



## COMPORTAMIENTO MECANICO DE LOS MUROS DE LA NAVE CABECERA DE LA IGLESIA DE CASTILLO DE ALBA EN ZAMORA BAJO LA ACCION DE LA CUBIERTA

JOSÉ LUIS GONZÁLEZ FUEYO<sup>1</sup>, LEOCADIO PELÁEZ FRANCO<sup>2</sup>,  
MANUEL PABLO RUBIO CAVERO<sup>2</sup>, ROBERTO JOSÉ GARCÍA MARTÍN<sup>2</sup>

Universidad de Salamanca, E.P.S. de Zamora.

<sup>1</sup> Dpto de Ingeniería Mecánica. <sup>2</sup> Dpto de Construcción y Agronomía.  
Avda. de Requejo 33, Zamora (España)

*(Recibido 8 de mayo de 2002, para publicación 2 de abril de 2004)*

**Resumen** – Se realiza un estudio, mediante elementos finitos, del comportamiento mecánico, bajo la acción de la cubierta, de la nave cabecera de la iglesia de Castillo de Alba en Zamora. Esta iglesia se halla actualmente en restauración, debido a su avanzado estado de deterioro. Se plantean, tanto para el material del muro, como para la estructura de la cubierta, diferentes hipótesis de trabajo. Se comparan los resultados en cada una de las situaciones.

### 1. INTRODUCCIÓN

La restauración de edificios históricos entraña una gran dificultad debido a que resulta indispensable la comprensión de la realidad constructiva y estructural del edificio. Su complejidad geométrica, heterogeneidad de las propiedades mecánicas de los materiales, difícil caracterización de las acciones, así como las restricciones en la inspección y extracción de muestras, hace que cada vez tengan mayor cabida en su estudio las modernas tecnologías. Bajo todas las circunstancias antes indicadas, el empleo de técnicas como los elementos finitos, no permite obtener una solución cuantitativa fiable de cual es el comportamiento mecánico real del edificio, pero si obtener un idea cualitativa aproximada. Estos datos son de gran ayuda a la hora de tomar las decisiones a adoptar en la reparación.

En este trabajo se ha utilizado este método para estudiar la nave cabecera de la iglesia de Castillo de Alba que actualmente se halla en estado de grave deterioro. La Iglesia es un claro ejemplo de la arquitectura religiosa popular del siglo XVII y está situada a 40km en dirección noroeste desde la ciudad de Zamora.

Debido por una parte, al diseño de la estructura de cubierta que carga sobre sus muros, y por otra parte, a la descomposición que a lo largo de los siglos ha sufrido el material con que éstos están hechos [1,2], han aparecido zonas agrietadas que amenazan incluso con el derrumbe de alguna de sus partes.

### 2. OBJETO DEL ESTUDIO

El pueblo de Castillo de Alba se encuentra en un entorno privilegiado, junto a un meandro del río Alisite, en una zona con importantes restos históricos. En la figura 1 se muestra una fotografía del entorno.

El castillo, que junto con la iglesia, es lo único que queda de su antigua fortaleza, son las reliquias que evidencian el prestigio del antiguo municipio. La iglesia llegada a nuestros días, es una construcción relativamente reciente, posiblemente levantada sobre los restos de otra anterior. Sigue una tipología característica en la comarca para pequeñas iglesias y ermitas con trazas populares. Funcionalmente consta de una sola nave con cabecera cuadrada, sotocoro, espadaña-campanario y atrio de entrada. La sacristía aparece



Fig. 1. Fotografía del pueblo Castillo de Alba.

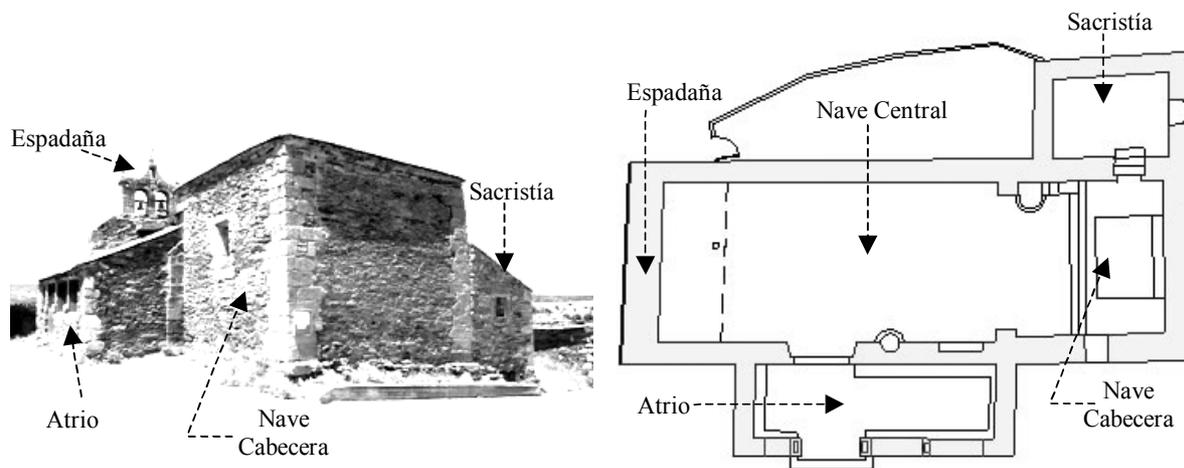


Fig. 2. Fotografía y planta de la Iglesia de Castillo de Alba.

como un añadido en la zona Norte de la nave cabecera. La figura 2 nos muestra la iglesia y la representación de su planta con indicación de sus partes.

### 2.1. La cubierta de la nave cabecera

La cubierta de la nave cabecera es tradicional, con un sistema constructivo muy sencillo, consistente en un nabo central de madera con alas laterales para pasadores o berraqueros de sujeción. A dicho nabo se unen los pares de lima. Dispone además de cuadrales y aguilonos colocados en un estribo para reducir los empujes horizontales en las esquinas [3,4]. Sobre estos pares se colocan los pares de faldón que también apoyan sobre los pares de lima. Se remata con un entablado de tabla de madera machihembrada, sobre el que apoya la teja árabe que acaba en unos aleros de lajas de pizarra a modo de refreno para la evacuación de las aguas. Los empujes de todo el conjunto de la cubierta son transmitidos a los muros. La principal clase de madera parece ser chopo, si bien existe tabla de pino y de otros tipos. La estructura tiene problemas de humedades y xilófagos [5], lo que hace que peligre seriamente su conservación.

