

Análisis estructural y morfológico de un conjunto de edificaciones de la ciudad histórica de Cáceres: Una aproximación a las bóvedas de rosca desde el conjunto

Pablo Alejandro Cruz Franco
Adela Rueda Márquez de la Plata

En esta comunicación, el estudio se centra en un conjunto de edificaciones situadas en el lado este de la muralla de la Ciudad Histórica de Cáceres (figura 1). La finalidad principal de esta investigación es profundizar en el conocimiento de los edificios a través de una visión global de los mismos. Y esta visión pretende ser una ayuda para comprender el «centro histórico», no como un conjunto de elementos aislados si no como una «agrupación».

Será en esta visión de grupo, de conjunto, donde los edificios cobren su verdadero valor. Haciendo nuestras las reflexiones de Antoni González Moreno-Navarro y sus trabajos (González Moreno-Navarro 2000), encontramos algunas de las directrices que van a guiar y justificar este estudio. La pretensión no es buscar elementos aislados, con grandes singularidades formales, constructivas, estilísticas o compositivas. El planteamiento es el de entender la ciudad como un elemento global que se transforma en la memoria material (Latorre González-Moro 2013) de todos los siglos que la han visto crecer y llegar hasta nosotros. Y es en esta función de memoria, de testigo de lo que allí ha ocurrido, de contenedor de elementos significativos... donde se conforman todos esos valores, materiales e inmateriales, que debemos preservar, Citando la Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y Sitios de Venecia de 1964:

La humanidad ha de aspirar a transmitir el patrimonio monumental común con toda la riqueza de su autenticidad.

Así, con la intención de buscar, comprender y preservar esa famosa «autenticidad», el análisis del edificio no puede quedarse únicamente en sus fachadas, ni en el estilo que lo vio levantarse. La filosofía de estudio se amplía de tal manera que no podremos comprenderlo, si no es agotando todas las formas de aproximarnos a él (Minutoli 2012). Así tienen cabida otros elementos que enriquecen nuestro paisaje arquitectónico: desde las técnicas constructivas propias



Figura 1
Situación de las edificaciones objeto de estudio (dibujo de los autores 2013)

de cada sitio, donde más importante que el edificio, es el propio sistema constructivo que ha dado origen al mismo; hasta esa arquitecturas menores, que componen la trama de la ciudad, definiendo tanto su imagen como su trazado(Cruz - Rueda 2012).

Esta necesidad de agotar las vías de aproximación a la ciudad, a la manzana y al edificio(Cruz - Rueda 2013) continua en este texto con un primer análisis de cómo funciona estructuralmente un conjunto de edificaciones. Este conjunto de edificaciones situadas en el lado este de la muralla de la ciudad forman una unidad, se encuentran relacionadas estructural y formalmente: fragmentos de la antigua muralla, una torre defensiva de la Ciudad de origen árabe, unas viviendas nobles, un paso elevado y la trama de casas populares...

Con una vocación de ver el «sistema completo» nos aproximamos a una porción de este agregado(termino importado del Italiano que no existe en Español, pero que evoca muy bien la esencia del trabajo estructural dependiente que existe entre las edificaciones) para analizarlo desde la estática gráfica(Mas-Guindal 2011). Y comoveremos más adelante, también indispensable el conocimiento de las peculiaridades y del funcionamiento de un sistema constructivo(Fortea - López Bernal 1998), y por supuesto la visión global de la geometría y la estructura(Rueda 2011).

PUNTO DE PARTIDA, OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El punto de partida como hemos visto en la figura 1, es un conjunto de edificaciones conformado a lo largo de la historia de la ciudad. Al igual que en otros muchos edificios, ni los usos, ni la forma, ni las divisiones que existen en la actualidad en el agregado, son aquellas con las que nacieron o se diseñaron. El resultado que ha llegado hasta nuestros días es el fruto de las modificaciones llevadas a cabo por los distintos propietarios y de todos aquellos condicionantes que han rodeado y personalizado las edificaciones a lo largo de los siglos.Como se ha adelantado el edificio se transforma en la memoria material de la ciudad, de acuerdo a la figura 2, de izquierda a derecha: torre almohade(S. XII), cimientos originales del campamento romano(S. I D.C), vivienda de aluvión(S. XVIII), restos de la cerca romana primero(S.I D.C) y posteriormente almohade (S.

