



EL TERREMOTO DE LISBOA DE 1755: PATOLOGÍAS E INTERVENCIONES EN LA CATEDRAL NUEVA DE SALAMANCA

TRABAJO FINAL DE GRADO | GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

CURSO 16/17 | JULIO 2017

TUTOR: JOSÉ LUÍS BARÓ ZARZÓ
COTUTOR: FERNANDO ARANDA NAVARRO

ALUMNO: JAVIER BRIONES GÓMEZ

Mi más sincero agradecimiento a mi tutor José Luís por su ayuda, dedicación y predisposición durante todo el curso, a mi cotutor Fernando por su apoyo incondicional a lo largo de este duro camino en la escuela y a Bernardo Perépez por su generosidad y sabiduría aportada en cada momento.

A Juanmi, Tere y Teresa por su gran hospitalidad en cada viaje realizado a Salamanca y a mi familia por el sustento que me han dado todos estos años.

Al fin, lo conseguimos.

ÍNDICE

01 | RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

02 | INTRODUCCIÓN

- 02.1 | PRESENTACIÓN
- 02.2 | OBJETIVOS
- 02.3 | METODOLOGÍA
- 02.4 | FUENTES

03 | MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES

03.1 | EL TERREMOTO DE LISBOA DE 1755 Y SU REPERCUSIÓN EN LA CIUDAD DE SALAMANCA

- 03.1.1 | TERREMOTO: CUESTIONES BÁSICAS
- 03.1.2 | SISMICIDAD HISTÓRICA
- 03.1.3 | PELIGROSIDAD SÍSMICA
- 03.1.4 | EFECTOS DEL SEÍSMO

03.2 | TRAZADO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CATEDRAL NUEVA (S.XVI - S.XVIII)

03.2.1 | DESCRIPCIÓN Y CRONOLOGÍA DE LA CATEDRAL NUEVA

03.2.2 | ANÁLISIS MATERIAL: ARENISCA DE VILLAMAYOR

03.2.3 | MEDIDAS PREVENTIVAS HISTÓRICAS FRENTE AL SISMO: TRAZADO Y CONSTRUCCIÓN

04 | PATOLOGÍAS ORIGINADAS POR EL TERREMOTO DE LISBOA DE 1755

04.1 | METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LAS PATOLOGÍAS

04.2 | CLASIFICACIÓN Y ESTUDIO DE LA PATOLOGÍAS

- 04.2.1 | LAS NAVES DE LA CATEDRAL NUEVA: MUROS Y BÓVEDAS
- 04.2.2 | LAS VIDRIERAS
- 04.2.3 | LA CÚPULA DEL CRUCERO
- 04.2.4 | LA TORRE DE LAS CAMPANAS
- 04.2.5 | LOS MUROS EXTERIORES. PINÁCULOS Y ARBOTANTES.

04.3 | INFLUENCIA DEL TRAZADO DE LA CATEDRAL EN LA PREVENCIÓN DE PATOLOGÍAS POR SISMO

05 | INTERVENCIONES TRAS EL TERREMOTO DE LISBOA DE 1755

05.1 | DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS INTERVENCIONES HISTÓRICAS Y CONTEMPORÁNEAS TRAS EL TERREMOTO DE LISBOA DE 1755

- 05.2.1 | LAS NAVES DE LA CATEDRAL: MUROS Y BÓVEDAS
- 05.2.2 | LAS VIDRIERAS DE LA CATEDRAL
- 05.2.3 | LA CÚPULA DEL CRUCERO
- 05.2.4 | LA TORRES DE LA CATEDRAL: LA TORRE DE CAMPANAS Y LA TORRE MOCHA.

06 | CONCLUSIONES

07 | FUENTES CONSULTADAS

01 | RESUMEN

La Catedral Nueva de Salamanca se construyó en estilo gótico tardío junto a la Vieja catedral en el siglo XVI. Como consecuencia del terremoto de Lisboa de 1755, el templo sufrió cuantiosos daños en sus fábricas, que fueron objeto de reparaciones en los siglos posteriores.

El objetivo del trabajo es triple. En primer lugar, se pretende conocer en qué medida el trazado y la construcción originarios de la Catedral contemplaban ya posibles mecanismos preventivos para minimizar los daños ante un hipotético temblor. A continuación, y conocida la realidad del sismo lisboeta, se analizan las principales patologías ocasionadas, tanto en los muros y bóvedas de las naves, como en la esbelta estructura de la torre-campanario o la pesada cúpula del crucero. La investigación se complementa con el estudio de las distintas intervenciones de reparación realizadas hasta nuestros días, prestando especial atención a aquellas que insisten en el carácter preventivo.

En definitiva, un repaso por los cinco siglos de historia y de arte de la Catedral Nueva examinados desde la óptica condicionante del fenómeno sísmico.

PALABRAS CLAVE

CATEDRAL NUEVA DE SALAMANCA | RESTAURACIÓN |
PATOLOGÍAS | INTERVENCIONES | TERREMOTO LISBOA 1755 | SISMO

01 | ABSTRACT

The New Cathedral of Salamanca was built in late Gothic style next to the Old Cathedral in the 16th century. As a consequence of the Lisbon earthquake of 1755, the temple suffered heavy damages in its masonries, that were object of repairs in the following centuries.

The objective of the work is threefold. In the first place, it is tried to know to what extent the layout and the construction originally of the Cathedral contemplated already possible preventive mechanisms to minimize the damages before a hypothetical earthquake. Then, and due to the reality of the Lisbon earthquake, we analyze the main pathologies caused, both in the walls and vaults of the naves, and in the slender structure of the bell tower or heavy dome of the cruiser. The investigation is complemented by the study of the different repair interventions carried out to date, paying special attention to those that insist on the preventive character.

In conclusion, a review of the five centuries of history and art of the New Cathedral examined from the perspective of the seismic phenomenon.

KEY WORDS

NEW CATHEDRAL OF SALAMANCA | RESTORATION |
PATHOLOGIES | INTERVENTIONS | 1755 LISBON EARTHQUAKE | SEISM

01 | RESUM

La Catedral Nova de Salamanca va ser construïda, en estil gòtic tardà, juntament amb la Catedral Vella al segle XVI. Com a conseqüència del terratrèmol de Lisboa de 1755, va sofrir una quantia important de danys a la seua fàbrica i als seus elements estructurals, que fóren objecte de reparació en el segle posteriors.

L'objectiu d'aquest estudi es triple. En primer lloc, es pretén conèixer en quina mesura, el traçat i la construcció originària de la catedral contemplava els possibles mecanismes preventius per poder minimitzar les conseqüències d'un hipotètic tremolor. A continuació, i coneguda la realitat del sisme lisboeta, s'analitzen les principals patologies ocasionades, tant per lo que fa als murs i voltes de les naus principals, com a l'esvelta estructura de la Torre de les Campanes o la pesada cúpula del creuer. La investigació es contempla com a l'estudi de les diferents intervencions de reparació realitzades fins als nostres dies, prestant especial atenció en aquelles que van insistir en el seu caràcter preventiu.

En definitiva, un repàs pels cinc segles d'art i història de la Catedral Nova examinats des de l'òptica condicionant del fenomen sísmic.

PARAULES CLAU

CATEDRAL NOVA DE SALAMANCA | RESTAURACIÓ |
PATOLOGIES | INTERVENCIONS | TERRATRÈMOL LISBOA 1755 | SISME



02.1 | PRESENTACIÓN

Tomando como punto de partida el estudio y análisis de la profesora M^a Josefa Cassinello (2003) sobre la influencia del fenómeno sísmico en el trazado y la construcción de las catedrales góticas españolas, se aborda el estudio de la Catedral Nueva de Salamanca. Este complejo monumental es fruto de un gran número de intervenciones que nos muestran un amplio abanico de criterios, procedimientos y técnicas que reflejan la evolución histórica, constructiva y artística no sólo de la ciudad, sino del país.

Se aborda inicialmente un análisis sísmico, histórico, geométrico y constructivo de la catedral, partiendo de conceptos básicos para ir profundizando en un campo muy poco estudiado y sobre el cual se siguen aportando ideas equivocadas ya que no todos los modelos estructurales de las catedrales góticas españolas responden al modelo tradicional francés, sino que las condiciones reológicas y geográficas propias del lugar que han determinado, en buena medida, la geometría y condiciones constructivas de dichos modelos.

Un viaje que nos llevará hasta el análisis de las patologías acaecidas durante el Terremoto de Lisboa de 1755, que se acompaña de una breve descripción de éstas y del porqué de su aparición. Se concluirá con el recopilatorio de todas las intervenciones, históricas y contemporáneas, que han surgido como consecuencia del seísmo y aquellas, que aún no teniendo relación directa, fueron concebidas considerando la posibilidad sísmica.

02.2 | OBJETIVOS

TRAZADO. Investigar, analizar y reinterpretar los trazados geométricos, así como las disposiciones constructivas durante la construcción de la Catedral Nueva de Salamanca y su contribución inicial, en fase de proyecto, frente al sismo. Estudiar la influencia de la sismicidad histórica en la ciudad y las aportaciones de otros maestros catedralicios, provenientes de ciudades de mayor actividad sísmica, en el devenir de la seo salmantina.

PATOLOGÍAS. Localizar, clasificar y analizar las patologías ocasionadas tras el Terremoto de Lisboa de 1755 desde un punto de vista geométrico y constructivo, detallando la influencia de dicha disposición inicial en su contribución al contrarresto de la acción dinámica del sismo.

INTERVENCIONES. Contextualizar, recopilar y estudiar las intervenciones que son consecuencia directa del seísmo desde el siglo XVIII hasta la actualidad.

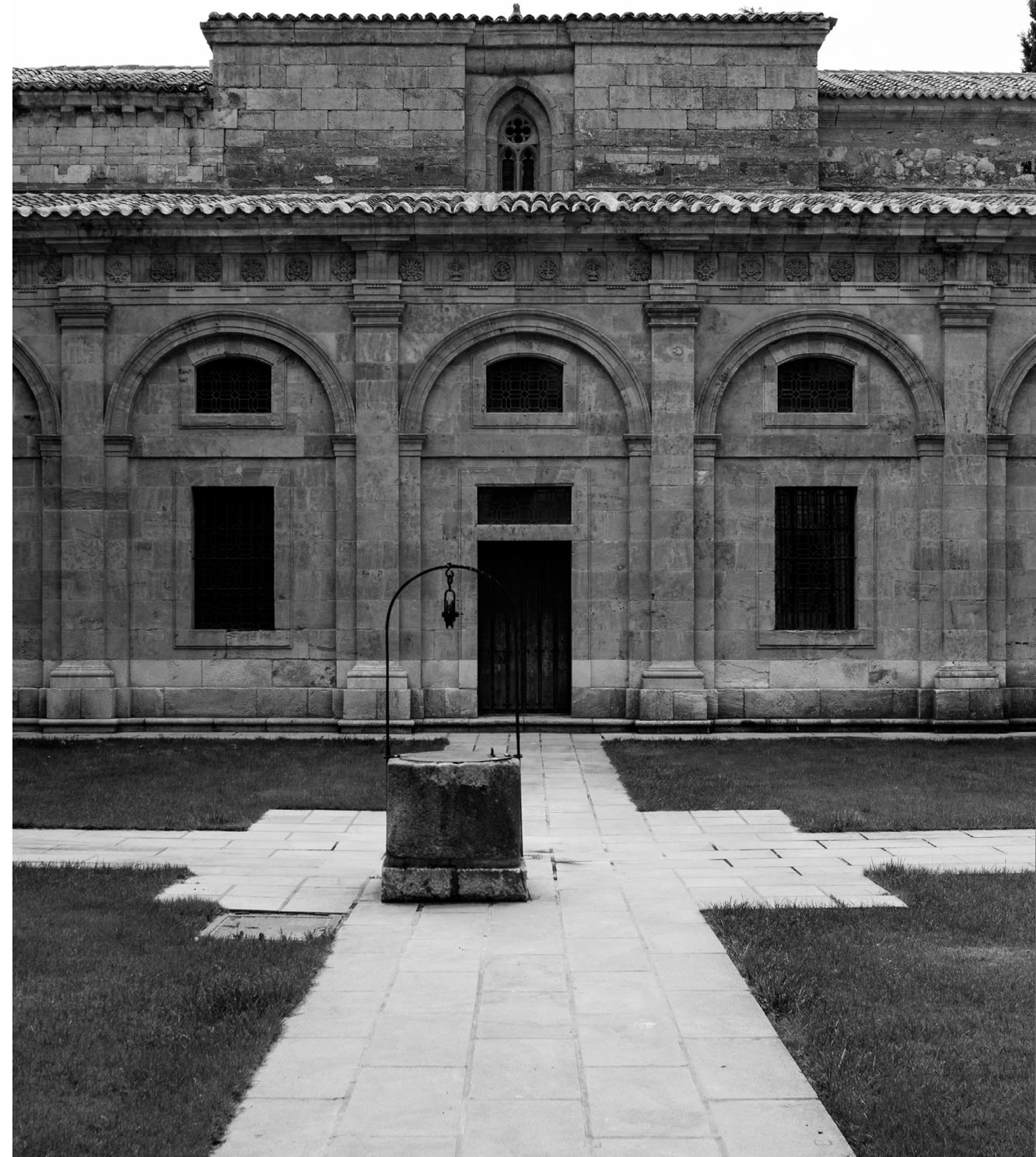
02.3 | METODOLOGÍA

El proceso que se adopta para el desarrollo del trabajo que se expone a continuación ha seguido un recorrido desde lo general a lo particular. En un primer término, se define un marco teórico donde se exponen los principales conceptos sísmicos por su implicación en las acciones contra la edificación, así como una breve descripción cronológica de la Catedral Nueva de Salamanca, de su trazado y de su construcción. Todo ello, nos conduce al núcleo central del trabajo que reside en un análisis de las patologías y las intervenciones. Se opta por un procedimiento efecto- causa, ya que primero se procede a una localización y descripción de las patologías, para luego definir el porqué de su aparición. Con todo esto, se realiza una recopilación y descripción de las intervenciones que se han llevado a cabo elemento a elemento, en una secuencia determinada por su ubicación en la catedral en sentido vertical; desde las bóvedas hasta la torre de Campanas. Un proceso gráfico y literario sobre lo acontecido durante los años posteriores al seísmo.

Finalizado todo el análisis descrito, se procede a plantear unas conclusiones referentes a cómo dicho seísmo ha propiciado un cambio en la concepción estructural y constructiva en la actualidad y reflexionando sobre si estamos preparados para resistir las acciones de otro gran sismo.

02.4 | FUENTES

Para la redacción de este trabajo se ha efectuado una búsqueda y análisis exhaustivos tanto de artículos científicos, normativa y documentación estatal, trabajos de investigación (Tesis doctorales), como de libros y revistas especializadas en el ámbito arquitectónico en general, y en el de Catedral Nueva de Salamanca en particular. Toda esta búsqueda bibliográfica viene acompañada del trabajo de campo, así como de material procedente del archivo catedralicio. También se ha optado por recurrir a la consulta de expertos de un determinado área.





03.1 | EL TERREMOTO DE LISBOA DE 1755 Y SU REPERCUSIÓN EN SALAMANCA

03.1.1 | TERREMOTO: CUESTIONES BÁSICAS

El terremoto es una de las acciones menos esperadas y más dañinas que nos podemos encontrar en la edificación, catalogada por la normativa competente como acción accidental. Antiguamente, ha sido concebida como un “*Castigo Divino*” (Bernard Vincent 1996)¹ o como una fuerza sobrehumana que sobrepasaba el entendimiento y el conocimiento humano. En la actualidad, aunque se conoce mucho más sobre las causas y efectos de dicho fenómeno, continúa siendo una incógnita para la ciencia, puesto que la intervención humana se limita a contrarrestar los efectos y reducir al mínimo los daños estructurales, constructivos y personales, sin poder predecir todavía su aparición.

El terremoto se define como un movimiento violento que es fruto de la fricción entre los bordes extremos de dos placas tectónicas, originadas por la liberación del calor acumulado durante un período de tiempo determinado (ciclo sísmico o período de retorno). La acumulación se inicia en el instante en que finaliza el seísmo precedente².

La estructura interna de la tierra se compone de una parte sólida que corresponde a la litosfera (corteza continental y corteza oceánica), mesosfera y al núcleo interno, así como de una parte plástica, viscosa y de características mecánicas reducidas que conforma la astenosfera. Situada a escasos metros de profundidad por debajo de la corteza oceánica, la astenosfera es la capa protagonista en el estudio del fenómeno sísmico, puesto que las placas tectónicas reposan sobre ésta³. Aquí se produce una disminución notable de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, debido a la reducida rigidez del estrato (estado plástico). También es la responsable de la formación de fallas, como consecuencia del calor que se irradia hacia la superficie.

¹ Cita de Bernard Vincent a través de CES,B (2015). “Los efectos del seísmo de Lisboa de 1755 sobre el patrimonio monumental de Galicia”. Tesis Doctoral Universidade da Coruña.

² PEREPÉREZ, B. (2017). Apuntes Cátedra de Construcción III. UPV. Capítulo 20.

³ CES, B. (2015). “Los efectos del seísmo de Lisboa de 1755 sobre el patrimonio monumental de Galicia”. Tesis Doctoral Universidade da Coruña.

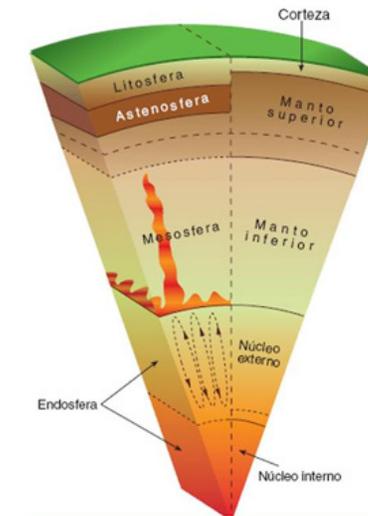


Figura 1. Las capas del interior de La Tierra.

