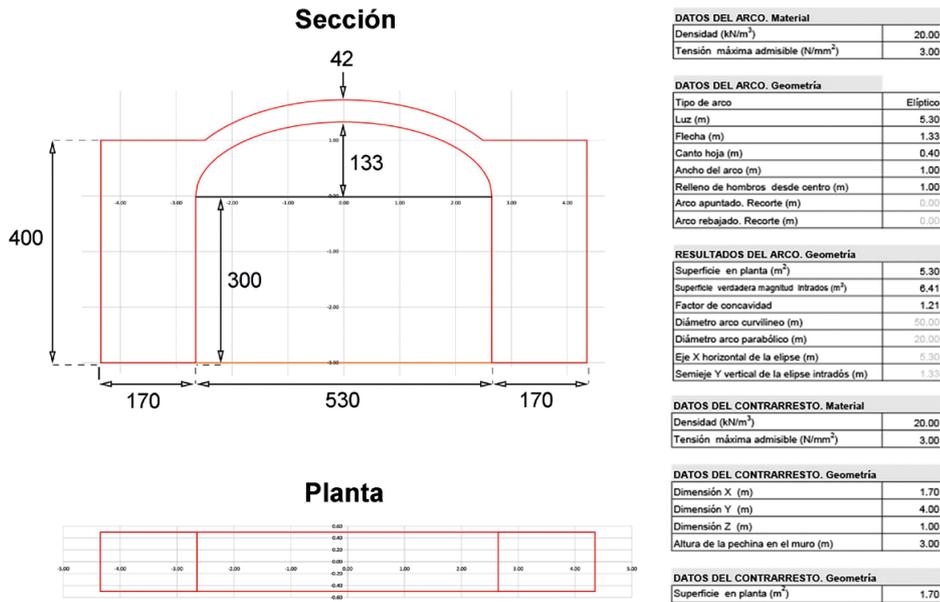


Figura 11. Detalles de la sección y planta generadas a partir del software CARYBO para la hipótesis de la bóveda de H-100 del yacimiento de Casas del Turuñuelo

Figure 11. Details of the section and plan generated from the CARYBO software for the hypothesis of the H-100 vault of the Casas del Turuñuelo site

semicircular o apuntada, consideramos más interesante calcular la mínima altura viable desde el punto de vista estructural; es decir, presentamos la geometría más rebajada posible respecto a las capacidades estructurales de los muros que sostuvieron la bóveda y en relación a los datos de los que disponemos.

Para las cargas superiores planteamos una sobrecarga de 1000 N/m², lo que mantiene estables al arco como al contrarresto, ambos dentro del coeficiente de seguridad geométrico (CSG) (figura 12). Por tanto, no se ha considerado ninguna gran carga superior ni relleno del trasdós, puesto que no se encontraron evidencias durante el proceso de excavación, pero es de suponer que sobre la bóveda existiría, al menos, alguna capa impermeabilizante y revestimientos que aumentarían ligeramente las cargas y la sección. De ahí que tampoco descartamos la posibilidad de que la bóveda fuese vista, entendiendo esto no como que contase con revestimientos o no, sino que fuese visible desde el exterior del edificio.

El cálculo de los empujes y tensiones (figura 13), muestra cómo los empujes horizontales resultan constantes a lo largo de toda la bóveda, mientras que el empuje vertical es máximo en los apoyos. Por su parte, la mayor tensión se produce en los extremos; es decir, cuando desaparece el relleno de unión

entre los arranques de la bóveda y los muros. Un dato importante es que tenemos un 2,70 % de la tensión máxima admisible de trabajo, muy baja, lo que habla de la poca importancia del material en este tipo de construcciones. En otras palabras, el material del que disponemos rompe cuando alcanza el valor 100 y, en este caso, únicamente está trabajando a 2,7. Tenemos el mismo caso con el contrarresto, el cual está trabajando al doble de tensión que el arco (4,88 %), y aun así resulta muy reducida. Por tanto, y aunque conocemos la resistencia a compresión de los adobes gracias a la ejecución de distintos ensayos de laboratorio, lo importante es dejar claro que no resulta un dato relevante, puesto que en el caso de una bóveda las exigencias a compresión resultan insignificantes; por tanto, el adobe como material, es perfectamente operativo. Por consiguiente, como idea principal, esto demuestra que lo importante en las estructuras históricas no es el material, sino el equilibrio, y el equilibrio depende de la geometría.