El empuje de la cubierta implica importantes fisuraciones y grietas en los muros [1], por lo que para la restauración se ha propuesto un zuncho de hormigón armado a modo de durmiente en todo el perímetro cajado en la coronación del muro. En la figura 3 vemos la cubierta de la nave desde el interior y uno de sus muros agrietados en su parte exterior.

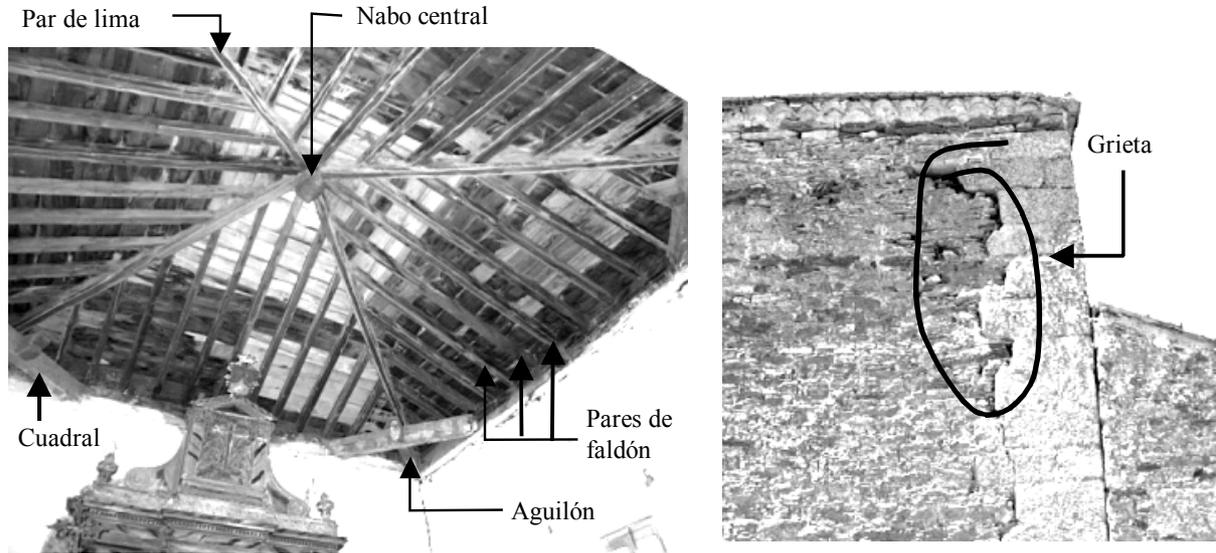


Fig. 3. Cubierta de la nave cabecera y grieta en su exterior.

## 2.2. Los muros

Los materiales básicos que forman los muros son piedra, morteros de cal y barro. La piedra es granito del lugar, extraída de las canteras próximas junto a la orilla del Esla y pizarra arcillosa que dan al conjunto un color rojizo [6]. Los granitos son rocas de tipo eruptivo magmático, constituidas por granos, principalmente de cuarzo (sílice), feldespatos y mica. Se clasifican de acuerdo con la proporción y tamaño de granos de cuarzo y feldespatos. La degradación de estos últimos en contacto con la atmósfera se conoce como “caolinización de feldespatos” convirtiéndose en un material superficialmente blando, poroso que se desmorona produciendo arcillas.

Por su parte el tipo de pizarra existente en la fábrica es arcillosa, sedimentaria, de grano fino con gran facilidad de separarse en láminas finas. Mineralógicamente están formadas por cuarzo (sílice), minerales de arcilla (alúmina), óxidos de hierro, óxidos de magnesio y carbonatos. Presentan coloraciones muy variables debidas a la mayor o menor proporción de óxidos y materia orgánica.

Los morteros utilizados son de cal o cal con barro y han sido testados para comprobar y estudiar sus composiciones y dosificaciones, determinándose que sus áridos tienen una importante cantidad de arcillas y de esquistos (probablemente se utilizó pizarra finamente molida para armar el mortero). En cuanto a sus dosificaciones, se ha detectado que son muy pobres en el interior, con gran cantidad de finos y mayor proporción de cal en los acabados de junta.

La elevada cantidad de arcillas que interviene en la composición de las rocas que constituyen este edificio, junto con los factores climáticos y ambientales del lavajo sobre el que se ubica, han provocado la degradación del monumento [1], reflejada en la aparición de fisuraciones y roturas por alteraciones en la volumetría, así como la afloración de sales superficiales debidas a la porosidad del material y a la facilidad de transmigración de productos por capilaridad.

En los arranques de los muros, sobre el nivel de roca del terreno, presenta importantes problemas de descomposición. La construcción actual presenta graves riesgos de desplomes, habiéndose iniciado importantes movimientos en el muro norte debido a los empujes de la cubierta.

## 3. MODELO

Debido a que se requiere un cálculo no lineal, puesto que para la fábrica de piedra se ha tomado un modelo de comportamiento con módulo a compresión aproximadamente 20 veces mayor que a tracción [7] y

