

Document downloaded from:

<http://hdl.handle.net/10251/201098>

This paper must be cited as:

Royo, R.; Tormo-Esteve, S.; Cañada Soriano, M. (2019). Inspección Termográfica del Claustro de la Catedral de Vic. Asociación Española de Ensayos No Destructivos.
<http://hdl.handle.net/10251/201098>



The final publication is available at

Copyright Asociación Española de Ensayos No Destructivos

Additional Information

Inspección termográfica del Claustro de la Catedral de Vic

R. Royo Pastor, rroyo@ter.upv.es; S. Tormo Esteve; M. Cañada Soriano

Universitat Politècnica de València

Resumen

El artículo presenta los principales resultados y conclusiones de una compleja inspección termográfica realizada a lo largo de dos días en el Claustro de la Catedral de Vic. El objetivo fundamental de la inspección era determinar la presencia de elementos ocultos detrás del enlucido de los muros, previamente a realizar cualquier tipo de intervención. Tanto las grandes dimensiones del espacio inspeccionado, como las características específicas de los detalles a visualizar suponen que el trabajo realizado tenga mucho interés. Asimismo, se muestra claramente el efecto de las condiciones ambientales sobre los resultados obtenidos de la inspección. Y esto es otra conclusión muy importante acerca de cuáles son las condiciones más favorables para aplicar termografía pasiva sobre edificios y más concretamente, sobre patrimonio.

Introducción

En la actualidad no parece necesario justificar ni volver a incidir en la importancia y relevancia de la termografía infrarroja como herramienta de Ensayos No Destructivos.

Una de sus principales ventajas en el campo que nos ocupa es la sencillez y rapidez en la aplicación de la técnica. Además, la significativa reducción en el precio de los equipos ha favorecido que se haya puesto al alcance de muchos profesionales que la están utilizando de forma activa en multitud de aplicaciones diversas.

Desde hace ya bastantes años, la termografía infrarroja se aplica en mantenimiento industrial para la inspección de edificios o por ejemplo, para la evaluación de las placas en una instalación fotovoltaica. Es una utilización habitual y casi insustituible.

La aplicación de la termografía infrarroja en otros campos como la arqueología o la inspección de patrimonio monumental es más novedosa y reciente (1), (2), (3).

Es en lo que trata de incidir el presente artículo, como describiremos a continuación.

El claustro de la Catedral de Vic

El claustro se sitúa al lado de la catedral y está formado por dos pisos.

Las primeras noticias del claustro de la catedral datan del año 1058. Estaba formando por unas galerías de arcos de medio punto muy simples, sin columnas ni capiteles. Es por este motivo que en el siglo XIV se decidió construir uno nuevo, mucho más lujoso. A pesar de todo, se decidió mantener el claustro románico y edificar el nuevo encima suyo, limitando así su perímetro. La separación entre los dos pisos se realizó mediante una línea de imposta.

Así, el claustro superior, que es el que nos ocupa en este artículo, es del siglo XIV, de estilo gótico y se atribuye a los maestros Despuig, Lardenosa y Valls. Destaca el labrado

de los capiteles de sus columnas. El inferior, del siglo XII y de estilo románico, contiene en su centro una escultura del filósofo Jaime Balmes, realizada por Josep Bover en 1865. Desde este piso se accede a la sala capitular, del siglo XIV, de la que destaca su bóveda octogonal que trasmite el peso a los muros de planta cuadrada (4).

A finales del siglo XVIII se decide construir una nueva catedral, porque la románica se había quedado pequeña. Para poder hacer esta ampliación era necesario destruir el claustro y la iglesia de Santa María La Rodona, situada a los pies del templo. La gran belleza artística de sus arcos y su funcionalidad sirvieron para salvarlo de la destrucción. Se desmontó piedra a piedra y se reconstruyó unos metros más al sur. A pesar de todo, se modificó su trazado, configurándole una planta más regular.

