

CÓDIGO 1.7.37

MONITORIZACIÓN REMOTA DE CONSTRUCCIONES HISTÓRICAS: METODOLOGÍA EMPLEADA Y PUESTA EN MARCHA EN LA IGLESIA DEL SEMINARIO MAYOR DE COMILLAS

**Lombillo, I.^{1*}, Blanco, H.¹, Villegas, L.¹, Balbás, J.¹, Carrasco, C.¹, Liaño, C.¹, Vela, R.²,
Pereda, J.³**

¹ Universidad de Cantabria, Grupo I+D en Tecnología y Gestión de la Edificación (GTED-UC).

ignacio.lombillo@unican.es; gted@unican.es; www.gted.unican.es

² Codelse, Polígono Industrial Tanos-Viernoles, Parcela B4, 39300 Torrelavega (Cantabria)

codelse@codelse.com; www.codelse.com

³ Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales

pereda@eii.uva.es

PALABRAS CLAVE: Monitorización remota, registro de daño, control de daño, gestión remota de datos.

RESUMEN

El artículo tiene como objetivo presentar la metodología seguida para la puesta en marcha de la monitorización remota de la Iglesia del Seminario Mayor de Comillas.

En primer lugar, se exponen los trabajos desarrollados referentes al registro de los daños existentes en la Iglesia. La finalidad fue la de disponer de datos de entrada para elegir las zonas en las que instalar los dispositivos de seguimiento, haciendo coincidir éstas con las áreas en las que los daños eran mayores. Así, el levantamiento de grietas fue elaborado a partir de la toma de datos realizada in situ, procediendo en gabinete a confeccionar planos en los que se representaron los daños registrados en arcos, contrafuertes, bóvedas, muros interiores y muros de fachada. En la toma de datos llevada a cabo, además de registrar el trazado de las distintas grietas se realizó una evaluación cualitativa de las mismas, clasificando éstas visualmente de forma aproximada por su espesor. Además, se realizó un reportaje fotográfico detallado con el fin de complementar la información recogida en los planos.

Una vez localizadas las zonas de mayor concentración de daño, se dispusieron en las mismas una serie de puntos de control manual y sensores en continuo. De forma discreta se controlaron un total de 22 variables: 16 puntos de control para evaluar la apertura/cierre de grietas y 6 placas inclinométricas para detectar posibles desplomes de los muros. Por su parte, para poder realizar el control de forma continua se tiene planificado instalar en el edificio un total de 18 sensores: 7 LVDTs a modo de fisurómetros, 4 servoinclinómetros, 3 cintas de convergencia, 2 termohigrómetros, 1 veleta y 1 anemómetro.

Dichos sensores se agruparon en tres estaciones de adquisición de datos que, a su vez, se encuentran conectadas a un PC Industrial en el que se almacenan las mediciones, equipado con dos baterías que garantizan el funcionamiento ininterrumpido del sistema durante aproximadamente una semana en caso de cese de la corriente eléctrica. Fue desarrollada una aplicación basada en JavaFX que, además de permitir la gestión remota de los datos almacenados en el servidor, posibilita la definición de alarmas y otra serie de funcionalidades interesantes, todo ello en un entorno gráfico muy intuitivo.

El sistema remoto de monitorización instalado ha posibilitado disponer de un control centralizado de los parámetros objeto de seguimiento. A modo de ejemplo, se presentan alguna de las mediciones registradas hasta la fecha.

1. INTRODUCCIÓN

La conservación del patrimonio cultural está considerada como un principio fundamental en la vida cultural de las sociedades modernas. En términos económicos, el mercado de la rehabilitación y mantenimiento es uno de los subsectores económicos más importantes del sector construcción, especialmente en las sociedades más desarrolladas. Por ejemplo, en Europa, en 2010, el mercado de la rehabilitación y mantenimiento fue el más importante del total del sector constructor con un valor de 332·106 € [1]. Además, existen otros muchos motivos que trascienden la base meramente económica, que permiten afirmar que el mercado de la rehabilitación tiene potencial de crecimiento: la creciente sensibilidad social que ha adquirido la conservación y disfrute del Patrimonio Cultural edificado, las favorables perspectivas de futuro que ofrece en determinadas áreas el sector cultural como motor de desarrollo (Turismo Cultural), el excedente de viviendas de nueva construcción, el progresivo envejecimiento de las construcciones existentes, etc. Por su parte, el sector rehabilitación es clave en términos de desarrollo sostenible urbano, dado que involucra un bajo consumo energético (en comparación con la demolición y posterior nueva construcción), reutilizando el suelo y evitando el consumo de nuevo en la periferia, y consumiendo menos materiales y con menor huella de carbono que las obras de nueva construcción.

Desde una perspectiva técnica, el análisis de construcciones antiguas formula importantes desafíos dada la complejidad de su geometría, la variabilidad de las propiedades de los materiales tradicionales, las diferentes técnicas de construcción, la ausencia de conocimiento sobre los daños existentes, y de cómo afectan determinadas acciones a las construcciones a lo largo de su vida [2]. Dichos desafíos suponen que las construcciones del patrimonio arquitectónico estén sometidas a una serie de dificultades de diagnóstico e intervención. Y es por todo ello que la comprensión, el análisis y la reparación de construcciones históricas se establece como uno de los desafíos más importantes de los técnicos modernos [3].

En línea con la temática del artículo, los sistemas de monitorización contribuyen de forma indudable al conocimiento de la evolución de determinados procesos [4] con anterioridad, durante o con posterioridad a una intervención. Uno de los ejemplos más referidos es el de las estructuras medievales de Pavia, Italia, que, tras el colapso de la Torre Cívica en 1989, la protección de la seguridad pública se basó en una constante observación y en una monitorización online [5]. Otros trabajos en esta línea pueden consultarse en [6] [7] [8] [9] y [10].

Con este marco introductorio, y para el caso particular de la Iglesia del Seminario Mayor de Comillas, en el artículo se exponen, en primer lugar, los trabajos desarrollados referentes al registro de los daños existentes en la Iglesia con la finalidad de disponer de datos de entrada para elegir las zonas en las que instalar los dispositivos de seguimiento, haciendo coincidir éstas con las áreas en las que los daños eran mayores. Seguidamente, se relaciona lo referente a la instalación de los puntos de control así como la logística del registro y posterior tratamiento de los datos. Y finalmente, se presenta la evolución de las mediciones tras un año de registro.