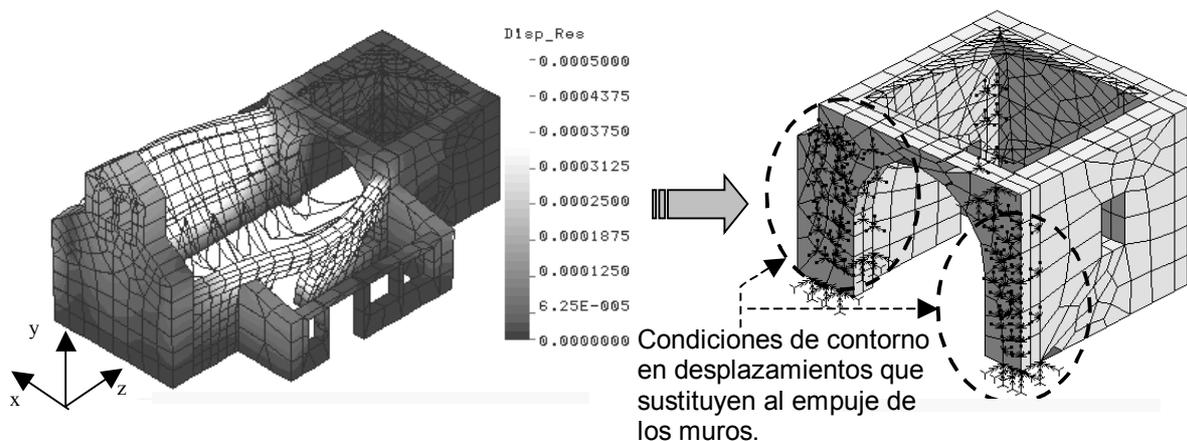


Fig. 4. Modelo de la iglesia completa y modelo de la nave cabecera, con los desplazamientos que los muros del resto de la iglesia provocan sobre ésta, introducidos como condiciones de contorno.

al gran número de ensayos que se querían realizar, se decidió confeccionar un modelo con un número de elementos reducido. El tamaño y complicación de la geometría del edificio, así como la incertidumbre y heterogeneidad sobre las propiedades de los materiales, hace que en este tipo de estudios sea imposible la obtención de unos resultados cuantitativos fiables y solo se busquen unos resultados cualitativos que nos den información a groso modo cómo se comporta el mismo [7]. Bajo estas hipótesis, no es necesario una malla de gran calidad, pudiendo utilizarse mallados gruesos que en otro tipo de aplicaciones de los elementos finitos sería inadmisibles.

En un primer paso se modeló la iglesia al completo, tomando elementos tipo brick de 8 nodos y se determinaron los desplazamientos que los muros de la nave principal, sacristía y atrio provocaban sobre la nave cabecera. Determinados estos desplazamientos, se introdujeron como una condición de contorno más, sobre un segundo modelo formado únicamente por la nave cabecera y en el que, aunque tampoco se ha utilizado un mallado excesivamente fino, si que se han tomado elementos brick de orden elevado (20 nodos), puesto que estos elementos junto con la integración reducida siempre presentan mejor comportamiento en los casos no lineales [7,8]. En la figura 4 se muestran el modelo de la iglesia completa y el de la nave cabecera con los empujes del resto de la iglesia introducidos como condiciones de contorno en desplazamientos.

En cuanto a la sollicitación que provoca la cubierta, se ha dividido en dos partes. El peso propio de los elementos resistentes; pares, durmientes, pares de lima, estribos, aguilonos y cuadrales, los ha determinado el programa a través de la geometría de éstos y la densidad de sus materiales. La madera con la que se han fabricado parece ser de varios tipos, prevaleciendo el chopo. En cualquier caso, por seguridad, se ha adoptado un valor de  $800 \text{ kp/cm}^3$  [5,9].

Se han tomado 13 pares por cada lado de la cubierta y la longitud de amarre de los cuadrales a los estribos de un metro. Las dimensiones de los elementos de la cubierta no han sido posible determinarlas con exactitud, por no estar accesibles en su totalidad, debido a su grado de deterioro. Por ello, los valores tomados deben ser comprobados una vez se desmonte. No obstante se han aproximado por los que se muestran en la figura 5.

Para el resto de la carga, compuesta por la permanente debida al conjunto de tablero de madera machihembrado y teja cerámica curva recibida con mortero de cal, y a las variables (viento y nieve) se ha tomado como valor más desfavorable  $160 \text{ kg/m}^2$  [9]. La cubierta tiene un área de  $45 \text{ m}^2$ .

Debido a que se quiere tener el nivel de tensiones real, se ha decidido no adoptar sobre los anteriores datos coeficientes de ponderación, considerando incluso los valores de carga antes indicados como extremos, ya que es difícil que se hayan alcanzado en algún momento de la vida del edificio.

Además no se ha considerado la sobrecarga de uso, puesto que ésta sería de carácter puntual en el espacio y en el tiempo, siendo necesaria para calcular una nueva cubierta asequible a la conservación bajo

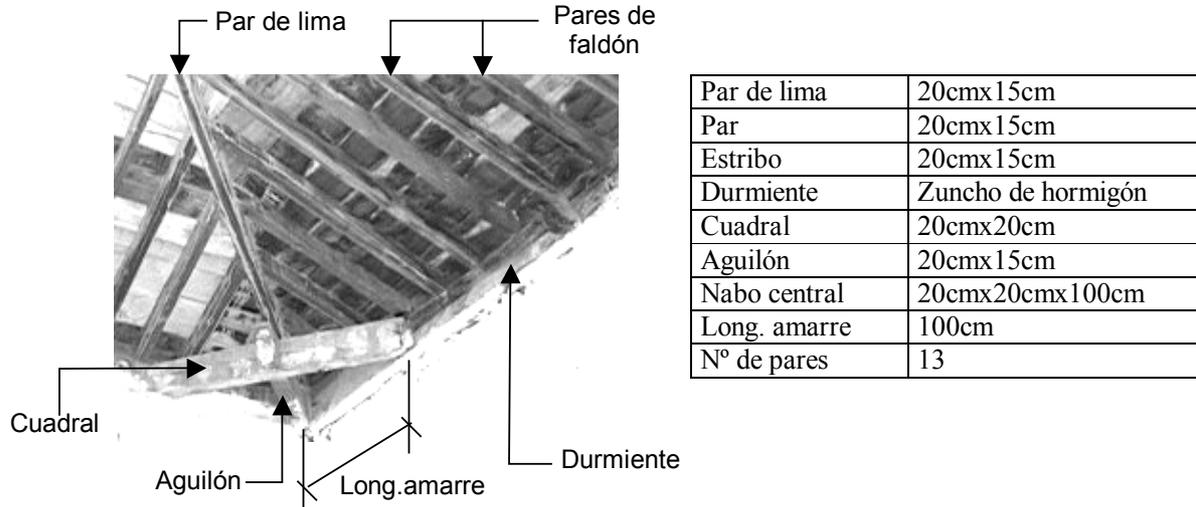


Fig. 5. Detalle de la cubierta, con indicación de sus partes y las dimensiones de éstas.

condiciones de seguridad y no, si lo que queremos es determinar las tensiones y desplazamientos reales que se están dando en la que ya existe.