Cuando se reconstruyó el claustro se cambió la ubicación de la sala capitular. Quedó ubicada en el ángulo nordeste, sobre lo que había sido la sala de los canónigos, lo que provocó que se mutilara su portalada. Estaba formada por un arco de medio punto decorado con arquivoltas, sobre las que encontramos un tímpano esculpido según el estilo flamígero. A ambos lados de la puerta se abría una ventana apuntada decorada con tracerías góticas y vitrales. Desgraciadamente, la del lado izquierdo se perdió al cambiar su ubicación y sólo se puede ver su perímetro desde el interior.

Cuando se reconstruyó el claustro se decidió que todas las galerías tuvieran cinco arcos. Los dos arcos que sobraban se colocaron en la parte exterior de la galería sur a modo de mirador. A estos, se añadieron tres arcos más, de nueva factura, imitando el estilo de los otros (5).

Descripción de la inspección termográfica. Justificación y características diferenciadoras.

La dirección eclesiástica en Vic contactó con nuestro compañero Santiago Tormo para aprovechar las ventajas de la termografía infrarroja como herramienta de ensayo no destructivo antes de llevar a cabo el levantamiento de los revoques de los muros.

El trabajo presentaba de entrada unas dificultades de tamaño y duración muy considerables: estamos hablando de unas longitudes totales de cerramientos a inspeccionar de más de cien metros y unas alturas superiores a cuatro metros.

A todo esto, se añade una incertidumbre adicional: ¿cuál es el momento más adecuado para llevar a cabo la inspección con el objetivo de discernir con la mayor claridad posible los detalles ocultos tras el revoque?

El análisis de diferencias de material con termografía se basa en la utilización de un transitorio térmico de calentamiento o enfriamiento, natural (carga solar) o forzado mediante un agente artificial externo. Es durante un transitorio térmico cuando las diferencias de densidad o calor específico entre los diversos materiales utilizados se manifiestan sobre las temperaturas superficiales externas, que es lo que se visualiza finalmente con la termografía infrarroja.



Figura 1. Ejemplo de visualización de estructura interior de aplacado de hormigón armado con termografía infrarroja

La figura 1 adjunta muestra la visualización de los pernos de fijación metálicos en el interior de placas de hormigón armado utilizadas en edificios de la propia Universidad Politécnica de Valencia. El llegar a conseguir visualizar estos detalles dentro de materiales de tanta densidad es posible si la excitación térmica es también muy elevada. En este caso, dicha excitación es natural y corresponde al calentamiento por carga solar existente sobre esta fachada sur a finales del mes de junio en Valencia.

En el caso del Claustro de la Catedral de Vic, como se trata de patrimonio de gran valor, la excitación térmica utilizada debe ser también natural, tratando así de evitar cualquier posible deterioro por calentamiento artificial excesivo de las superficies inspeccionadas.

La inspección se realiza aprovechando las variaciones de temperatura durante el día debido al ciclo solar diurno-nocturno.

Puesto que a priori no se conocía cuándo se obtendrían los mejores resultados, a finales de septiembre del año 2018 se llevaron a cabo dos inspecciones casi consecutivas: la primera desde el atardecer hasta primeras horas de la madrugada y otra a partir de las ocho de la mañana hasta casi las tres de la tarde. En la parte del año escogida se producen temperaturas nocturnas ya significativamente bajas, sin embargo, los valores diurnos aún tienen máximas suficientemente altas. Esto supone unos periodos de enfriamiento y calentamiento bastante intensos, lo que debería de favorecer la visualización de la citada diferencia de materiales.

La primera inspección el viernes por la noche se realiza durante un transitorio de enfriamiento, mientras que la segunda el sábado por la mañana, corresponde a un transitorio de calentamiento.

Otra peculiaridad de la inspección es que debido a la geometría y dimensiones del claustro hay una distancia límite máxima para la toma de las imágenes térmicas, que en ningún caso supera los tres metros.

Se pretendía conseguir imágenes globales de cada una de las tres paredes interiores que conforman el claustro, con orientaciones sur, levante y oeste.

