

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL MONASTERIO DE SAN JERÓNIMO DE BUENAVISTA. SEVILLA

Compán, Víctor¹, Pachón, Pablo², Cámara, Margarita³, Sáez, Andrés⁴

1: Departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno
Universidad de Sevilla
e-mail: compan@us.es

2: Departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno
Universidad de Sevilla
e-mail: ppachon@us.es

3: Departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno
Universidad de Sevilla
e-mail: mcamara@us.es

4: Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras
Universidad de Sevilla
e-mail: andres@us.es

PALABRAS CLAVE: Elementos Finitos, Análisis Modal Operacional, Monasterio de San Jerónimo

RESUMEN

El monasterio de San Jerónimo de Buenavista en Sevilla fue construido en 1414. Desde entonces ha sufrido grandes daños, manteniéndose en la actualidad solamente el claustro principal. Este último incluso sufrió daños de consideración ocasionados por el terremoto de marzo de 1969.

El claustro de dos plantas presenta arcos de medio punto en planta baja y escarzanos en segunda. Tres de las cuatro fachadas no mantienen en segunda planta las bóvedas correspondientes. La arquería y las bóvedas están ejecutadas en piedra y el muro trasero mediante fábrica de ladrillo y tapial.

En este trabajo se pretende analizar estructuralmente el único elemento que queda en pie, el claustro principal, mediante un análisis basado en el método de los elementos finitos (MEF).

Debido a la dificultad de identificar correctamente la rigidez real que presenta en la actualidad dicho claustro, se van a utilizar técnicas de análisis modal operacional (OMA) para poder calibrar el modelo inicial de (MEF) y así predecir el comportamiento estructural ante cualquier acción a la que pueda estar sometida, principalmente en la actualidad las debidas a la intervención que se está realizando sobre dicho claustro y su entorno.

1. INTRODUCCIÓN

La construcción del Monasterio de San Jerónimo de Buenavista (Figura 1) fue iniciada en 1414. Los restos que han llegado a nuestros días fueron puestos en valor principalmente a partir de su declaración en 1964 como monumento histórico artístico. Desde entonces ha sido sometido a intervenciones de consolidación, rehabilitación y a excavaciones arqueológicas. Actualmente se encuentra en ejecución un proyecto de rehabilitación y adecuación a centro cívico que ha requerido un análisis de las estructuras históricas, sobre todo de aquellas que se mantienen vinculadas más directamente a los volúmenes edificados de nueva planta. Seguidamente se hará una descripción de la evolución que llevó a la configuración final del conjunto, de su estado y patologías iniciales y de la posterior intervención arquitectónica para luego llevar a cabo un análisis estructural de parte del claustro principal.

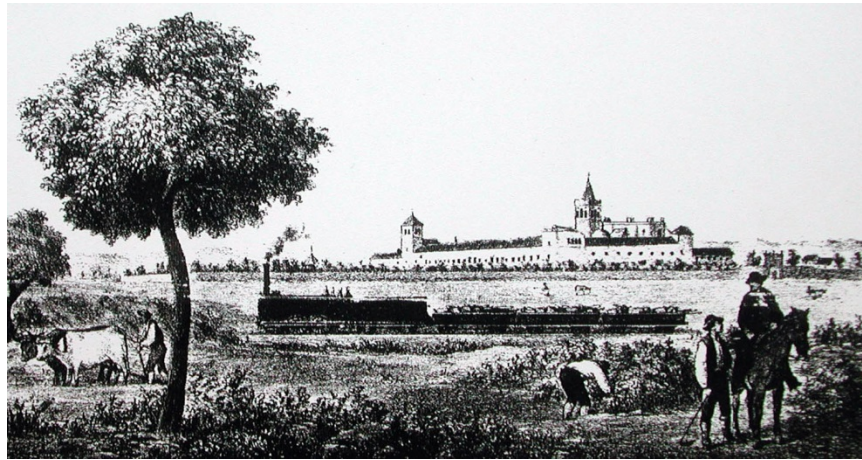


Figura 1: Grabado del Monasterio de San Jerónimo de Buenavista (Sevilla)

2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

El Monasterio de San Jerónimo de Buenavista de Sevilla llegó a estar constituido por cinco edificaciones principales: la iglesia, el claustro de levante, el claustro principal, la torre y la imprenta (Figura 2).