Para el material que constituye los muros, tras consultar documentación sobre el tipo de piedra antes indicado, se ha decidido tomar una densidad de  $2,77 \text{ gr/cm}^3$ . Esta misma documentación indica que su módulo elástico puede variar en función del grado de alteración de la roca, entre los 2000 MPa si su estado es bueno y los 870 MPa si están muy alteradas [2,10]. Como dato real se ha tomado el primero.

Se han realizado los siguientes estudios:

1. Se ha considerado que el módulo de compresión pudiera variar entre 2000MPa para una fábrica de piedra en buenas condiciones, hasta 800MPa para un fábrica en malas condiciones.
2. Se ha considerado que el número de pares por lado de la cubierta (Fig. 5) variase entre 1 y 13.
3. Se ha considerado que la inclinación de la cubierta variase entre  $5^\circ$  (casi horizontal) y  $46^\circ$ .
4. Se ha considerado que la carga sobre la cubierta (concarga+viento+nieve) variase entre 27000N ( $60\text{kp/m}^2 \times 45\text{m}^2$ ) hasta 72000N ( $160\text{kp/m}^2 \times 45\text{m}^2$ ).
5. Se ha supuesto que la longitud de amarre de los cuadriles (Fig. 5) variase entre 0,15m y 2,1m.

Finalmente, se han hecho otros dos estudios:

6. En vez de determinar los desplazamientos que el resto de los muros de la iglesia provoca sobre la cabecera, e introducirlos como condiciones de contorno en desplazamientos, se supuso directamente que en estas posiciones la cabecera estaba empotrada y su desplazamiento era nulo.
7. Se supuso que la cabecera era absolutamente independiente del resto de la iglesia, permitiendo que todos sus muros se movieran libremente, incluso los que contactaban con el resto de la iglesia.

Para estos dos últimos estudios ha vuelto a suponerse que el módulo de compresión pudiera variar entre 2000MPa y 800MPa.

Al no estar la cubierta accesible, dado su grado de deterioro, no se pudo determinar como se han resuelto las uniones pares-pares de lima y pares-durmiente, y por tanto hasta que punto los nudos son rígidos [5,11]. Por esto, se han considerado en todos los estudios dos posibilidades: nudos rígidos y nudos articulados. También, para ver el efecto que tiene la presencia de los cuadriles, en todos los casos se han planteado otras dos posibilidades: que existan cuadriles o que no.

La tabla 1 nos muestra un resumen de todos los casos con los códigos que se han asignado a sus resultados.

Tabla 1. Ensayos realizados con códigos de identificación de los resultados.

Caso	Variable modificada	Valor Real	Rango de variación	Con cuadr. Nudos ríg.	Con cuadr. Nudos art.	Sin cuadr. Nudos ríg.	Sin cuadr. Nudos art.
1	$E_{\text{compresión}}$ Despl. Dato	2 MPa	0,8÷2 MPa	1CR	1CA	1SR	1SA
2	Nº Pares	13	1÷13	2CR	2CA	2SR	2SA
3	Inclinación Cubierta	26°	5°÷46°	3CR	3CA	3SR	3SA
4	Carga	72 KN	27÷72 KN	4CR	4CA	4SR	4SA
5	Longitud de amarre	1 m	0,1÷1,5 m	5CR	5CA		
6	$E_{\text{compresión}}$ Despl. Nulo	2 MPa	0,8÷2 MPa	6CR	6CA	6SR	6SA
7	$E_{\text{compresión}}$ Despl. Libre	2 MPa	0,8÷2 MPa	7CR	7CA	7SR	7SA

#### 4. RESULTADOS

El primer análisis realizado, fue para comprobar que realmente la metodología de introducir como condiciones de contorno en la cabecera, los desplazamientos que los empujes de los muros de la nave central, atrio y sacristía producen sobre ésta, rinde los resultados adecuados. En la figura 6 se muestran las tensiones equivalentes para el caso de estudiar la iglesia completa, y para el caso de estudiar solo la parte de la cabecera introduciendo los desplazamientos provocados por el resto como condiciones de contorno. Como se ve los resultados son prácticamente iguales.

Tras esta comprobación, se muestran los resultados del primer caso estudiado, en que bajo éstas condiciones de contorno, se modifica el módulo a compresión de la fábrica de piedra entre 800MPa y 2000MPa (Fig. 7). Como lo que se quiere ver es hasta que punto la carga de la cubierta es capaz de abrir la esquina, se ha tomado como dato más relevante el ángulo  $\gamma$  (en radianes) que también se observa en la figura 7.

Los resultados se muestran en la figura 8.

El segundo estudio persigue determinar, como el número de pares que tenga la cubierta a cada lado afecta a la medida del ángulo  $\gamma$ . Los resultados se muestran en la figura 9.

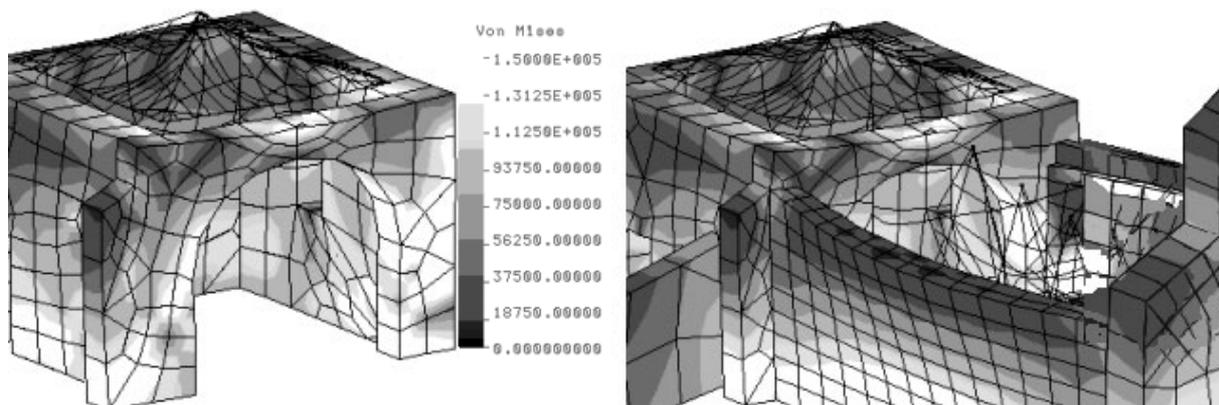


Fig. 6. Tensiones equivalentes en la cabecera cuando se estudia la iglesia completa, o bien cuando solo se estudia la cabecera, introduciendo los empujes del resto como condiciones de contorno en desplazamientos.