EFFECTOS SÍSMICOS EN LA EDIFICACIÓN

El fenómeno sísmico se propaga a partir del hipocentro, que se define como el punto, en el interior de la superficie terrestre, donde se originan las ondas sísmicas, siendo el epicentro su correspondencia ortogonal en superficie. Para analizar los efectos sísmicos en la edificación es importante hablar de la profundidad del hipocentro y, a su vez, de la clasificación de las Ondas (S y P). Con respecto a la primera, ha de tenerse en cuenta que a menor profundidad mayores serán los efectos causados en la edificación. Se han producido seísmos localizados en la Península Ibérica de una gran magnitud que no han causado daños excesivos debido a su gran profundidad⁴.

Por su parte, es de gran relevancia la clasificación de las ondas en ondas S y ondas P. Sin entrar en una descripción exhaustiva, puesto que no es objeto de este trabajo, las ondas P son aquellas que se propagan en dirección longitudinal provocando movimientos de dilatación y contracción en superficie. Por su parte, las ondas S se propagan en dirección transversal y se caracterizan por ser las responsables de la mayor parte de los daños producidos en la edificación⁵.

⁴ El Terremoto de Lorca de 2011, de magnitud media, tuvo una mayor repercusión debido a la escasa profundidad a la que se encontraba el hipocentro. PEREPÉREZ, B (2014). Revista Informes de la Construcción. Vol. 66, p.2

⁵ PEREPÉREZ, B (2008-2016). Apuntes Cátedra Construcción III. UPV. Capítulo 20

03.1.2 | SISMICIDAD HISTÓRICA

La evaluación de la actividad sísmica en la Península Ibérica denota la ausencia de un sismo de gran magnitud desde finales del siglo XIX. Por tanto, es razonable pensar, como analizaremos en el apartado siguiente, que nos encontramos ante una situación de riesgo sísmico. A continuación se expone la recopilación de datos y daños de los grandes terremotos que han sucedido en la Península Ibérica (Tabla 1) previos al Terremoto de Lisboa de 1755.

Fecha	Localización	Coordenadas	Intensidad máxima
1048	Orihuela (Alicante)	38° 05' N - 0° 55' W	VIII
1169	Andujar (Jaén)	38° 00' N - 4° 00' W	VIII-IX
1356-agosto-24	SW. Cabo San Vicente	36° 30' N - 10° 00' W	VIII
1373-marzo-2	Ribagorça (Lleida)	42° 30' N - 0° 45' E	VIII-IX
1396-diciembre-18	Tavernes de la Vallidigna (Valencia)	39° 05' N - 0° 13' W	VIII-IX
1427-mayo-15	Olot (Girona)	42° 12' N - 2° 30' E	VIII-IX
1428-febrero-2	Queralbs (Girona)	42° 21' N - 2° 10' E	IX-X
1431-abril-24	Sur de Granada	37° 08' N - 3° 38' W	VIII-IX
1494-enero-26	Sur de Málaga	36° 35' N - 4° 20' W	VIII
1504-abril-5	Carmona (Sevilla)	37° 23' N - 5° 28' W	VIII-IX
1518-noviembre-9	Vera (Almería)	37° 14' N - 1° 52' W	VIII-IX
1522-septiembre-22	W. Alhama de Almería	36° 58' N - 2° 40' W	VIII-IX
1531-enero-26	Vila Franca de Xira (Portugal)	39° 00' N - 8° 55' W	IX
1531-septiembre-30	Baza (Granada)	37° 32' N - 2° 44' W	VIII-IX
1644-junio-19	Muro de Alcoy (Alicante)	38° 48' N - 0° 25' W	VIII
1658-diciembre-31	Almería	36° 50' N - 2° 28' W	VIII
1680-octubre-9	NW. Málaga	36° 48' N - 4° 36' W	VIII-IX
1722-diciembre-27	Golfo de Cádiz	36° 24' N - 7° 46' W	VIII
1748-marzo-23	Estubeny (Valencia)	39° 02' N - 0° 38' W	IX
1755-noviembre-1	SW. Cabo San Vicente	36° 30' N - 10° 00' W	X

Tabla 1. MARTÍNEZ SOLARES, J. M. (2003). "Sismicidad histórica en la Península Ibérica". p. 26.

Por lo que respecta a la ciudad de Salamanca, la Tabla 2⁶ muestra los terremotos de mayor magnitud que se han producido en la provincia de Salamanca, en los últimos años, además de aquellos que, pese a producirse fuera de la provincia, se han sentido en la ciudad. Se puede observar la magnitud tan reducida de los terremotos que se generan en el centro de la Península, en comparación con los producidos en la costa mediterránea o el océano atlántico.

⁶ Tabla elaborada por el autor, gracias de la información recogida por "La Tribuna de Salamanca", a partir de datos del instituto geográfico nacional (IGN) el 02/03/2015 en el siguiente enlace:

<http://www.tribunasalamanca.com/noticias/cuales-han-sido-los-diez-terremotos-mas-importantes-de-salamanca>.

TERREMOTOS LOCALIZADOS EN LA PROVINCIA DE SALAMANCA

Carpio de Azaba	5-1-1996	2,7 Grados de intensidad
Ciudad Rodrigo	18-5-2000	2,6 Grados de intensidad
Villarino de los Aires	19-9-2002	2,9 Grados de intensidad
Pereña de la Ribera	10-8-2011	2,6 Grados de intensidad
Molinillo	01-05-2013	3 Grados de intensidad

TERREMOTOS SENTIDOS EN LA CIUDAD DE SALAMANCA

Epicentro: Océano Atlántico	12-2-2007	6,1 Grados de intensidad
Epicentro: Ciudad Real	12-8-2007	5,1 Grados de intensidad

Tabla 2. Sismicidad histórica en la ciudad de Salamanca. Elaboración del autor.

03.1.3 | PELIGROSIDAD SÍSMICA

La peligrosidad sísmica se define como la probabilidad de que la fuerza dinámica generada por la acción de un sismo sobrepase los valores y/o criterios establecidos para una zona concreta en un momento determinado. Dicho umbral es aquel a partir del cual se produciría una situación de peligro y puede analizarse a través de procedimientos probabilistas o determinista. Actualmente, la norma NCSE-02 es probabilista⁷ puesto que las respuestas de la edificación a la acción sísmica es aleatoria, teniendo en cuenta la limitación de los recursos con los que cuenta.

Como avanzábamos anteriormente, la peligrosidad sísmica, en la Península Ibérica no es para nada despreciable, debido a que nos encontramos ante un fenómeno cíclico y un periodo de 134 años sin la presencia de un sismo de notable magnitud. Para dicha peligrosidad sísmica, la normativa sismorresistente nacional es insuficiente y, pese a la revisión de los coeficientes de aceleración de cálculo, el problema radica en dotar de suficiente ductilidad a las construcciones que proyectemos⁸.

⁷ PEREPÉREZ, B. (2014). "La peligrosidad sísmica y el factor de riesgo" Revista "Informes de la Construcción". Volumen 66, p. 2.

⁸ ASTIZ, M. A. | MARÍ, A | PEREPÉREZ, B. (2005). "Hormigón y acero". n° 237, p. 42-47.

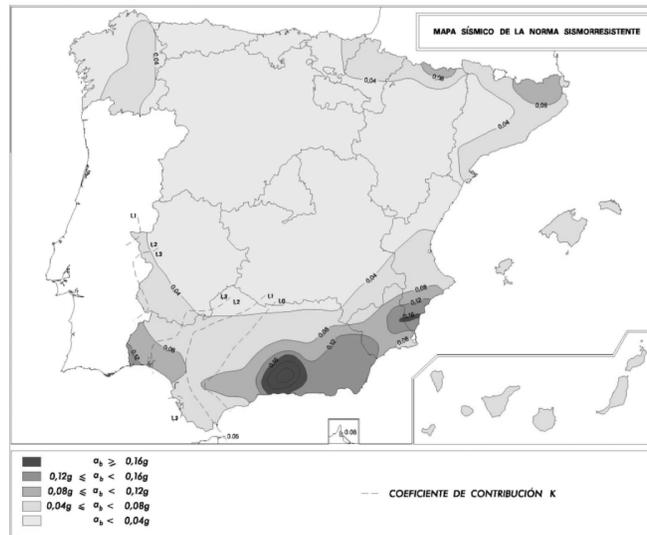


Figura 2. MARTÍNEZ SOLARES, J. M (2015). Actualización de los coeficientes de aceleración de cálculo.

En la Figura 2 se muestra el mapa actualizado por Martínez Solares en 2015 sobre los valores de la aceleración de cálculo. Según informan desde el Instituto Geográfico Nacional, Salamanca se encuentra sobre un terreno de gran plasticidad que produce que los daños sísmicos no sean de gran intensidad⁹. Con todo, podemos decir que la ubicación de la catedral sobre una de las colinas de la ciudad, podría haber supuesto una acción sísmica de mayor incidencia.

03.1.4 | EFECTOS DEL TERREMOTO DE LISBOA DE 1755 EN SALAMANCA

A continuación se lleva a cabo un inventario de los principales daños materiales acaecidos en la ciudad de Salamanca, durante el seísmo lisboeta de 1755. Martínez Solares (2000) recoge en su monografía “Los Efectos en España del terremoto de Lisboa de 1755” las cartas que remitía el alcalde mayor de Salamanca, Esteban Márquez Delgado, al Consejo de Castilla sobre los daños acaecidos en la ciudad en los días posteriores al seísmo¹⁰. En dichas cartas, recogidas en el anexo I, se procede al recuento de daños materiales, así como la inexistencia de daños perso-

⁹ OLMEDO, R. Instituto Geográfico Nacional - <https://www.youtube.com/watch?v=hbynVT53xCI>

¹⁰ MARTÍNEZ SOLARES, J. (2000) “Los efectos en España del terremoto de Lisboa (1 de Noviembre de 1755)”.

Monografía nº 19 - Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Fomento.

-nales que pudo darse debido al cobijo que los salmantinos encontraron en la catedral y que, posteriormente, ha dado lugar a la tradición del mariquelo¹¹.

Apresuradamente, el mismo día 1 de Noviembre efectúa el primer escrito en el que afirma no haber daños de consideración, más allá de la caída de la cal y costras de las paredes casas y de las bóvedas, no evidenciando daños de escala mayor, para la situación vivida después del temblor de 6 o 7 minutos donde el propio alcalde contempló “[...] *vaivenes de media vara de diámetro* [...]” de algunos edificios esbeltos de la ciudad. Remarca el no reconocimiento exhaustivo de la Catedral, donde se continúa con la actividad litúrgica habitual.

Una semana más tarde, envía otra carta donde expone los trabajos de reconocimiento de diversas patologías localizadas en los diferentes edificios de la ciudad. Vuelve a apuntar la no presencia de grandes daños que “[...] *puedan causar perjuicio al público y necesite de remedio* [...]”. En los escritos posteriores, comienza a adelantar deterioros en la aguja de la catedral hasta que el 22 de noviembre, concluye sobre el estado inminente de ruina en el que se encuentra la cúpula del crucero, la cual presenta una profunda fase de agrietamiento.

Otras edificaciones como el Colegio de la Compañía presentaron grandes patologías, donde “[...] *además de las dos bolas que se desprendieron de lo alto de la media naranja, se quebró la base de la aguja, que recibe la veleta de la linterna, sacándola toda entera de su asiento seis dedos hacia el lado de Medio-día. Y, lo que es más extraño: que en unas de las torres nuevas de dicho Colegio hizo un movimiento toda su aguja, siendo de cantería, que dio media vuelta de Oriente a Norte, habiéndola dejado perfectamente a plomo.* [...]”. A su vez, en el Colegio de San Bernardo “[...] *se había quebrado una piedra de cinco pies y medio de largo, cayendo un trozo para la parte de adentro, y otro para la de fuera, sin haberse experimentado otro daño* [...]”.

¹¹ La tradición del Mariquelo consiste en el ascenso, por parte de uno de los miembros de dicha familia, hasta el cupulín de la Torre de las Campanas para conmemorar que, el día de todos los santos de 1755, no hubiesen víctimas mortales. El ascenso culmina con una “charrada”, música tradicional salmantina, y el lanzamiento de tres palomas, símbolo de la paz.

03.2 | TRAZADO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CATEDRAL NUEVA DE SALAMANCA (S.XVI-XVIII)

03.2.1 | DESCRIPCIÓN Y CRONOLOGÍA DE LA CATEDRAL NUEVA DE SALAMANCA

La Catedral Nueva de Salamanca, de planta rectangular (400 x 200 pies) se levanta junto a su vecina Catedral Vieja, cuya implantación supuso el amputar el brazo del transepto y el acortamiento de una de las naves laterales de la vieja sede. Compuesta por tres naves es, junto a su “hermana” Catedral de Segovia y a la Catedral de Granada, uno de los ejemplos del gótico tardío en España, fechándose el inicio de su construcción en el año 1513, bajo la maestría de Juan Gil de Hontañón hasta 1520 y de su hijo Rodrigo Gil de Hontañón los años sucesivos..

La construcción de la Catedral Nueva de Salamanca se llevó a cabo a partir de dos etapas: En la **primera** de ellas, comprendida entre 1513 y 1560, se procedió al trazado y construcción de la denominada “media iglesia” (Figura 3) que correspondía desde los pies de la catedral hasta los pies del crucero. En este período también se lleva a cabo el debate sobre la altura de las naves central y laterales, desechándose una primera idea de concebir la catedral como una iglesia salón y optando por seguir el “decalaje” típico del modelo francés. La **segunda etapa** se comprende entre los años 1589 y 1766, después de una época de dificultades económicas. Aquí se opta por la incorporación de una serie de elementos barrocos, además de proceder al cierra de las bóvedas de la nave de la iglesia y al remate de la primitiva torre de las campanas.

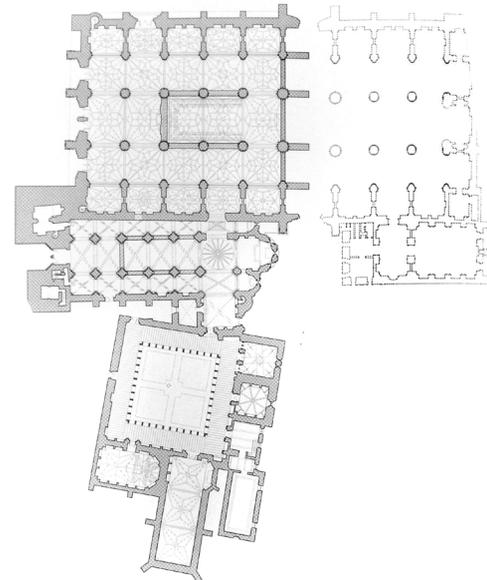


Figura 3. 1ª Etapa Constructiva de la Catedral Nueva de Salamanca: “La media iglesia” (1513-1560).

Surge como una de las catedrales más altas de España y su interior tiene una gran similitud con la Catedral de Sevilla, hecho que vino precedido por la presencia de Alonso Rodríguez, maestro catedralicio de la sede hispalense, en la toma de decisiones inicial sobre las trazas de la catedral¹². Esta semejante apariencia, como veremos más adelante, podría estar relacionada con la buena respuesta sísmica que afrontó la catedral salmantina ante el seísmo de 1755, gracias al arriostramiento transversal que le concedía la presencia de los contrafuertes en el interior de las naves, como elemento de separación entre las distintas capillas-hornacinas. También ayudó la solución final adoptada para la cabecera, la cual después de diversos debates entre los maestros que allí se personaron, adquirió forma rectangular.

Por su parte, la altura de las naves también fue debatida, acudiendo hasta Salamanca diversos maestros como Enrique Egas, maestro de la Catedral de Toledo, Juan Rasines y Vasco Zarza. Todos ellos emitieron un informe en el que se establece un acuerdo sobre la altura de la catedral, que responde a los 130 pies de la nave central y 80 pies de las naves laterales, lo que permitía la apertura de grandes ventanales siguiendo el modelo gótico francés. Las naves laterales estaban cubiertas por bóvedas de planta cuadrada (37 x 37 pies) de nervatura estrellada que sigue los principios estructurales de las bóvedas de crucería tan presentes en la arquitectura gótica. Se trata de bóvedas de rampante plano¹³, compuestas por arcos cruceros con una única clave central. A su vez, se incorporan nervios terceletes que da lugar la aparición de claves secundarias (Figura 4). La incorporación de todos estos nervios en las bóvedas, permite una mejor transmisión de esfuerzos verticales a los grandes pilares estrellados y la posibilidad de aligeramiento de la losa de las bóvedas. Por su parte, la absorción de las cargas horizontales se lleva a cabo a través de los arbotantes que descansan en el arranque de la cubierta de madera de la nave central. Gracias a su geometría, transmiten, de una manera más o menos eficiente, las cargas hasta los estribos y contrafuertes.

12 NAVASCUÉS, P. (2012). “La Catedral de Salamanca: Nueve siglos de historia y arte”. Capítulo VI. p. 265.

13 PALACIOS, J. C. (1993). “Las bóvedas de crucería españolas. ss. XV y XVI”. p. 745.

En los extremos de la cabecera, la catedral cuenta con dos torres que alcanzan la altura de las nave del crucero y se rematan con cubierta a cuatro aguas. La existencia de estas dos torres es una influencia directa de la Catedral de Valladolid, debido a la presencia de Juan Ribero, en Salamanca, entre 1589 y 1600.



Imagen 4. Bóveda de nervios terceletes situada en la nave lateral de la Catedral Nueva de Salamanca.

El remate de la primitiva Torre de las Campanas se vio afectado por el impacto de un rayo en 1705 que comportó la intervención de Pontón y Setién. Su vecina Torre Mocha, planteada inicialmente como elemento defensivo, se mantuvo con la altura, notablemente menor, que contemplamos hoy en día.

Más adelante, durante el siglo XVIII, Los Churriguera llevarán a cabo diversas intervenciones, de corte barroco, en la catedral como el trazado del cimborrio, seriamente afectado por el Terremoto de Lisboa de 1755.