En último lugar, calculamos la posición de las articulaciones del arco, dando la localización de los tres posibles puntos de colapso. A partir de aquí, comprobamos nuevamente que tanto la estabilidad del arco como la del contrarresto se encuentran dentro de los límites de estabilidad según el coeficiente de

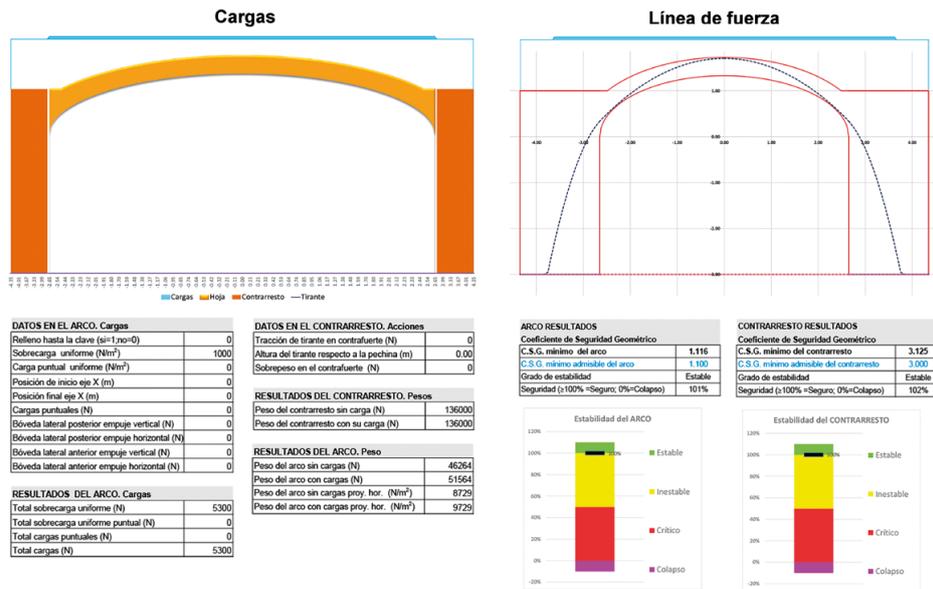


Figura 12. Detalles de cargas y línea de fuerza generadas a partir del software CARYBO para la hipótesis de la bóveda de H-100 del yacimiento de Casas del Turuñuelo

Figure 12. Load details and force line generated from the CARYBO software for the hypothesis of the H-100 vault of the Casas del Turuñuelo site

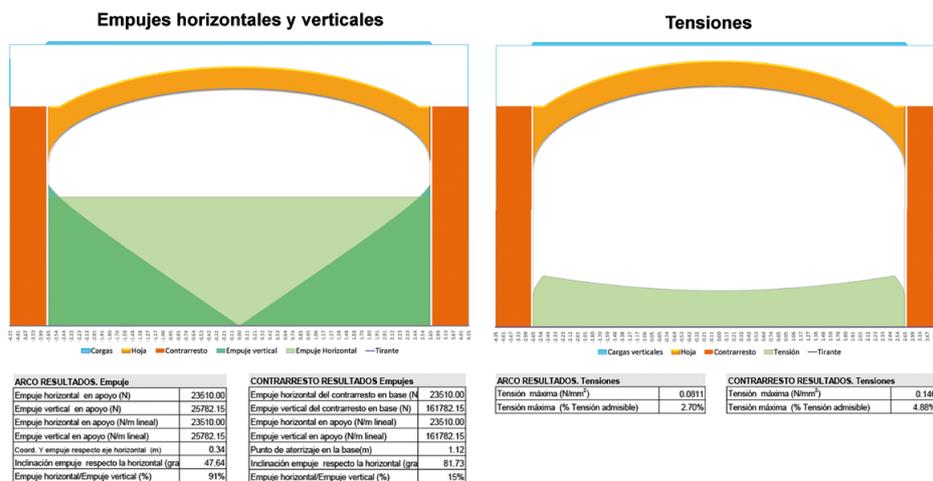


Figura 13. Detalles los empujes horizontales, verticales y tensiones generadas a partir del software CARYBO para la hipótesis de la bóveda de H-100 del yacimiento de Casas del Turuñuelo

Figure 13. Details of the horizontal and vertical thrusts and stresses generated from the CARYBO software for the hypothesis of the H-100 vault of the Casas del Turuñuelo site

seguridad geométrica (figura 14). Para que esto suceda, el CSG debe mantenerse como máximo en el 10 %, puesto que a partir de ahí aparecerían fisuras, hasta llegar al 90 % y el momento final del colapso.

En lo referente a la disposición y aparejo de los adobes, recordemos que, como hemos dicho en otras ocasiones, el aparejo no define al elemento. Es decir, una bóveda seguiría siendo una bóveda independientemente de cómo se coloquen los adobes. De lo

que nos informa el aparejo es, en realidad, del proceso constructivo, de los conocimientos técnicos y de las posibles tradiciones culturales. De esta manera, a partir del modelo anterior, el aparejo no estaría cambiando ni la geometría, ni el funcionamiento, ni las exigencias estructurales de la bóveda.