Con la limitación geométrica expuesta, la única solución para obtener imágenes de las paredes completas ha sido la elaboración de “mosaicos infrarrojos” a partir de más de 800 imágenes infrarrojas adquiridas.

El equipo infrarrojo utilizado ha sido una Thermacam Flir SC620 con sensibilidad térmica de 40 mK y resolución óptica de 640 x 480 píxeles, con óptica de 24 grados.

El software de tratamiento de datos utilizado ha sido el programa de Flir “Image Builder” que permite la realización de los mosaicos infrarrojos a partir de las imágenes elementales adquiridas. Este programa es necesario para que las imágenes globales confeccionadas tengan detalle radiométrico, es decir, posibiliten la obtención de valores de temperatura superficiales, ajuste térmico, cambio de paleta, etc.

Seguidamente se adjuntan esquemas de las tres paredes del claustro inspeccionadas:

PARED ESTE



PARED OESTE



PARED SUR



Figura 2. Esquemas de las tres paredes del claustro inspeccionadas

Resultados obtenidos

Se ha escogido la representación de las imágenes en paleta de grises y en amarillo gris con objeto de obtener el máximo detalle. La resolución de cada imagen elemental de las que se han partido es tan sólo de 0,3 MB.

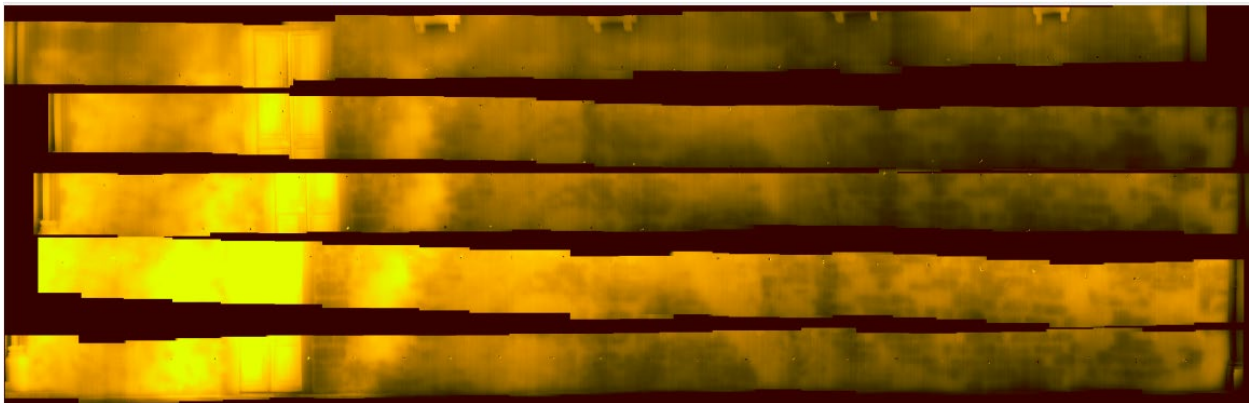
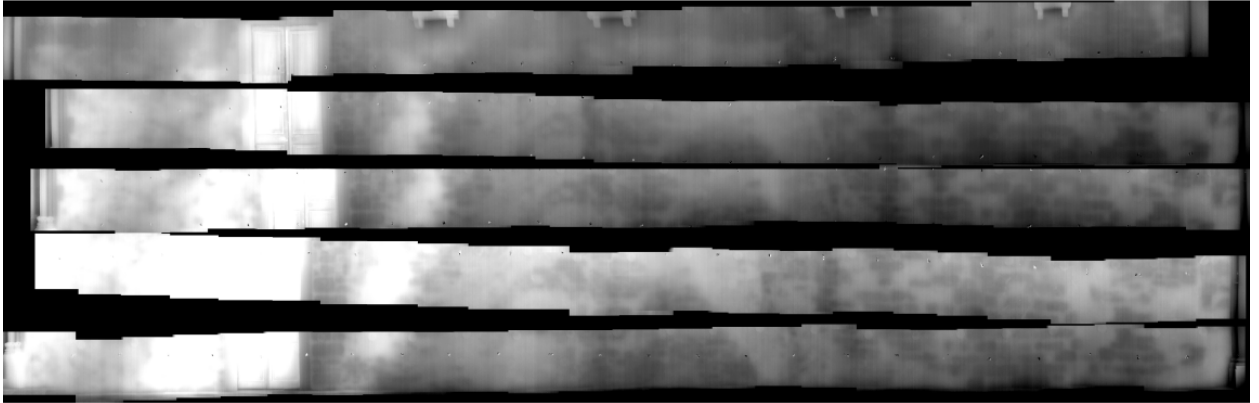