El Seminario Mayor de Comillas se trata de un edificio Modernista (finales s. XIX) en el que parcialmente participó el Arquitecto Lluís Domènech i Montaner (autor de entre otros edificios del Hospital de la Santa Creu i Sant Pau y del Palacio de la Música Catalana, ambos Patrimonio de la Humanidad). El edificio se encuentra catalogado como Monumento Histórico-Artístico mediante el Decreto 9/1985 de 22 de febrero de la Dirección General del Estado. Posteriormente, el Consejo de Gobierno de Cantabria declaró su protección como Bien de Interés Cultural (BIC) en Decreto de 14 de junio de 2002, de acuerdo con las determinaciones de la Ley de Patrimonio Cultural de Cantabria.

Como puede apreciarse en la Figura 1(a), el edificio ocupa una superficie rectangular aproximada de 100 m x 65 m, articulándose en torno a dos claustros, de dimensiones aproximadas 35 m x 25 m, flanqueando el volumen central en el que se ubican los elementos arquitectónicos y artísticos de mayor calidad, el hall de entrada, la escalera principal, el paraninfo, la sacristía y la iglesia. Las Figuras 1(b) y 1(c) ilustran el intradós y el trasdós del abovedado de la iglesia, con anterioridad a las intervenciones realizadas en el edificio a partir del 2007. Mientras que las Figuras 1(d) y (1e) presentan el estado actual interior apeado de la construcción, y la Figura 1(f) los tirantes existentes entre contrafuertes.

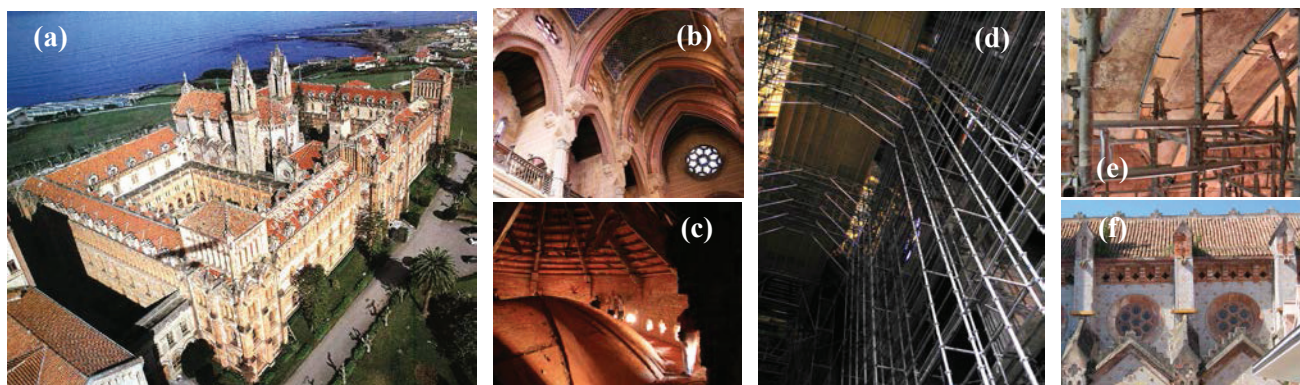


Figura 1. (a) Perspectiva general del Seminario Mayor de Comillas antes de las intervenciones realizadas en el edificio a partir del 2007. (b) y (c) Intradós y trasdós del abovedado de la iglesia. (d) y (e) Estado actual interior apeado. (f) Tirantes entre contrafuertes.

2. REGISTRO DE LOS DAÑOS EXISTENTES EN LA IGLESIA

Los levantamientos de grietas y fotográfico fueron elaborados a partir de la toma de datos realizada in situ durante las visitas llevadas a cabo durante agosto y septiembre de 2012. Posteriormente, en gabinete, se procedió a confeccionar un total de 41 planos en los que se representaron los daños registrados, así como la justificación fotográfica de su existencia.

La información se agrupó por secciones de acuerdo con el plano de planta de la Iglesia que se muestra en la Figura 2. De esta forma, se crearon mapas de grietas, con sus fotografías asociadas, correspondientes a las zonas de arcos y contrafuertes, bóvedas, muros interiores y muros exteriores (de fachada).

En la toma de datos llevada a cabo, además de registrar el trazado de las distintas grietas, se realizó una evaluación cualitativa de las mismas, clasificando éstas visualmente, de forma aproximada, por su espesor. Así, se reflejan en los planos tres tipos de grietas diferenciando entre las que presentaban una amplitud (separación entre los labios de la fisura) menor de 0.5mm, entre 0.5 y 15mm, y las de amplitud superior a los 15mm.

En la Figura 3 se presenta, a modo de ejemplo, una de las secciones recogidas en los planos con el levantamiento de grietas realizado. Por su parte, la Figura 4 ilustra el plano complementario en el que se recoge su reportaje fotográfico.

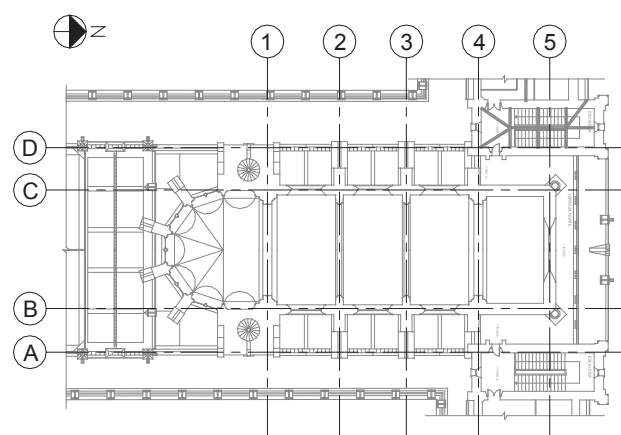


Figura 2. Planta de referencia con las secciones consideradas para el levantamiento de grietas.