En este aspecto, se ha demostrado a lo largo del trabajo que sería estructuralmente factible tanto la bóveda de rosca, construida con elementos auxiliares,

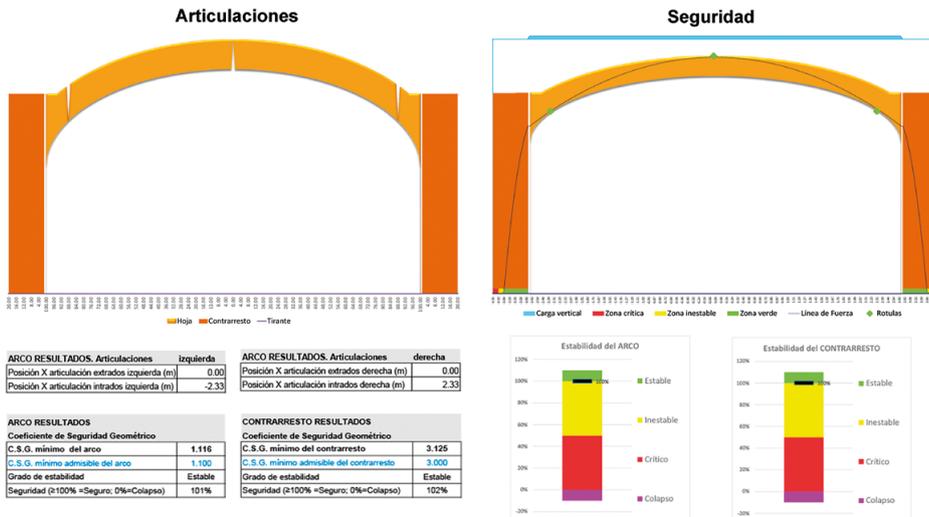


Figura 14. Detalles de las articulaciones y seguridad generados a partir del software CARYBO para la hipótesis de la bóveda de H-100 del yacimiento de Casas del Turuñuelo

Figure 14. Details of the joints and security generated from the CARYBO software for the hypothesis of the H-100 vault of the Casas del Turuñuelo site

como una bóveda de cañón por hojas inclinadas, la cual no habría necesitado ningún tipo de auxilio. Sin embargo, el aparejo de hojas inclinadas es el único que resulta coherente respecto a todos y cada uno de los datos arqueológicos documentados, con los trabajos experimentales, el contexto histórico y, más importante aún, desde el punto de vista de la lógica constructiva. Además, la métrica, masa y densidad de los adobes permitiría perfectamente la ejecución de dos hiladas superpuestas, práctica habitual en estas bóvedas, lo que le daría el resultado final de 40 cm de grosor más el añadido del mortero de unión.

4.2. Reconstrucción virtual⁴ y propuesta final

Para obtener una comprobación final con dimensiones reales, hemos construido la bóveda mediante hiladas dispuestas a 60° de inclinación, usando adobes dimensionados con las métricas propuestas, con doble hoja en panderete y añadiendo los grosores de

mortero en juntas y revestimientos externos, de forma que conocemos las dimensiones reales en sección de la bóveda y su altura total interior y exterior. En cuanto a la unión y punto de arranque entre la bóveda y los muros laterales, hemos optado por un arranque uniforme sobre una coronación regular y horizontal para las dos hiladas, sin representar el aparejo de los muros. Por último, el relleno del muro exterior que cubre parte de la bóveda se ha diseñado con losas sin definir aparejo, puesto que este punto puede llevarse a cabo con cualquier tipo de material constructivo, escombros, etc.

A partir de la construcción anterior, planteamos la opción de una bóveda corrida que parte desde uno de los muros cortos (figura 15a) y, por otro lado, adoptamos el modelo de bóvedas simétricas construidas mediante hiladas que avanzan desde ambos extremos de la sala hasta encontrarse en el centro (figura 15b). Para el punto de unión entre ambos arranques hemos realizado una hipótesis de cerramiento de la parte central con hiladas en sentido perpendicular hasta dejar una abertura central a modo de entrada de luz cenital. Esta abertura coincidiría con la situación del altar en el centro de la estancia, siendo un detalle constructivo que ya habíamos planteado en la primera fase de reconstrucción virtual de la cubierta de la H-100, y creemos que es plausible tanto por motivos físicos como por la necesidad

⁴ Esta parte del trabajo se ha realizado sobre el modelo 3D de base en 3D Studio Max, y una vez se revisen otros aspectos estructurales del edificio podrá ser incorporada al modelo desarrollado en Unreal Engine 5.4 para completar el modelo virtual de renderizado en Tiempo Real que constituye nuestro proyecto base, generando imágenes y visitas virtuales, así como para desarrollar futuras aplicaciones.