XII), paso elevado (S. XVIII), vivienda noble (orígenes S. XVIII) restos de viviendas populares (S.XVIII-XIX)... y estos elementos o más bien el agregado urbano que han llegado a nuestros días, son el resultado de los distintos actores que han intervenido (propietarios, constructores, arquitectos...), de las distintas necesidades que han instado al cambio a las edificaciones y de los distintos ciclos que las han ido modificando(ya sea por necesidad- guerra- o por los gustos estilísticos y morfológicos que han rodeado a cada periodo de la humanidad). Así, fruto de uniones y desuniones, nace una particularidad de la arquitectura de la ciudad histórica de Cáceres(característica que se encuentra ligada a toda aquella arquitectura histórica que se ha ido modificando a través de los siglos), y es que conviven distintos elementos arquitectónicos, de diferentes épocas, tamaño, morfología, uso...fusionándose entre ellos y en algunos casos fagocitándose. De hecho, si miramos detenidamente cada edificación, sus alzados, sus plantas y sus secciones, vemos la historia del Edificio y de la Ciudad (figura 2).



Primera datación de elementos arquitectónicos

	Cimiento romano S.I		Vivienda de aluvión SXIX
	Sillares romanos S.I		S. XVIII
	Cerca romana y partes almohades S.I y S. XII		S. XVIII
	Torre almohade S.XII		S. XIX

Figura 2

Primer análisis estratigráfico del agregado objeto de estudio (dibujo de los autores 2013)

En este análisis, como vemos en la figura 3, el estudio se centra en una «porción del agregado», esta porción se compone de los siguientes elementos: 1. restos de la cerca romana (S.I) —almohade (SXII);

2. vivienda de aluvión (S. XVIII) —los restos de la cerca forman parte de la estructura de esta vivienda—; 3. paso elevado (S. XVIII), originalmente unía las dos viviendas, aunque en la actualidad ha perdido la función de comunicación; 4. vivienda noble (S.XVIII) (figura 3).

A través del estudio exhaustivo de esta porción, el objetivo es doble:

- 1) En primer lugar conocer cuáles son las consecuencias (sobretudo estructurales) de apoyar el

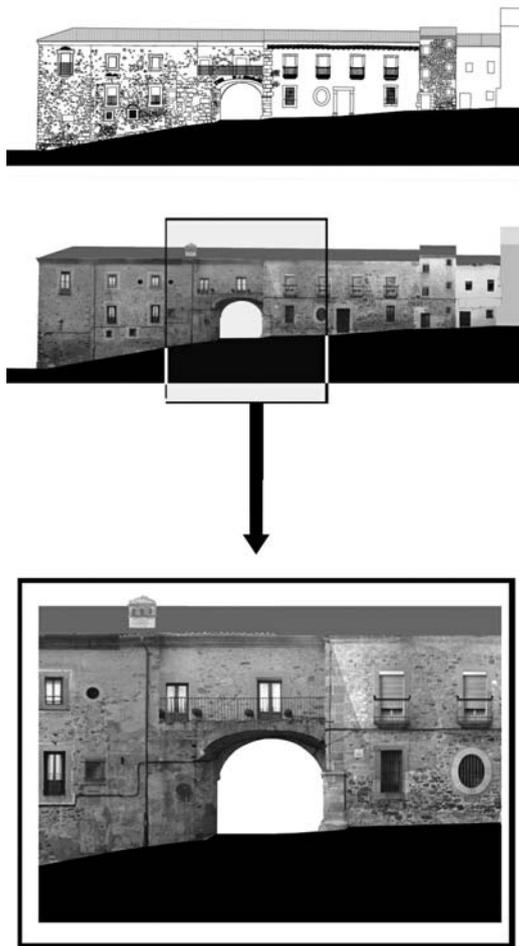


Figura 3
Porción de estudio dentro del agregado (montaje de los autores 2013)

paso elevado (3) sobre la vivienda de aluvión (de aquí en adelante vivienda A) y sobre la vivienda palacio (de aquí en adelante vivienda B). 2) En segundo lugar, y consecuencia del primer análisis, corroborar que la vivienda A y la vivienda B, forman un agregado estructural. Y por tanto, que las intervenciones sobre las mismas debieran acometerse desde un punto de vista global. Nuestro agregado (figura 2) forma un conjunto en el que priman las relaciones estructurales. Los esfuerzos y las cargas se equilibran de una edificación a otra, y el desconocimiento de estas conexiones puede poner en peligro la estabilidad de las estructuras y por extensión de las edificaciones. Como ya señalan Manuel Fortea y Vicente López (Fortea - López Bernal 1998), las medianeras debieran ser muros extremos y por supuesto ser estables si no existiesen las edificaciones colindantes, pero la realidad no es así, como veremos, una edificación se convierte en el contrarresto de la otra y se confían su estabilidad mutuamente. Así, la hipótesis, es que la vivienda A y la vivienda B son una unidad estructural, contrapuesta al modelo en el que la arquitectura es un diseño racional en el que las edificaciones son elementos independientes.