La iglesia fue el primer edificio cuya construcción se finalizó, en el primer tercio del siglo XVI. Se trataba de una iglesia de estilo gótico, constituida por una nave central, dos alas de capillas, un ábside y una sacristía. Al mismo tiempo, se llevó a cabo el claustro de levante, constituido a partir de 24 pilares de ladrillo [1].

También en el primer tercio del siglo XVI, y al lado del claustro anterior, la construcción del claustro principal fue iniciada. Las obras no finalizaron hasta la primera mitad del siglo XVII. Es una construcción de estilo renacentista, y será nuestro objeto principal de estudio. En este caso, el patio es una construcción de piedra calcarenita y está configurado a partir de siete pilares en cada lado, columnas adosadas y arcos de medio punto. Las galerías, existentes en dos plantas, están delimitadas por muros de fábrica de ladrillo y cubierta por bóvedas vaídas. En la galería de planta alta los arcos son escarzanos (Figuras 3 y 4).

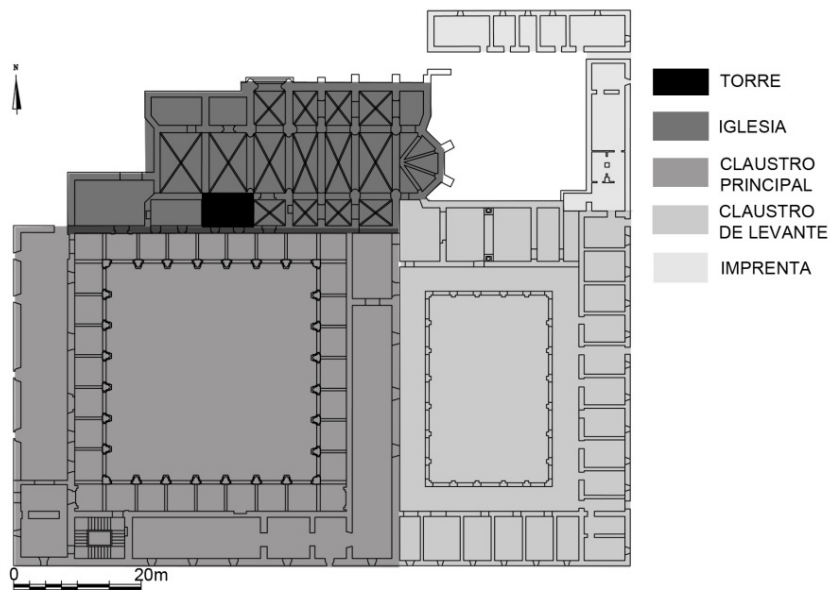


Figura 2: Disposición de las principales edificaciones que constituyen el conjunto



Figuras 3 y 4: Vistas de las fachadas sureste y suroeste del claustro principal.

La torre y la imprenta fueron los últimos edificios en ser construidos. Sus construcciones fueron iniciadas a finales del siglo XVI. La imprenta es una construcción independiente compuesta por dos grandes crujiás unidas en L, que están conectadas con el claustro de levante y con la iglesia.

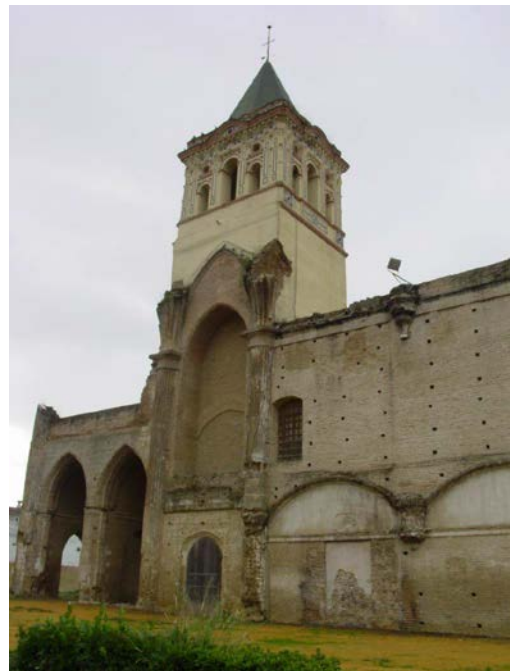
A mediados del siglo XVII, el conjunto estaba totalmente construido. Hasta principios del siglo XIX, los edificios fueron utilizados como un monasterio. Durante el siglo XVII había llegado a estar habitado por más de 150 frailes. Sin embargo, en 1809 el clero regular fue extinguido. Este acontecimiento provocó que entre 1815 y 1820 el monasterio sufriera saqueos muy destructivos, con grandes incendios [2]. En 1823 el edificio volvió a ser usado por frailes, pero finalmente, en 1835, los frailes abandonaron el conjunto debido a la destrucción de la iglesia. Las instalaciones pasaron a ser utilizadas como fábrica de cristales, lo cual provocó cambios en la configuración arquitectónica de la torre y de la iglesia. La torre sería vaciada para ser utilizada como secadero. Después de esto, el proceso de degradación del conjunto continúa, culminando con el uso como cebadero de cerdos que se prolongaría hasta avanzado el siglo XX.