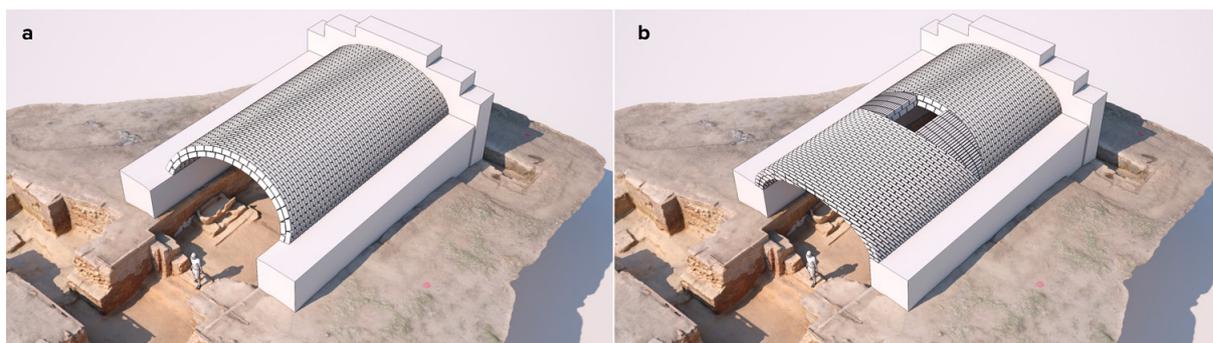


Figura 15. Opciones de construcción de la bóveda propuesta para la estancia H-100 del yacimiento Casas del Turuñuelo. J.R. Casals
Figure 15. Construction options for the vault proposed for room H-100 at the Casas del Turuñuelo site. J.R. Casals

de iluminar una estancia de más de 11 m de profundidad que cuenta con una puerta de entrada como única abertura.

A partir de los cálculos estructurales, medidas, geometría y el resto de información arqueológica expuesta, hemos realizado una nueva reconstrucción virtual de la cubierta de H-100 (figura 16). A partir de este punto, la hemos incorporado a la reconstrucción general del edificio que hemos ido desarrollando estos últimos años para comprobar cómo encaja en la arquitectura propuesta hasta el momento y así poder evaluar si es necesaria una revisión de la estructura arquitectónica propuesta en la actualidad, especialmente de las alturas. En consecuencia, el nuevo planteamiento ha sido incorporado de forma que la cubierta de la H-100 sea un volumen exento sobresaliendo en el centro del edificio sin regularizar las alturas del resto de las estancias adyacentes. Así, los muros externos que soportan la bóveda de H-100 se han mantenido a la altura necesaria para sostener los empujes como si no tuviera un soporte lateral (figura 11), habida cuenta de que no podemos, por el momento, saber si las estancias norte y sur que limitan con estos podrían tener una solución del mismo tipo que contribuyera a contrarrestar esos empujes laterales.

En definitiva, hemos adaptado esta nueva hipótesis de construcción de la bóveda al planteamiento inicial de reconstrucción virtual sin modificar la estructura propuesta para el resto del edificio. Serán los datos procedentes de las futuras excavaciones y sondeos los que nos permitan revisar la estructura en su conjunto y comprobar si la bóveda de H-100 es una solución única en el edificio o no.

5. Conclusiones finales

Teniendo en cuenta las evidencias arqueológicas documentadas durante los trabajos de campo, las características estructurales de la sala, junto a los materiales descritos y las diferentes soluciones constructivas evaluadas en el trabajo, planteamos la hipótesis de que la estancia H-100 del yacimiento de Casas del Turuñuelo estuviese cubierta con una bóveda, una tecnología que no tendría por qué resultar nada extraña en el marco de un yacimiento adscrito a la cultura tartésica. De hecho, además de que las cúpulas y bóvedas de adobe eran recursos muy comunes y de larga tradición en el Mediterráneo Oriental (Besenval, 1984; Naggar, 1999), en la península ibérica ya existían cúpulas de piedra con anterioridad a la llegada de los fenicios (Aranda *et alii*, 2021), por lo que se trataría de una tecnología plenamente disponible para los constructores de la I Edad del Hierro. No obstante, es a partir de la llegada de los fenicios cuando encontramos soluciones similares a las que se utilizaban en el Calcolítico y en la Edad del Bronce, pero empleando en esta ocasión el adobe además de la piedra y cubriendo espacios tanto de planta circular como cuadrangular. Por consiguiente, este es un elemento que debe sumarse a otra de las discusiones más tratadas a nivel arquitectónico: la introducción del adobe en la península ibérica. Así, parece que estaríamos más ante un elemento de hibridación que de aculturación, pues se recogen prácticas que eran conocidas entre las poblaciones locales, pero utilizando nuevos materiales y técnicas constructivas. Debemos tener también en cuenta que, si se dispone de la fórmula, una bóveda de adobe resulta