METODOLOGÍA

La metodología seguida para alcanzar estos dos objetivos es como ya se ha adelantado el análisis de una porción del agregado mediante estática gráfica. Como hipótesis de partida, al tratarse de bóvedas de rosca, se parte de la aseveración: «...la observación de los casos reales confirma lo dicho anteriormente, que una bóveda de arista extremeña puede trabajar indistintamente como una de arista o como una cúpula, pero a la vez introduce más variables...» (Fortea - López Bernal 1998, p.40). Esta dualidad, hace necesario tomar una decisión inicial para poder calcular los esfuerzos. En este caso se ha tomado la determinación de considerar el funcionamiento de todas las bóvedas estudiadas como bóvedas de arista (aunque en un futuro será necesario comprobar las distribuciones de esfuerzos de acuerdo al funcionamiento de como cúpula o como cúpula y bóveda de arista).

Como muestra la figura 4, tanto la edificación A como la B, comparten un muro sobre el que apoyan sus bóvedas. En el caso de la edificación A, apoya la bóveda que conforma el paso elevado y su cubierta correspondiente. En el caso de la vivienda B, apoyan las bóvedas correspondientes a la esquina noroeste de la edificación (en planta primera y segunda) y su parte proporcional de cubierta (figura 4).

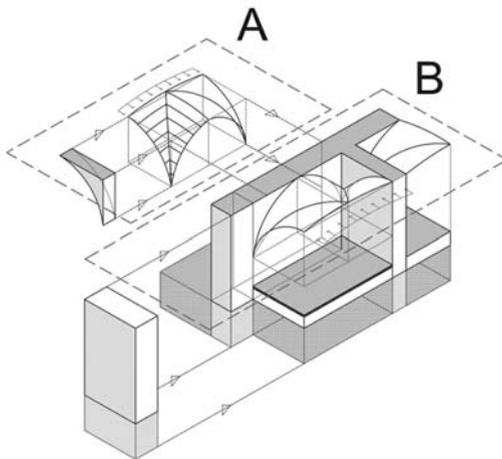


Figura 4
Esquema: apoyo vivienda A (paso elevado) sobre la vivienda B (dibujo de los autores 2013)

Al partir de la hipótesis de que estas bóvedas de rosca se comportan como bóvedas de arista, el empuje que se ha calculado es el que se origina en la diagonal de la bóveda. El retumbo de la bóveda se ha tenido en cuenta, al estimar los pesos cortando las rebanadas que descargan en la diagonal, ver (MasGuindal 2011, p. 225). De este modo y midiendo las longitudes de los arcos y los segmentos obtenemos para cada bóveda las superficies, los volúmenes y los pesos (tanto relleno como de fábrica). Se han tenido en cuenta los siguiente valores para el cálculo de los pesos (p fabrica de ladrillo 18 Kn/m³, p fabrica de relleno 16 Kn/m³). Para el cálculo de los volúmenes de relleno se ha realizado una modelización de las bóvedas que nos permitido conocer el volumen de relleno considerando que este 20 cm por encima de la clave de la bóveda (figura 5)

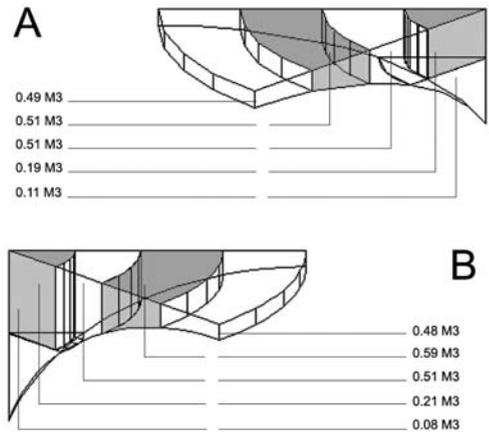


Figura 5
Modelización de las bóvedas A y B (dibujo de los autores 2013)La

La geometría de las bóvedas, responde a la realidad de la edificación y se han medido dividiéndolas en pequeños diferenciales, que nos han permitido obtener las geometrías de ambas, que coinciden con $D=L\sqrt{2}$. En cualquier caso se trata de bóvedas de arista de sección semiéptica. En el caso de las correspondien-