En 1964, el conjunto fue declarado monumento histórico artístico [3]. Después de este hecho, algunas obras de consolidación fueron llevadas a cabo en 1966. Sin embargo, los restos del conjunto volverían a sufrir daños provocados por el terremoto de 1969.

En 1984, el conjunto pasaría a ser propiedad del Ayuntamiento de Sevilla y, desde entonces distintas operaciones de rehabilitación y recuperación funcional de los elementos del conjunto han sido realizadas.

3. CONFIGURACIÓN ARQUITECTÓNICA INICIAL Y PATOLOGÍAS MÁS RELEVANTES

A día de hoy, la iglesia y el claustro este están prácticamente desaparecidos, solo dos capillas y el muro anexo al claustro principal se conservan [1]. Por otra parte, del claustro renacentista se conserva la planta baja y, de la planta alta, la estructura vertical con algunas cubiertas de la galería norte (Figura 5). La torre también se mantiene en pie, aunque sin elementos interiores (Figuras 6).



Figuras 5 y 6: Vista de la galería superior del claustro principal. Vista de la torre.

Por otro lado, excavaciones arqueológicas llevadas a cabo en 2003 condujeron al hallazgo de dos cámaras subterráneas abovedadas.

Las patologías detectadas tienen relación con los siguientes aspectos: fisuración de elementos estructurales, fisuración en elementos auxiliares, deformaciones excesivas, fallos en las cimentaciones, concentración de humedades, corrosiones de elementos metálicos, disgregación, agrietamientos, hinchamientos y ataques de las fábricas, etc.

Dentro de lo anterior, destacamos las siguientes patologías:

- Deformaciones en algunos de los arcos del claustro con separaciones entre las piezas que los constituyen (fachada oeste, fachada este, fachada sur). Las separaciones entre piezas se dan principalmente en las claves de los arcos afectados.

- El estado del quinto pilar de la fachada norte condujo a que en la década de los años 70 fuera totalmente repuesto con piedra de la cantera original.
- En todas las fachadas del claustro, se detectan en los pilares erosiones y roturas de la piedra que suponen pérdida de masa.
- Se detectan fisuras a señalar en los muros este y sur de las fachadas del claustro. Se trata de fisuras verticales cuyos grosores varían entre 0.1 y 0.3mm.
- Grietas en la conexión de las bóvedas de la galería este con muro interior de la misma.

4. ACTUACIÓN ARQUITECTÓNICA

Actualmente, el Proyecto de Rehabilitación del Monasterio de San Jerónimo de Buenavista para su Adecuación a Centro Cívico está siendo realizado. El proyecto básicamente consiste en la reconstrucción de las crujías sur y este y su acondicionamiento para su utilización como centro cívico del barrio en el que el monasterio ha quedado incluido.

La principal premisa del proyecto es respetar los restos existentes del antiguo monasterio, de tal manera que sea identificable lo contemporáneo frente a lo histórico. Un lenguaje neutro arquitectónico dentro de unas claves actuales en las nuevas edificaciones es usado[2]. Desde un punto de vista estructural, un sistema mixto de muros de carga y pilares que sustentan jácenas de gran canto es usado para construir la nueva edificación. (Figura 7).



Figura 7: Imagen de la reconstrucción de la crujía este. Planta superior.