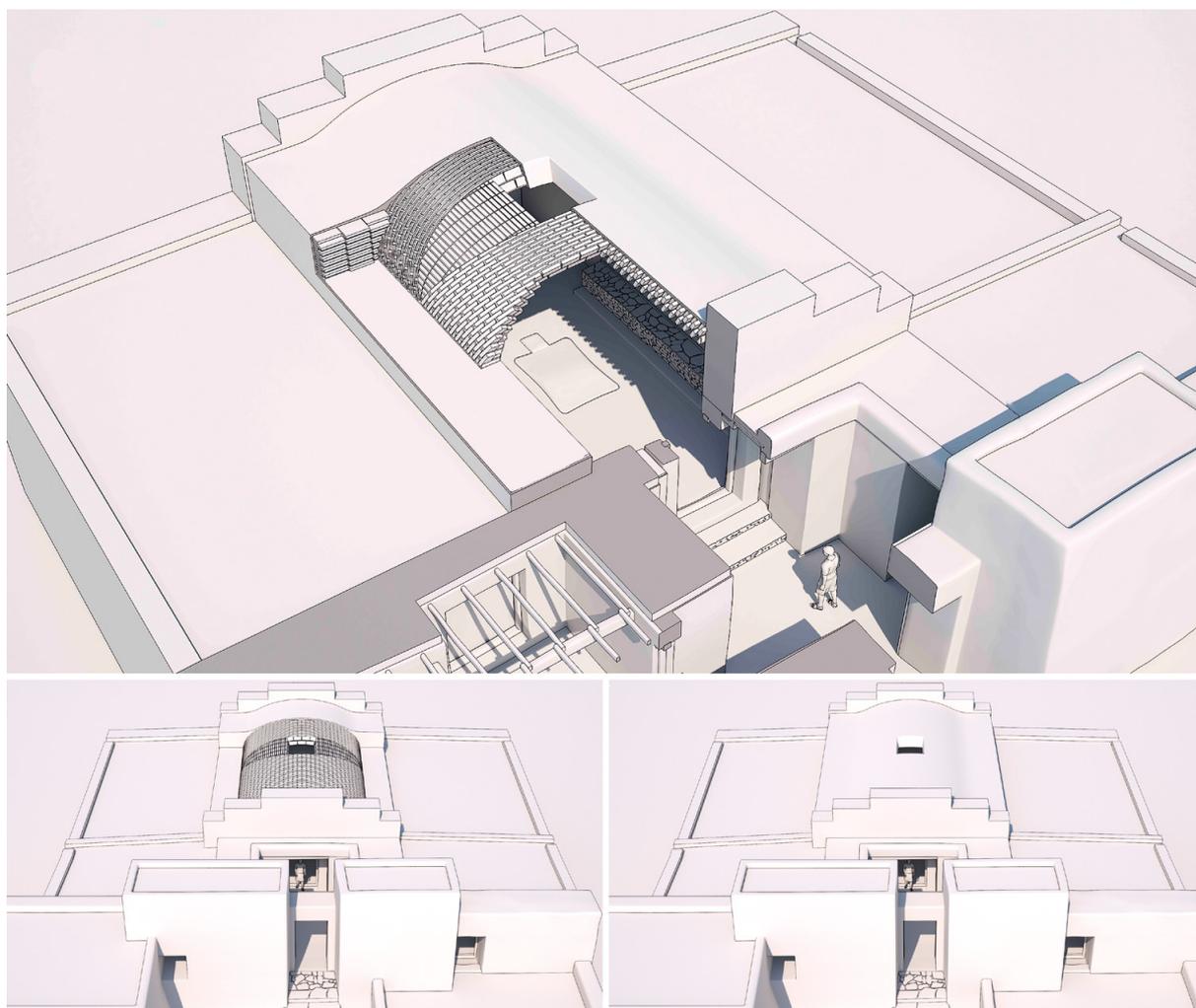


Figura 16. Reconstrucción hipotética de la bóveda propuesta para la estancia H-100 del yacimiento Casas del Turuñuelo. J.R. Casals

Figure 16. Hypothetical reconstruction of the vault proposed for room H-100 at the Casas del Turuñuelo site. J.R. Casals

significativamente más sencilla de ejecutar que las cubiertas planas. Además, también resultan más económicas al poder ejecutarse con las mismas piezas que se utilizan en el resto del edificio y por no necesitar la madera, ni para la cimbra ni para los forjados.

A partir de aquí, cabe reflexionar sobre el significado de la bóveda, puesto que se construyó para cubrir un espacio simbólico del edificio donde se halló un altar en su punto central. La construcción de la bóveda vista supondría la pérdida de la superficie útil que, por el contrario, habría generado una cubierta plana, la cual sí permitiría el tránsito sobre la terraza; así, prevalece el sentido simbólico de la construcción al funcional. Esta práctica de diferenciar los espacios o edificios completos a partir de las cubiertas resulta común en todo tipo de épocas y

contextos; valgan como ejemplo las tumbas micénicas o las etruscas, estas últimas coetáneas a Casas del Turuñuelo. Ya en época moderna, un ejemplo bien estudiado e ilustrativo pueden ser las bóvedas de crucería del siglo XVI, utilizadas en las iglesias extremeñas, pero nunca en espacios particulares a pesar de ser una tecnología plenamente conocida y cotidiana, por lo que se trata de una peculiaridad simbólica de los edificios monumentales sacros. Por otro lado, el hecho de que las bóvedas o cúpulas fueran vistas, permitiría a la concurrencia identificar el espacio simbólico del edificio desde el exterior, coincidente además con la evidente importancia simbólica de la sala, de marcado significado religioso por el carácter y disposición de las estructuras y de los objetos documentados en su interior.

Por otra parte, recordemos que estamos trabajando en un área en el que el patrimonio vernáculo se caracteriza, precisamente, por la construcción con tierra y las bóvedas autosustentadas como los elementos más característicos (Fortea y López Bernal, 2012). Así, aunque resulte prematuro defender la continuidad de tradiciones constructivas, dado que por la zona han pasado romanos, visigodos, árabes y, ya en época moderna, el enorme influjo del Renacimiento, sí es digno de mención el hecho de que el área de distribución de la bóveda extremeña se circunscriba al suroeste de la península ibérica.