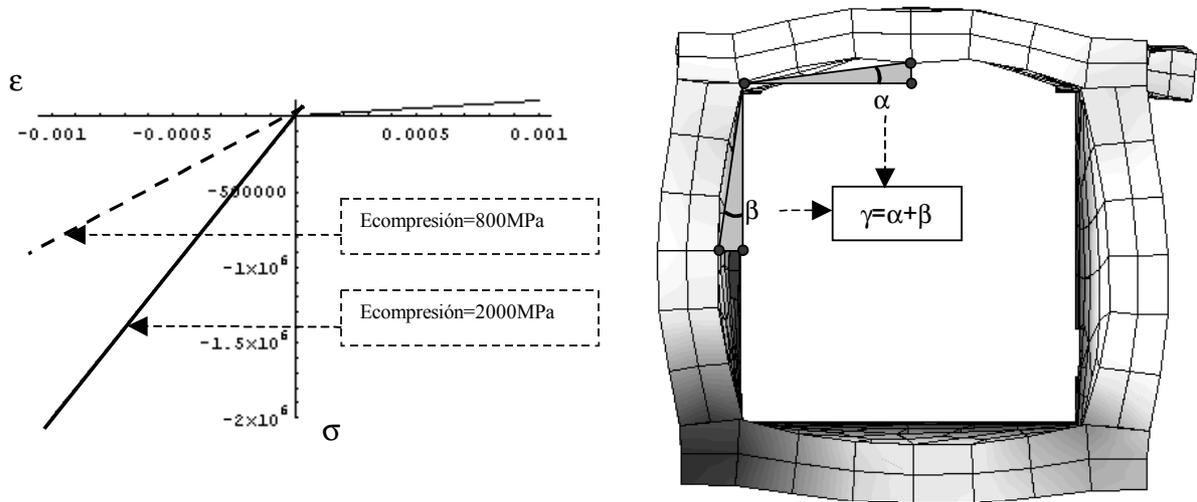


Fig. 7. Variación del módulo a compresión de la fábrica y medida del ángulo de apertura de la esquina  $\gamma$  (radianes).

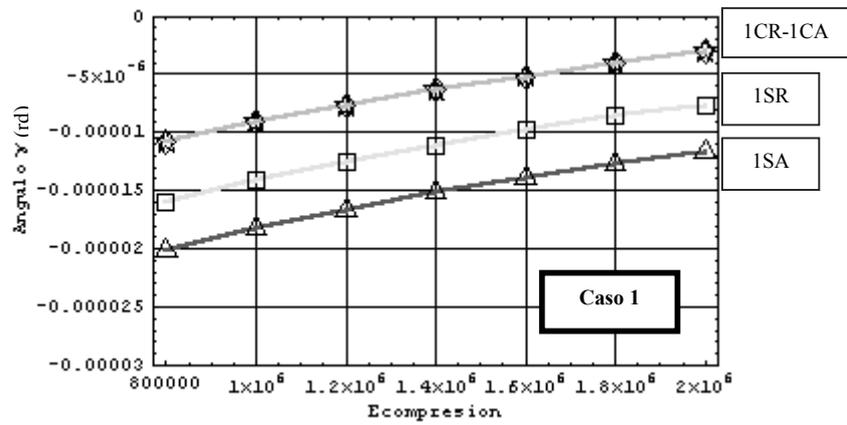


Fig. 8. Resultados variando el módulo a compresión de la fábrica.

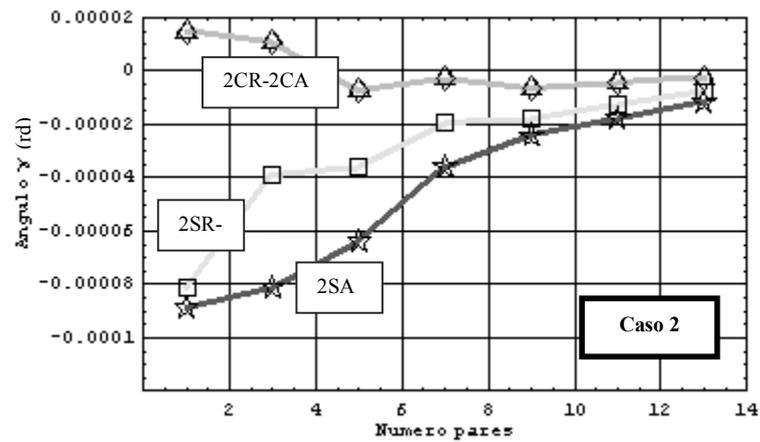


Fig. 9. Resultados variando el número de pares.

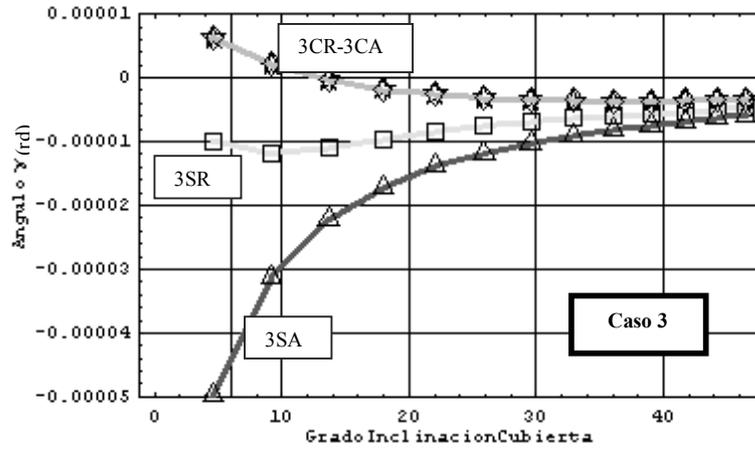


Fig. 10. Resultado variando el grado de inclinación de la cubierta.