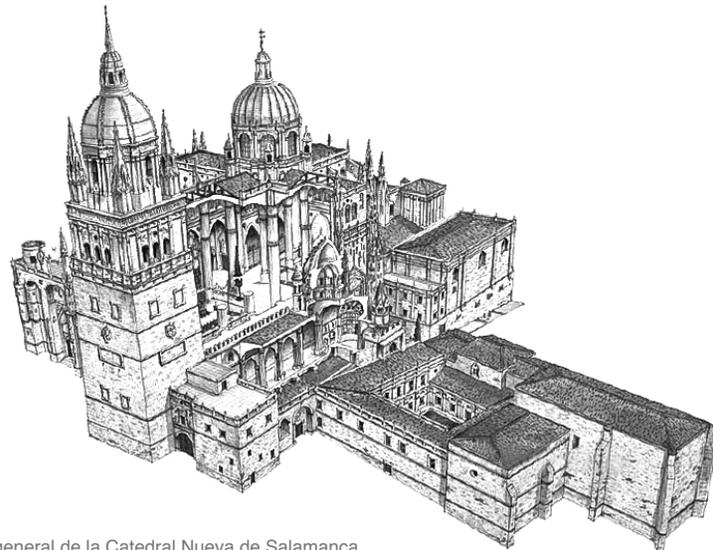


Imagen 5. Axonometría general de la Catedral Nueva de Salamanca.

03.2.2 | ANÁLISIS DEL MATERIAL

La piedra de Villamayor o “Piedra Franca” es una arenisca de color ocre que se extrae de las canteras de dicha localidad próxima a Salamanca. Se trata de un material con el que se ha revestido innumerables edificios, tanto públicos como privados, de la ciudad, así como sus monumentos históricos. En su tallado, es moldeable (Figura 6) con un alto grado de contenido de humedad y, cuando seca, alcanza una resistencia adecuada como material de construcción. Por contra, es bastante susceptible a las alteraciones de tipo físico como la presencia de agua en los poros; los ciclos de hielo-deshielo y los ciclos de humedad-sequedad.

Se procede al análisis del material como elemento de construcción con el objetivo de proporcionar una idea general de su comportamiento (Tabla 3), no siendo objeto de este estudio incidir en otras características, que aunque no menos importantes, no influyen en el comportamiento estructural y constructivo del material. Nos centraremos en el análisis de sus comportamientos físico y mecánico, como los principales factores que afectan a la respuesta del material frente a acciones de mayor índole, como puede ser el sismo.

El comportamiento físico viene estrechamente ligado a la capacidad de absorción de agua fruto de la gran porosidad, que representa un tercio del volumen total. Presenta una gran cantidad de huecos, tal y como se evidencia por la diferencia pronunciada entre la densidad aparente (1,77 g/cm³) y la densidad real (2,66 g/cm³). El hecho más relevante a estudiar es la interconexión entre los diversos poros internos del material y el consecuente movimiento de fluidos (agua) a través



Figura 6. Moldeabilidad y trabajabilidad del material. Sepulcro claustro de la Catedral Vieja de Salamanca.

de éstos, que puede terminar por debilitar la resistencia del material¹⁴.

Su comportamiento físico condiciona su comportamiento mecánico (Imagen 7). El estudio de éste se centra en los cambios producidos por acciones térmicas (dilataciones o contracciones del material), la resistencia a compresión y la resistencia a flexotracción.



Figura 7. Alterabilidad del material. Fuente: <https://geologicalmanblog.wordpress.com/tag/piedra-monumental/>

Partiendo de las premisas de Heyman para el estudio de las estructuras de fábrica (1995), consideramos la resistencia a compresión infinita, debido al ínfimo valor de las tensiones que se generan y una resistencia a tracción nula¹⁵. La resistencia a compresión es la capacidad principal a evaluar, puesto que, como veremos más adelante, la forma de los elementos de la Catedral se orienta para que el máximo de ellos trabajen a compresión (De ahí la presencia de elementos como los pináculos).

CARACTERÍSTICAS DE LA ARENISCA DE VILLAMAYOR (VALORES PROMEDIO OBTENIDOS)			
Densidad real	g/cm ³		1,77
Densidad Aparente	g/cm ³		2,66
Absorción agua	%	1 minuto	4,9
		48 horas	14,2
		90 días	
Porosidad total	%		33,8
Permeabilidad al vapor de agua	g/cm ²		93
Resistencia a compresión	MUESTRA 7		
	Kg/cm ³		51
	H (%)		1,0
	Kg/cm ³		24
	H (%)		5,5

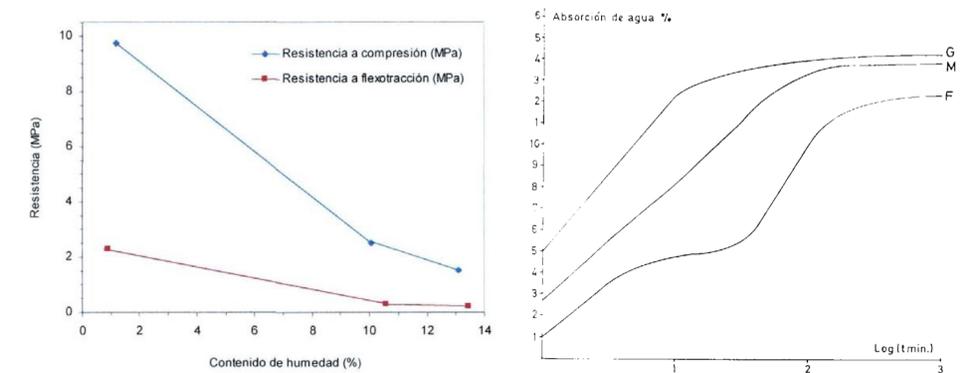
Tabla 3. Propiedades principales de la arenisca de Villamayor en su comportamiento físico y mecánico como material de construcción. Elaborado por el autor a partir de SAAVEDRA, J, MADRUGA, F Y MARTÍN PATIÑO, T. (1993) Boletín Geológico y minero. Vol. 104 p 58.

14 SAAVEDRA, J. | MADRUGA, F. | MARTÍN PATIÑO, M. T. (1993). "Clasificación de la arenisca de Villamayor (Salamanca) por sus características tecnológicas y estructura interna".

15 HEYMAN, J. (1995). "El esqueleto de piedra: Mecánica de la arquitectura de fábrica". Capítulo 2, p. 17.

La gráfica adjunta (Gráfica 1), muestra cómo el comportamiento físico y mecánico de la arenisca de Villamayor está estrechamente ligado en la respuesta estructural del material. Tanto la resistencia a compresión como a flexotracción se desploma para valores de contenido de humedad cercanos o superiores al 10%. También, su capacidad de absorción de agua, que se evalúa con el tiempo, (Gráfica 2) repercute en el comportamiento y la durabilidad del material.

Con todo, se trata de un material con una alterabilidad muy pronunciada cuyas propiedades físicas afectan notablemente a las capacidades mecánicas de ésta¹⁶. El movimiento del agua a través del material o un gran contenido de humedad pueden afectar seriamente a la durabilidad del material, al ensanchamiento de las fisuras producidas, a la pérdida de rigidez de la pieza y, en definitiva, a un descenso de su respuesta como material estructural.



Gráfica 1 (izq.). Resistencia de la arenisca de Villamayor en relación con el contenido de humedad. VIELBA, C. (2001). "La arenisca de Villamayor en el revestimiento de fachada". UPM. p. 169.

Gráfica 2 (dcha.). Evolución de la absorción de agua con el tiempo de tres muestras (F, M y G). SAAVEDRA, J., MADRUGA, F. y MARTÍN PATIÑO, M.T. (1993). "Boletín Geológico y minero" p. 58.

16. Un Estudio INTEMAC, en 1979, sobre el deterioro de la arenisca de Villamayor en otro de los monumentos importantes de Salamanca como la Real Clerecía de San Marcos, aportó que, después de una inmersión de 48 horas, era capaz de producirse una pérdida del 86% de la resistencia a compresión. Texto a partir de VIELBA, C. (2001). "La arenisca de Villamayor en el revestimiento de fachada". UPM. pg. 22

03.2.3 | MEDIDAS PREVENTIVAS HISTÓRICAS FRENTE AL SISMO: TRAZADO Y CONSTRUCCIÓN

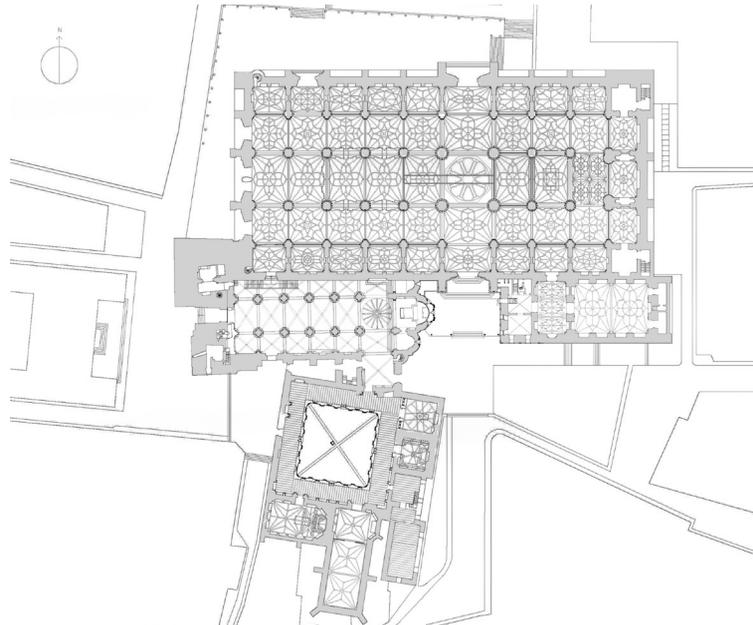


Figura 8. Planta general de la Catedral de Salamanca: Iglesia Nueva y Vieja.

Se procede, a continuación, al análisis de cómo la configuración de los elementos constructivos puede anticipar y/o contrarrestar los efectos del sismo. Se trata de evaluar cómo el trazado geométrico y las peculiaridades constructivas, profundamente ligados en el levantamiento de este tipo de monumentos, han podido contribuir a una mejor absorción de los esfuerzos dinámicos horizontales propios de la acción sísmica. Se estudia el trazado de elementos como bóvedas, arbotantes, disposición de los contrafuertes, etc, así como su transmisión de esfuerzos, que nos ayudará a comprender un mejor funcionamiento de las estructuras de fábrica.

A partir de la Tesis Doctoral de la profesora Cassinello (2003)¹⁷ y sus numerosos artículos especializados posteriores sobre la influencia del trazado de las catedrales góticas en su contribución frente al sismo, se

¹⁶ CASSINELLO, M.J.(2003) "Trazado y estabilidad de la Arquitectura Gótica". Tesis doctoral. UPM.

puede inferir la respuesta de la Catedral Nueva de Salamanca, no analizada por la autora.

Cassinello plantea una clasificación en dos grandes grupos (Figura 9): Las catedrales levantadas en zonas de escasa actividad sísmica (Tipo A) y aquellas ubicadas en territorios de gran actividad sísmica (Tipo B). La Catedral de Salamanca a priori, debido a su situación geográfica, podría ser incluida en el primer grupo, ya que Castilla se caracteriza por una actividad sísmica de escasa importancia (cfr. 03.1.2). Con todo, se procede a realizar un planteamiento más exhaustivo sobre la configuración geométrica y constructiva de la catedral y cómo ésta pudo contribuir a la ausencia de daños personales de la catedral, como consecuencia del terremoto.

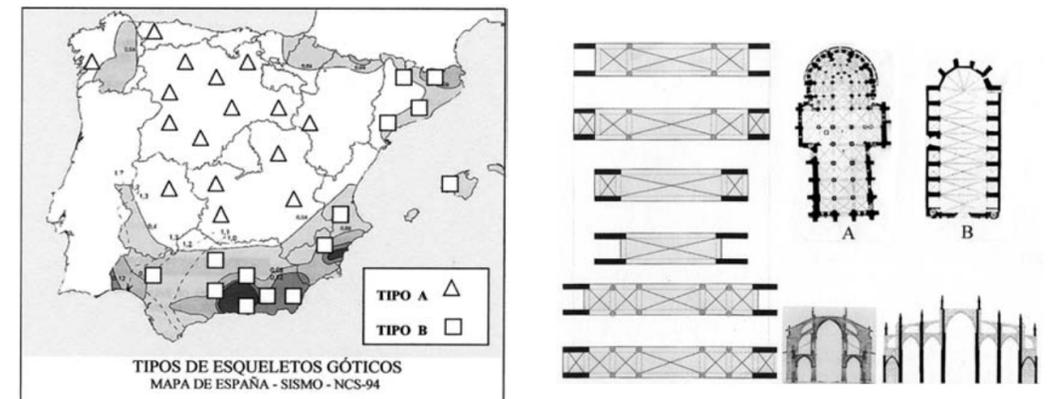


Figura 9.

Figura 9. (Izq.). Mapa ubicación catedrales góticas tipo A y B

Figura 10(Dcha.). Planta de tipos de crujeas estables. Planta catedrales tipo A y tipo B. Sección transversal tipo A (burgos) y B (Sevilla).

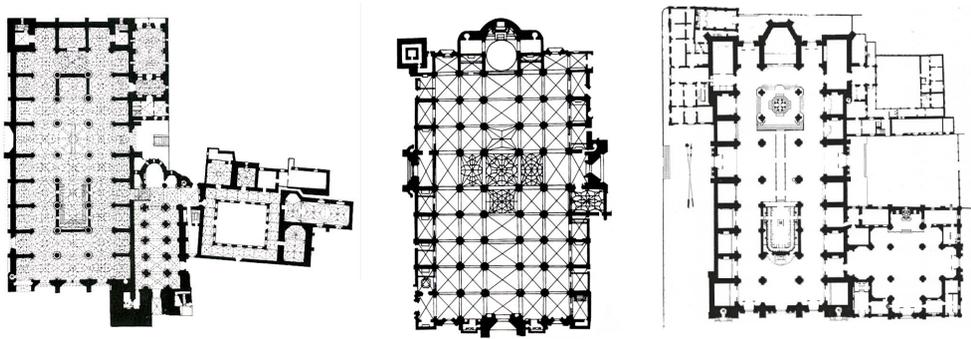


Figura 11 (Izq.). Planta de la Catedral de Salamanca: Iglesia Nueva y Vieja.
 Figura 12 (Centro). Planta de la Catedral de Sevilla:
 Figura 13 (Dcha.). Planta de la Catedral de México DF.

En una primera aproximación al análisis de la Catedral Nueva de Salamanca y estudiando su disposición en planta, se concluye que su geometría no responde al trazado de las catedrales que Cassinello clasificaba como Tipo A, como pudiese ser la Catedral de Burgos, cuyos contrafuertes quedan exentos del cuerpo principal de la catedral, colocándose en el exterior. Tampoco lo es con respecto a la cabecera, donde la gran mayoría de catedrales de Castilla disponen de girola. Por contra, la Catedral de Salamanca presenta una planta rectangular (Figura 11), donde los contrafuertes se establecen en el interior del cuerpo principal de la catedral y configuran la separación entre las capillas-hornacinas. A su vez, la cabecera rectangular, conteniendo también más capillas, así como la presencia de los muros que enmarcan al coro y al altar mayor contribuyen a esa idea de “caja” compacta que presenta una mejor respuesta frente al sismo, debido a su mayor rigidez. Este dibujo en planta que presenta la Catedral Nueva es similar al presente de la Catedral de Sevilla (Figuras 11 y 12), caracterizado por la retícula que forman sus elementos estructurales, una retícula de muros que le otorga al conjunto una gran capacidad de absorción de los esfuerzos horizontales entre los distintos elementos constructivos y una correcta transmisión de éstos a los cimientos.

En su vecina Catedral Vieja, no se produce la disposición de muros transversales que configuran la separación entre capillas (Figura 11). Esta utilización en la seo nueva puede ser debido a, como se ha dicho, las influencias cruzadas entre los maestros de Salamanca y Sevilla y/o por la experiencia de algún seísmo anterior (sismicidad histórica) que les proporcionara un mayor conocimiento frente a aquellas fuerzas de las que no podían controlar ni su aparición ni su magnitud.

Dicho trazado en planta y su consecuente contribución sísmica se puede corroborar por la influencia que el trazado de la Catedral Nueva de Salamanca tuvo en su homónima de México D.F. (Figura 13), cuyas similitudes en planta son francamente apreciables. Por todos es sabido, la gran actividad sísmica del país azteca, por lo que se puede concluir que se trata de un trazado en planta capaz de absorber esfuerzos horizontales debido a la acción dinámica del sismo.

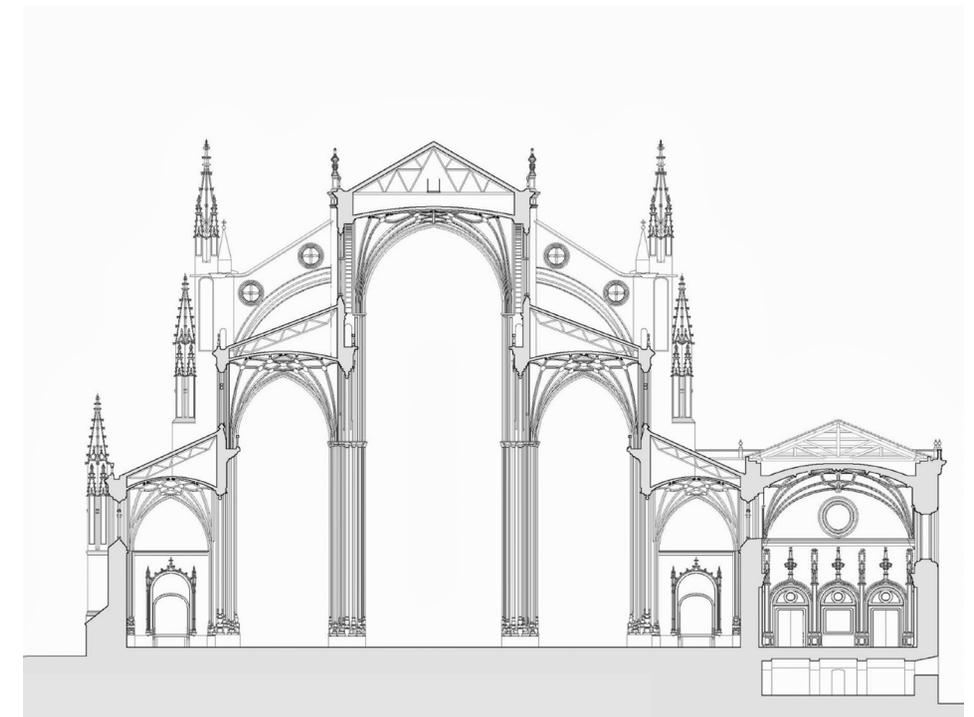


Figura 14. Sección transversal de la Catedral Nueva de Salamanca: Naves y Sacristía.