El hecho de que no se haya encontrado este tipo de cubrición en otros yacimientos protohistóricos se debe a un cúmulo de factores, aunque la causa principal no es otra que el deficiente estado de conservación de la mayoría de los edificios construidos con tierra. Así, el excelente estado en el que se ha recuperado el yacimiento de Casas del Turuñuelo no solo nos está ayudando a entender aspectos como el de la bóveda que aquí hemos analizado, sino otras manifestaciones constructivas hasta ahora inéditas que están posibilitando el planteamiento de soluciones arquitectónicas nunca antes reveladas en otros yacimientos.

En definitiva, con este trabajo pretendemos asentar unas bases de conocimiento y reflexión que inviten a la reevaluación de las interpretaciones realizadas en torno a las cubiertas en la protohistoria peninsular. Una mirada crítica que esperamos que contribuya a solucionar las problemáticas en la interpretación de las unidades de derrumbe, materiales aislados e improntas, además de abrir nuevas vías de investigación. A su vez, el caso de la bóveda aquí tratada invita a valorar otras alternativas más allá de las cubiertas planas. De hecho, dentro de estas ya existe de por sí una infinidad de variables tipológicas y alternativas constructivas cuyas peculiaridades nos ayudarán a dar verosimilitud a nuestras lecturas históricas.

Agradecimientos

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i *Construyendo Tarteso 2.0. Análisis constructivo, espacial y territorial de un modelo arquitectónico en el valle medio del Guadiana*, PID2019-108180GB-I00 (2020-2023), financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033.

Bibliografía

- Aranda, G., Milesi, L., Díaz-Zorita, M. y Sánchez Romero, M. (2021): "La cronología radiocarbónica de las sepulturas tipo tholos en la península ibérica: explorando diversas trayectorias sociales". *Trabajos De Prehistoria*, 78 (2): 277-291.
- Arnold, F. y Kunst, M. (2011): "Zur Rekonstruktion kupferzeitlicher Befestigungsanlagen auf der Iberischen Halbinsel. Turm B von Zambujal (Torres Vedras, Lisboa, Portugal)". *Madridrer Mitteilungen*, 52: 36-86.
- Beek, G.W. (1987): "Arches and vaults in the ancient Near Orient". *Scientific American*, July 1987: 96-103.
- Besenal, R. (1984): *Technologie de la Voûte dans l'Orient Ancien*. Paris.
- Campos, J.M. y Alvar, J. (2013): *Tarteso. El emporio del metal*. Córdoba.
- Cappai, S.N. y Pulina, G. (2017): "Le caratteristiche tecnico-costruttive delle tholoi nuragiche". En A. Moravetti, P. Melis, L. Foddai y E. Alba (eds.): *La Sardegna Nuragica. Storia e monumento*. Roma: 223-251.
- Caro, A. (2002): *Ensayo sobre cerámica en arqueología*. Sevilla.
- Carranza, L.M. (2024): "Arquitectura protohistórica del suroeste de la península ibérica: una propuesta metodológica a partir del análisis del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz)". *Actas del X Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos*. Ibiza: 17-27.
- Carranza, L.M., Celestino, S. y Rodríguez González, E. (2023): "Construyendo Tarteso: una aproximación a la arquitectura de tierra de los edificios de época tartésica del Guadiana medio". *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, 42: 149-163.
- Carranza, L.M., Fortea, M., Rodríguez González, E. y Celestino, S. (e.p.): "Domes and vaults without auxiliary structure in earthen architecture: from its constructive logic and geometry to the archaeological study and historical evolution". En M. Pastor Quiles, L. Ruano, A. Sánchez Polo, M. Mateu y P. Péfau (eds.): *Productive and Social Practices in Prehistoric and Protohistoric Earthen Building*. Oxford.
- Carrión J.S. (2012): *Paleoflora y paleovegetación de la península ibérica e islas Baleares: plioceno-cuaternario*. Murcia.