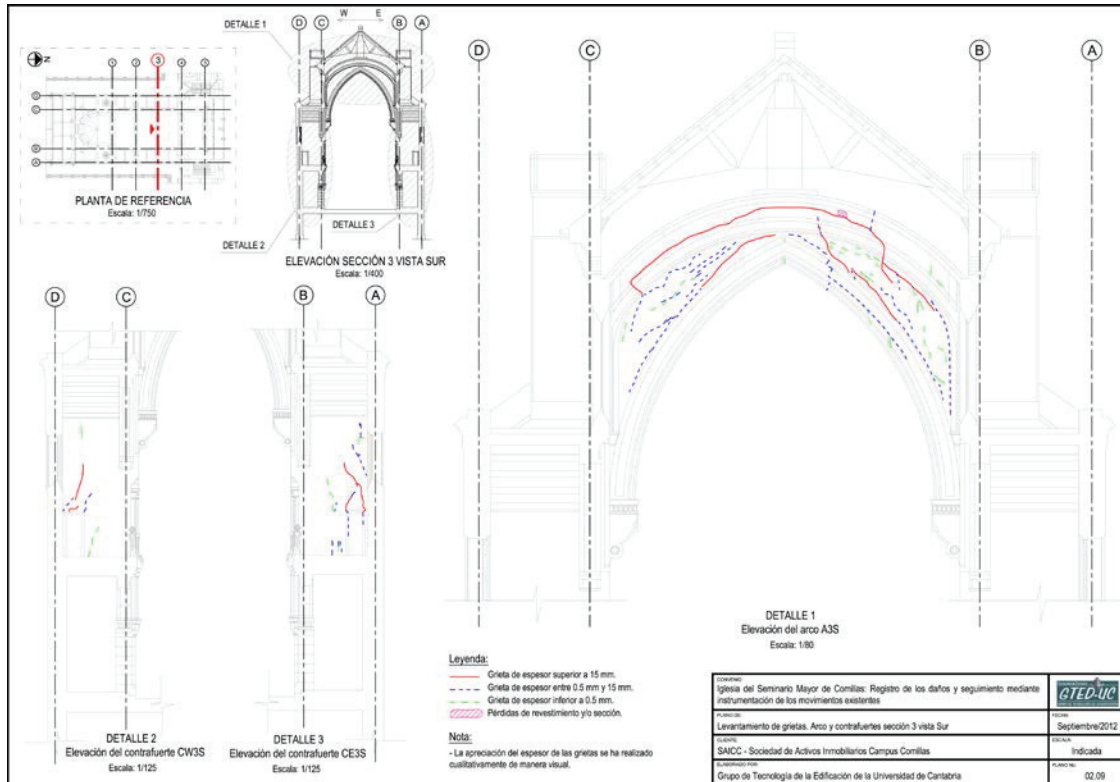


Figura 3. Ejemplo de plano de levantamiento de grietas del arco y contrafuertes de la sección 3 vista Sur.

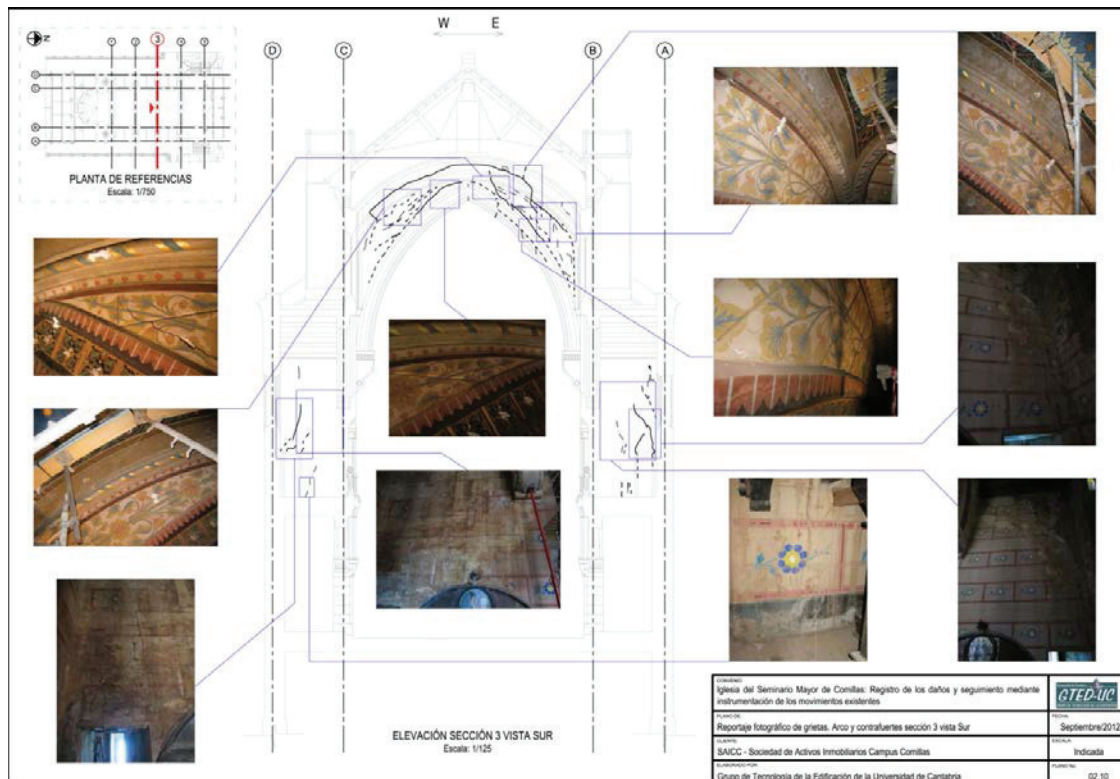


Figura 4. Ejemplo de plano perteneciente al reportaje fotográfico (arco y contrafuertes de la sección 3 vista Sur).

3. INSTALACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL

Una vez analizados los daños existentes, se procedió a la elección de las zonas en las que disponer los instrumentos de seguimiento de daños, haciendo coincidir éstas con las áreas en las que los daños eran mayores.

3.1 Seguimiento remoto en continuo

Los sensores para realizar el seguimiento remoto en continuo, se agruparon en tres estaciones de adquisición de datos (Figura 5) que, a su vez, se encuentran conectadas a un PC Industrial en el que se almacenan las mediciones, sirviendo igualmente para la posterior gestión remota, vía web, de los datos almacenados.

En la Tabla 1 se relacionan los sensores, agrupados por área de monitorización, así como el fabricante y modelo de cada uno. A la fecha de redacción del presente artículo, los sensores correspondientes a la zona de monitorización 3 se encuentran aún pendientes de instalación.

Por su parte, la Figura 6 ilustra algunos de los sensores instalados.

Tabla 1. Distribución de sensores según el área de monitorización.