5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Una de las dificultades que nos encontramos en este ejemplo de cara a realizar un estudio de la estabilidad del conjunto es la de identificar de forma precisa, por un lado, los rellenos de las bóvedas y, por otro, todas las propiedades del material. Como también es sabido, los niveles de humedad sobre los elementos estructurales principales van a modificar el módulo de elasticidad de manera significativa en este tipo de piedra [4].

Debido a estos aspectos, la determinación de las propiedades mecánicas y la rigidez del conjunto resulta difícil de ajustar a la realidad. En este caso, se ha realizado para ello un estudio inicial mediante un análisis modal operacional (OMA) para ajustar con mayor precisión la densidad y la rigidez del claustro principal [5].

En la actualidad se ha estudiado el ala norte. Dado que es la más flexible y que no presenta grandes patologías, podremos identificar con más claridad más modos de vibración y, por lo tanto, la actualización de la rigidez y la masa va a poder aproximarse con mayor precisión.

La campaña experimental se ha desarrollado tomando un total de 28 medidas de 12 minutos de duración mediante 8 acelerómetros uniaxiales de fuerza balanceada, situando 2 de referencia en planta primera y dos en planta cubierta, para así identificar tanto modos de flexión como de rotación. Una vez filtradas y tratadas las señales mediante el programa ARTeMIS [6] se han identificado 4 modos de vibración (Tabla 1 y Figura 8).

Tabla 1: Comparación entre las frecuencias naturales identificadas mediante la campaña experimental mediante los métodos de identificación SSI (Identificación en el Subespacio Estocástico) y EFDD (Descomposición mejorada en el dominio de la frecuencia) y las identificadas mediante el Método de los Elementos Finitos (MEF)

Nº MODOS	SSI (Hz)	EFDD (Hz)	MAC SSI/EFDD ARTeMIS	MEF (Hz) Abaqus
1	2.01	2.01	0.99	1.99
2	3.00	3.04	0.97	3.03
3	3.72	3.73	0.99	3.5
4	4.94	4.89	0.97	4.78

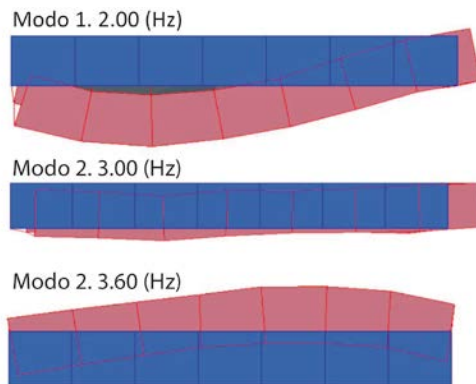


Figura 8: Modos de vibración identificados mediante OMA.

Una vez identificados los modos de vibración de manera experimental se ha realizado un modelo numérico aplicando el Método de los Elementos Finitos mediante el programa Abaqus 6.9-1 [7]. En dicho modelo se han ajustado los valores de la densidad y el módulo de deformación longitudinal del material hasta hacerlo presentar un comportamiento análogo al obtenido mediante la aplicación de OMA. De este modo se consigue que los resultados obtenidos del análisis estructural del modelo sean más próximos al comportamiento real de la estructura.

Como primera aproximación al análisis estructural, se presenta a continuación en las Figuras 9 y 10 el estado tensional de las bóvedas de planta primera de la crujía norte. En ellas se aprecia un buen comportamiento a tracción, con valores próximos a 0.1 MPa y con valores muy bajos de tensiones de compresión, con un reparto homogéneo de las cargas. Sin embargo, sí se aprecia un cierto nivel de

tensiones de tracción en la cara exterior de las pilastras que conforman el claustro, tensiones que deben ser tenidas en cuenta en un análisis más general donde esté presente el edificio completo.