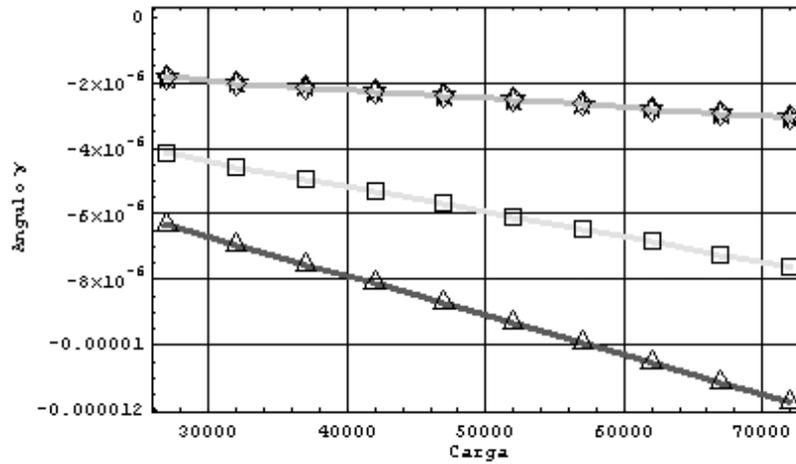


Fig. 11. Resultado variando la carga que actúa sobre la cubierta.

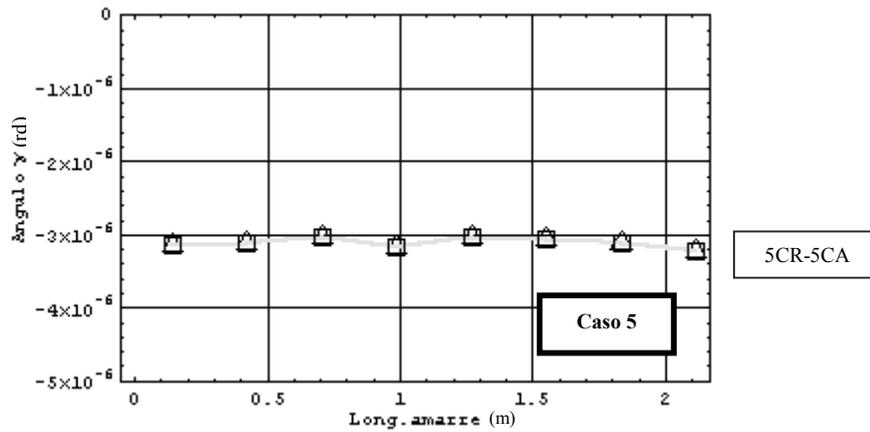


Fig. 12. Resultado variando la longitud de amarre de los cuadrales.

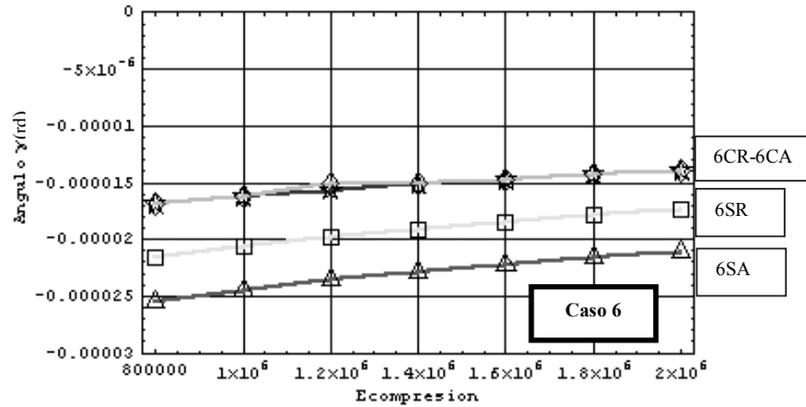


Fig. 13. Resultados si se considera que las zonas de los muros de la cabecera que estaban en contacto con el resto de la iglesia eliminada tienen desplazamientos nulos (empotrados).

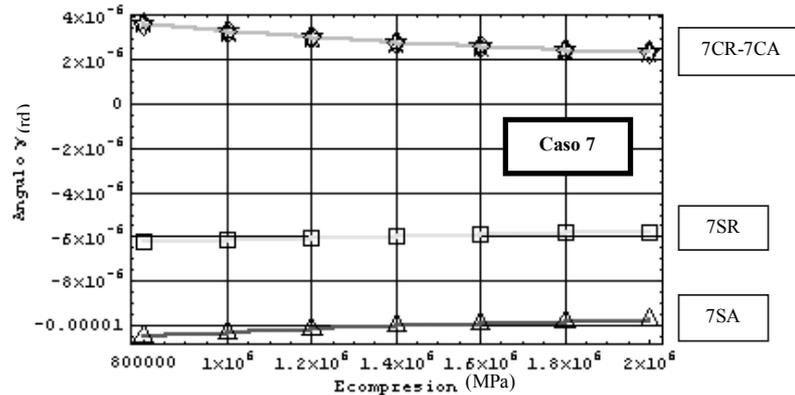


Fig. 14. Resultados si se considera que la iglesia es un edificio independiente y sus muros se mueven libremente sin recibir el empuje del resto de las partes eliminadas.

Por su parte la figura 10 indica la variación de  $\gamma$  con la inclinación de la cubierta medida en grados.

En la figura 11 se muestra el caso de que la carga varíe desde 27000N ( $60\text{kp/m}^2 \times 45\text{m}^2$ ), cuando se supone que solo tenemos la concarga, hasta la situación más desfavorable con 72000N ( $160\text{kp/m}^2 \times 45\text{m}^2$ ) donde suponemos que a la concarga se le suma la nieve o el viento o ambos a la vez.

La figura 12 presenta el efecto de la longitud de amarre de los cuadriles en metros.

Finalmente se estudia el efecto que el resto de la nave ejerce sobre la nave cabecera. Recordemos en primer lugar, que el Caso 6 consideraba que las zonas de contacto de los muros de la cabecera con el resto de los muros de la iglesia equivalían a un empotramiento y por tanto con desplazamientos nulos. Los resultados se observan en la figura 13.