Figura 3. Pared este. Inspección realizada el viernes por la noche. Resolución de 33,2 MB.

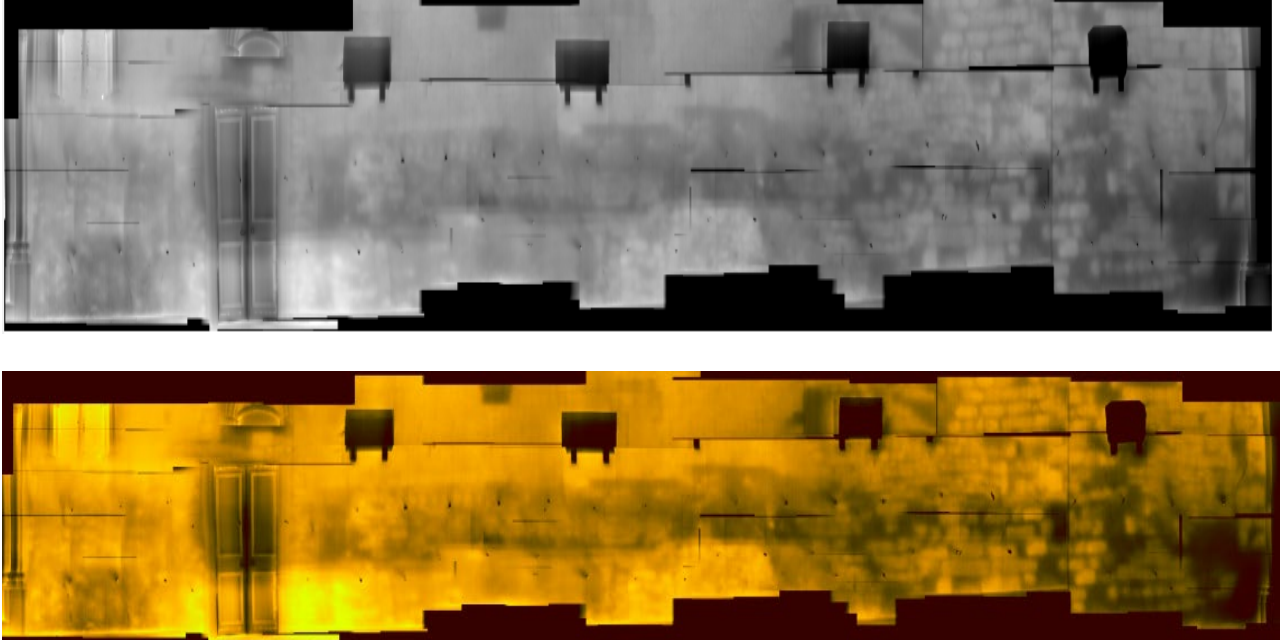


Figura 4. Pared este. Inspección realizada el sábado por la mañana En este caso la resolución es de 18,2 MB.

Al comparar las imágenes del viernes por la noche con las del sábado por la mañana se observa que el contraste se invierte: los detalles que aparecen más fríos el viernes por la noche son los que más calientes se encuentran el sábado por la mañana. Corresponden con las zonas de la pared de menor densidad y que, por tanto, responden con mayor rapidez a los transitorios térmicos.