A diferencia del trazado en planta, la sección transversal de la Catedral Nueva de Salamanca responde al modelo gótico francés caracterizado por el desfase de las naves que posibilitaban la gran apertura de ventanales que eran cubiertos con hermosas vidrieras (Figura 14). Como se ha mencionado anteriormente, se planteó en un primer instante la concepción de la catedral como una iglesia-salón, caracterizada por una altura homogénea entre naves. Dicha disposición hubiese proporcionado, más si cabe, a la estructura de mayor capacidad de respuesta frente al sismo de 1755. Sin embargo, la elección del modelo escalonado entre naves pudo favorecer la presencia de la mayor parte de patologías en el encuentro entre las naves laterales y la nave central, justo donde se produce un cambio de rigidez volumétrica (discontinuidad geométrica).

Siguiendo en el estudio de la sección transversal, se optó por un rampante plano, propio del modelo francés y que presenta unas peores prestaciones frente al esfuerzo horizontal, hecho que podría explicar la ausencia de fisuras de notable importancia en su vecina Catedral vieja que se caracteriza por bóvedas de rampante curvo¹⁸. Además, se emplea una variante de las bóvedas de crucería propias del gótico tardío que se denominan bóvedas de terceletes, que conlleva la presencia de un mayor número de nervios y, por tanto, una consecuente rigidez de la bóveda frente a la acción dinámica horizontal. Por contra, aunque se emplea una plementería más ligera que genera una menor sollicitación en la base de los soportes, que trabajan fundamentalmente a compresión (efecto estabilizador), surge como más vulnerable frente a las acciones horizontales, como el sismo.

Por último y siguiendo nuestro recorrido vertical partiendo desde el dibujo en planta, llegamos a la configuración de las cubiertas. Aquí se sigue el modelo gótico francés que se caracteriza por la cubrición mediante cubierta de madera a dos aguas. Pese a esto, se localiza un gran elemento horizontal en el extradós de las bóvedas que ayudaría, en gran medida, en la transmisión de los esfuerzos horizontales (Figura 14). A diferencia de los modelos de catedrales góticas en Castilla, en Sevilla y otras ciudades, como Palma de Mallorca, ubicadas en zonas de intensa actividad sísmica, se procede a una construcción de cubierta plana en detrimento de la cubierta inclinada anteriormente mencionada.

18 PALACIOS, J.C. "Las bóvedas de crucería españolas, ss. XV y XVI". pg. 747.



04| PATOLOGÍAS ORIGINADAS POR EL
TERREMOTO DE LISBOA DE 1755

04.1 I METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LAS PATOLOGÍAS

Se procede ahora al análisis descriptivo y estructural de las patologías acaecidas por el terremoto, el cual nos ha inducido a la elaboración del trabajo. Se analizarán las patologías más significativas ocasionadas, tanto por su magnitud como por su trascendencia en la concepción del sismo en la ciudad. Se tomará como punto de partida la explicación gráfica, para la identificación y clasificación de las patologías, así como para la explicación de los esfuerzos a los que está sometido cada elemento estructural diseñado (Se trata de una información principalmente gráfica, puesto que no es objeto de este trabajo la formulación y el cálculo estructural), para luego centrarse en su comportamiento frente a la acción dinámica del sismo.

El análisis de elementos de fábrica de materiales pétreos, en nuestro caso de Piedra de Villamayor, que trabajan fundamentalmente a compresión y que su capacidad se debe a que *“resisten por forma y peso”*¹⁹. Autores como Jacques Heyman afirman que *“La clave para la comprensión de las fábricas hay que buscarla en un correcto entendimiento de su geometría”*²⁰. Dichos elementos carecen de resistencia a flexión, lo que provoca que, frente a esfuerzos horizontales como el sismo, se produzcan agrietamientos y desplazamientos relativo de sus masas, generando patologías, a menudo, irreversibles.

Efectivamente, patologías como grietas y/o fisuras pueden ser irreversibles ya que la abertura de la fisura nunca llega a cerrarse completamente y, por tanto, ambos labios de éstas no trabajan ya de una forma cohesionada. El proceso de la aparición se debe a los esfuerzos mecánicos a los que está sometido la estructura, pero el avance de las fisuras se debe a otros fenómenos como la posible filtración de polvo y restos de otros materiales o de agua (ciclos de hielo-deshielo). Pudiéndose poner remedio mediante la

19 MAS-GUINDAL, A.J. (1996). “Criterios de intervención y recomendaciones de diseño a sismo en las estructuras de patrimonio histórico”. Revista “Informes de la Construcción”. Vol. 48 p. 6.

20 HEYMAN, J (1995). “El esqueleto de piedra: Mecánica de la arquitectura de fábrica”. Resumen libro.

inyección de mortero, aunque resulta muy complicado que los dos elementos puedan volver a trabajar de un modo conjunto²¹.

Un estudio de estructuras que han sido *“[...] sabiamente dispuestas, [...] muy bien estudiadas, difíciles de sistematizar, poco sensibles a la cantidad de carga y mucho a la forma de ser aplicada [...]”*²². La obtención de la rigidez de los sistemas que se van a analizar resulta muy difícil de determinar y exige la aplicación de métodos de cálculo muy sofisticados que se escapan del objetivo de este trabajo, aunque sí se quiere dejar constancia de una serie de recomendaciones constructivas a tener en cuenta frente al fenómeno sísmico. Un examen de los diferentes elementos arquitectónicos desde el punto de vista del riesgo sísmico, que se define por la consideración de la sismicidad histórica del lugar a intervenir y por la vulnerabilidad de la edificación.

Ante un panorama donde toda la normativa a aplicar se rige a partir de elementos adintelados (pilares y vigas) de hormigón armado, se procede a una metodología por casos que proporcione una visión global del comportamiento de las construcciones monumentales de fábrica frente al sismo, donde *“El estudio de un determinado fallo estructural es el que debe generar el método de análisis e intervención”*²³. Un método de análisis cualitativo que permita dar una visión particularizada de la respuesta de cada elemento constructivo frente al sismo para así lograr una metodología óptima de trabajo.

21 HEYMAN, J (1995). “El esqueleto de piedra: Mecánica de la arquitectura de fábrica”. Capítulo 5. p. 99-100.

22 MAS-GUINDAL, A.J. (1996). “Criterios de intervención y recomendaciones de diseño a sismo en las estructuras de patrimonio histórico”. Revista “Informes de la Construcción”. Vol. 48 p. 6.

23 MAS-GUINDAL, A.J. (1996). “Criterios de intervención y recomendaciones de diseño a sismo en las estructuras de patrimonio histórico”. Revista “Informes de la Construcción”. Vol. 48 p. 6

04.2 | CLASIFICACIÓN DEL CUADRO FISURATIVO

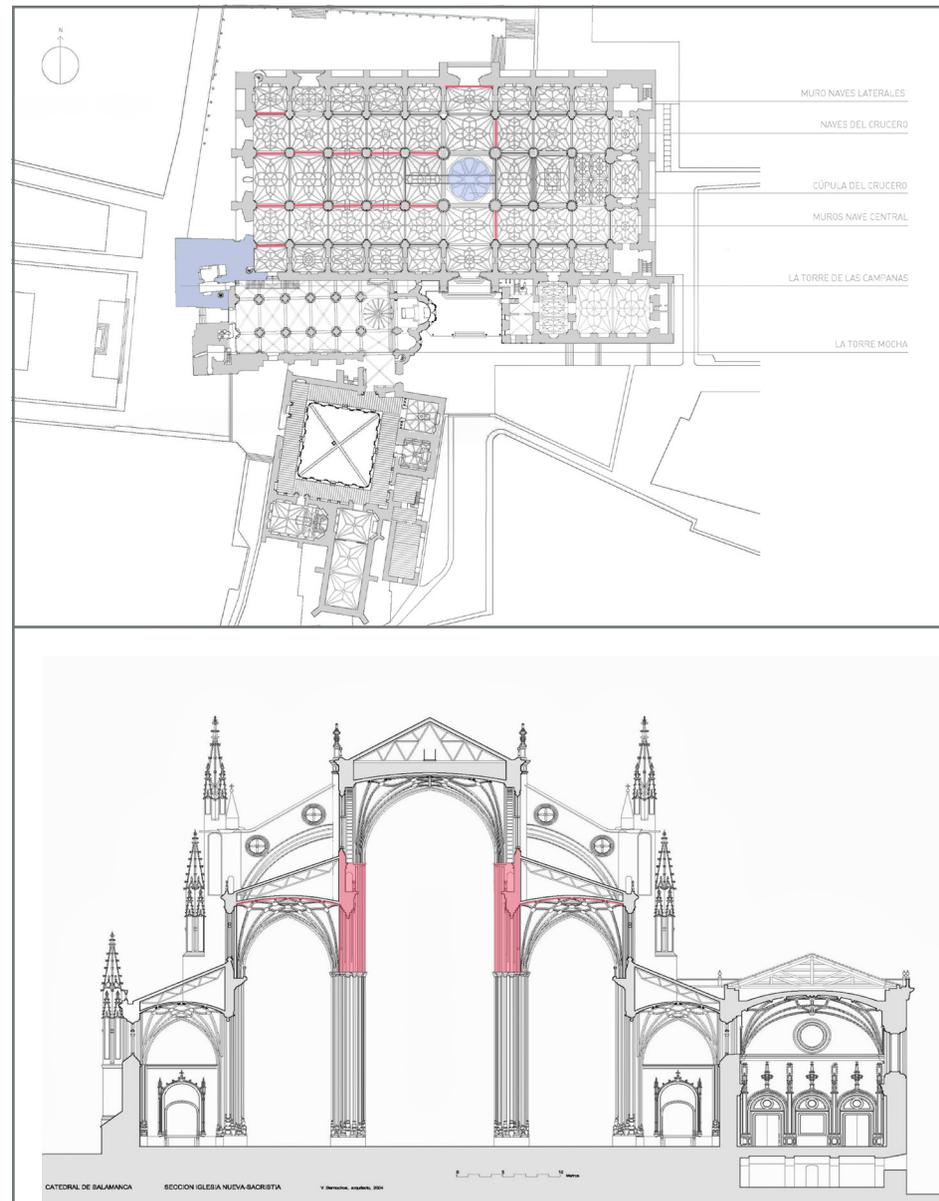


Figura 15. Localización de las principales patologías tras el Terremoto de Lisboa de 1755: Planta y sección.

“El efecto del sismo se caracteriza por la aparición de grietas a 45°, debidas al esfuerzo cortante que se transmite desde el suelo y que se evidencia en aquellos puntos en los que la estructura es más sensible, como claves de arcos, puertas, ventanas, discontinuidades, etc. puntos indicados para crear articulaciones o puntos de reserva plástica en caso de futuros sismos”²⁴ (Mas-Guindal, 1996).

El estudio del cuadro fisurativo contempla el procedimiento a través del cual se localizan los distintos daños estructurales existentes en la catedral para, posteriormente, analizar cuáles han sido las causas de su origen. Se trata de una recopilación gráfica de las patologías generadas por el efecto sísmico, no obviando factores que ayuden a su desarrollo, como los fenómenos físicos de los ciclos de hielo-deshielo o humedad-sequedad que someten a la fisura a una situación irreversible.

Sobre la planta adjunta del conjunto catedralicio de Salamanca (Figura 15), se ha procedido a una localización de los principales daños acaecidos, durante el seísmo de 1755. Se analizarán los daños estructurales existentes en los muros y las bóvedas de la catedral que presentan, como se verá a continuación, un patrón muy similar de tramo a tramo de los muros situados por encima de los arcos formeros de la nave central. Se marca en rojo aquellas fisuras que todavía hoy en día se pueden contemplar y que nos permiten un análisis *in situ*²⁵ y el desarrollo de la interpretación de las causas. Por su parte, en azul, se remarca aquellas intervenciones que, debido a su magnitud, necesitaron de una reconstrucción o reparación de los elementos originales, por lo que se procederá a un análisis estructural de la geometría de la pieza, transmisión de cargas en el propio elemento y hacia el terreno, junto con los daños documentados, puesto que ya no es posible esa toma *in situ*.

Se aportan documentos y grabados del momento conservados en el archivo catedralicio, así como diversos esquemas particularizados para cada caso concreto por el autor, a fin de facilitar la comprensión del funcionamiento de la estructura de fábrica de la catedral.

24 MAS-GUINDAL, A.J. (1996). “Criterios de intervención y recomendaciones de diseño a sismo en las estructuras de patrimonio histórico”. Revista “Informes de la Construcción”. Vol. 48 p. 9.

25 Visita de campo realizada por el autor fechado el 25 de Septiembre de 2016. También se realizó otro estudio “in situ” en la visita de campo fechada el día 28 de Mayo de 2017.

COMENTARIOS GENERALES

Como puede desprenderse del análisis gráfico efectuado, las fisuras se localizan, prácticamente en su totalidad, en la parte alta de las naves, seguramente debido a la duración del sismo entre 6 o 7 minutos²⁶. También existe una concentración de desperfectos en el encuentro de las bóvedas de rampante plano, propio del modelo gótico francés, con el muro sobre el que se apoya el arranque de las bóvedas de la nave central. Existe un punto de discontinuidad geométrica significativa, debido a la disminución de sección del volumen total de la catedral a causa del desfase de las naves. Esta discontinuidad genera una concentración de tensiones en el contorno de las bóvedas y, por tanto, el consiguiente estado de fisuración. Otra posible causa de concentración de daños estructurales en el paramento inferior de los ventanales de la nave central, puede ser debido al empuje horizontal de las bóvedas, puesto que su resultante podría salir de la línea de empujes localizada en el interior de la geometría de la fábrica²⁷ y causar la fisuración. También aparecen unos desperfectos notables en los muros que cierran las naves laterales del exterior con los arcos formeros.

HIPÓTESIS DE LOS MOVIMIENTOS Y CAUSAS DE FISURACIÓN

Procedemos, antes de un estudio exhaustivo y particularizado de cada patología producida en la catedral, a un análisis global del comportamiento de la estructura y que nos ha llevado a un estado fisurativo de este tipo.

Se han visto afectados los paramentos más vulnerables al sismo: los paramentos, no estructurales colocados entre arbotante y arbotante y en las uniones entre los arcos y los muros, puesto que obliga a un corte no regularizado y hace que sea difícil la adhesión entre estos dos elementos, favoreciéndose, por tanto, la fisuración.

Se procede al análisis descriptivo y estructural de las patologías en una sucesión vertical a lo largo de la catedral, comenzando desde las bóvedas y naves de la catedral, para seguir con la cúpula del crucero y finalizar con la Torre Campanario.

²⁶ Los sismos de período largo, como el sucedido en 1755, afectan en mayor medida a las partes altas de los elementos de una altura notable. Estudio aportado por "National Geographic" en el siguiente video: <https://www.youtube.com/watch?v=kn-4GAbyrjps>.

²⁷ "Para que una estructura de fábrica, como bóvedas o arbotantes, efectúe una buena respuesta frente al sismo, debe encontrarse, su resultante de empujes, en el interior de la fábrica" Por el autor a través de HEYMAN, J (1995). "El esqueleto de piedra: Mecanismo de la arquitectura de fábrica" p. 75 basado en el estudio de UNGEWITTER (1901).

04.2.1 | PATOLOGÍAS EN LAS NAVES DE LA CATEDRAL: MUROS Y BÓVEDAS

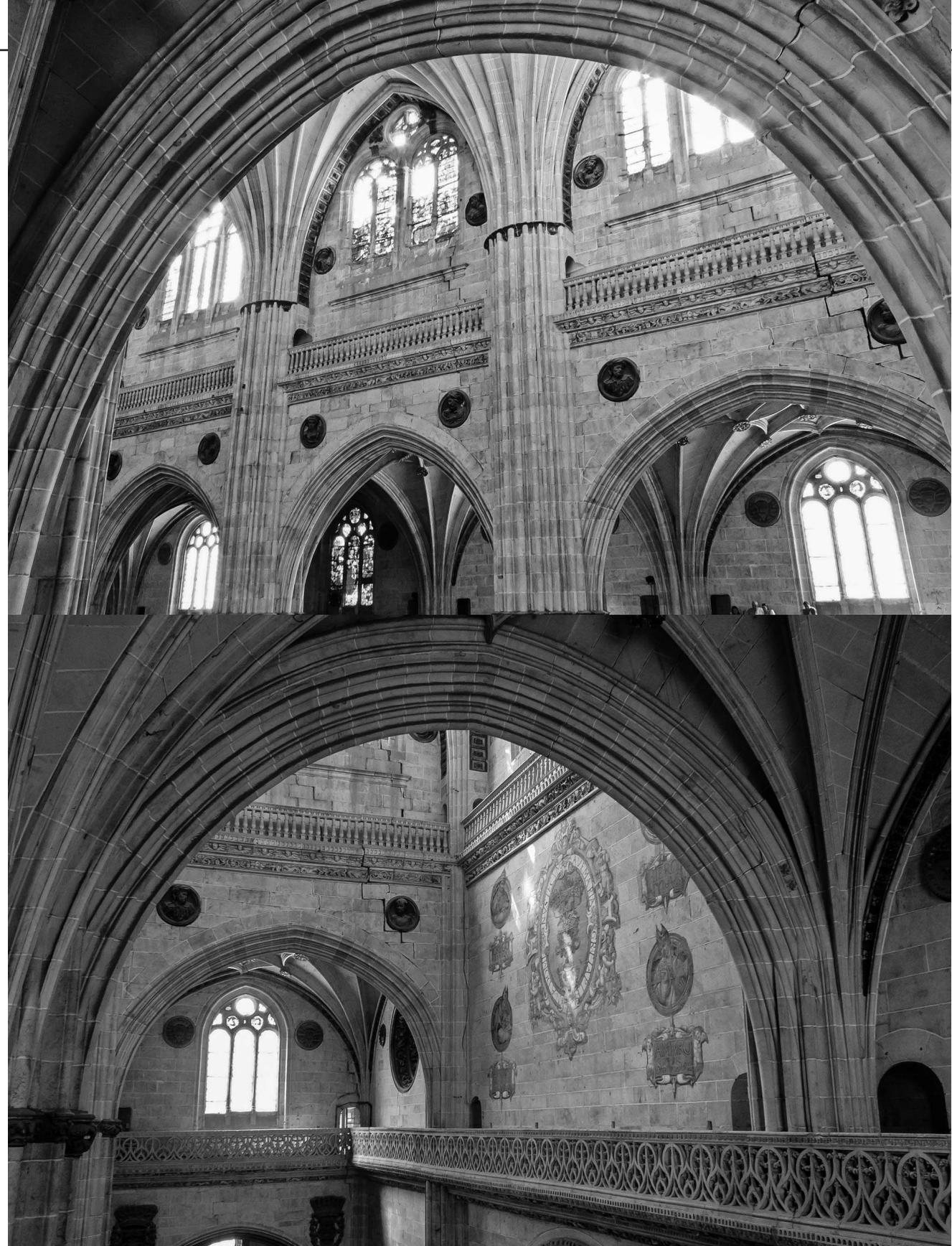
MUROS

Tal y como muestran las imágenes adjuntas, los muros y las bóvedas de la Catedral son testigo de los daños ocasionados tras el Terremoto de Lisboa de 1755, localizándose la mayor parte de los agrietamientos en los muros de la nave central. Esta concentración se debe a un fenómeno de cambio de rigideces entre el volumen de la nave central y el volumen de las naves laterales, también denominado “decalaje” de las naves. Además, toda la fisuración se concentra en los paramentos, ya que los elementos no estructurales son los que evidencian antes sus daños debido a su vulnerabilidad frente al sismo.