Figura 6
Bajo cubierta. Detalle de estructuras de madera y relleno de bóvedas (foto de los autores 2013)

tes a la vivienda B, como veremos más adelante, son especialmente planas, lo que hace que la componente horizontal se incremente sustancialmente respecto a la equivalente en la bóveda de la vivienda A.

Para el cálculo de las estructuras de madera de la cubierta se ha tomado un valor de ρ madera 60 Kn/m³ y se han diseñado de acuerdo a la figura 6. Se trata del bajo cubierta de la vivienda B, para el bajo cubierta de la vivienda A, se ha supuesto que la solución es la misma, al haber compartido propiedad en el pasado (figura 6).

ZONA DE ESTUDIO

En la figura 7 podemos ver la curva de presiones que, de acuerdo a las hipótesis que hemos tomado, trabaja en la actualidad. Como vemos funciona principalmente por masa, siendo crítica la curva de presiones de la bóveda de la vivienda B en la segunda planta. Este elemento, al ser muy tendido produce un empuje muy horizontal y solo empieza a coger la vertical gracias a las cargas derivadas de la cubierta (correspondientes a la vivienda A y B) y al propio peso del muro, que al tener tanta entidad hace las veces de contrarresto. Aún con todo el empuje correspondiente a la vivienda B solo se equilibra cuando entra en acción la curva de presiones producida por el paso elevado.

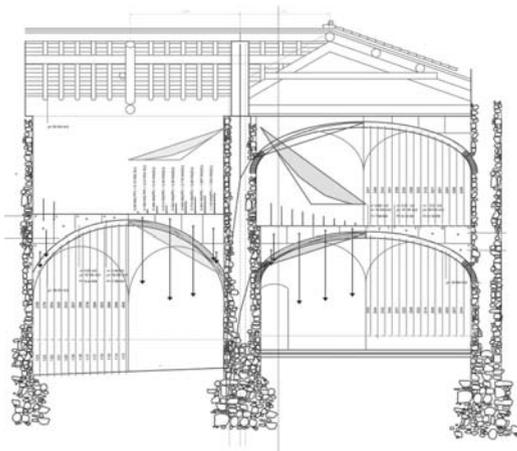


Figura 7
Curvas de presiones de la porción de estudio de la vivienda A y la vivienda B, funcionando juntas (dibujo de los autores 2013)

El método seguido para el cálculo de las curvas de presiones de ambas secciones ha sido el de polígonos funiculares, se ha sacado el antifunicular (ver metodología) que servirá para hallar la curva definitiva (figura 7).

La segunda hipótesis estudiada es que ocurriría en el caso de que se eliminase el paso elevado que une las dos edificaciones o que se modificase este en una intervención futura. La estabilidad de la bóveda de la vivienda B se ve comprometida al eliminar el paso elevado, desplazándose la curva de presiones fuera de la sección resistente del muro y poniéndose en peligro la estructura (figura 8).

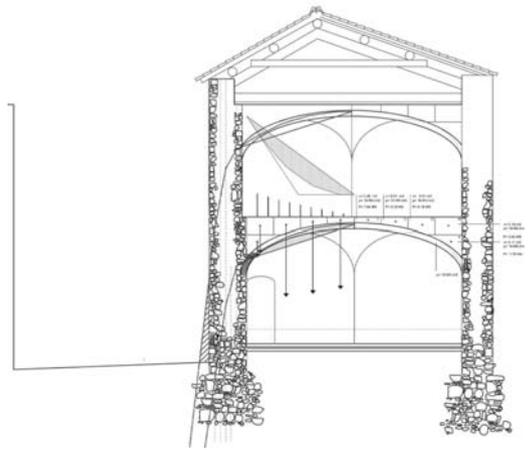


Figura 8
Curvas de presiones de la porción de estudio de la vivienda B (dibujo de los autores 2013)