Área de monit.	Sensor
1	FIS-01 y 02
	INCL-01 y 02
	CONV-01
	THG-01
2	FIS-03, 04 y 05
	THG-02
	VEL-01
	ANEM-01
3	FIS-06 y 07
	INCL-03 y 04
	CONV-02 y 03

FIS: Fisurómetro (Solartrrom Metrology, LVDT V02505SAN3);
INCL: Inclinómetro (Sensorex, Servo-inclinometer SX41100.);
CONV: Cinta de convergencia (ASM GmbH, WS10-50-R1K-L10-SB0-D8-HG);
THG: Termohigrómetro (PCE-Ibérica, P18);
VEL: Veleta (Darrera, 3R KYWS);
ANEM: Anemómetro (Darrera, 3R KYWD)

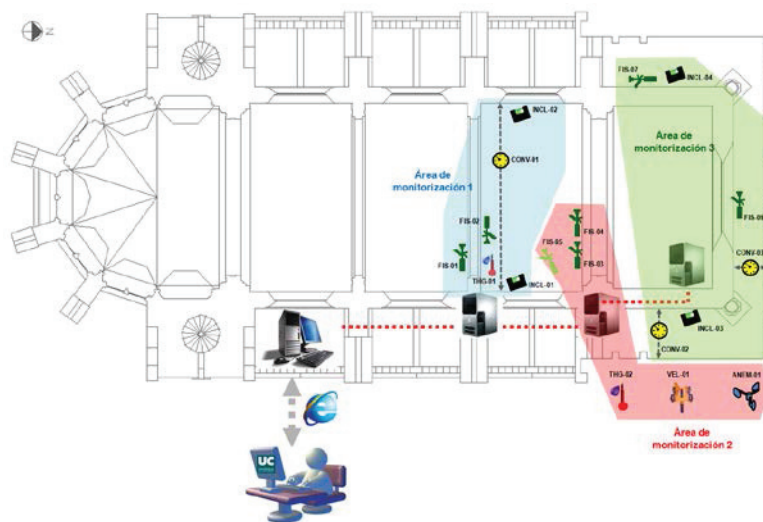


Figura 5. Esquema de distribución en planta de los sensores y áreas de monitorización.

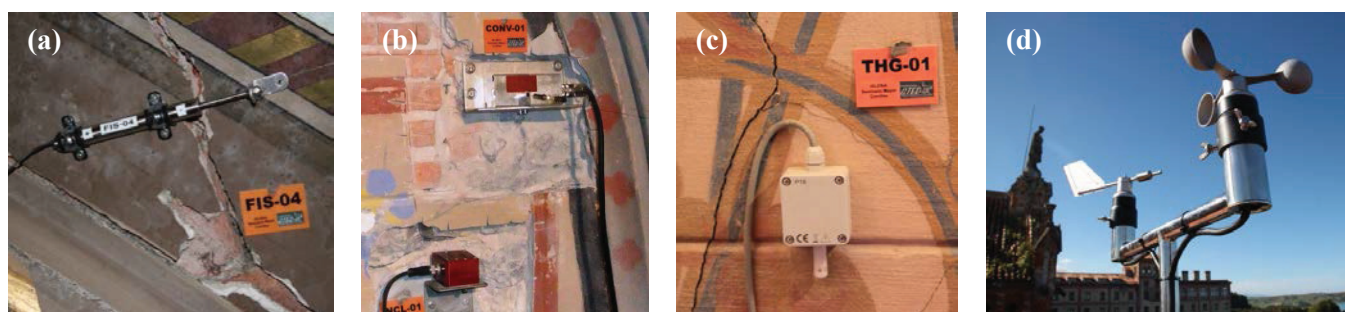


Figura 6. Ejemplos de sensores instalados. (a) Fisurómetro FIS-04. (b) Cinta de convergencia CONV-01 e inclinómetro INCL-01. (c) Termohigrómetro interior THG-01. (d) Veleta y anemómetro, éstos se instalaron en una zona abierta de la cubierta del claustro Este, sobre-elevándolos respecto de ésta, con la finalidad de minorar el efecto de posibles turbulencias que pudieran ocasionar otros elementos del edificio.

Previo a la conexión de los sensores con el PC Industrial, éstos fueron cableados hasta su correspondiente Estación Remota. La Figura 7(a) ilustra la conexión entre el cableado de uno de los sensores instalados con el cableado que fuga hasta la Estación Remota correspondiente. Por su parte, la Figura 7(b) ilustra el interior de una de Estaciones Remotas referidas, en el que se colocaron las tarjetas correspondientes para la lectura de cada uno de los sensores. Finalmente, el PC Industrial encargado de la recopilación y registro de datos, fue instalado en la zona de Capillas, a media altura, al Este (en concreto la más próxima al presbiterio, Figura 5). En la Figura 7(c) se ilustra un instante durante la instalación y puesta en marcha del sistema, así como la existencia de dos baterías que garantizan el funcionamiento ininterrumpido del mismo durante aproximadamente una semana en caso de cese de la corriente eléctrica.



Figura 7. (a) Disposición final de “cajas intermedias” para proporcionar continuidad al cableado del sensor. (b) Vista interior de la Estación Remota nº 2. (c) PC Industrial y baterías de seguridad.

3.2 Seguimiento in situ de forma discreta

Para complementar la sensórica en continuo dispuesta, con el objeto de limitar la carestía del sistema instalado, así como para disponer de mediciones de contraste en relación a los sensores electrónicos, se instalaron un total de 22 puntos de control in situ, para su seguimiento discreto. De éstos, 16 se destinaron a la evaluación de la apertura/cierre de grietas mediante el empleo de un deformómetro (marca Demec, con rango de medida de 200 mm y una precisión de 1 μm), mientras que los 6 restantes correspondieron a placas inclinométricas para detectar posibles desplomes de los muros con la ayuda de un medidor de inclinaciones portátil (marca Sensorex, con una precisión de 2 centésimas de grado).

En cada una de las grietas seleccionadas se ubicaron tres puntos de control formando un triángulo equilátero, Figura 8(a), de forma que a través de la medida de la distancia entre ellos, Figura 8(b), pueda evaluarse la variación en la amplitud de la grieta y el posible deslizamiento entre sus labios. En lo que se refiere a la medida de inclinaciones, sobre las localizaciones escogidas se instaló una placa metálica de acero inoxidable sobre la que se sitúa el aparato, registrando el ángulo formado con el plano constituido por la placa metálica tomada como referencia, Figura 8(c).