Un recuento de daños estructurales de considerables dimensiones que acometen a elementos constructivos tales como ventanas, balaustradas, arcos, etc. En el primer caso, las fisuras surgen desde las esquinas de los vanos, debido a que el contorno está sometido a un elevado estado tensional resultado de todo el contrarresto que ejercería la masa que se ha extraído. La fisuración se caracteriza por un recorrido oblicuo, a 45° , siguiendo la estela del elemento más vulnerable de la fábrica: el mortero de cal. A dicha debilidad, hay que sumar el escaso espesor de los tendeles y llagas, dificultando el movimiento relativo de los sillares (ya sea por cuestiones térmicas o sísmicas) y aportando una ínfima capacidad dúctil.

Junto a esto, la presencia de elementos ornamentales como los medallones, situados sobre el muro de la nave central, genera una discontinuidad mecánica en la fábrica, ya que ésta se encuentra más solicitada en este punto que en otro (Figura 16). La discontinuidad mecánica se debe a una carga excéntrica o aplicada de forma irregular sobre un elemento constructivo, lo que produce una mayor concentración de tensiones en el punto de acción de la misma²⁸. Por esta razón, la fisuración se hace más notable sobre el contorno de los medallones ornamentales.

²⁸ PEREPÉREZ, B. (2008-2016). Apuntes de la Cátedra de Construcción III. UPV. Capítulo 14 p. 20-21.



Otras regiones de discontinuidad se presentan en el encuentro entre la balaustrada y la galería sobre la que se apoya (Figura 17). Se trata de una discontinuidad geométrica y se debe a un pronunciado cambio de sección entre los dos elementos, generándose una gran concentración de tensiones: La esbeltez de la balaustrada (h_1) en contraposición al espesor del pavimento de la galería (h_2).

A día de hoy, se puede contemplar cómo muchos de estos daños estructurales han intentado ser reparados mediante la inyección de mortero y la reparación minuciosa de la fábrica (Detalle). Pero la filtración de polvo y de restos de otros materiales, de agua, así como los movimientos relativos de la fábrica, no han permitido el cierre total de la fisura (cfr. 03.2.2).).

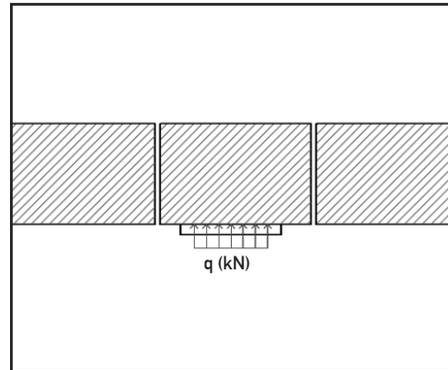


Figura 16. Detalle discontinuidad mecánica muro-medallón como origen de incremento de la fisuración.

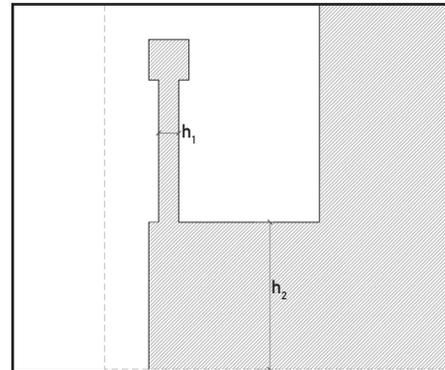


Figura 17. Detalle discontinuidad geométrica balaustrada-galería. Vulnerabilidad del elemento más esbelto.

Para finalizar, se puede contemplar una grieta de notables dimensiones y que a su vez está presente en otras catedrales que han sido víctimas del efecto sísmico. Se trata del desplazamiento de una de las dovelas que constituye uno de los arcos formeros de la nave central; daño estructural que se produce por la aplicación de un esfuerzo horizontal, quedando descartada cualquier hipótesis de agotamiento por compresión. La fisuración se vuelve a observar en los puntos más vulnerables de la fábrica: los morteros, por una diferencia de rigidez con el material pétreo y por un escaso espesor. Este espesor tan reducido -prácticamente los sillares se encuentran a hueso- genera una insuficiente capacidad dúctil²⁹.

²⁹ A partir de CASSINELLO, M.J. (2004) "Trazados y estabilidad de la arquitectura gótica". Cuadernos INTEMAC nº 53

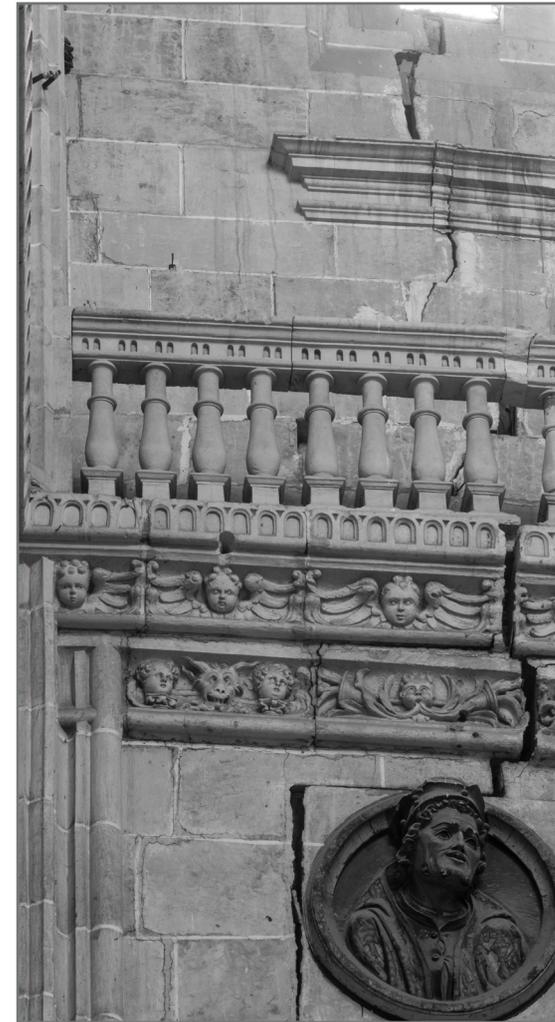


Figura 18. Agrietamientos en los muros de la nave central.



Imagen 19. Fisuración del encuentro entre arco formero de la nave lateral y muro del paramento exterior. Fenómeno desplazamiento dovela por movimiento horizontal.

BÓVEDAS

En cuanto a la fisuración observada en las bóvedas de las naves de la Catedral, podemos diferenciar dos tipologías:

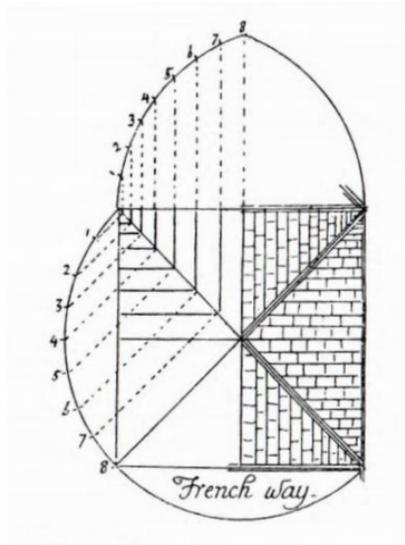


Imagen 20. Construcción de la plementería en las bóvedas de crucería (Modelo francés).

En primer lugar, fisuras ubicadas en el encuentro entre la propia bóveda y el arco donde se reciben. Los elementos de geometría, forma de trabajo y de transmisión de cargas diferentes, que, sometidos a una sacudida horizontal, provocan la fisuración. El punto más vulnerable se localiza en el encuentro de la plementería con los arcos y los nervios, que sigue el modelo francés (Figura 18).

En segundo lugar, y como muestra la imagen de la página siguiente, la fisuración se produce en el encuentro entre los terceletes y las claves secundarias que genera su disposición. Contamos con encuentros de geometría muy aguda, giros bruscos, así como también una discontinuidad geométrica entre las dimensiones de las claves secundarias y los nervios que acometen a éstas.



04.2.2 | PATOLOGÍAS EN LAS VIDRIERAS DE LA CATEDRAL

Como se ha dicho en el epígrafe anterior (Cfr. 04.2.1), la apertura de vanos y/o óculos en los paramentos de la catedral produce la fisuración propagada desde los vértices debido a una concentración de tensiones elevada en el contorno.

Los vitrales configuran el elemento más vulnerable del paramento, por un lado, a la esbeltez de la pieza y, por otro, a la fragilidad del material. Junto con esto, las condiciones adherentes del material en el contorno son decisivas para la existencia de daños materiales. En 1755, las vidrieras de la catedral se apoyaban sobre unos marcos con una escasa adherencia en su encuentro. Todos estos condicionantes produjeron la extracción del vidrio de su marco y su posterior caída al vacío. Estas patologías deben tenerse en cuenta puesto que, aunque no afecten al global de la estructura, pueden causar desgracias personales en su caída. Por tanto, la intervención que se proponga deberá estar regida por la implantación de unos vidrios perfectamente sellados a su marco, así como la implementación de vidrios de seguridad.



04.2.3 | LA CÚPULA DEL CRUCERO

Aunque no se cuenta con información suficiente sobre el estado primitivo de la cúpula barroca levantada por los Churriguera, sí que existen diversos escritos que determinan la probabilidad de que fuese una cúpula calada de influencia burgalesa. También el escrito de Calamón³⁰, donde se describe perfectamente la luz y variedad cromática que se contemplaban desde el interior, conduce a la interpretación de una cúpula apoyada sobre un tambor de amplios ventanales y, por tanto, de poca sección de fábrica. Además, a partir de los grabados de García de Quiñones (Figura 22), se intuye una cúpula configurada mediante nervios de una gran calidad estética. En estos supuestos, y en caso de acciones sísmicas, se produce la fricción entre los elementos adyacentes que la configuran, favoreciendo la ruina de la cúpula.

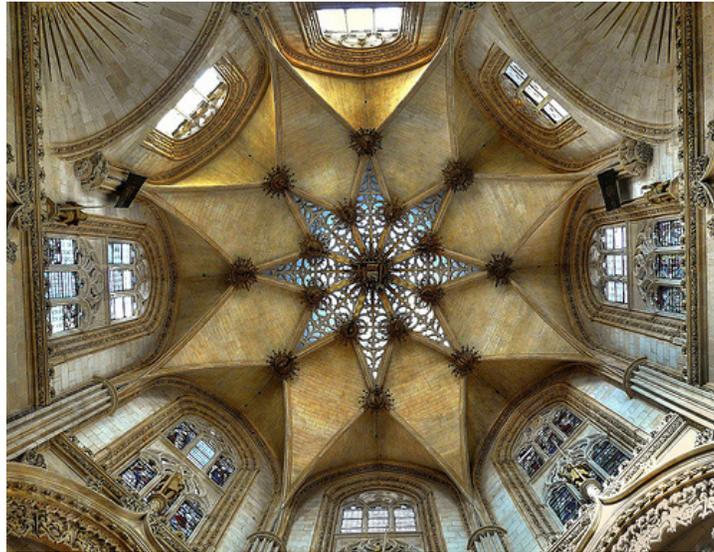


Figura 21. La cúpula calada de la capilla de los Condestables. Catedral de Burgos.

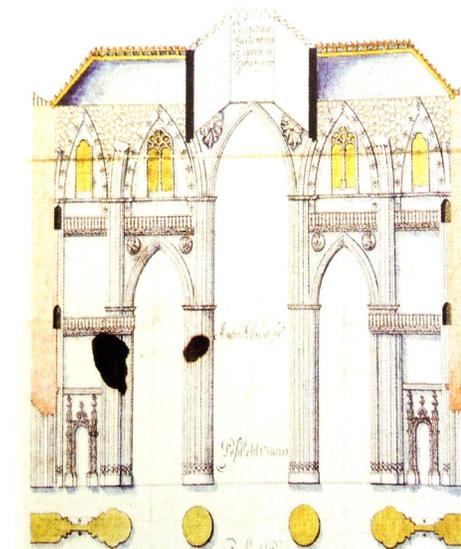


Figura 22. Grabados de la cúpula primitiva del crucero por Andrés García de Quiñones.



Figura 23. Grabado del Címborio hacia 1752.

30 A través de NAVASCUÉS, P (2012). "La Catedral de Salamanca: Nueve siglos de historia y arte". Capítulo VI.

Se trata de una interpretación a partir del entendimiento de la geometría y de la transmisión de los esfuerzos de la cúpula. Tal y como establece Jacques Heyman (1995)³¹, las cúpulas siempre se han calculado mediante un método en el que se evalúa las cargas en un arco comprendido en dicha cúpula. Este supuesto resulta insuficiente, puesto que no considera los fenómenos de doble curvatura y la presencia de un modelo basado en paralelos y meridianos, características que distinguen precisamente el comportamiento de la cúpula y el arco³².

Un modelo de cúpula con pliegues que agravado con la esbeltez de los elementos de fábrica que conforman el tambor, provocó el estado de ruina de la cúpula barroca. El comportamiento de esta cúpula no se puede comparar al de una cúpula semiesférica, donde las principales tensiones y patologías se deben a una modificación de la luz que cubren, generándose tracciones en los apoyos que no son capaces de soportar. Los pliegues están sometidos a elevadas tensiones, debido a la fricción de su comportamiento como “gajos” independientes. Es por eso que deben reforzarse estructuralmente.

Por último, otro factor a considerar es la polémica creada, en 1721, por Churriguera al afirmar que no era necesario el revestimiento de plomo para impermeabilizar la cúpula de la Real Clerecía de San Marcos³³, muy próxima a la Catedral de Salamanca y que también presentó cuantiosos daños tras el seísmo de 1755. Con posterioridad, se ha demostrado que la saturación de la piedra franca que reviste la cúpula podría haberse sobrecargado entre un 70-80%, lo que casi con toda probabilidad hubiese provocado el colapso de ésta. Se ha corroborado que días antes del seísmo se produjo una gran tempestad en la ciudad, lo que permite suponer que la alterabilidad de la arenisca de Villamayor jugó un papel importante en el comportamiento de la cúpula frente al sismo.

31 HEYMAN, J. (1995). “El esqueleto de piedra: Mecánica de la arquitectura de fábrica”. Capítulo 3 a través de Poleni (1748).

32 ALONSO, A. (2011) a través de LLOPIS, V. (2014). “La Catedral de Valencia: Construcción y estructura. Análisis del cimborrio”. UPV. Tesis doctoral p 80.

33 FÉRNANDEZ, A. (1993). “Noticia de las obras de restauración y consolidación de la Real Clerecía de San Marcos en Salamanca). UPM. p. 33.



04.2.4 | LA TORRE DE CAMPANAS

Para entender la existencia de las grandes fisuras ocasionadas por el Terremoto de Lisboa de 1755 en el cuerpo inferior de la Torre de Campanas, y que Juan de Sagarvinaga plasmó de una manera fiel en su grabado que aún se conserva en el archivo catedralicio³⁴, hay que entender la cronología de dicho elemento arquitectónico. Tal y como se ha comprobado, las fisuras ocasionadas en el cuerpo inferior primitivo, de estilo románico, no fue originado por el seísmo, si bien se acrecentaron por la existencia no fue realmente originado por el seísmo, si bien se agravaron notablemente con el temblor³⁵.

En 1705, el impacto de un rayo sobre la torre campanario de la Catedral Nueva obligó a la reconstrucción del remate superior. El diseño propuesto por el maestro Pantaleón y Setián se movía entre el compromiso de conservar las líneas góticas originarias de la catedral y la incorporación de elementos procedentes del nuevo lenguaje barroco. Se llevó a cabo la construcción del propio remate del campanario y “[...] *del ochavo, cúpula y linterna que culminan hoy la torre de la catedral salmantina* [...]”. En dicha intervención, no se recayó en un aspecto fundamental: El nuevo remate “[...] *era demasiado peso para ser soportado por un fuste construido muchos siglos atrás con medianos materiales y no ideado seguramente para sostener tan gigantesco empuje.*” (Nota al pie 35). Las tareas de reparo de la torre resultaron de debate entre diversos maestros que se personaron allí para dictaminar cuál podría ser la mejor solución.