CONCLUSIONES

El resultado de este texto a día de hoy, es la necesidad de seguir profundizando en el estudio de estos elementos urbanos a través de la escala y ver el conjunto (agregado) como un sistema que se interrelaciona, para valorar el territorio, la ciudad y por último los edificios como contenedores de elementos significativos. Esta necesidad se materializa en los siguientes conceptos: *Documentar-comprender-controlar-administrar-planificar (las intervenciones)*

Así como hemos visto estos agregados urbanos no pueden ser estudiados de forma separada y las inter-

venciones en el Patrimonio que los contenga deben hacerse desde el conocimiento. Se transforma en prioritario la necesidad de hacer entrar en valor los pequeños elementos (en nuestro caso las bóvedas de rosca) dentro de la trama (y de los agregados) como si de celdas que forman parte de una cuadrícula se tratara (Sánchez Leal 2000) y esto extrapolarlo en última instancia al territorio, mejorando la calidad paisajística de la ciudad a través del conocimiento y la divulgación de la misma.

Al comparar la figura 8 y la figura 7 vemos que la vivienda A no puede existir sin B, y que las intervenciones que realicemos en una afectaran en mayor o menor medida a la otra. Y podemos deducir, que la pervivencia de la bóveda estudiada previa a la construcción del arco era posible gracias a que existía algún contrarresto en la cubierta que fue eliminado o contrafuerte en la fachada. En cualquier caso, lo que si se hace patente es la necesidad de esa visión global sobre la que insistimos.

Este estudio tiene una dualidad, por un lado está la documentación que se genera, que es un elemento crítico. Es una base de conocimiento que nos ayuda a parametrizar y comprender la arquitectura y a través de este conocimiento, capacitar y desarrollar unas herramientas específicas, con unos valores específicos, para afrontar el Patrimonio, como ya he dicho, desde el territorio, la ciudad y por último el edificio: en definitiva la necesidad de conservar. Y junto a esta conservación, de forma indisoluble, aparece el proyecto que será el encargado de la preservación de la calidad del espacio y de las características específicas del lugar.

LISTA DE REFERENCIAS

Cruz Franco, Pablo Alejandro y Rueda Márquez de la Plata, Adela. 2012. «Los Caminos como parte esencial del pai-

saje fortificado al sur de Cáceres». *XI Congreso Internacional de Caminería Hispánica*. Madrid.

Cruz Franco, Pablo Alejandro y Rueda Márquez de la Plata, Adela. 2013. «Documentación y estudio de un «agregado» en la Ciudad de Cáceres: análisis fotogramétrico y gráfico». *Criterio y método en época de crisis. Ingeniería al servicio de la restauración. Congreso Internacional sobre Documentación, Conservación y Reutilización del Patrimonio Arquitectónico*. Cáceres: C2O Servicios Editoriales.

Forteza Luna, Manuel y López Bernal, Vicente. 1998. *Bóvedas de Ladrillo. Proceso constructivo y análisis estructural de bóvedas de arista*. Badajoz: Colegio Oficial de Arquitectos de Extremadura.

González Moreno-Navarro, Antoni. 2000. *La restauración objetiva: método SCCM de restauración monumental. Memoria SPAL 1993-1998*. Barcelona: Diputación de Barcelona.

Latorre González-Moro, Pablo. 2013. «Evolución, estratificación y complejidad de la arquitectura histórica: memoria e identidad». *Criterio y método en época de crisis. Ingeniería al servicio de la restauración. Congreso Internacional sobre Documentación, Conservación y Reutilización del Patrimonio Arquitectónico*. Cáceres: C2O Servicios Editoriales.

Mas-Guindal Lafarga, Antonio José. 2011. *Mecánica de las estructuras antiguas o cuando las estructuras no se calculaban*. Madrid: Munilla-Lería.

Minutoli, Giovanni. 2012. «Ciudad, arquitecturas y restauraciones, problemas de conservación de los cascos históricos». *Informes de la construcción 64, n° extra*. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción.

Rueda Márquez de la Plata, Adela. 2011. «La corrección geométrica aplicada a la estabilidad estructural en los métodos de reconstrucción. Vezelay». *Jornadas Internacionales de Investigación en Construcción: Hitos estructurales de la arquitectura y la ingeniería*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja.

Sánchez Leal, José. 2000. «Bóvedas extremeñas y alentejanas de rosca y sin cimbra». *Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Sevilla: Instituto Juan de Herrera.