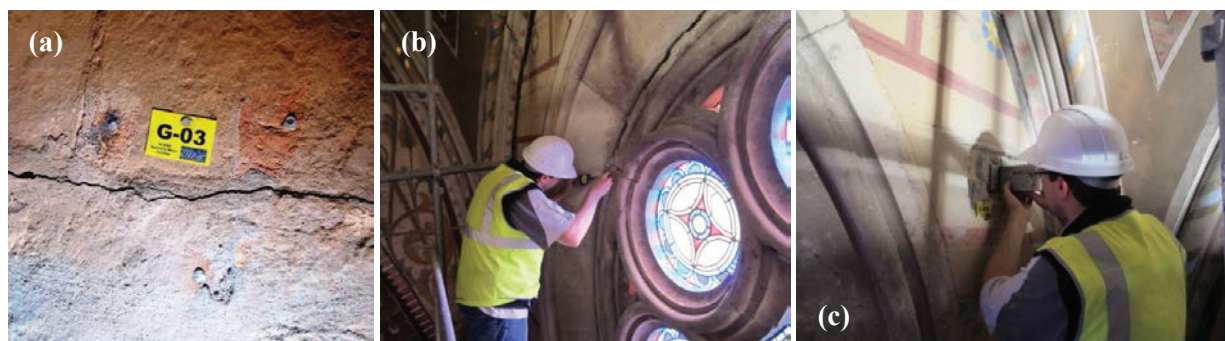


Figura 8. (a) Puntos de control manual para el seguimiento de la grieta G-03 (sobre el abovedado). Fotografías realizadas durante el registro de la apertura de la grieta G-06 (b) y de la inclinación I-05 (c).

Adicionalmente, para cada uno de los puntos e instantes de medición se registró la temperatura existente con objeto de poder apreciar la influencia de las variaciones térmicas en las mediciones.

4. EVOLUCIÓN DE LOS DATOS REGISTRADOS

De acuerdo con la metodología planteada, y a la vista de la **evolución de movimientos registrados de forma manual**, desde principios de Agosto de 2012 hasta la fecha de redacción del artículo, comentar que, en lo que se refiere a la apertura de fisuras, se observa que las medidas registradas manualmente de forma discreta continúan siendo poco significativas dada la amplitud de los movimientos recogidos, los cuales en ningún caso superan los 0.5mm. Además, cabe señalar que, en general, las variaciones en las aperturas de las fisuras parecen mantenerse asociadas con los gradientes térmicos manifestados entre las medidas (Figura 9). Tras un año de toma de medidas, las aperturas residuales registradas por la mayor parte de las grietas son en su mayoría del orden de las centésimas de milímetro. El mayor valor registrado corresponde a la grieta G-09 con 0.170mm de apertura residual.

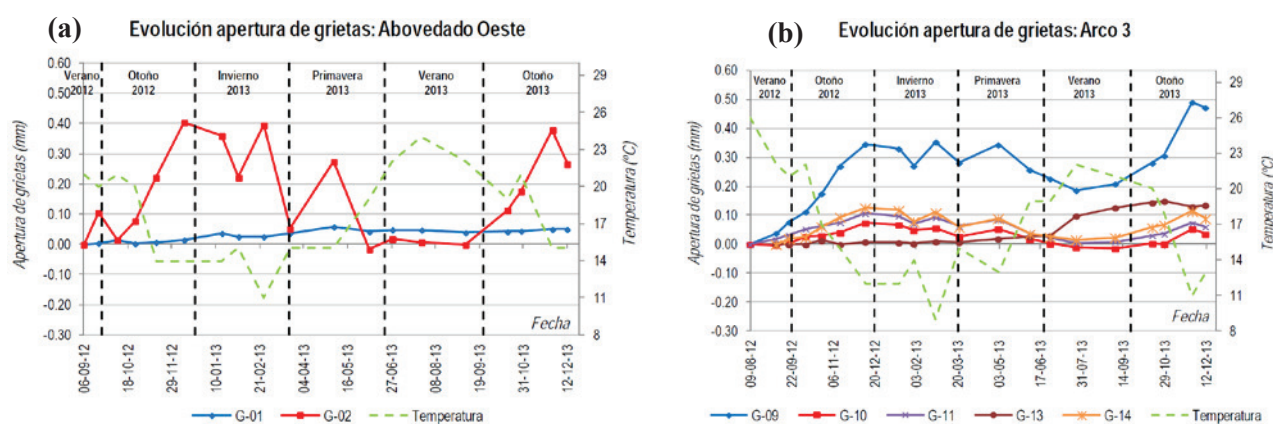


Figura 9. Ejemplos de gráficas de evolución de la apertura de fisuras de grietas (en ambos casos “+” indica apertura de grieta). (a) Grietas existentes por la parte superior del abovedado (lado Oeste). (b) Grietas existentes en la zona de influencia del Arco 3 (Figura 2).

En relación con el control manual y discreto de las inclinaciones, las placas inclinométricas han continuado experimentando variaciones angulares muy reducidas (se recuerda que la sensibilidad del equipo manual empleado es de 2 centésimas de grado). De manera similar que en el caso de las aperturas de fisuras, la evolución registrada de las inclinaciones parece relacionarse con las fluctuaciones térmicas registradas entre los diferentes instantes de medición (Figura 10).

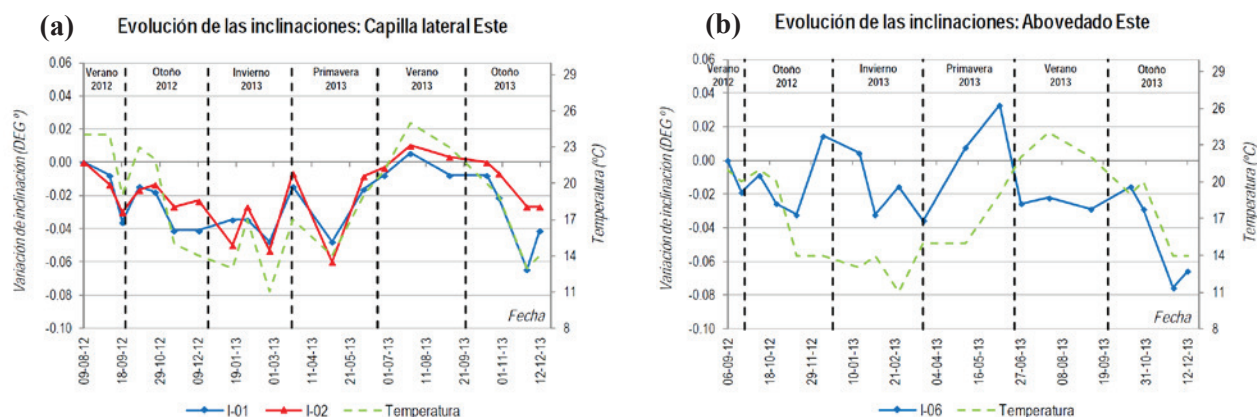


Figura 10. Ejemplos de gráficas de variación de inclinación registrada el muro portante exterior orientado al Este (en ambos casos “+” indica desplome hacia el interior del muro). (a) A nivel de capillas. (b) Por encima del abovedado.