A la controversia comentada se sumó el agravamiento de la patología, debido a una fuerte tempestad, que provocó la filtración de agua en el interior de las fisuras y el consecuente desarrollo de la abertura de la fisuración. El terremoto no hizo, pues, sino acrecentar los problemas de agrietamientos ya originados anteriormente (Figura 24) que “*eran de la peor especie, ya que bajaban oblicuas empezando en el medio de las caras de poniente y mediodía desde el asiento del primer cuerpo de cam-*

panas y finalizando en los ángulos, de modo que venían a formar dos pirámides cuyas cúspides estaban en los mismos ángulos”³⁶.

En definitiva, se trata de daños estructurales originados por el sobrepeso añadido por el remate barroco de Pontón y Setián que generó tracciones en la base de la torre y el agrietamiento. A la falta de capacidad resistente del fuste primitivo barroco se sumó el elevado espesor de los muros, teniendo en cuenta que el relleno interior de cascotes debió de asentar, dejando a la fábrica pétreo la responsabilidad única de soportar las tensiones. Además, la filtración de polvo y agua (ciclos de hielo-deshielo) fueron incrementando los daños en la torre que culminaron con la presencia del terremoto de Lisboa de 1755, remarcado por la inclinación de la torre, todavía hoy presente. Por tanto, los daños ocasionados en el cuerpo de la Torre-Campanario fueron fruto de la sobrepresión que se acusó en la base, juntamente con la alterabilidad que presenta la piedra y que provoca una disminución notable de la resistencia (03.2.2).

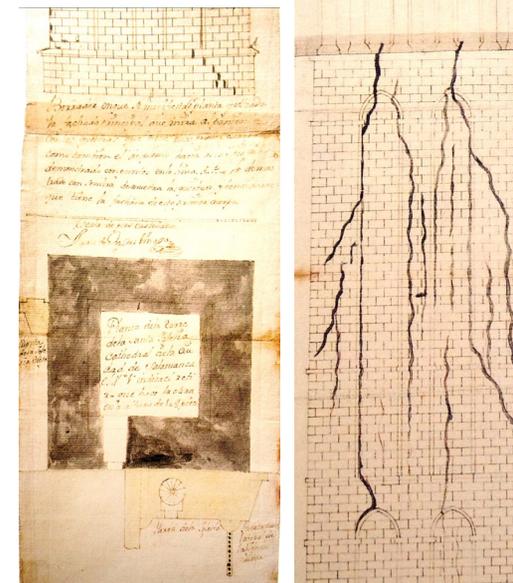


Figura 24. Grabado de los daños producidos en la Torre de Campanas (Alzado y Planta) en 1767 por Juan de Sagarvinaga.

34-Grabado de la Torre de la Catedral con los daños producidos por el Terremoto de Lisboa de 1755 por Juan de Sagarvinaga en 1766. BERRIOCHOA, V. (2012). “La Catedral de Salamanca: Nueve siglos de historia y de arte” Ed. Promecal. Capítulo IX. p. 463 a través de los fondos del archivo catedralicio.

35-BERRIOCHOA, V. (2012) “Las restauraciones arquitectónicas en la Catedral de Salamanca” p. 7.

36 RODRÍGUEZ, A. “La Torre de la Catedral Nueva de Salamanca” p. 252.

04.2.5 | EXTERIOR: MUROS DE CERRAMIENTO, ARBOTANTES Y PINÁCULOS

Procedemos al análisis último de las patologías, apuntando que no existen evidencias *in situ* de patologías en estos elementos, como consecuencia de las intervenciones contemporáneas que se han llevado a cabo en las cubiertas de la catedral.. En un primer término, las patologías que podrían aparecer en el exterior se deben a las, ya mencionadas, diferencias de asentamientos o de movimientos relativos entre las caras exteriores e interiores (cfr. 04.2.4). Junto a esto, cabe apuntar que las condiciones meteorológicas y la consecuente infiltración de humedad en la arenisca han debilitado su resistencia. Muestra de ello es la afectación mayor sobre los paramentos de la cara norte. Muchas actuaciones han consistido en la sustitución de las piedras afectadas por la erosión, así como la inyección de mortero, debido a la pérdida progresiva de la capacidad adherente del mortero de cal primitivo.



Figura 25. Zócalos de las Torres de la Catedral de Salamanca.

Un ejemplo de intervenciones para contrarrestar los desperfectos de origen físico se encuentran en los zócalos de las bases de las torres de la catedral que evidencian problemas de filtración ascendente de agua (por capilaridad) (Figura 25).

En cuanto a los arbotantes y pináculos, llama la atención la ausencia de marcas ni fisuras en el reconocimiento *in situ* efectuado en la catedral³⁷. Posiblemente hayan sido reparados en alguna de las intervenciones que, durante el siglo XX, se encargaron de la reparación urgente de los deterioros de ciertos elementos de cubierta. Los arbotantes son los encargados de absorber todos los esfuerzos horizontales de las bóvedas de las naves de la catedral. Tras una sacudida tan importante como la de 1755, debería haber existido marcas de un estado tensional importante en la parte superior del mismo, que es donde tiende a situarse la línea de empujes pasivos y la curvatura de los activos.

Por su parte, los pináculos realizan la función de aportar peso gravitatorio a los estribos y contrafuertes con objeto de que la carga transmitida a la cimentación sea lo más vertical posible. Resulta sorprendente que no se localicen fisuras, más allá de las propias del deterioro del material, en elementos tan esbeltos y sometidos a un sismo de período largo, seguramente, dichas patologías han quedado enmascaradas, como en el caso de los arbotantes, por intervenciones contemporáneas de saneado de cubierta.

³⁷ Visitas de campos efectuadas por el autor fechada el día 25 de Septiembre de 2016 y 28 de Mayo de 2017.



04.2.5 | INFLUENCIA DEL TRAZADO PRIMITIVO DE LA CATEDRAL EN LA RESPUESTA FRENTE AL SISMO

Con el objetivo de establecer un paralelismo entre el desarrollo del marco teórico y la incursión de conceptos como “enjutas”, “Caja compacta”, etc. fruto del trabajo de la profesora Cassinello, procedemos a una breve descripción gráfica y literaria de cómo ha afectado el trazado inicial del edificio en el origen y evolución de las patologías.

En primer lugar, la disposición de los contrafuertes como elemento de separación entre las capillas-hornacinas, así como la disposición de todos los elementos formando una retícula (cabecera cuadrada, núcleo coro y altar mayor, etc), ha propiciado que todo el conjunto de la catedral trabajase como una caja compacta y rígida, de ahí que no se hayan evidenciado agrietamientos significativos en los soportes³⁹. Junto a esto, la presencia de los gruesos contrafuertes, tanto en las naves como en la cabecera, propició una total absorción de los empujes generados por el terremoto.

Por otra parte, los rellenos laterales de las bóvedas propiciaron que los empujes horizontales de éstas no produjesen el colapso de elementos de fábrica.

Como se ha dicho, el modelo de planta de la Catedral Nueva de Salamanca responde muy bien ante el fenómeno sísmico debido al esquema de retícula que presenta. Por contra, en cuanto a la sección transversal, el escalonamiento de las naves laterales y la consiguiente discontinuidad geométrica favorecieron la aparición de fisuras en los puntos de cambio de sección.

³⁹ Visita de campo efectuada por el autor fechada el día 6 de diciembre de 2016.



ieronimus

Los Torres
Memorias
de la
Catedral

05| INTERVENCIONES TRAS
EL TERREMOTO DE LISBOA DE 1755

05.1 | DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS INTERVENCIONES HISTÓRICAS Y CONTEMPORÁNEAS TRAS EL TERREMOTO DE LISBOA DE 1755

La Catedral Nueva de Salamanca ha sido objeto de innumerables intervenciones durante sus cinco siglos de existencia. Es objeto de este apartado el proporcionar un conocimiento general de las intervenciones históricas que se llevaron a cabo para resolver las patologías descritas en el epígrafe anterior, así como también la descripción y el análisis de otras intervenciones, que pese a ser contemporáneas, han considerado la acción sísmica en su origen. Junto con el análisis gráfico y estructural, se describe la cronología de hechos que han conducido a la intervención finalmente realizada.

Ejemplo de ello es la reconstrucción de la cúpula del crucero, así como el ataluzado y refuerzo interior de la Torre de las Campanas. Por su parte, los muros y bóvedas de las naves de la catedral, que aún poseen las marcas del sismo, se analizarán por los procedimientos que se han intentado llevar a cabo, como la restitución de sillares o la inyección de mortero para conseguir una cohesión entre los distintos sillares que conforman la fábrica.

05.1.1 INTERVENCIONES EN LAS NAVES DE LA CATEDRAL

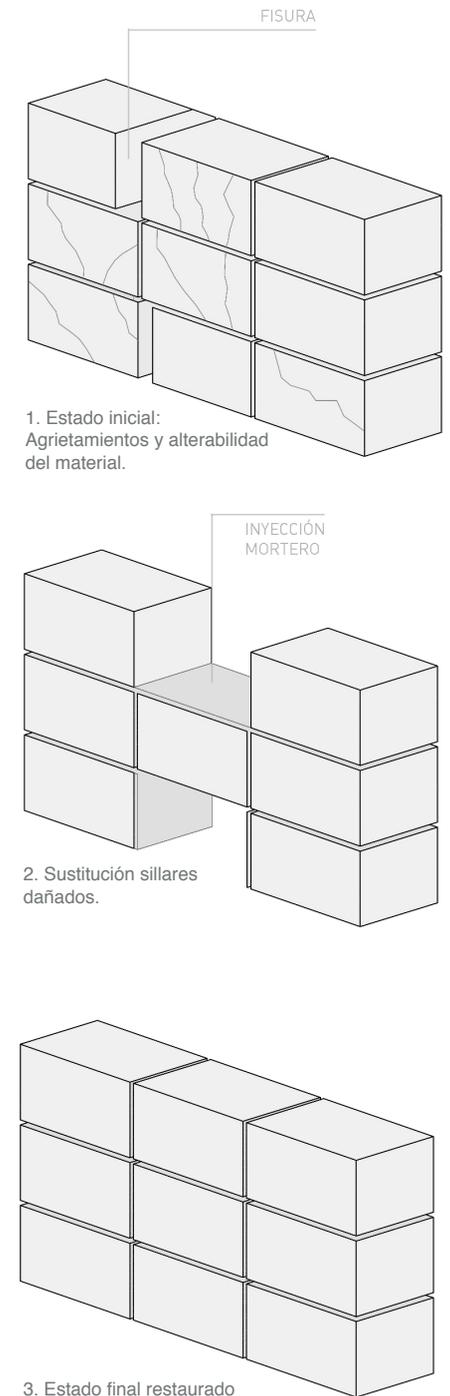
Todo y que los daños presentes en los paramentos y arcos formeros de la nave central siguen siendo visibles, se han llevado a cabo una serie de intervenciones que también son objeto de valoración en las distintas visitas de campo a la catedral. Un gran número de fisuras muestran marcas de actuaciones sobre sus morteros, incrementando el espesor de éste o inyectándolo para sellar una fisura. Como ya se ha dicho, en estructuras de fábrica, la aparición de una fisura, debido a un estado tensional que no es capaz de soportar, es prácticamente irreversible. Fenómenos como la filtración de polvo u otros materiales, así como la presencia de agua en el interior, hacen que la recuperación de la cohesión entre los labios de las fisuras resulte muy complicada.

De hecho, tal y como muestra la Figura 19 (Cfr. 04.2.1), muchos daños paliados con la inyección de mortero no han surtido efecto, volviéndose a abrir las fisuras y, por tanto, a trabajar los sillares de modo independiente.

En este caso particular, localizado en uno de los arcos formeros de las naves laterales, que comunica la galería de la Catedral Nueva con el recorrido ascendente hacia la Torre de Campanas, se optó por una solución rudimentaria al colocar una serie de cascotes y rellenos, con la finalidad de que la transmisión del arco fuese la óptima, es decir, que la resultante se produjese de dovela en dovela y, por tanto, quedase comprendida en el interior de la fábrica. Una Intervención que considere la posibilidad de un nuevo sismo de grandes magnitudes, que podría llegar a comprometer la estabilidad del arco.

Otras actuaciones llevaron a cabo la restitución de los diversos sillares de piedra franca deteriorados, debido a la alterabilidad del material. La intervención consistió en la sustitución de los sillares deteriorados y la inyección de mortero, con el objetivo de un trabajo más conjunto y homogéneo del muro (Figura 26).

Figura 26. Detalle de la intervención sobre los paramentos de las naves.



05.1.2 INTERVENCIONES EN LAS VIDRIERAS DE LA CATEDRAL

“Es un conjunto que abandera, junto a las catedrales de Segovia y Granada, una de las más significativas y florecientes etapas de la vidriera española. Las obras de estas basílicas significaron los últimos grandes programas vidrieros y la plasmación de un arte que había alcanzado sus más altas cotas, gracias a la constante experimentación y enriquecimiento formal, técnico y funcional”.

ALONSO, P (2012) “La Catedral de Salamanca: Nueve siglos de historia y de arte” Ed. Promecal. Capítulo VII pg 366.

Las vidrieras de la Catedral Nueva de Salamanca han sido objeto de diversas intervenciones contemporáneas⁴⁰ que han tenido como fin la renovación de materiales, corrección de las patologías de éstos debido a deterioros causados por el efecto de los agentes meteorológicos, biológicos o como consecuencia de otros sucesos como el que nos ha llevado a la elaboración de este trabajo, el terremoto de 1755.

Son muchas las intervenciones recientes que se han efectuado sobre las vidrieras, tanto de las naves laterales y la cabecera como las presentes en el cimborrio. Las primeras intervenciones (naves laterales y cabecera) se efectuaron, entre 1975 y 1983, por Merino de Cáceres y García Escudero, restando, en la actualidad, la intervención del paramento sur⁴⁰. Por su parte, en el cimborrio se llevaron a cabo diversas operaciones como la eliminación del tapiado de dos ventanales o el desmonte de las vidrieras existentes y su traslado a taller para su posterior restauración. Se procedió, además, a la elaboración de nuevos vitrales en aquellos vanos que habían sido descegados, mediante vidrio soplado. Finalmente, se incorporó un segundo vidrio en la cara exterior, como cierre de protección. Estas vidrieras se han sellado para imposibilitar la filtración de agua al interior. Por su parte, la hoja interior se dispone con una junta

³⁹ Las vidrieras de la catedral han sido objeto de múltiples intervenciones desde el siglo XVIII hasta la actualidad, siendo la más característica debido a su extraordinario valor artístico las realizadas por Carlos Muñoz de Pablos. A través de BERRIO-CHOA, V (2002). “La Catedral de Salamanca: nueve siglos de historia y arte”. Ed. Promecal. Capítulo IX. pg 471.

⁴⁰ BERRIOCHOA, V. (2012). “La Catedral de Salamanca: Nueve siglos de historia y arte”. Ed. Promecal. Capítulo IX. pg 471.

abierta, que permita el flujo de aire a través de ambas hojas, evitando la condensación, es decir, funcionando como una cámara de aire (Figura 28).

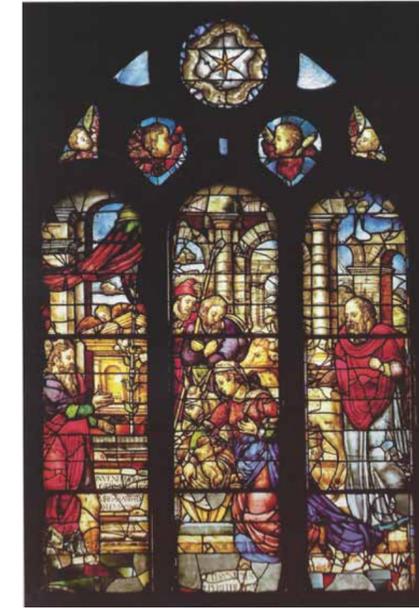


Figura 27. Intervención contemporánea en las vidrieras.

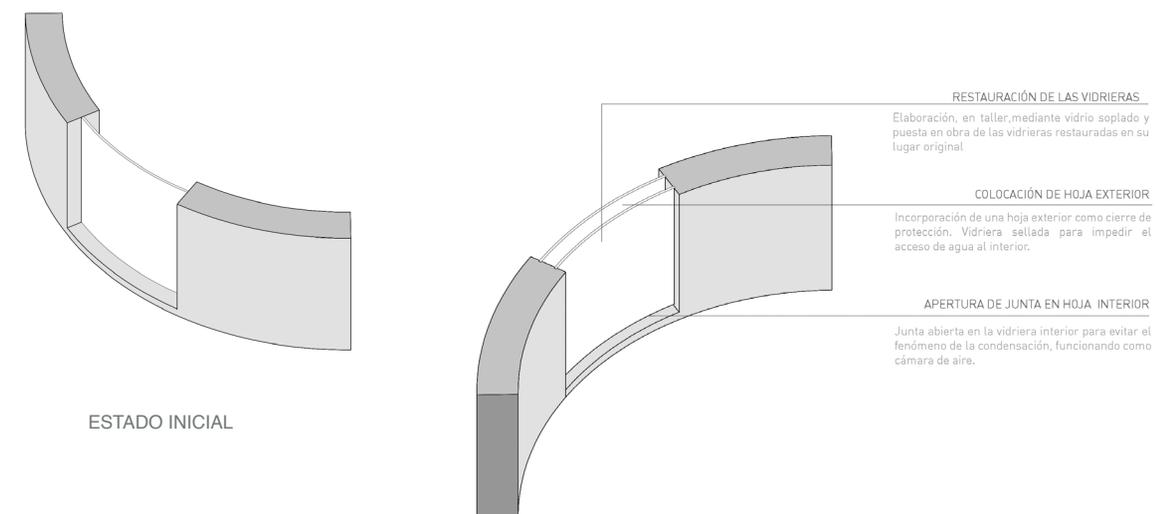


Figura 28. Detalle de las intervenciones contemporáneas en las vidrieras del tambor del crucero.