En el Caso 7, cuyos resultados se muestran en la figura 14, se supone que la cabecera fuera un edificio aislado y todos sus muros se pudieran mover libremente sin ningún impedimento por parte del resto de las naves de la iglesia.

## 5. DISCUSIÓN

Como era de esperar, se comprueba en todas las figuras que el ángulo de apertura  $\gamma$  siempre es menor cuando hay cuadriles que cuando no los hay. Es más, la presencia de éstos rigidiza tanto la estructura que

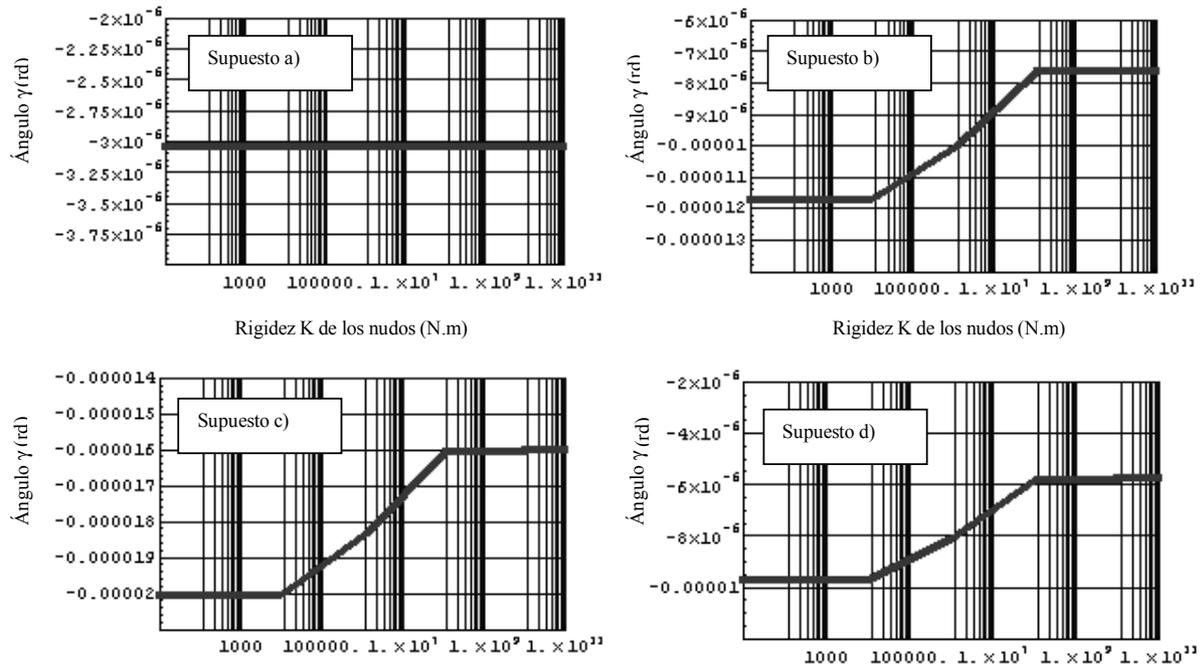


Fig. 15. Variación del ángulo  $\gamma$  según se modifica la rigidez de los nudos.

no existe ninguna diferencia entre el caso de nudos articulados y el de nudos rígidos.

En cambio, cuando no hay cuadrales, si existe diferencia entre el caso de nudos rígidos y el de nudos articulados, siendo siempre  $\gamma$  mayor en el segundo caso, en una cuantía que depende del resto de condiciones de la estructura. Para estos casos, se ha estudiado como en función de la rigidez de los nudos se modifica la rigidez de la estructura. La figura 14 muestra esta circunstancia en escala logarítmica para varios supuestos:

- Supuesto a) Con aguilón y cuadrales Caso 1 con  $E_{\text{compresion}}$  de 2000MPa.
- Supuesto b) Sin aguilón ni cuadrales Caso 1 con  $E_{\text{compresion}}$  de 2000MPa.
- Supuesto c) Sin aguilón ni cuadrales Caso 1 con  $E_{\text{compresion}}$  de 800MPa.
- Supuesto c) Sin aguilón ni cuadrales Caso 6 con  $E_{\text{compresion}}$  de 2000MPa.

En el Supuesto a) al haber aguilón y cuadrales, se confirma que no hay diferencia entre el caso de nudos articulados y nudos rígidos. En cambio, para el resto de los casos, donde no hay ni aguilón ni cuadrales, se observa como para una rigidez de los nudos inferior a  $1 \times 10^5$  N.m, la variación de ésta no tiene efecto, y podemos considerar el nudo como perfectamente articulado. Lo mismo ocurre por encima de  $1 \times 10^8$  N.m, comportándose el nudo, por encima de este valor, como perfectamente rígido. Entre ambos valores, la rigidez del nudo modifica el ángulo  $\gamma$  en que se abre la esquina. Los supuestos b) y c) y d) presentan diversas condiciones de contorno por lo que parece que los valores en que comienza y termina el efecto de la rigidez no dependen del resto de variables. Se han estudiado otras combinaciones, obteniéndose la misma conclusión.

Respecto al efecto del módulo a compresión, se ve en los resultados del Caso 1 como al ir aumentando éste, la estructura se vuelve más rígida y por tanto disminuye  $\gamma$ . En los Casos 6 y 7, donde se consideran respectivamente desplazamientos nulos y libres en las posiciones de contacto de la nave cabecera con el resto del edificio, los resultados varían en cantidades que pueden ser de hasta el 50% con respecto al Caso 1. De aquí podemos deducir que el efecto de interacción del resto de la nave puede ser incluso más significativo que el de la carga que supone el peso de la cubierta.