En relación a la **gestión online de los datos de la monitorización en continuo** se ha confeccionado “ad hoc” una aplicación desarrollada en JavaFX, novedosa plataforma para el desarrollo de aplicaciones enriquecidas de Internet, mediante la cual se posibilita la comunicación remota entre el PC industrial y cualquier punto donde se disponga conexión de Internet. En relación a una consulta más detallada de las prestaciones de dicha herramienta, o sobre la integración de sistemas de instrumentación electrónica, adquisición de datos y desarrollo de software de gestión se remite al lector a la referencia [11].

A modo de ejemplo, en la Figura 11 se presentan alguna de las curvas de evolución registradas por los sensores desde su instalación. Así, la Figura 11(a) ilustra la evolución de la apertura de fisura experimentada por el fisurómetro FIS-05. Por su parte, la Figura 11(b) representa la evolución de inclinación registrada por el inclinómetro INCL-02. La Figura 11(c) grafica la evolución de los desplazamientos registrados por la cinta de convergencia localizada adyacente al Arco 3 (es decir el movimiento relativo entre los muros portantes exteriores Este y Oeste). Y, finalmente, la Figura 11(d) ilustra, para el mes de diciembre de 2013, la evolución de las condiciones ambientales (temperatura y humedad) registradas en el interior de la Iglesia.

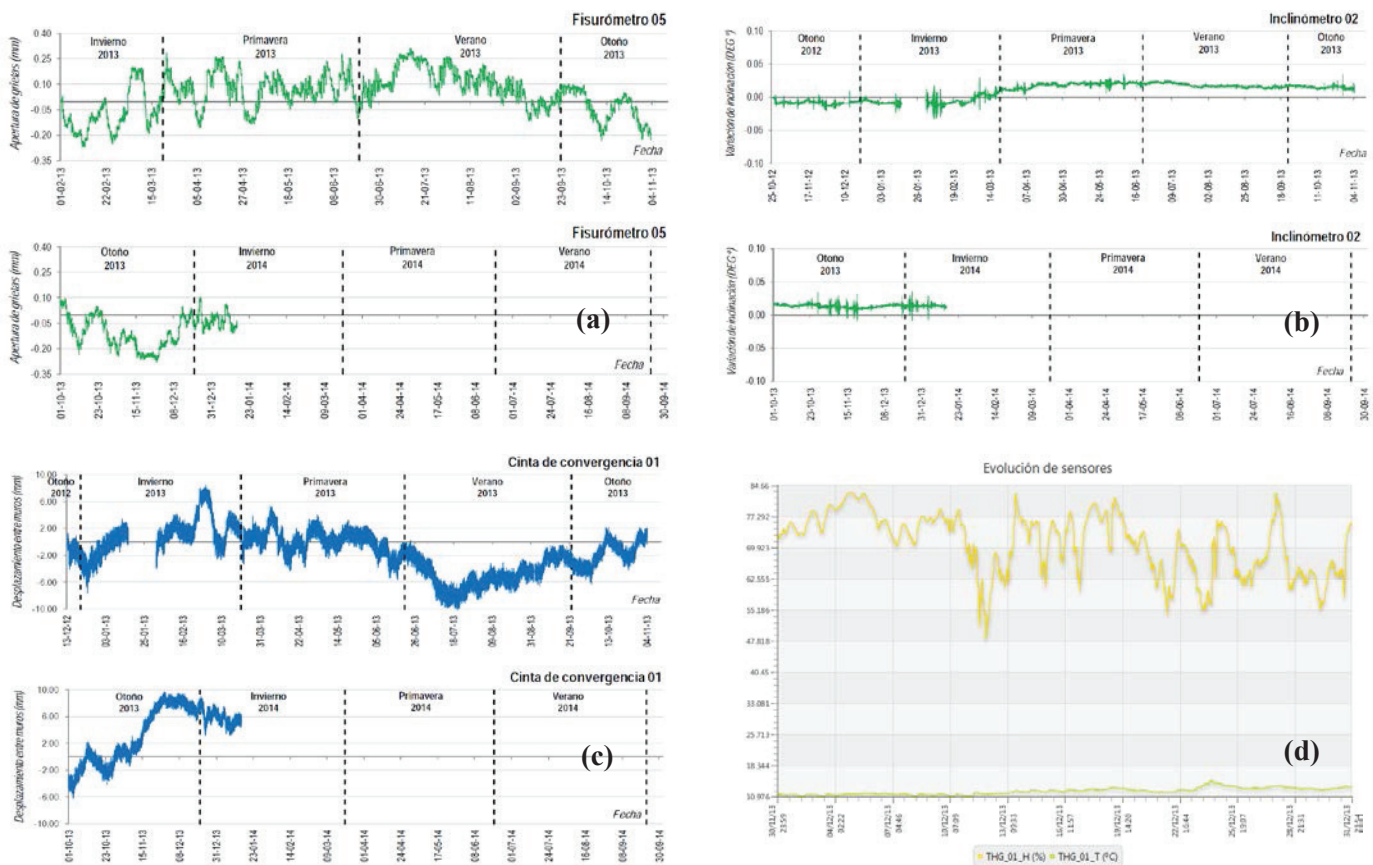


Figura 11. Ejemplos de gráficas de evolución registradas por los sensores en continuo desde su instalación. **(a)** Apertura de grietas registrada por el fisurómetro FIS-05 dispuesto en el trasdós del abovedado (“-”: indica apertura de grieta). **(b)** Inclinación registrada por el inclinómetro INCL-02 localizado en la fachada Oeste (“-”: indica desplome hacia el exterior del muro). **(c)** Desplazamientos registrados por la cinta de convergencia localizada adyacente al Arco 3 (“-”: indica una aproximación entre los muros). **(d)** Condiciones ambientales (temperatura y humedad) registradas en el interior de la Iglesia durante el mes de Diciembre de 2013.