05.1.3 INTERVENCIONES EN LA CÚPULA DEL CRUCERO

Mucha es la documentación que acredita que la cúpula del crucero fue uno de los elementos más dañados tras el seísmo. La cúpula primitiva barroca, obra de Churriguera, fue sustituida, en 1757 debido a su estado de ruina, por la cúpula neoclásica que hoy en día contemplamos. La solución aportada fue la de cúpula semiesférica que presenta una mayor capacidad de respuesta frente a la acción dinámica. Un modelo donde se aplica el concepto de “membrana”, cuya resistencia de la cúpula se rige por la transmisión de esfuerzos de punto a punto de la misma, hasta llegar a los soportes sobre los cuales descansa. Estas cúpulas trabajan de una forma conjunta, aunque una variación en la luz que cubren supone la presencia de esfuerzos a tracción que no puede superar y la consecuente aparición de la fisuración.

Para contrarrestar estas tracciones en la base, se procedió al atado del tercio inferior de la cúpula a través de cinchos de hierro (Figura 30). En los dos tercios superiores, se colocó unas planchas de plomo como impermeabilizante de la fábrica inferior, evitando el deterioro y la alterabilidad de ésta. La intervención fue muy similar a la reproducida en la Cúpula de la Real Clerecía de San Marcos, aunque a diferencia de ésta, en la catedral se incorporó una falsa linterna⁴¹, lo que ayudaría a la transmisión de esfuerzos por toda la superficie semiesférica.

La fisuración en la cúpula puede implicar la extensión de las fisuras hacia el tambor, apareciendo incluso, en un corto plazo de tiempo, debido a la imposibilidad de soportar tensiones de tracción. Se ha comprobado que el agrietamiento es fruto de las tensiones mecánicas sometidas sobre la estructura y como consecuencia directa de la alterabilidad del material. Por tanto, la intervención no sólo consistió en la incorporación de una serie de zunchos metálicos enroscados en sus extremos, sino que se acometió una reconducción de las aguas pluviales, así como la incorporación del revestimiento de plomo.

Incorporación de zunchos metálicos conformados en frío situados en los paralelos inferiores de la cúpula semiesférica cuya función principal era la absorción de las tensiones de tracción de la bóveda.

PLANCHAS DE PLOMO

Recubrimiento de la fábrica con planchas de plomo como impermeabilizante, con el fin de evitar el deterioro de la arenisca y la consecuente pérdida de prestaciones mecánicas.

CÚPULA SEMIESFÉRICA

Se opta por una geometría mucho más resistente frente a acciones horizontales, por su comportamiento como “membrana”, todo y que puede presentar fisuración debido a una variación de luz.

FALSA LINTERNA

Permite una transmisión de esfuerzos mucho más óptima por no presentar la discontinuidad del óculo.



Figura 29. Anclaje de los zunchos metálicos localizados en la base de la cúpula.

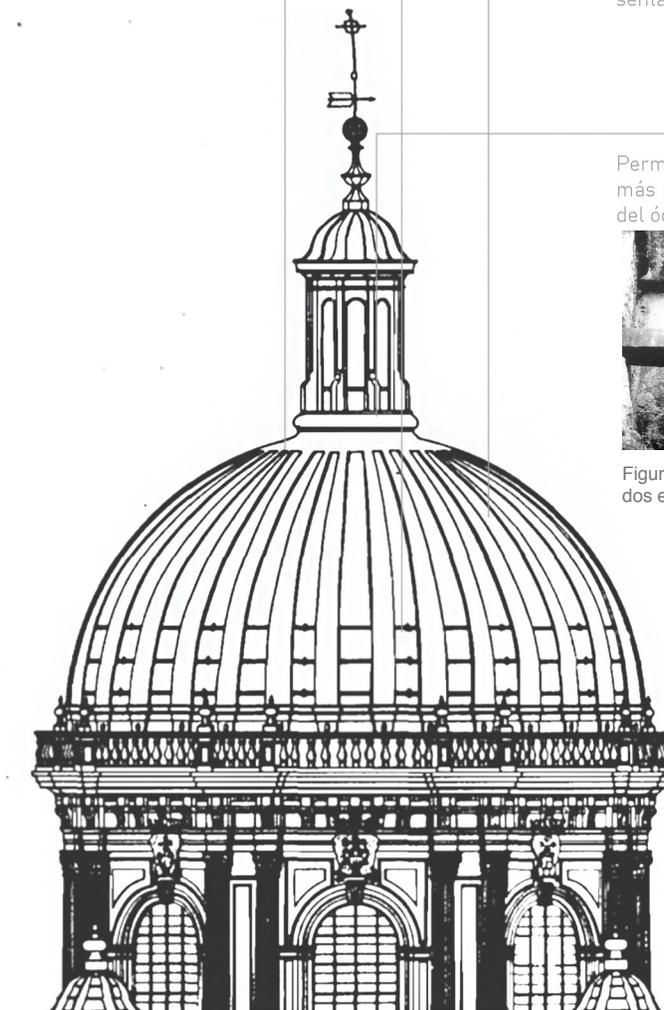


Figura 30. Análisis de las intervenciones realizadas en la cúpula del crucero.

⁴¹ BERRIOCHOA, V. (2012). “La Catedral de Salamanca: Nueve siglos de historia y arte” Ed. Promecal. Capítulo IX. pg 477.

El atado metálico se conformo a través de cinchos conformados en frío. Para su colocación, se realizaron unas acanaladuras en el extradós de la cúpula, rellenándose con mortero los rebajes para dejarlos sellados. Posteriormente, se enroscaron los extremos para permitir que el cinchado realizase el contrarresto de las tensiones para las que estaba siendo requerido (Figura 29).

INTERVENCIONES CONTEMPORÁNEAS

Entre 1998 y 2000 se han realizado algunas intervenciones en la cúpula del crucero, en su falsa linterna y en el cupulín (nota al pie 41). Se deja constancia que las planchas de plomo que revestían e impermeabilizan la cúpula fueron objeto de intervenciones sobre *“las lesiones derivadas por el envejecimiento”*. Sobre los cinchos metálicos ubicados en el tercio inferior de la cúpula *“fueron objeto de una revisión cuidadosa templando las cuñas de apriete”*. La cúpula semiesférica presentaba los agrietamientos típicos debido a la variación en la luz que salvan, debiendo ser solventados para prevenir su desarrollo. Se actuó desde el intradós de la cúpula para realizar el cosido de las fracturas y sellado de las fisuras. Una vez realizadas las intervenciones de reparación, se llevo a cabo la restauración del estuco base y de las pinturas murales.



05.1.2 INTERVENCIONES EN LAS TORRES DE LA CATEDRAL

CONTEXTO HISTÓRICO

La Torre de las Campanas fue construida como torre-campanario de la Catedral Vieja, dispuesta de forma simétrica respecto a su eje longitudinal con su vecina Torre Mocha. Después de los respectivos debates sobre la ubicación de la Catedral Nueva ya comentados (Cfr. 03.2.1), se decidió colocarla junto a su vecina Catedral Vieja invadiendo una parte importante de la nave lateral de la misma. Una vez comenzada su construcción, se determinó que ésta fuese la torre campanario de la Catedral Nueva de Salamanca, funcionando como charnela entre ambas.

Se trata de una torre románica de la que apenas queda información sobre su estado originario. Una muestra excelente es el dibujo de Anton van Wyngaerde sobre 1570, donde aparece grafiado el aspecto original de la catedral “[...] dejando ver el cuerpo bajo medieval con sus nichos, horadados en la parte alta para alojar las campanas. Sobre él, se eleva un cuerpo esbelto, más ligero, de tres vanos flanqueados por pilastras [...]”⁴².

Nos podemos hacer una idea de su estado primitivo a través del proyecto de Pedro de Ribera en 1737 para solventar las fisuras causadas por el remate de Pontón y Setién (Nota al pie 42). La propuesta pretendía reforzar el fuste románico mediante la reconducción de las aguas pluviales que recaían sobre los paramentos de las torres y que estaba dañando la piedra arenisca, así como también la colocación de “[...] dos cubos circulares [...]” y otros elementos que reforzaban las aristas de la torre. Una intervención mucho más sensible que la que finalmente se llevó a cabo y pasamos a comentar.

⁴² RIBERA, PEDRO DE (1681-1742). “Proyecto para reforzar el fuste de la Torre de la Catedral”. Biblioteca Nacional de España.



ANÁLISIS DE LA INTERVENCIÓN EN LA TORRE DE CAMPANAS

Como se ha comentado anteriormente (cfr. 04.1), los daños estructurales existentes en el cuerpo inferior de la Torre de las Campanas⁴³ condujo a la petición, por parte del Cabildo, de una solución para evitar su deterioro. Propuestas como las de Ventura Rodríguez o Juan de Sagarvinaga sostenían el desmante de la torre debido a un estado de ruina inminente. Éste primero optó por el proyecto de dos torres ubicadas en la cabecera, flanqueando la cúpula del cimborrio, hoy en día caracterizadas por su altura igual a la de las naves del crucero y cubierta a cuatro aguas en su coronación. El 24 de Noviembre de 1766 se contactó con Baltasar Devretón, quien propuso un proyecto de consolidación de la torre, descartando la demolición. Sus argumentos venían avalados por sus intervenciones de refuerzo de la Torre-Alminar de la Catedral de Córdoba y la Torre de la Catedral de Granada, también dañadas por el terremoto de 1755 y de las que también se dictaminaba su demolición. Devretón planteaba el zunchado del fuste románico y el ataluzado de la torre, así como la mejora en la cimentación (Figura 32). Los diversos grabados efectuados todavía permanecen conservados en el archivo catedralicio.

La desconfianza hacia las tesis de Devretón por parte de Sagarvinaga, responsable de la maestría de la catedral en aquellos momentos, y su persistencia en la necesidad de demolición de la torre, le llevaron a abandonar el cargo. El arquitecto que le sustituyó, Jerónimo García de Quiñones, fue el encargado de la realización de esta actuación siguiendo las propuestas de Devretón. La intervención se centró en la incorporación de 6 tirantes metálicos que zunchaban el primitivo fuste románico, situado a diversas alturas (Figura 32), cuya misión fundamental es la absorción de los movimientos en la base gracias a su trabajo a tracción. Movimientos que habían sido producidos por el gran peso del remate barroco propuesto por Pontón y Setién (Cfr. 04.2.4). Dicha armadura “*tuvo que forrarse enteramente con taludes de piedra*” arenisca, siguiendo la disposición original. Dicho forro alcanzó el nivel de la sala de campanas, que corresponde con una altura de 140 pies, justo hasta el arranque del remate barroco.

⁴³ El informe del Cabildo fechado el día 2 de Diciembre de 1729 dejó constancia de diversas rajaduras y agrietamientos en el cuerpo inferior de la Torre de Campanas.

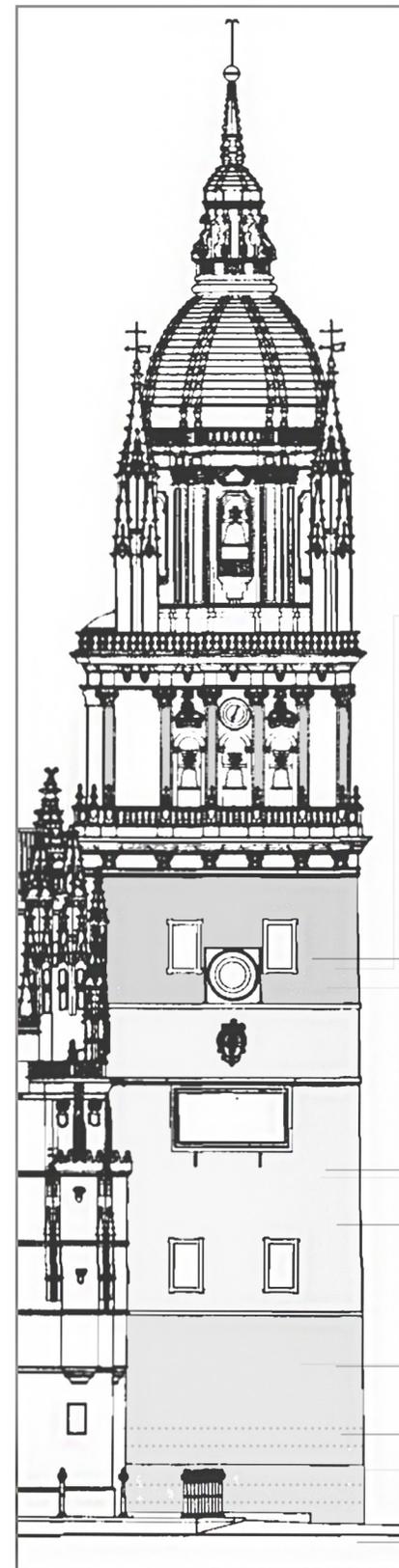


Figura 31. Tirantes de madera en el interior de la Torre de Campanas. BERRIOCHOA, V (2012). "Las restauraciones de la Catedral de Salamanca". p. 10.



TIRANTES DE MADERA

Eliminación de la bóveda nervatura estrellada por forjado de rollizos de madera para soportar el sobrepeso del remate superior. Situado en la Sala de los Relojes.

ATALUZADO DEL FUSTE

3ª FASE

Realizado también con piedra franca, concluyendo con el entablamento adornada con canecillos que corresponden a las pilastras del campanario.

2ª FASE

Piedra franca hasta la altura de cornisa de la Catedral Nueva y rematada con un cordón. Se talla el escudo de la Catedral.

1ª FASE

Zócalo de 12 pies de altura terminado en granito.

ZUNCHADO METÁLICO

Incorporación de 6 tirantes a diversas alturas del fuste románico, cuya función principal es la absorción de las tracciones generadas en la base de la torre como consecuencia de un sobrepeso del remate superior.

RECRICIDO DE LA CIMENTACIÓN

Intervención en los cimientos para poder soportar el ataluzado de la torre sin producirse asentamientos diferenciales entre la Torre-Campanario y el cuerpo de las naves de la Catedral.

Figura 32. Análisis de las intervenciones realizadas sobre la Torre de Campanas.

La intervención de Baltasar Devretón se caracterizó por su aspecto tosco y monótono puesto que la torre original fue despojada de cualquier elemento ornamental, pese a su intención de establecer tres sectores que aportasen una mayor variedad estética a la intervención: Se procedió en primer lugar a ejecutar un “zócalo de granito en declive, liso, terminado en una media caña con un total de 12 pies de altura”; seguidamente, procedió a un segundo nivel de “piedra franca que llegaba hasta la cornisa de la fachada de la Catedral Nueva y remataba en un cordón, formándose en él un marco con moldura para la inscripción y tallándose encima el escudo de la catedral [...]”. Por último, un tercer nivel “también de piedra franca concluiría en un entablamento de buen gusto adornado con canchillos correspondientes a cada pilastra del campanario”⁴⁴.

Además de los tirantes metálicos externos se colocaron una serie de tirantes interiores de madera, que resultan visibles en las estancias de la torre (Figura 31) que también funcionaban a tracción y que propiciaban la no abertura de los muros debido al sobreesfuerzo al que estaban sometidos.

Por otra parte, se recreó la cimentación con el objetivo de poder soportar con mayor seguridad el incremento de cargas a las que estaría sometido el terreno después del ataluzado, así como también prever la existencia de asientos diferenciales entre la torre-campanario y el cuerpo principal de las naves de la catedral.

En definitiva, se trata de una intervención que logró salvar el añadido realizado por Pantaleón Pontón y Setién a comienzos del siglo XVIII, a costa de enmascarar el fuste románico. La Torre-Campanario de la Catedral de Salamanca no volvió a necesitar reparo de importancia hasta octubre de 1857 en que un rayo causó considerable daño en la flecha y la veleta⁴⁵.

INTERVENCIONES EN LA TORRE MOCHA

Los daños causados en 1705 en la Torre de las Campanas también tuvieron su repercusión en su vecina Torre Mocha. Pedro de Ribera, en el mencionado proyecto de 1737, acomete una serie de intervenciones sobre ésta debido a los movimientos a los que estaba sometida por la presencia de su vecina torre:

⁴⁴ RODRÍGUEZ, A. “La torre de la Catedral Nueva de Salamanca” p. 254-255

⁴⁵ RODRÍGUEZ, A. “La torre de la Catedral Nueva de Salamanca” p. 255. Nota al pie 26.



“La intención de este macizado era la de cuajar los muros de la Torre Mocha para resistir mejor los empujes de la vecina Torre de Campanas”⁴⁶.

Por suerte, se trató de una intervención que no fue necesaria estructuralmente ya que “al eliminar los rellenos, las bóvedas y el muro de las escaleras han aparecido sin señal de quebradura estructural”. En este momento también se produce el macizado de la escalera norte que se efectúa para contrarrestar los esfuerzos solicitados por su vecina Torre de las Campanas “lo que constructivamente es razonable puesto que está englobada en el viejo fuste de la obra románica, afectado por el agrietamiento de las paredes que aún se aprecia en el sector desescombrado”.

Se ejecutó a su vez el forrado de la Torre Mocha que incluyó *“la reconstrucción de la sala alta, un nuevo muro que recrece la torre y que fue obra de Jerónimo de Quiñones”*. Otra intervención en la Torre Mocha derivada de los daños provocados por la Torre de las Campanas consistió en la construcción de *“un potente arco de refuerzo, para contrarrestar los empujes transversales, situado bajo el primitivo arco de descarga del lienzo”* (nota al pie 46).

En definitiva, todas las intervenciones efectuadas por García de Quiñones sobre la Torre Mocha tuvieron la *“voluntad de mejorar la visión escenográfica de los volúmenes exteriores, pero asumiendo el contenido secundario de los usos interiores, destinadas a viviendas de los servidores de la catedral”*.