En el Caso 2, en el que se estudian el número de pares, el aumento de éstos implica que se reparta la carga y disminuya al momento, de igual manera que en el sencillo ejemplo de la ménsula empotrada so-

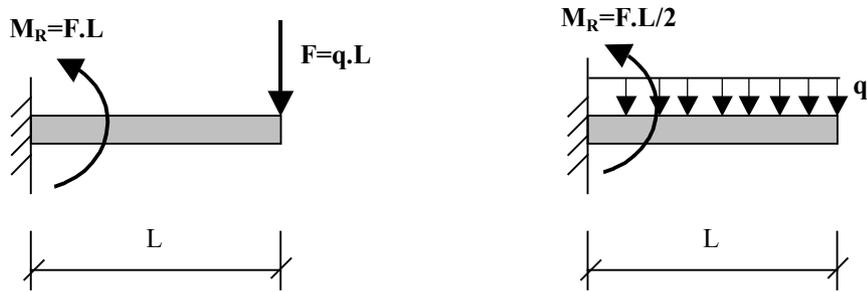


Fig. 16. Variación del momento de reacción en función de la distribución de la carga.

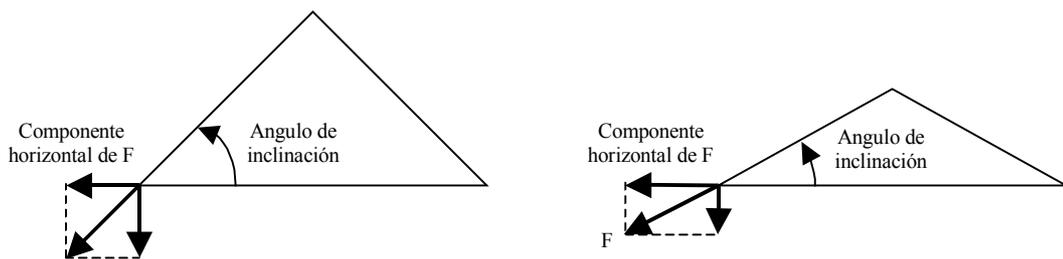


Fig. 17. Componente horizontal de F según la inclinación de la cubierta.

metida a carga repartida o aplicada en un punto que se observa en la figura 16. Por esta razón, en la figura 9 se observa como el aumento del número de pares en cada lado de la cubierta lleva a una disminución del ángulo  $\gamma$ .

En el Caso 3 (Fig. 10), al disminuir el ángulo de la cubierta, aumenta la componente horizontal según se observa en la figura 17. Por ello aumenta  $\gamma$ , lo cual es especialmente observable en los resultados 3SA sin cuadrales y con nudos articulados, mientras que en el 3SR por el efecto de rigidización en los nudos se aprecia mucho menos.

Por su parte en el Caso 4 (Fig. 11), donde se estudia el efecto del incremento de la carga, se observa como al aumentar ésta, aumenta  $\gamma$  de manera prácticamente lineal. La constante de proporcionalidad de éste incremento es mayor en el caso 6SA (Sin cuadrales y nudos articulados) que en el caso 6SR (Sin cuadrales y nudos rígidos) y la de éstos a su vez mayor que la de los casos con cuadrales (6CR-6CA).

Finalmente, y al contrario de como era de esperar, la longitud de amarre no parece tener ningún efecto en el ángulo  $\gamma$ , debido a que la nave es tan pequeña, que la sola presencia del cuadral situado a cualquier distancia, es suficiente para rigidizar la estructura.

## 6. CONCLUSIONES

La presencia de los cuadrales rigidiza la estructura hasta tal punto que no importa que se considere los nudos como articulados o rígidos.

Al quitar los cuadrales disminuye la rigidez del conjunto y esta disminución es aún más notable si en vez de considerar los nudos rígidos se consideran articulados.

Al aumentar el número de pares se distribuye la carga y disminuye el momento que llega a la esquina de manera que también disminuye el ángulo de apertura  $\gamma$ .

A menor inclinación de la cubierta, mayor es la componente horizontal de la carga y mayor es el ángulo de apertura.

Cuanto menos rígida sea la estructura, mayor es el efecto que un incremento de carga produce en ella. La longitud de amarre de los cuadrales con los estribos, no parece tener ninguna influencia para el caso de una estructura tan pequeña.

La interacción con el resto de la estructura, favorece en éste caso la apertura de la esquina.

### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación MAT2000-1169 subvencionado por el plan nacional de I+D, del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Lozano y A. Lozano, *Técnicas de intervención en el patrimonio arquitectónico. Tomo 2: Reestructuración de edificios de muros de fábrica*, Lozano y asociados, Gijón (1995)
- [2] M. Añorbe Urmeneta, *Valoración del deterioro y conservación en la piedra monumental*, Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento, Madrid (1997)
- [3] G. Lozano y A. Lozano, *Técnicas de intervención en el patrimonio arquitectónico. Tomo 1: Reestructuración en madera*, Lozano y asociados, Gijón (1995)
- [4] M. Fernández Cabo, *Armaduras de Cubierta*, Ámbito Ediciones, Valladolid (1997)
- [5] R. Arguelles, *Estructuras de Madera: Diseño y Cálculo*, Gráficas Palermo, Madrid (1996)
- [6] J. I. García de los Ríos Cobo, J. M. Báez Mezquita, *La Piedra en Castilla y León*, Junta de Castilla y León, Valladolid (1994)
- [7] P. Lourenço, P. Roca, "Historical Constructions, 2001. Possibilities of numerical and experimental techniques", *Proceedings, III International Seminar*, Guimaraes (2001)
- [8] O.C. Zienkiewicz, *El método de los elementos finitos*, Reverte, Barcelona (1982)
- [9] J.E. Peraza, *Casas de madera*, Cosmoprint, Madrid (1995)
- [10] J. C. Jaeger, N. G. Cook, *Fundamentals of Rock Mechanics*, Capman & Hall, Londres (1969)
- [11] G. Galgoczy, *Dimensionamiento de Construcciones de Acero, Hormigón Armado y Madera*, Reverte, Barcelona (1976)
- [12] J. Lopéz Castellanos, *Cubiertas y Tejados. Manual práctico*, Artes Gráficas Gala, Madrid (1996)

### MECHANICAL BEHAVIOUR OF THE CASTILLO DE ALBA CHURCH MASONRY UNDER THE ROOF LOADS

**Abstract** – This work examines with the finite element method, the effects of different roof modifications over the mechanical behaviour in the masonry of the Castillo the Alba Church. The kind of joints, the Compressive Elastic Modulus , the inclination of the roof, the number of Trusses, and others, have different influences over the corners opening angles.