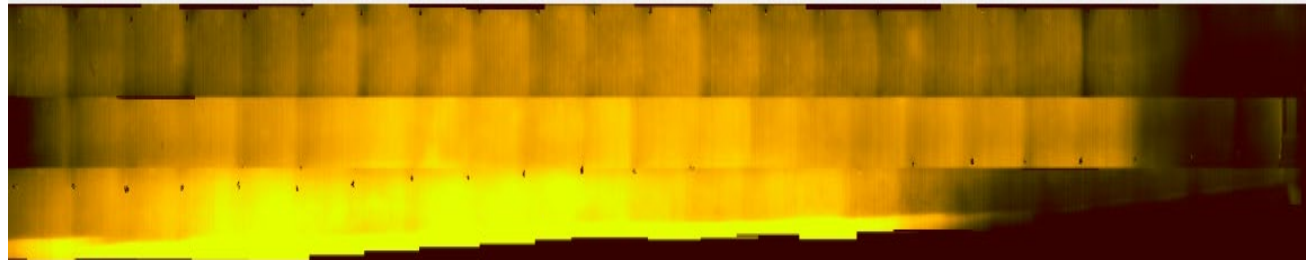
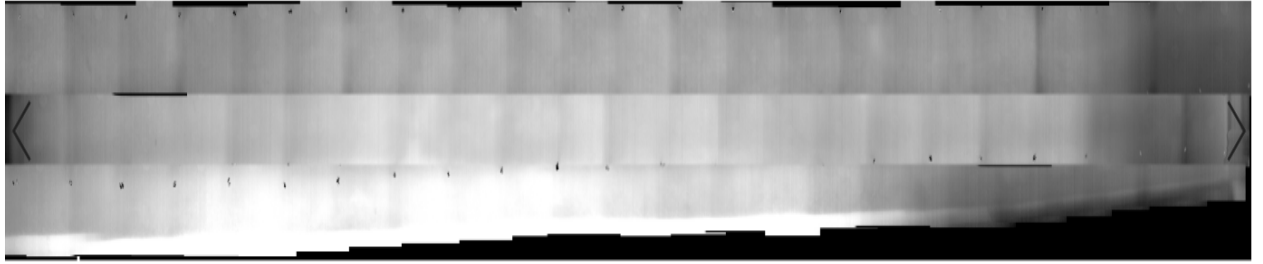


Figura 5. Pared sur. Inspección realizada el viernes por la noche. Resolución de la imagen: 17,3 MB

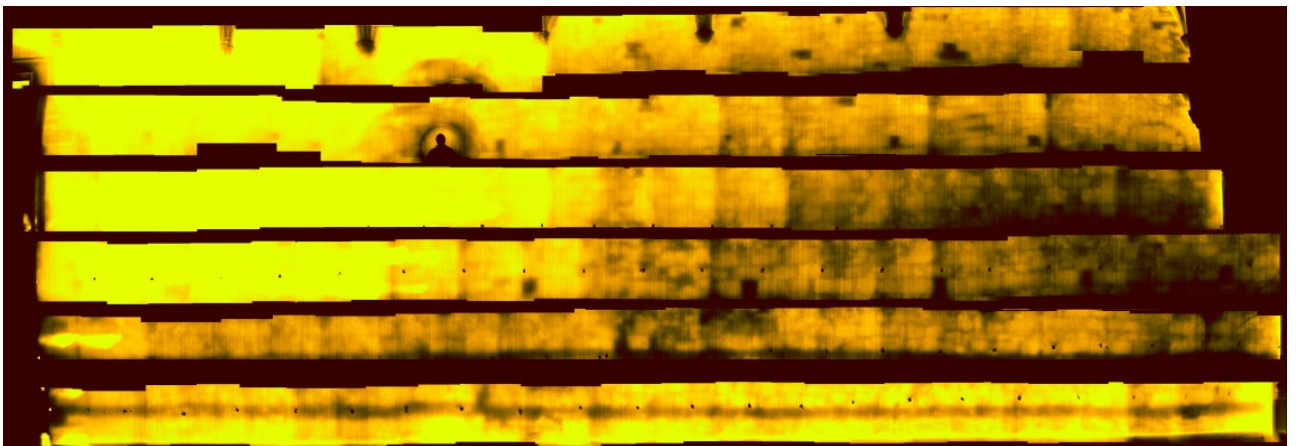
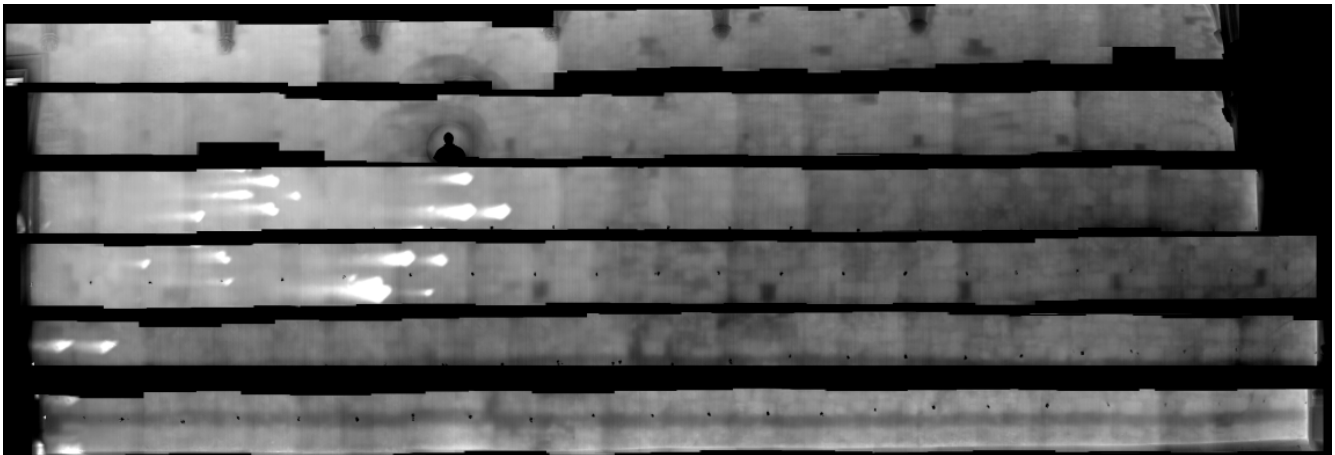


Figura 6. Pared sur. Inspección realizada el sábado por la mañana. Resolución de la imagen: 41,7 MB

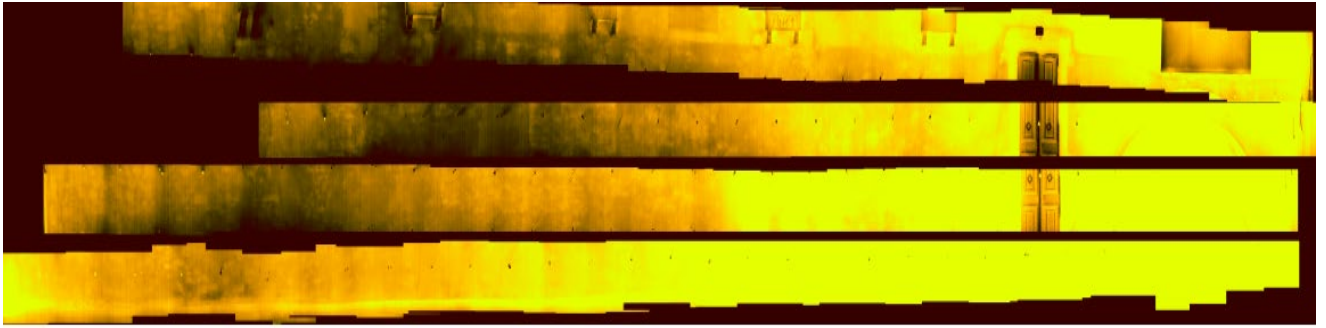
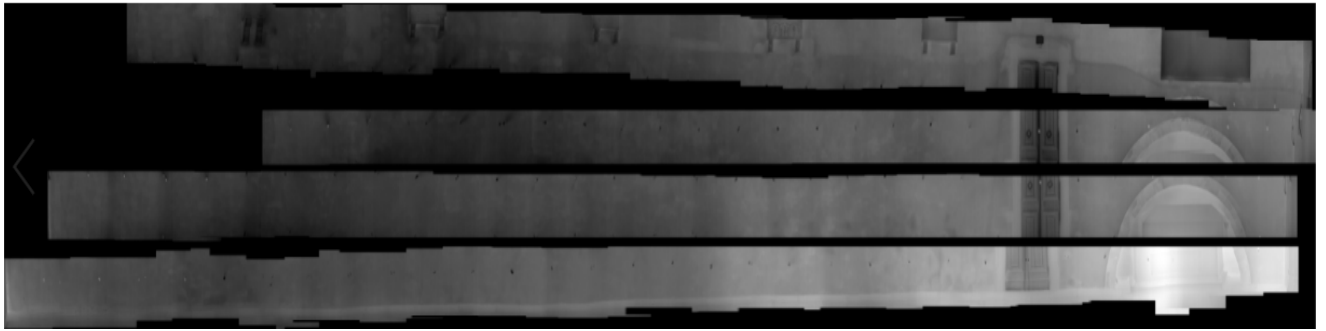


Figura 7. Pared oeste. Inspección realizada viernes por la noche. Resolución de la imagen: 27,4 MB

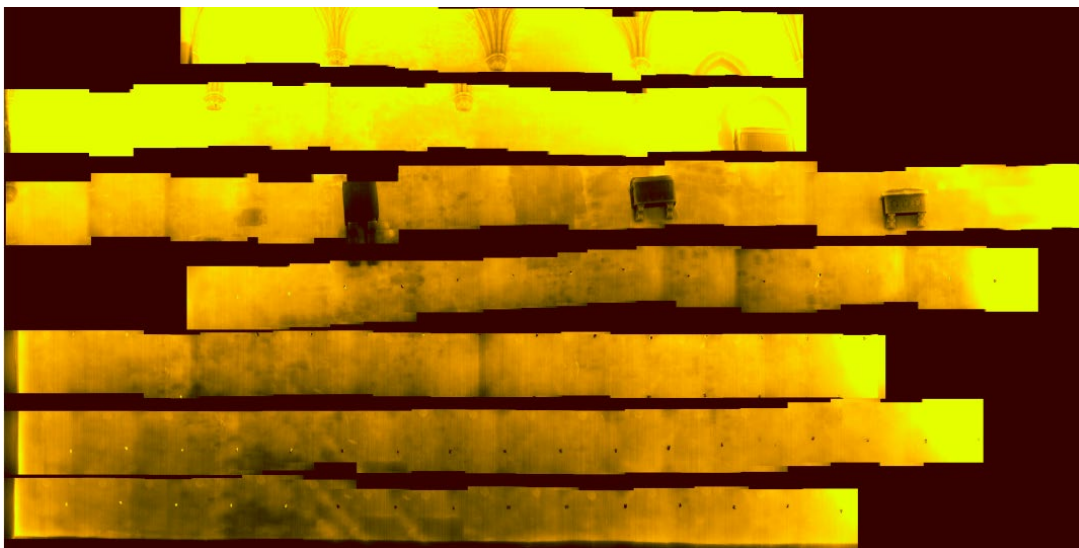
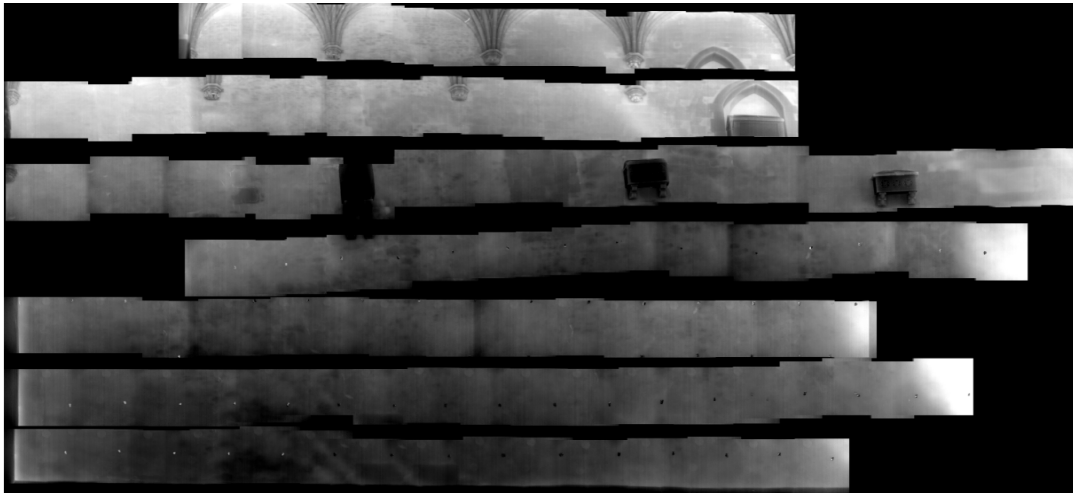


Figura 8. Inspección realizada sábado por la mañana. Resolución de la imagen: 33,9 MB.

Análisis y discusión de los resultados obtenidos

Los resultados de la inspección son ciertamente muy satisfactorios y demuestran las grandes ventajas de la utilización de la termografía infrarroja en patrimonio: antes de realizar la más mínima intervención sobre la pared ya se sabe perfectamente el tipo de materiales que se van a encontrar en su interior.

El momento de la inspección cuando la excitación es producida por el calentamiento-enfriamiento natural, se demuestra como un parámetro crítico. En nuestro caso y en la época del año seleccionada, las mejores horas son las de la mañana, cuando los diferentes elementos se van calentando por efecto del aire exterior.

Cuando el muro está en contacto con elementos de mucha masa térmica, como es el caso del muro sur, la toma de datos durante el enfriamiento nocturno se ha mostrado no

adecuada, obteniéndose imágenes con muy poco contraste térmico y, por tanto, inútiles a efecto de reconocimiento de estructuras.

Los elementos de menor densidad responden con mayor rapidez a los transitorios térmicos: durante el enfriamiento son los primeros que reducen su temperatura y durante un transitorio de calentamiento son los que incrementarán su nivel térmico antes.

Las conclusiones acerca de las condiciones más idóneas para la inspección son evidentemente muy locales y dependientes de las condiciones ambientales, orientación y tipo de estructura a inspeccionar. Por este motivo, de forma general sería necesario llevar a cabo la inspección en diferentes épocas del año y del día para tratar de obtener los mejores resultados posibles.

Respecto al equipo a utilizar, las cámaras térmicas con la mayor sensibilidad térmica posible y la mayor resolución óptica serían las más adecuadas. Los equipos utilizados en esta aplicación presentaban un NETD de 40 mK, Actualmente los autores disponen de equipos con NETD de 20 mK pudiendo así obtener resultados más favorables.

Referencias

- (1) A. Royo Verdú. Trabajo Final de Master. Master de Arqueología: Aplicaciones de la termografía infrarroja en patrimonio cultural. Facultad de Geografía e Historia Universitat de Valencia. Tutor: FERRAN ARASA I GIL. Septiembre 2015.
- (2) S. Tormo Esteve. Tesis Doctoral “Las termas mayores de Mura en Ilíria (valencia). Estudio aplicado a la funcionalidad hídrica y térmica de los complejos termales romanos”. Septiembre 2017
- (3) R. Royo Pastor, S. Tormo Esteve, M. Cañada Soriano³, P. Ferrer Lacruz Evaluación mediante termografía infrarroja del arco romano del Pont del Diable de Martorell 13º Congreso Nacional de Ensayos No Destructivos. Sevilla, Mayo 2015
- (4) Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Catedral_de_San_Pedro_de_Vich
- (5) Aldeaglobal: http://www.aldeaglobal.net/artmedieval/castella/claustre_de_20vic.htm