En relación al comportamiento registrado por los sensores en continuo, cabe referir que las medidas registradas por los fisurómetros instalados bajo el abovedado continúan siendo del orden de las centésimas

de milímetro (únicamente reflejar la apertura residual, tras un año de monitorización, de en torno a los 0.140mm que ha experimentado el FIS-04). Por su parte, el fisurómetro FIS-05 (ubicado sobre el abovedado y, por tanto, estando sometido a una mayor influencia de las condiciones ambientales exteriores por la existencia de huecos de ventilación del espacio bajo cubierta, Figura 12(a)) ha registrado mayores amplitudes de apertura que el resto a lo largo del período de seguimiento, si bien, tras un año de monitorización, ha experimentado un cierre prácticamente nulo (0.008mm). Adicionalmente, y como lo han reflejado los puntos de control manual, la apertura y cierre de las grietas, se encuentran asociadas fundamentalmente a los cambios térmicos del material (contracciones y dilataciones), Figura 12(b). La variación angular registrada por los inclinómetros se ha mantenido, con reducidas variaciones, desde su colocación. Finalmente, el mayor desplazamiento registrado por la cinta de convergencia (CONV01), respecto a su posición inicial, ha sido un alargamiento de unos 9.5mm en el mes de Noviembre de 2013. Como puede apreciarse, dicho desplazamiento, en una distancia de 9.7m entre puntos de anclaje, no resulta significativo.

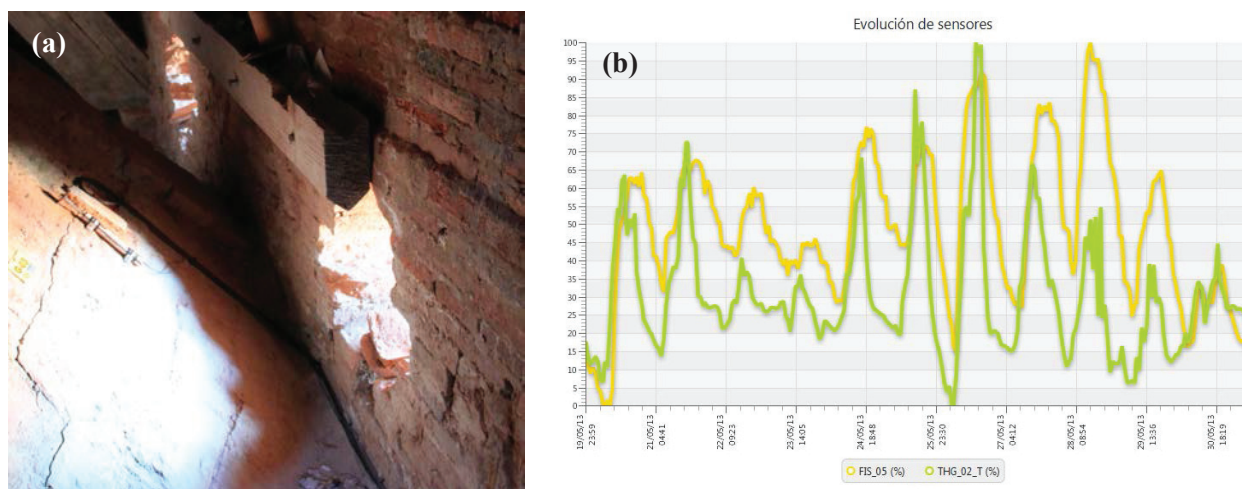


Figura 12. **(a)** Influencia de las condiciones ambientales exteriores en la evolución del FIS-05, por la existencia de huecos de ventilación del espacio bajo cubierta (el eje de ordenadas está relativizado para cada sensor). **(b)** La grieta en la que se ha instalado el FIS-05 (“-”: indica apertura de grieta) se abre a consecuencia del descenso de las temperaturas, así como se cierra en condiciones ambientales inversas.

Como ya se ha referido, el hecho de disponer puntos de control manual se debe, por una parte, a incrementar los puntos de los que se tiene información (con el objeto de limitar el coste caso de instalar sensorica en todos los puntos) y, por otro, para disponer de mediciones de contraste de las lecturas obtenidas con los sensores electrónicos, en determinadas zonas. Con esta segunda idea, la Figura 13 ilustra una de las comparativas entre las mediciones registradas de forma continua mediante el fisurómetro FIS-01 y las obtenidas manualmente en el punto de control G-14 en las diferentes visitas al edificio. Puede comprobarse como el ajuste de las mediciones es muy bueno, lo que refuerza la confianza de la bondad del sistema electrónico.

Además, en base a la lectura de los sensores instalados, pudo validarse la correcta evolución de sus medidas. La Figura 14(a) ilustra el comportamiento coherente entre la evolución de las inclinaciones de los muros, en los puntos de anclaje de la cinta de convergencia, y los desplazamientos registrados por ésta. A medida que los inclinómetros registran valores de desplome hacia el interior de los muros, la cinta de convergencia refleja un acortamiento, y viceversa. En otros casos, también se constató la afección de las acciones eólicas en el comportamiento registrado por los sensores. Así, puntualmente, se han registrado valores de inclinación mayores que los que se venían registrando, los cuales pueden asociarse a instantes en los que se han registrado velocidades eólicas significativas (asociadas a temporales de viento). En la

Figura 14(b) se muestra, a modo de ejemplo, como la influencia del viento sobre los muros se refleja en el registro de los inclinómetros (vibraciones que poco a poco se van atenuando).

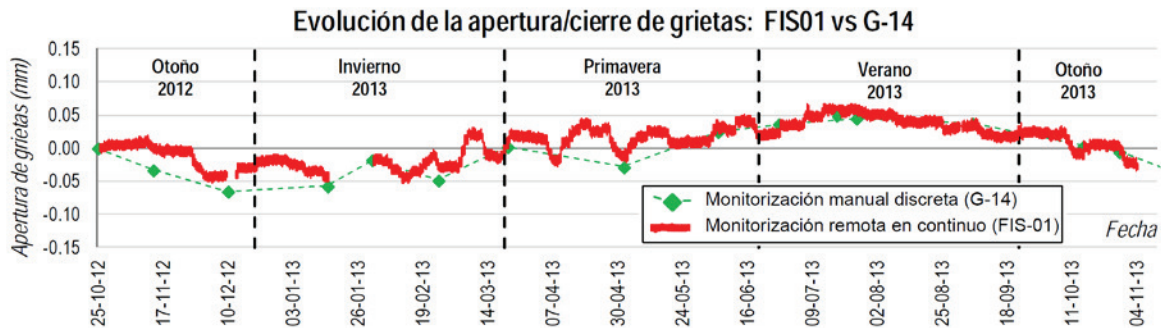


Figura 13. Comparación de la apertura de fisura registrada de forma continua mediante el fisurómetro FIS-01 y la obtenida manualmente en un punto aledaño a dicho sensor (G-14).