- Celestino, S. (2001): “Los santuarios de Cancho Roano. Del indigenismo al orientalismo arquitectónico”. En D. Ruiz Mata y S. Celestino (coords.): *Arquitectura oriental y orientalizante en la Península Ibérica*. Madrid: 17-56.
- Celestino, S. (2022): *Cancho Roano. Un santuario tartésico en el valle del Guadiana*. Mérida.
- Celestino, S. y López Ruiz, C. (2020): *Tarteso y los fenicios de occidente*. España.
- Celestino, S. y Rodríguez González, E. (2018): “Cerro Borreguero. Un yacimiento clave para estudiar la transición entre el Bronce Final y el periodo tartésico en el valle del Guadiana”. *Trabajos de Prehistoria*, 75 (1): 172-180.
- Celestino, S. y Rodríguez González, E. (2019): “Un espacio para el sacrificio: el patio del yacimiento tartésico de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz)”. *Complutum*, 30 (2): 343-366.
- Celestino, S., Rodríguez González, E., Carranza, L.M. y Pulido, G. (2023): “The Tartessian building of Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz, Spain). 2015-2022 Campaigns”. *Madridrer Mitteilungen*, 64: 2015-2022.
- Celestino, S., Rodríguez González, E. y Lapuente, C. (2016): “La arquitectura en adobe en Tarteso: el Turuñuelo de Guareña (Badajoz), un ejemplo excepcional para el conocimiento de las técnicas constructivas”. En F. Jové y J. Sainz Guerra (coords.): *Arquitectura en tierra, patrimonio cultural, XII CLATTI 2015. Congreso internacional de Arquitectura de Tierra. Cuenca de Campos, Valladolid*. Valladolid: 41-50.
- Choisy, A. (1876): “Note sur la construction des voûtes sans cintrage pendant la période byzantine”. *Annales des Ponts et Chaussées*, 5: 439-449.
- Choisy, A. (1883): *L'Art de bâtir chez les Byzantins*. Paris.
- Choisy, A. (1899) [1980]: *Historia de la Arquitectura*. Buenos Aires.
- Como, M.T. (2006): “Analysis of the Statics of the Mycenaean Tholoi”. En M. Dunkeld, J. Campbell, H. Louw, M. Tutton, B. Addis y R. Thorne (eds.): *Proceedings of the second international congress on Construction History. Queens' College Cambridge University, 29th March - 2nd April 2006*. Cambridge: 777-790.
- Como, M.T. (2007): *L'Architettura delle tholoi micenee. Aspetti costruttivi e statici*. Napoli.
- Como, M.T. (2009): “The Construction of Mycenaean Tholoi”. En K. Karl-Eugen, L. Werner y W. Volker (eds.): *Proceedings of the Third International Congress on Construction History. Brandenburg University of Technology Cottbus, Germany, 20th-24th May 2009*. Berlin: 385-391.
- Cutillas-Victoria, B., Lorenzon, M., Rodríguez González, E. y Celestino, S. (2024): “Hierarchical organization and skilled workforces for constructing the Tartessic earthen building at Casas del Turuñuelo (Guareña, Spain)”. *Scientific Reports*, 14: 20286.
- Dalley, S. (2017): “Of arches, vaults and domes”. En H. Heffron, A. Stone y M. Worthington (eds.): *At the dawn of History: Ancient Near Eastern Studies in Honour of J.N. Postgate*. Eisenbrauns: 127-142.
- Dieter, A. (2003): *The Monuments of Egypt*. Cairo.
- Duque, D. (2004): “La madera en la construcción y adecuación del edificio de La Mata”. En A. Rodríguez Díaz (ed.): *El edificio protohistórico de “la Mata” (Campanario, Badajoz) y su estudio territorial*. Cáceres: 345-384.
- Emery, W.B. (1958): *Excavations at Saqqara: Great Tombs of the First Dynasty*. vol. III. London.
- Fathy, H. (1969): *Construire avec le peuple, histoire d'un village d'Égypte: Gournah*. Paris.
- Fernández Flores, A. y Rodríguez Azogue, A. (2022): *Tartessos desvelado. La colonización fenicia del suroeste peninsular y el origen y ocaso de Tartessos*. Córdoba.
- Ferrer Albelda, E. y Fernández Flores, A. (e.p.): “El Carambolo. Las actividades metalúrgicas durante la ocupación del edificio monumental”. Sevilla.
- Fortea, M. y Pedrera, J.L. (2011): “Análisis estructural de bóvedas y cúpulas”. *Compilación de artículos de investigación* (octubre 2011): 287-304.
- Fortea, M. y López Bernal, V. (2012): *Bóvedas extremeñas. Proceso constructivo y análisis estructural de bóvedas de arista*. Badajoz.
- Fuentes, P., Gil Crespo, I., Huerta, S., Martín, C. y Redondo, E. (2014): *Bóvedas sin cimbra: la construcción tabicada. Memoria académica del taller experimental de historia de la construcción del curso 2013/2014*. Madrid.