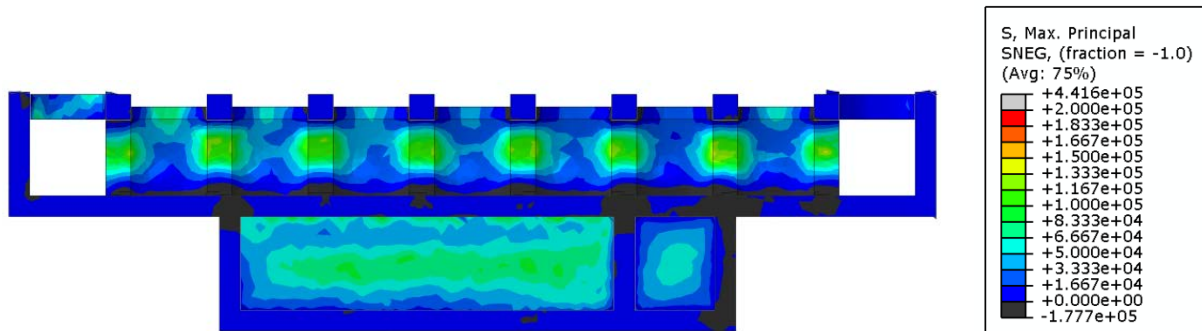


Figura 9: Tensiones principales de tracción. Planta primera. Crujía norte.

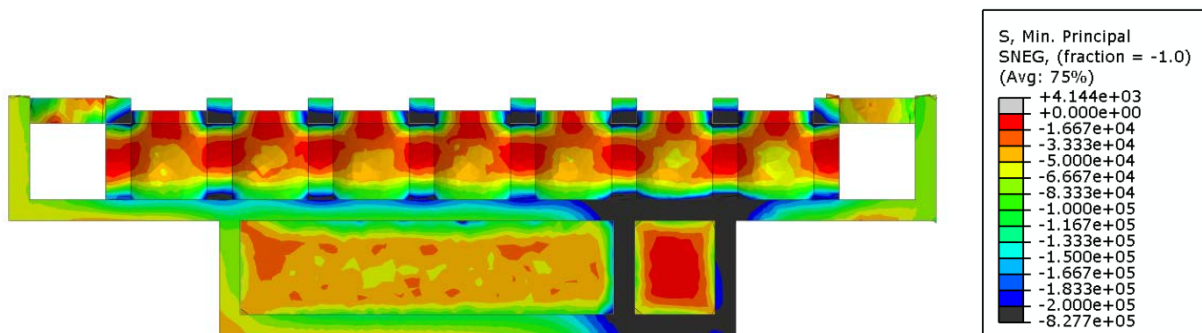


Figura 10: Tensiones principales de compresión. Planta primera. Crujía norte.

6. CONCLUSIONES

La técnica utilizada de OMA ha sido válida para identificar cuatro modos de vibración, número suficiente para poder ajustar las propiedades del material y validar el modelo de cálculo.

Señalar el buen comportamiento de las bóvedas, aunque existen tensiones de tracción en los pilares elevadas que requerirían un estudio más detallado de los mismos.

7. AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento a la Gerencia Municipal de Urbanismo del Ayuntamiento de Sevilla, en especial a D. Fernando Sánchez Navarrete, por su disposición y facilidades dadas para poder haber realizado el presente estudio.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] Pozo, F., Gil, R., Méndez, E. *Intervención arquitectónica puntual en Monasterio de San Jerónimo de Buenavista (Sevilla)*. Memoria final (2003).

[2] García-Tapial, J., Sánchez, F. *Proyecto de Rehabilitación del Monasterio de San Jerónimo de Buenavista para su adecuación a Centro Cívico*. Servicio de Rehabilitación y Renovación Urbana. Urbanismo. Ayuntamiento de Sevilla (2004).

[3] *Decreto 2803/1964, de 27 de agosto, por el que se declaran conjuntos y monumentos histórico-artísticos diversas zonas y edificios en la ciudad de Sevilla*. BOE de 12 de septiembre de 1964.

[4] Rodríguez-Mayorga, E., Yanes, E., Compán, V., Sáez-Pérez, A. La restauración del templo parroquial de San Dionisio(Jerez de la Frontera, España). La inyección como método de reparación de estructuras de fábrica. *Informes de la Construcción*. Vol. 65, nº529 (2013). Doi:10.3989/ic.11.130.

[5] Ramos, L. F., L. Marques, P. B. Lourenço, G. De Roeck, A. Campos-Costa and J. Roque. Monitoring Historical Masonry Structures with Operational Modal Analysis: Two Case Studies. *Mechanical Systems and Signal Processing* 24 (5): 1291-1305 (2010).

[6] Structural Vibration Solution A/S. ARTeMIS Extractor.

[7] DASSAULT SYSTEMES, SIMULIA, ABAQUS v.6.9-1