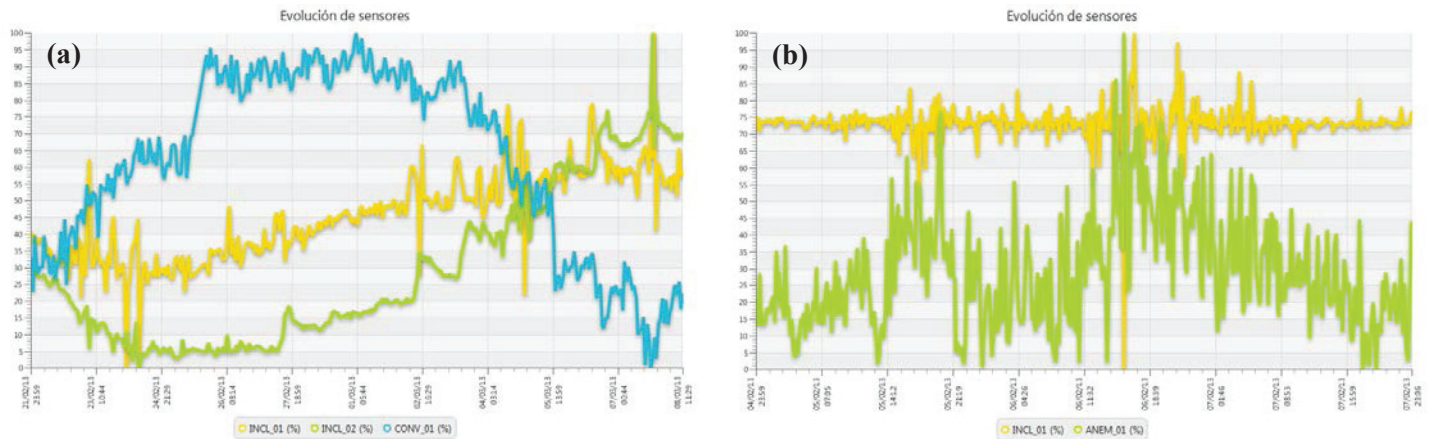


Figura 14. Ejemplos de relaciones entre los sensores instalados (los ejes de ordenadas están relativizados para cada sensor). (a) A medida que los inclinómetros (“+”: indica desplome hacia el interior del muro) registran valores de desplome hacia el interior de los muros, la cinta de convergencia (“-”: indica acortamiento) refleja un acortamiento, y viceversa. (b) La influencia del viento sobre los muros se refleja en el registro de los inclinómetros mediante vibraciones instantáneas y su posterior atenuación.

5. CONCLUSIONES

A la luz de todo lo comentado puede concluirse que los sistemas de monitorización contribuyen de forma indudable al conocimiento de la evolución de determinados procesos en una construcción histórica. Se plantea como una acción especialmente interesante para desarrollar una estrategia de mantenimiento preventivo.

En lo referente a la aplicación práctica concreta presentada, conviene referir la versatilidad conseguida con el sistema implementado, tanto en el aspecto del hardware (automata, terminales y sensores), como en el apartado del software (servidor de aplicaciones y servidor web, persistencia de datos, y cliente).

También conviene aludir a lo interesante de combinar una monitorización electrónica en continuo con una de tipo manual y discreta, tanto para favorecer el incremento de los puntos bajo control con un sobrecoste reducido, como para disponer de mediciones de contraste de las obtenidas con los sensores electrónicos.

Finalmente, en relación a la evolución de las variables monitorizadas en la Iglesia del Seminario Mayor, tras un año de seguimiento, puede concluirse que los puntos de control manual y continuo no han registrado movimientos significativos, circunstancia razonable a la luz de las estructuras de apeo existentes en el cuerpo de la iglesia frente a acciones verticales, y a los tirantes existentes entre contrafuertes para contrarresto de los empujes horizontales de los arcos.

6. AGRADECIMIENTOS

Para finalizar, nos gustaría agradecer la confianza depositada en el equipo de proyecto por parte de la Sociedad de Activos Inmobiliarios Campus Comillas (SAICC, S.L.), en relación al registro de los daños y seguimiento mediante instrumentación de los movimientos existentes en la Iglesia del Seminario Mayor de Comillas, España.

7. BIBLIOGRAFÍA

[1] FIEC (2010). “Construction activity in Europe (2010) by market sectors”. European Construction Industry Federation. (March 20, 2012).

[2] Roca, P. (2007). “Aplicación de técnicas experimentales y numéricas al estudio del patrimonio arquitectónico”. Proc. Conf. sobre Metodologías no destructivas aplicables a la rehabilitación del patrimonio construido, Universidad de Cantabria, Santander, Spain, 53-70.

[3] Lourenco, P. B., Ramos, L. F., Vasconcelos, G., and Peña, F. (2008). “Monastery of Salzedas (Portugal): Intervention in the cloister and information management”. Proc. Int. Conf. On Structural Analysis of Historic Construction. Taylor & Francis Group, London, UK, 95-108.

[4] Binda, L., Anzani, A., and Cardani, G. (2009). “Methodologies for the evaluation of seismic vulnerability of complex masonry buildings: case histories in the historic centre of Sulmona”. Proc. 11th Int. Conf. on Structural Repairs and Maintenance of Heritage Architecture, Wessex Institute of Technology, Ashurst, Southampton, UK, 395-405.

[5] Macchi, G. (1993). “Monitoring Medieval Structures in Pavia”. Structural Engineering International, 3(1), 6-9.

[6] Binda, L., and Veckey, RC. (eds). (2001). “Onsite control and evaluation of masonry structures”. RILEM Publications, 369 p.

[7] Monitoring of Historic Structures (GUIDELINES). European Commission Research Project: SMooHS Smart Monitoring of Historic Structures (2010)

[8] Rossi, PP., Zaldivar, S. (1996). Testing and monitoring for the restoration of the Metropolitan Cathedral in Mexico City. Int. Conference, Napoli.

[9] Monti, C., Rossi, C., Vanessa, G. (1996). Methodological approach in análisis of static monitoring system data. Reports on Surveying ang Geodesic. Bologna.

[10] Rossi, PP. (1997). The importance of monitoring for structural analysis of monumental buidings. Keynote Lecture International Colloquium IABSE. Bergamo.

[11] Pereda, J., Vela, R., Lombillo, I., Blanco, H., Villegas, L. (2014). Integración de sistemas de instrumentación electrónica, adquisición de datos y desarrollo de aplicaciones de software para la monitorización remota de patologías estructurales. Congreso Latinoamericano REHABEND 2014, pp. 746-755.