- Gil Albarraacín, A. (1992): *Arquitectura y Tecnología Popular en Almería*. Almería.
- Gilbert, W.C. (1987): "Sistemas de composición variable; equilibrio químico". *Fisicoquímica*, 259-260.
- Hermann, J.J., Herz, N. y Newman, R. (1998): *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. Proceedings of the fifth International Conference of the Association for the Study of Marbles and Other Stones In Antiquity*. Boston.
- Hernández Carretero, A.M. (2008): "Paleoambiente y paleoeconomía en la cuenca del Guadiana durante el hierro I". En J. Jiménez Ávila (ed.): *Siderum Ana I. El río Guadiana en época post-orientalizante*. Mérida: 135-148.
- Heyman, J. (1982): *The Masonry Arch*. Chichester.
- Heyman, J. (1988): "Poleni's problem". *Proc. Of the Institution of Civil Engineers*, 84: 737-759.
- Heyman, J. (1995): *The Stone Skeleton. Structural Engineering of Masonry Architecture*. Cambridge.
- Huerta, S. (2004): *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid.
- Huerta, S. (2012): "Prólogo". En M. Fortea y V. López Bernal: *Bóvedas extremeñas. Proceso constructivo y análisis estructural de bóvedas de arista*. Badajoz: 11-13.
- IGME (2021): *Mapa geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1/1.000.000*.
- Lavoisier, A.-L. (1789): *Traité élémentaire de chimie*. Paris.
- Martínez Fernández, R. (2010): "Sistemas económicos de techado con bóvedas de fábrica: bóveda Nubia y bóveda recargada mexicana". En F. Jové Sandoval y J.L. Sainz guerra (eds.): *Construcción con tierra. Tecnología y Arquitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2010*. Valladolid: 89-100.
- Martínez Sánchez, A., Nuevo, M.J., Ojeda, M.A., Guerra Millán, S., Celestino, S. y Rodríguez González, E. (2019): "Analytical techniques applied to the study of mortars and coatings from the Tartessic archaeological site El Turuñuelo (Spain)". *Radiation Physics and Chemistry*, 167: 1-8.
- Moya Blanco, L. (1987): "Arquitecturas cupuliformes: el arco, la bóveda y la cúpula". *Curso de mecánica y tecnología de los edificios antiguos*. Madrid: 97-119.
- Naggar, S. (1999): *Les vouîtes dans l'architecture ancienne*. Caire.
- Nourissier, G., Reguant, J., Casanovas, J. y Graz, C. (2002): *Arquitectura Tradicional Mediterránea*. Barcelona.
- Ortega, F. (1993): "La Construcción Etrusca (I)". *Revista de la Edificación*, 15: 55-62.
- Pastor, M. y Lorrio, A.J. (2023): "Canes, ropes and gypsun. Study of an architectural solution in the orientalisng settlement of Peña Negra (Crevillente, Alicante, Spain)". En C. Previato y J. Bonnetto (coords.): *Terra, legno e materiali deperibili nell'architettura antica*. Roma: 687-696.
- Pensabene, P. (1972): "Considerazioni sul trasporto di manufatti marmorei in età imperiale a Roma e in altri centri occidentali". *Dialoghi di Archeologia*, VI: 317-362.
- Rodríguez Díaz, A. (2004): *El edificio protohistórico de "La Mata" (Campanario, Badajoz) y su estudio territorial*. Cáceres.
- Rodríguez González, E. (2018): *El poblamiento del valle medio del Guadiana durante la I Edad del Hierro*. Madrid.
- Rodríguez González, E. (2020): "¿Y los campesinos dónde están? Una propuesta de análisis para el estudio del campesinado y su aplicación en el valle medio del Guadiana durante la I Edad del Hierro". *Complutum*, 31.2: 279-303.
- Rodríguez González, E. (2023): "Los cimientos de Tarteso: arquitectura de la I Edad del Hierro en el suroeste peninsular". En S. Celestino y E. Baquedano (eds.): *Los últimos días de Tarteso*. Madrid: 239-254.
- Rodríguez González, E. y Celestino, S. (2017): "Las estancias de los dioses: la habitación 100 del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz)". *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid*, 43: 179-194.
- Rodríguez González, E., Celestino, S., Dorado-Alejos, A. y Gutiérrez-Rodríguez, M. (2020): "Stairway to Tarteso's heaven: La escalera monumental del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz, España). Primeras evidencias de la fabricación de bloques con mortero de cal en la península ibérica". *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 20: 425-457.

- Ruiz Mata, D. (2022): *Cádiz y el Castillo de Doña Blanca. Retazos de arqueología fenicia*. Barcelona.
- Russell, B. (2008): "The dynamics of stone transport between the Roman Mediterranean and its hinterland". *Journal of Roman Material Culture Studies*, 2: 107-126.
- Russell, B. (2012): "Shipwrecks and stone cargoes: some observations". En A. Gutiérrez, P. Lapuente e I. Rodá (eds.): *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. Proceedings of the IX ASMOSIA Conference (Tarragona 2009)*. Tarragona: 533-539.
- Segovia Vergel, M.L., Legaz, S. y Segovia Espiau, F. (2016): "Análisis estructural de la cúpula de la cámara grande de Montelirio". En A. Fernández Flores y L. García Sanjuán (coords.): *Montelirio: un gran monumento megalítico de la Edad del Cobre*. Sevilla: 165-172.
- Spencer, A.J. (1979): *Brick architecture in Ancient Egypt*. Oxford.
- Suárez De Venegas, J. (1986): *Carta Arqueológica y análisis de la evolución de asentamiento de las Vegas Altas*. Cáceres.
- Vargas, J.M., Cáceres, L.M. y Odriozola, C.P. (2019): "El tholos de La Pastora, una nueva perspectiva a partir del análisis arqueológico de su construcción". *SPAL*, 28.2: 113-141.
- Vignote, S. (2016): *Caracterización de la madera. Características de la madera de pino silvestre para uso estructural*. Madrid.
- Villanueva, L. (2005): "Las tres edades de la construcción". *Informes de la construcción*, 57: 41-45.