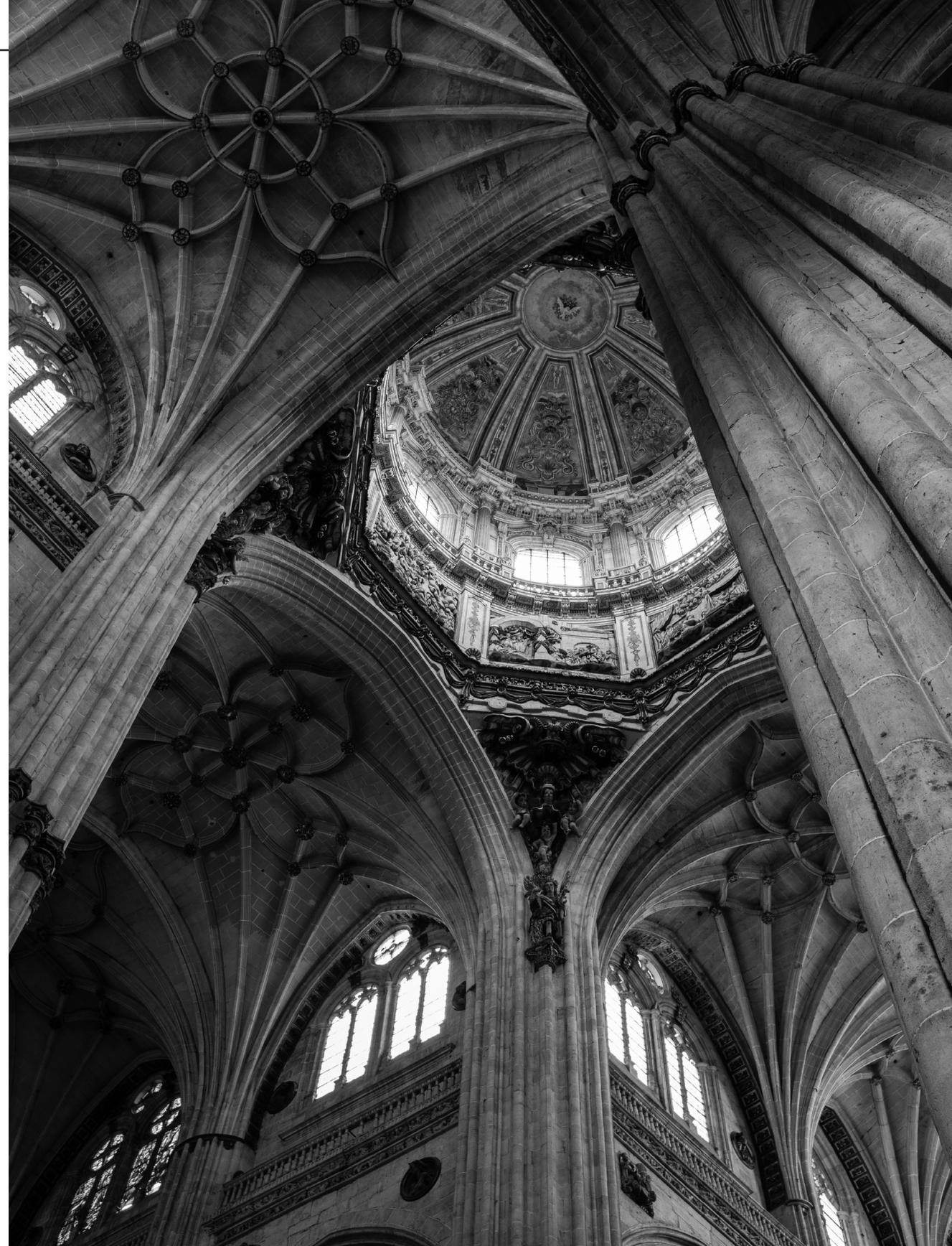


⁴⁶ BERRIOCHOA, V (2012) “Las restauraciones arquitectónicas de la Catedral de Salamanca” p. 3.

Llegado a este punto, después de un recorrido por los conceptos básicos del sismo, de los materiales, del trazado geométrico y un estudio de las patologías y las intervenciones, podemos afirmar que no andaba desencaminada la profesora Cassinello en su tesis sobre la influencia del trazado de las catedrales góticas en la contribución frente al sismo, aunque por desgracia no entró a valorar la seo salmantina. Hemos comprobado cómo la disposición de elementos como los contrafuertes inmersos entre las capillas-hornacinas -junto con la presencia de arbotantes- responden de una manera mucho más activa frente al sismo que otros trazados de la época, así como la construcción de un cierto espacio para el movimiento horizontal de las bóvedas. El hecho de optar por una cabecera rectangular, que no era propia de las catedrales de Castilla, supuso una respuesta estructural óptima frente al sismo.

Nuestro recorrido histórico por la catedral nos deja una lección muy importante y es que, tal como nos apuntaba ya el profesor Perepérez (2017), la clave para construir estructuras más resistentes frente al sismo está en la ductilidad. Está claro que la ductilidad en obras de fábrica es prácticamente imposible, pero sí que debe realizarse un estudio más atento hacia la materialidad y no tanto dirigido al establecimiento de un coeficiente de aceleración de cálculo. En la Catedral Nueva de Salamanca, el terremoto causó estragos, pero lo que realmente incrementó los daños fue la alterabilidad tan notable de la piedra de Villamayor. Intervenciones posteriores, deben plantearse desde la materialidad: Por ejemplo una disposición de la fábrica con llagas y tendeles de espesor más ancho permitiría una mayor ductilidad de la fábrica y su consecuente mejora en la respuesta frente al sismo.

Todo esto se hace patente en que la mayoría de las intervenciones analizadas se han centrado en el reparo de la materialidad y todas las patologías surgidas con posterioridad a éstas se han debido, otra vez, a la falta de durabilidad del material. Estas operaciones se han planteado, no desde una contribución frente al sismo, pero sí desde una óptica de mejora del material, como el establecimiento de vidrios de seguridad, el anclaje metálico de elementos vulnerables como la linterna, el reparo de los zunchos metálicos primitivos, etc. Todas ellas orientadas hacia un fenómeno sísmico que, más tarde o más temprano, con mayor o menor fuerza, puede volver a repetirse.



BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- BERRIOCHOA, V I NAVASCUÉS, P. I ALONSO, P. (2012). “La Catedral de Salamanca: Nueve siglos de historia y arte”. Editorial Promecal. Capítulos VI, VII, IX Y XIII.
- HEYMAN, J. (1995). “El esqueleto de piedra: Mecánica de la arquitectura de fábrica”. Instituto Juan de Herrera. Publicado por el Ministerio de Fomento.
- MARTÍNEZ SOLARES, J. (2000). “ Los efectos en España del terremoto de Lisboa (1 de Noviembre de 1755)”. Ministerio de Fomento. Dirección General del Instituto Geográfico Nacional. Monografía nº 19.

TESIS DOCTORALES

- BERRIOCHOA, V (1985). “La Catedral de Salamanca”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).
- CES, B (2015). “Los efectos del seísmo de Lisboa de 1755 sobre el patrimonio monumental de Galicia”. Tesis Doctoral. Universidade da Coruña (UDA).
- CASSINELLO, M. J. (2003). “Trazados y estabilidad de la arquitectura gótica”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).
- LLOPIS, V. (2014). “La Catedral de Valencia: Construcción y estructura. Análisis del Címborio”. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València (UPV).
- PEREIRO, S (2009). “La Catedral Nueva de Salamanca”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).
- FERNÁNDEZ, A. (1993). “Noticia de las obras de restauración y consolidación de la Real Clerecía de San Marcos en Salamanca”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).
- VIELBA, C. (2001). “La arenisca de Villamayor en revestimiento de fachada”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

ARTÍCULOS REVISTAS

- CASSINELLO, M. J. (2004). “Trazados y estabilidad de la arquitectura gótica”. Cuadernos INTEMAC. nº 53.
- ASTIZ, M. A. I MARÍ, A I PEREPÉREZ, B. (2005). “Conceptos específicos del proyecto de estructuras en zonas sísmicas”. “Hormigón y acero” nº 237. 3º Trimestre.
- PEREPÉREZ, B (2014). “La peligrosidad sísmica y el factor de riesgo”. Revista Informes de la Construcción. Volumen 66.
- MAS-GUINDAL, A. J. (1996). “Criterios de intervención y recomendaciones de diseño a sismo en las estructuras de patrimonio histórico”. Revista Informes de la construcción. Volumen 48.

- ORDAZ, J. (1983). “Características físicas y alterabilidad de la piedra de Villamayor (Salamanca)”. Revista Materiales de la construcción nº190-191.

DOCUMENTACIÓN ACADÉMICA

- PEREPÉREZ, B I BARBERÁ, E. (2008-2016). Apuntes de la Cátedra de Construcción III. Universitat Politècnica de València.
- BERRIOCHOA, V. (2012). “Las restauraciones arquitectónicas en la Catedral de Salamanca”. Información aportada al autor por el Catedrático de la ETSAM y arquitecto-director de la Catedral de Salamanca, Valentín Berriochoa Sánchez-Moreno.
- HUERTA, S. (2004). “Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica”. Instituto Juan de Herrera. ETSAM.

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

- RODRIGUEZ, A. “La torre de la Catedral Nueva de Salamanca”.
- SAAVEDRA, J. I MADRUGA, F. I MARTÍN PATIÑO, M. T. (1993). “Clasificación de la arenisca de Villamayor (Salamanca) por sus características tecnológicas y estructura interna”. Boletín Geológico y Minero. Volumen 104-6.
- CASSINELLO, M. J. (2005). “Racionalidad sísmica en la arquitectura ojival tipos estructurales y constructivos”. Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Cádiz 27-29 Enero de 2005.
- PALACIOS, J. C. (2000). “Las bóvedas de crucería españolas, ss. XV y XVI”. Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Sevilla 26-28 Octubre del 2000.

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS

FOTOGRAFÍAS

- Portada y contraportada. La Catedral de Salamanca en su contexto. Fotografía realizada por el autor en las diversas visitas de campo.
- Fotografía página 11. Puerta de Ramos. Catedral Nueva de Salamanca. Fotografía realizada por el autor en las diversas visitas de campo.
- Fotografía página 17. Claustro de la Catedral Vieja de Salamanca. Intervención posterior al Terremoto de Lisboa de 1755 que supuso la incorporación del segundo nivel. Fotografía realizada por el autor en las diversas visitas de campo.

- Fotografía páginas 20-21. Vista general de la Catedral Nueva de Salamanca desde la Real Clerecía de San Marcos. Fotografía realizada por el autor en las diversas visitas de campo.

- Fotografía páginas 40-41. Panorámica de las naves de la Catedral Nueva de Salamanca desde la galería de acceso a la Torre de Campanas. Fotografía realizada por el autor en las diversas visitas de campo.

- Fotografías página 51. Los daños estructurales presentes en las naves de la Catedral Nueva de Salamanca. Postproducción de fotografía realizada por el autor a través de fotografías de Mrga Cadavid disponibles www.flickr.com

- Fotografía página 55. Bóveda de nervios terceletes ubicada en la nave lateral de la Catedral. Fotografía realizada por el autor en las diversas visitas de campo.

- Fotografía página 57. Patologías presentes en las vidrieras. Postproducción realizada por el autor a partir de la fotografía de , disponible en el siguiente enlace: <https://inarqadia.wordpress.com/tag/catedral-de-salamanca/>

- Fotografía página 61. Vista de la cúpula de la Real Clerecía de San Marcos desde la Catedral Nueva de Salamanca. Fotografía realizada por el autor en las diversas visitas de campo.

- Fotografía página 66. Pináculos y arbotantes de la Catedral Nueva de Salamanca. Postproducción fotográfica realizada por el autor a través de Jesús M. Ch. disponible en www.flickr.com

- Fotografía páginas 70-71. Vista nocturna de la Catedral Nueva de Salamanca. Postproducción fotográfica realizada por el autor a partir de la imagen de Haymartxo disponible en www.flickr.com

- Fotografía página 81. Cúpula del crucero. Fotografía realizada por el autor en las diversas visitas de campo.

- Fotografía página 83. Vista de la Torre de Campanas de la Catedral Nueva de Salamanca junto a su vecina Torre Mocha. Fotografía realizada por el autor en las diversas visitas de campo.

- Fotografía página 87. Remate barroco de la Torre de Campanas desde la calle mayor. Fotografía realizada por el autor en las diversas visitas de campo.

- Fotografía página 89. Encuentro entre las torres y el cuerpo de las naves de la catedral. Fotografía realizada por el autor en las diversas visitas de campo.

- Fotografía página 93. Vista interior del cimborrio. Fotografía realizada por el autor en las diversas visitas de campo.

IMÁGENES

- Figura 1. Las capas del interior de La Tierra. Disponible en el siguiente enlace: <http://blog.educastur.es/eureka/ambito-ct/ciencias-naturales-4º-ambito-cientifico-tecnologico/>

- Figura 2. Mapa actualización coeficientes de aceleración de cálculo. Realizado por J.M. MARTÍNEZ SOLARES (2015).

- Figura 3. 1ª Etapa Constructiva de la Catedral Nueva: "La media iglesia" (1513-1560). A través de Navascués, P. "La Catedral de Salamanca: Nueve siglos de historia y arte" Capítulo VI. p 308.

-Figura 4. Bóveda de nervios terceletes situada en la nave lateral de la Catedral Nueva. Fotografía realizada por el autor.

-Figura 5. Axonometría general de la Catedral de Salamanca. Posproducción realizada por el autor a través de imagen: <https://es.slideshare.net/marialud/salamanca-3948666>

- Figura 6. Moldeabilidad y trabajabilidad del material. Sepulcro ubicado en el claustro de la Catedral Vieja de Salamanca. Fotografía por el autor.

-Figura 7. Alterabilidad del material. Disponible a través del siguiente enlace: <https://geologicalmanblog.wordpress.com/tag/piedra-monumental/>

- Figura 8. Planta General de la Catedral de Salamanca: Iglesia Nueva y Vieja. A través de BERRIOCHOA, V. (1986). "La Catedral de Salamanca". Planimetría de la Catedral. Tesis Doctoral. UPM.

- Figura 9. Mapa ubicación catedrales góticas tipo A y B. CASSINELLO, M.J. (2005). "Racionalidad sísmica en la arquitectura ojival: Tipos estructurales y Constructivos" p. 254.

- Figura 10. Planta de tipos de crujiás estables. Planta catedrales tipo A y tipo B. Sección transversal tipo A (burgos) y B (Sevilla). CASSINELLO, M.J. (2005). "Racionalidad sísmica en la arquitectura ojival: Tipos estructurales y Constructivos" p. 254.

- Figura 11. Planta de la Catedral de Salamanca. Disponible en el siguiente enlace: <http://www.artehistoria.com/v2/obras/21585.htm>

- Figura 12. Planta de la Catedral de Sevilla. Disponible en el siguiente enlace: <http://www.artehistoria.com/v2/obras/21582.htm>

- Figura 13. Planta de la Catedral de México DF. Disponible en el siguiente enlace: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2027-46882013000200005

- Figura 14. . Sección transversal de la Catedral Nueva de Salamanca: Naves y sacristía. A través de BERRIOCHOA, V. (1986). "La Catedral de Salamanca". Planimetría de la Catedral. Tesis Doctoral. UPM.

- Figura 15. Localización de las principales patologías ocasionados tras el Terremoto de Lisboa de 1755: Alzado y sección. Realizado por el autor a partir de BERRIOCHOA, V. (1986). "La Catedral de Salamanca". Planimetría de la Catedral. Tesis Doctoral. UPM.

- Figura 16. Detalle discontinuidad mecánica muro-medallón como origen de incremento de la fisuración. Realizado por el autor.

- Figura 17. Detalle Discontinuidad geométrica balaustrada-galería. Vulnerabilidad del elemento más esbelto. Realizado por el autor.

- Figura 18. Agrietamientos en los muros de la nave central. Fotografía realizada por el autor.

- Figura 19. Fisuración del encuentro entre arco fornero de la nave lateral y muro del paramento exterior. Fenómeno desplazamiento dovela por movimiento horizontal. Fotografía realizada por el autor.

- **Figura 20.** Construcción de la plementería en las bóvedas de crucería (Modelo francés). HEYMAN, J (1995). "El esqueleto de piedra: Mecánica de la arquitectura de fábrica" Instituto Juan Herrera. Capítulo 4, p. 60.
- **Figura 21.** La cúpula calada de la capilla de los Condestables. Catedral de Burgos. Disponible en el siguiente enlace: <http://matemolivares.blogia.com/2014/120401-geometria-en-la-catedral-de-burgos-cupulas..php>
- **Figura 22.** Grabados de la cúpula primitiva del crucero por Andrés García de Quiñones. A través de NAVASCUÉS, P (2002). "La Catedral de Salamanca: nueve siglos de historia y arte". Ed. Promecal. Capítulo VI. p. 274
- **Figura 23.** Grabado del Cimborrio hacia 1752. NAVASCUÉS, P (2002). "La Catedral de Salamanca: nueve siglos de historia y arte". Ed. Promecal. Capítulo VI. p. 328.
- **Figura 24.** Grabado de los daños producidos en la Torre de Campanas (Alzado y Planta) en 1767 por Juan de Sagarvinaga. A través de BERRIOCHOA, V (2012). "La Catedral de Salamanca: Nueve siglos de historia y arte". Editorial Promecal. Capítulo IX. p.461 y 463.
- **Figura 25.** Zócalos de las Torres de la Catedral de Salamanca: Torre de Campanas y Torre Mocha. Fotografía realizada por el autor.
- **Figura 26.** Detalle de la intervención sobre los paramentos de las naves. Realizado por el autor.
- **Figura 27.** Intervención Contemporánea en las vidrieras (1975-1983). Fotografía seleccionada a través de BERRIOCHOA, V. (2012). "Las restauraciones arquitectónicas de la Catedral de Salamanca". p. 16.
- **Figura 28.** Detalle de las intervenciones contemporáneas en las vidrieras del tambor del crucero. Realizado por el autor.
- **Figura 29.** Anclaje de los zunchos metálicos localizados en la base de la cúpula. A través de BERRIOCHOA, V. (2012). "Las restauraciones arquitectónicas de la Catedral de Salamanca". p. 16.
- **Figura 30.** Análisis de las intervenciones realizadas en la cúpula del crucero. Elaborado por el autor a través del dibujo de BERRIOCHOA, V. (1985). "La Catedral de Salamanca". Tesis Doctoral UPM.
- **Figura 31.** Tirantes de madera en el interior de la Torre de Campanas. A través de BERRIOCHOA, V (2012). "Las restauraciones arquitectónicas de la Catedral de Salamanca". p. 10.
- **Figura 32.** Análisis de las intervenciones realizadas sobre la Torre de Campanas. Elaborado por el autor a través del dibujo de BERRIOCHOA, V. (1985). "La Catedral de Salamanca". Tesis Doctoral UPM.



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA