

Estudio termográfico de las manifestaciones patológicas por humedades y del estado de conservación de la cubierta de la Basílica de Santa María

D. Bru^{1*}, S. Ivorra¹

*Autor de Contacto: david.bru@ua.es

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.567>

Recepción: 01/11/2021 | Aceptación: 13/12/2021 | Publicación: 01/01/2022

RESUMEN

El presente trabajo analiza el estado actual de la cubierta de la Basílica de Santa María, Alicante, España. Este edificio data del siglo XIII y está catalogado. Para el análisis de las eflorescencias que se observan se realiza un análisis de la tipología constructiva, así como un análisis visual del estado de las mismas, describiendo las manifestaciones patológicas existentes, tanto en la zona exterior de las cubiertas, como en la zona interior de las salas bajo las mismas. Para el análisis técnico de las posibles filtraciones de la cubierta a las salas interiores de la basílica se realiza una prueba de estanquidad y la verificación a través del control de la variación de temperaturas mediante análisis termográfico. Se puede concluir la existencia y posición de filtraciones que han dañado este edificio catalogado.

Palabras clave: termografía, humedades, filtraciones, eflorescencias, edificio histórico.

Citar como: Bru, D., Ivorra, S. (2022), “Estudio termográfico de las manifestaciones patológicas por humedades y del estado de conservación de la cubierta de la Basílica de Santa María”, Revista ALCONPAT, 12 (1), pp. 110 – 126, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.567>

¹Departamento de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante, Alicante, España.

Contribución de cada autor

En este trabajo el autor David Bru contribuyó con la actividad de recolección de datos y experimentación en un 100%, con la actividad de idea original, escritura del trabajo y discusión de los resultados en un 50%. El autor Salvador Ivorra contribuyó con la actividad de idea original, escritura del trabajo y discusión de los resultados en un 50%.

Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2022) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2022 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2022.

Thermographic study of the pathological manifestations due to humidity and of the conservation state of the Santa Maria Basilica's roof

ABSTRACT

This paper analyzes the current state of the roof of the Basilica of Santa Maria, Alicante, Spain. This building dates back to the 13th century and is catalogued. For the analysis of the efflorescence observed, an analysis of the constructive typology is carried out, as well as a visual analysis of the state of the same, describing the existing pathological manifestations, both in the exterior area of the roofs, as well as in the interior area of the rooms under them. For the technical analysis of the possible leaks from the roof to the interior rooms of the basilica, a watertightness test and the verification through the control of the variation of temperatures by means of thermographic analysis are carried out. It can be concluded the existence and position of leaks that have damaged this listed building.

Keywords: thermography, humidities, filtrations, efflorescence, historical building.

Estudo termográfico das manifestações patológicas devidas à umidade e do estado de conservação da cobertura da Basílica de Santa Maria

RESUMO

Este trabalho analisa o estado atual da cobertura da Basílica de Santa María, Alicante, Espanha. Este edifício data do século XIII e está catalogado. Para a análise das eflorescências observadas foi efetuada uma análise da tipologia da construção, bem como uma análise visual do estado dela, descrevendo as manifestações patológicas existentes, tanto na zona exterior das coberturas, como na área interna dos ambientes abaixo dela. Para a análise técnica de possíveis vazamentos através da cobertura para os ambientes interiores da basílica, foi efetuado um ensaio de estanqueidade e verificação através do controle da variação de temperatura por meio de análise termográfica. O procedimento foi adequado para entender e comprovar a existência e localização de vazamentos que danificaram este edifício.

Palavras-chave: termografia, umidade, infiltração, eflorescência, edifício histórico.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objeto la valoración técnica de las manifestaciones patológicas actuales del sistema de impermeabilización en la cubierta de la Basílica de Santa María, Alicante, España, Figura 1. La Basílica de Santa María, localizada en las coordenadas $38^{\circ}20'46''\text{N}$ $0^{\circ}28'45''\text{W}$ y dispuesta a menos de 300 m de la línea costera, ha sido catalogada como Bien de Interés Cultural dentro de los monumentos catalogados en el Patrimonio Cultural Valenciano estando datadas las partes más antiguas del edificio entre el siglo XIII y el siglo XIV. Desde el punto de vista arquitectónico, la estructura presenta una sola nave sin crucero, con capillas laterales situadas entre los contrafuertes y un ábside poligonal, Figura 2. La nave principal se haya cubierta por seis bóvedas de crucería de arco apuntado, separadas entre sí por arcos torales, que junto con los nervios arrancan del capitel en una solución propia de finales del siglo XV y de las primeras décadas del siglo XVI (Beviá et al, 1997).



Figura 1. Vista aérea de la Basílica de Santa María. Alicante. Sup. Izq.: fachada Noroeste. Sup. Drcha.: Fachada sudeste. Inferior: Vista en planta de la Basílica de Santa María. Alicante. Identificación de cubiertas de estudio. Fuente: Imágenes ©2016 Google, Datos del mapa ©2016 Google, Inst. Geogr. Nacional.

En relación a los principales materiales que constituyen los elementos de mampostería de la Basílica de Santa María, no se han realizado estudios de laboratorio para identificar su procedencia. Sin embargo, y según los datos históricos, se aportan en la presente investigación los datos asociados a las rocas de igual procedencia dispuestas en los Palacios Civiles de la calle Gravina (Louis et al. 2001), próxima a la localización de la Basílica. Los datos obtenidos de dicha investigación permiten clasificar la tipología de la roca utilizada, su resistencia a compresión y el coeficiente de absorción. En este sentido la roca consiste en una biocalcarenita con tamaño de grano variable, de arena media a arena gruesa e incluso microconglomerado (>2mm), con una elevada porosidad y una resistencia a compresión es de 6.1 MPa. Por otro lado, en relación al coeficiente de absorción, se muestran valores comprendidos entre el 6% y el 15%. En este sentido es importante destacar el elevado valor de los mismos en comparación con otras piedras tipo caliza o margas, con valores entre 0.56% y 2.05% (Thomas et al. 2008). Otros datos asociados al contenido de Calcita y a la densidad de dicho material, se muestran en la Tabla 1.

Finalmente, Louis et al (2001), también destacan un aspecto importante de cara al análisis de las patologías por presencia de humedades en este tipo de materiales. En concreto evalúan la presencia de eflorescencias y destacan el efecto altamente perjudicial de la cristalización de las sales en el proceso de erosión alveolar y especialmente en las zonas con las fachadas expuestas al viento marino, ya que este efecto favorece la cristalización de las sales y aporta gran cantidad de sal marina debido al efecto del spray marino. Estas afirmaciones se confirman por la presencia de halita en las eflorescencias de los interiores. Además, ponen de manifiesto que parte del cloruro sódico del ambiente marino o del agua de infiltración ha alcanzado parte del edificio analizado debido a los fenómenos de capilaridad. Por lo tanto, a partir de los resultados previos de Louis et al (2001), se puede afirmar la hipótesis de presencia de sales en los materiales constituyentes de la Basílica analizada.

Tabla 1. Datos de composición y algunas propiedades físicas de la Piedra de San Julián (Brotóns et al. 2013).

Piedra de San Julián	Cantera	Edificios
Calcita (%)	80-85	65-85
Absorción de agua (%)	7.6-15.1	6.2-13.0
Densidad real (g/cm ³)	2.64-2.67	2.59
Densidad aparente (g/cm ³)	1.85-2.29	1.8-2.4

El edificio analizado en el presente estudio se enmarca dentro de las tipologías de construcciones históricas, siendo su planteamiento constructivo muy diferente a las edificaciones de la actualidad. Desde el punto de vista higrotérmico, su principal diferencia es la concepción como edificio permeable al agua (en vapor o forma líquida), tanto del exterior como del interior (Paricio, 1985), a diferencia de los edificios actuales que se plantean como elementos aislados, para evitar la pérdida de energía hacia el exterior. Esquemáticamente, el edificio estudiado, tal y como se comentó en el apartado 1, presenta un cerramiento perimetral que se estima (con los medios disponibles) de una hoja de gran espesor. Este hecho provoca que, frente a la acción del agua exterior, la parte externa de la hoja en contacto con el agua se moje y difunda el agua en forma líquida a través del espesor del muro. El avance del agua a través del mismo va formando un “frente húmedo” hasta que la precipitación cesa. Dicha cantidad de agua permanece absorbida en la mampostería debido a la elevada capacidad de absorción de los materiales constituyentes de la fábrica para, posteriormente, ir evaporando el agua por ambas caras del cerramiento. Por lo tanto, se puede intuir la importancia del espesor y la permeabilidad del material, a fin de evitar que el frente húmedo aparezca en el interior de la estancia y, sobre todo, para que una vez finalizada la fuente de humedad se produzca la evaporación del agua en el menor tiempo posible, especialmente para evitar solapamientos de

frentes húmedos entre diferentes ciclos de precipitación. Por lo tanto, también es claro que la evacuación del agua en este tipo de edificaciones se produce de forma diferida por difusión y evaporación. Por lo tanto, es habitual observar en este tipo de edificaciones procesos de saturación del paramento por agua de lluvia, una vez saturados los poros y procesos de escorrentía superficial a lo largo del paramento, produciendo la humidificación de otras zonas del elemento dispuesto para el cerramiento de la construcción.

Por otro lado, en relación a los fenómenos dinámicos del agua en el interior de la construcción en forma de vapor, es importante destacar que, debido a la ausencia de láminas plásticas o barreras de vapor como las dispuestas actualmente en cubiertas y cerramientos modernos, el edificio se caracterizaba como eminentemente permeable. Siendo habitual que la humedad específica mínima de una sala sea la misma del exterior, dado que el aire es capaz de penetrar desde fuera sin estar sometido a ningún proceso de barrera. Por lo tanto, los problemas habituales de este tipo de construcciones al enfrentarse contra la humedad en su concepción original era el de intentar eliminar los excesos de vapor generados en el interior de las salas debidas a la respiración y transpiración humanas, con el objeto de igualar la humedad específica interior a la del exterior. De esta forma, tal y como se ha comentado anteriormente, si la estancia no presentaba ventanas o huecos para eliminar el exceso de vapor de agua acumulado en la sala, se procedía a su eliminación bien mediante difusión a través de los muros, convección a través de huecos y rendijas o, por absorción del vapor en los materiales que posteriormente se cedía al ambiente cuando este se secaba.

Una vez planteada la concepción técnica del planteamiento de los sistemas de cerramiento de las edificaciones históricas, se debe analizar las posibles causas que generan la formación de humedades, dado que es el motivo principal de la redacción del presente estudio. La presencia de humedad puede ser debida a procesos de filtración por contacto directo con el agua o por capilaridad. En ambos casos, la transferencia de agua a través de la mampostería puede llevar consigo el arrastre de sales solubles, bien pertenecientes a la propia roca o, bien procedentes de la propia agua de infiltración. Dichas sales solubles pueden quedar retenidas en los cerramientos cuando el agua se evapora, cristalizando en los poros y provocando la aparición de eflorescencias (Giovannacci et al, 2017). La saturación de los poros por la presencia de cristalización de sales disminuye los procesos de evaporación y provoca un desplazamiento de las manchas de humedad debido a la búsqueda de nuevas zonas de salida del vapor de agua presente en los materiales porosos.

Por otro lado, si la acumulación de sales comentada anteriormente se correspondiera con sales higroscópicas, estas tenderían a retener el agua del aire cuando la humedad relativa superara un cierto valor límite, lo que podría generar un falso mecanismo de presencia de humedades por condensación higroscópica, con posible aparición de manchas, pero provocadas simplemente por la propia absorción del vapor de agua del aire por efecto de la higroscopicidad de las sales y no por la presencia real de una fuente de agua por filtración o capilaridad. Por este motivo, una causa general de patología por humedades en edificios históricos es la aparición de eflorescencias debidas a fenómenos locales de filtración ocasionado años atrás que posteriormente se han reactivado. Es decir, la aparición de nuevas humedades sobre la mampostería no sería debida a la presencia real de una nueva filtración de agua, sino por la higroscopicidad de las sales en la superficie de las rocas. Grossi y Esbert (Grossi y Esbert, 1994) muestran una profunda revisión bibliográfica sobre los efectos de las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. En este sentido, en el interior de la iglesia analizada se observan diferentes eflorescencias y manchas que hacen intuir la existencia de filtraciones, Figura 2.

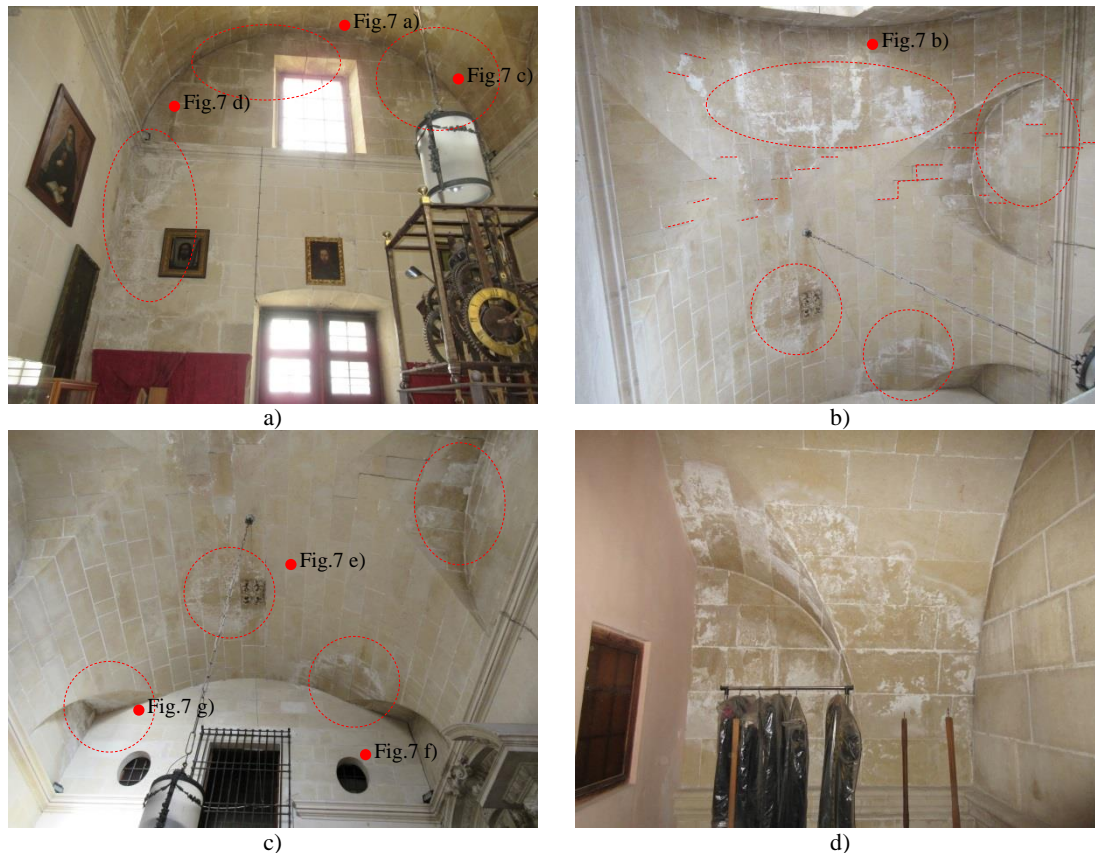


Figura 2. Fotos de salas bajo cubierta 2: a) Fachada Este, b) Vista inferior de la cubierta, c) Vista inferior de cubierta con tabique divisorio de bóveda, d) Sala anexa superior tras división con tabique. Fotos de salas bajo cubierta 1: e) Vista inferior de la cubierta zona próxima a fachada exterior, f) Vista inferior de la cubierta en contacto con el cuerpo de la iglesia. Figuras a), b), c) y d) incluyen los puntos de tomografía de la Figura 7 con puntos rojos.

2. PROCEDIMIENTO

Se ha realizado un análisis visual comparativo, a partir de la realización de una prueba de estanquidad, analizando el estado de las salas antes y después del proceso de inundación de las cubiertas, con el objeto de detectar filtraciones de rápido acceso desde la cubierta. Finalmente, se ha realizado un análisis a partir de termografía infrarroja tanto de la cubierta como de las salas citadas, a fin de detectar la existencia de puentes térmicos localizados y zonas de presencia significativa de humedad (Takeda, 2018), (Silva et al, 2019).

Con el objeto de determinar las condiciones generales de funcionamiento de la cubierta en relación a las pendientes, el estado del soporte de impermeabilización, así como el estado de ejecución de los elementos singulares, tales como bordes, encuentros, desagües y juntas, se ha planteado la realización de una prueba de estanquidad a fin de observar la aparición o no de humedades bajo la cubierta o en los muros, prestando atención a los puntos críticos asociados con detalles constructivos según la normativa en vigor a fecha de impermeabilización de la cubierta (NBE QB-90). La realización de la prueba de estanquidad consistió en la inundación hasta un nivel aproximadamente entre 3-7 cm por encima de la cota de desagüe, asegurando un nivel de sobrecarga suficientemente bajo para no afectar a las condiciones de seguridad estructural de la cubierta. La inundación se mantuvo durante 72h, estando los desagües obturados mediante un

sistema de impermeabilización plástica a fin de evitar el descenso del nivel de agua sobre la cubierta. Finalmente, una vez transcurrido el tiempo requerido para la prueba de estanquidad, se procedió a la eliminación de los sistemas de obturación de los desagües para mantener el actual funcionamiento de los mismos.

Por otro lado, con el objeto de determinar la presencia de humedades y posibles puentes térmicos, que evidencian un funcionamiento incorrecto de la cubierta se procedió a la realización de una prueba mediante cámara termográfica modelo FLIR E30, en base a las disposiciones de la norma EN 13187:1998. Algunos ejemplos recientemente publicados de aplicación de dicha técnica los podemos encontrar en las siguientes referencias (Vijay et al, 2019), (Valluzzi et al, 2019), (Lucchi, 2018), (Ruiz Valero, et al, 2019), (Garrido et al, 2020), (Martínez-Garrido et al, 2018), (Zhang et al, 2018), (Barreira et al, 2020) y (Barbosa et al, 2021)).

La prueba se realizó durante dos días consecutivos. Durante el primer día, se procedió al registro térmico de las cubiertas 1 y 2, así como de la estancia bajo la sala 2. Dicho registro se realizó entre las 19:45 y las 20:45. Los valores máximos y mínimos oscilaron a lo largo del día entre 10.7 °C y 17.4 °C, registrándose un valor a la hora de la toma de datos de 15 °C en el exterior, y de 16.7°C, siendo la humedad relativa de valor comprendido entre 38-40%. Por otro lado, para los datos registrados el segundo día, 15 de enero, los valores máximos y mínimos de la temperatura alcanza valores entre los 16.6 °C y los 8.7 °C., registrándose un valor a la hora de la toma de datos de 13°C en el exterior, y de 15.9 °C, siendo la humedad relativa de valor comprendido entre 52%. Durante este segundo día, se analizaron las salas debajo la cubierta 1, así como el edificio anexo a la sala bajo la cubierta 2. La prueba consistió en analizar los puntos críticos detectados durante las fases de inspección visual, a fin de corroborar los resultados de forma experimental. En relación a la superficie, se consideró un material granular con valor de emisividad 0.95 en base a la biblioteca de materiales proporcionada por el fabricante, homogéneo para todas las superficies analizadas. Otros ejemplos publicados relacionados con la emisividad de este tipo de materiales los podemos encontrar en (Barreira et al, 2021).

3. RESULTADOS

En relación al análisis del flujo de agua durante la prueba de estanquidad, los resultados muestran como para el caso de la cubierta 1, la zona superior canaliza perimetralmente el agua hacia el canalón a través de las pendientes establecidas. Para el caso de la cubierta 1, en la zona inferior, se ha podido verificar que las pendientes confluyen en la zona del desagüe. La ausencia de rebosaderos evita la evacuación de las aguas en caso de saturación del desagüe por acumulación de elementos sólidos en entrada del mismo. Este hecho facilita que el nivel de agua estancada alcance el muro lateral de la capilla de la Comunión, favoreciendo la entrada de agua en la intersección faldón-paramento vertical.

En relación a los resultados del análisis termográfico de la cubierta 1, en la Figura 3 se muestran las imágenes tanto para la zona superior como inferior de la misma. En la Figura 3 (a) se puede observar, una visión general de la parte superior de la misma. En dicha imagen, se puede identificar todas las posibles manifestaciones patológicas anteriormente comentadas. En primer lugar, se observa como tras la realización de la prueba de estanquidad y el vertido del agua sobre parte de los cerramientos de la fachada vertical y transcurridas 10 h desde la realización de la misma, se conserva parte de la humedad debido a la elevada capacidad de absorción de la piedra en el paramento. En dicha imagen, también puede observarse como la zona del antepecho, el agua se ha acumulado más que en la zona situada justo en la zona del canalón. Un detalle de dicha zona puede observarse en la Figura 3(c), donde se observa no solamente la entrada y la acumulación de agua en la zona inferior, sino también, el agua filtrada a través de las juntas entre las piezas de mampostería. Por otro lado, también se debe destacar el cambio brusco de características térmicas

en la unión entre el antepecho, y la pared correspondiente a la protección rígida del faldón superior, Figura 3(a)-(c). Se observa claramente la junta entre los dos materiales y se puede comprobar como parte del agua vertida por el extremo del faldón ha chorreado por el paramento, almacenándose en la zona de la junta, debido a la ausencia de la realización correcta del detalle del extremo del faldón. En relación al canalón, sin embargo, no se han detectado problemas de filtraciones. Por otro lado, en la Figura 3(b), se observa un detalle del canalón para el paso de las instalaciones. En dicha imagen, se puede observar en verde, la zona trasera del canalón, donde se ha producido el almacenamiento de agua, debido a la falta de estanquidad de la junta y la ausencia de un dispositivo de protección para evitar el chorreo del agua por el paramento y el filtrado por detrás del canalón. Por otro lado, en la Figura 3 (d), se muestra un detalle de la falta de estanquidad del extremo derecho del antepecho, en la zona de conexión del extremo del faldón, el antepecho y el contrafuerte, marcándose la zona que actualmente está muy deteriorada, siendo una muestra evidente de falta de impermeabilización. En relación también con problemas de estanquidad, se puede ver en la Figura 3 (e), la ausencia de la entrega de la impermeabilización en la zona de contacto del faldón inferior con el antepecho, así como la presencia de vegetación en la zona más a la derecha de la foto, de mayor temperatura. Además, a través de dicha imagen se puede evaluar el estado actual de impermeabilización de la zona dañada de la solera. Los resultados mostrados por la termografía no mostraron la presencia de problemas de estanquidad. Finalmente, las figuras 3 (g-h), muestran la zona embalsada durante la prueba, donde puede observarse claramente el proceso de ascensión capilar a través del paramento, superando claramente los 5 cm de banda de impermeabilización dispuesta actualmente en el empalme del faldón con el paramento vertical, en las zonas donde se ha puesto, pues existe la ausencia de dicho detalle constructivo en diversas partes del faldón inferior.

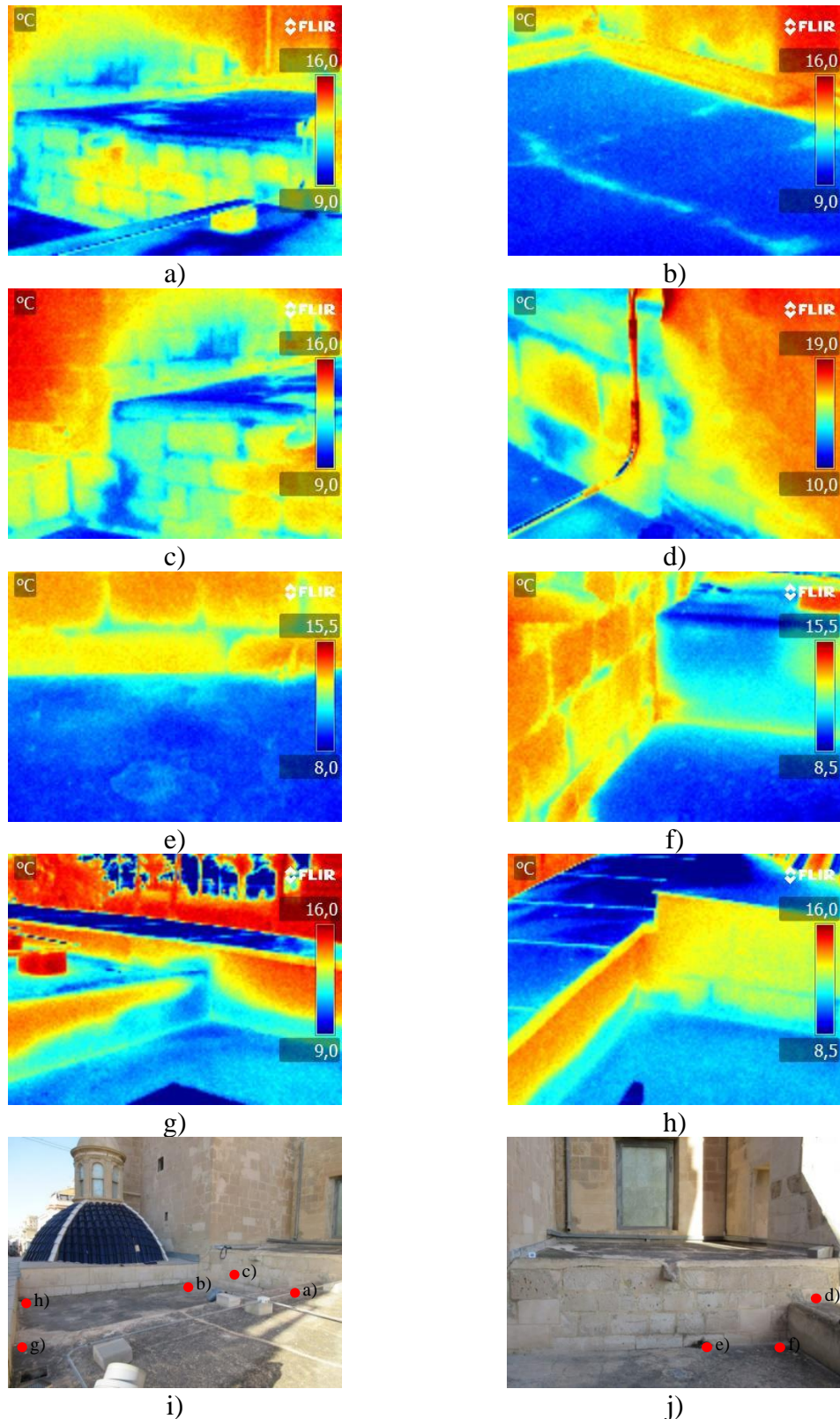


Figura 3. Termografía cubierta 1: a) Vista general zona superior, b) Detalle de canaleta de instalaciones, c) Humedades en paramento vertical y esquina de antepecho, filtración por juntas de mampostería, d) Falta de estanquidad en antepecho y contrafuerte, e) Faldón inferior y paramento vertical, f) Conexión lateral faldón antepecho, g) y h) Capilaridad, i) y j) localización de las termografías.

En relación a los resultados del análisis de la cubierta 2, la Figura 4 (a) y 4 (b), muestran el detalle de la ausencia de la junta perimetral, viéndose la diferencia de temperaturas en las zonas donde el mortero está totalmente deteriorado y la junta queda a hueso entre el extremo del faldón y el paramento. Es importante no confundir con la línea roja asociada al paso de una tubería de instalaciones, pues la zona analizada es la asociada al extremo de conexión con el paramento vertical de la fachada. En dichas imágenes se puede ver la falta de aislamiento térmico en los tramos del paramento vertical, así como zonas de tonalidad más fría, debido al agua vertida durante la prueba de carga. Las figuras 4(c) y 4(d) muestran un detalle de dicha zona sin aplicación de cámara térmica. Por otro lado, la Figura 4(e) muestra la zona del extremo del faldón lateral. En dicha imagen se puede ver como la falta de aislamiento térmico en los tramos del paramento vertical, así como zonas de tonalidad más fría, debido al agua vertida durante la prueba de carga. Esta zona se muestra en tonalidad más verdosa en la zona intermedia de la foto. También debe destacarse el contraste en la unión del extremo del faldón, viéndose claramente la posición de la junta horizontal entre el material superior y el material de apoyo. Dicha junta, representada como una línea de color amarillo con tonos cian, presenta un estado de deterioro importante, tal y como se pudo observar durante el análisis visual de la cubierta, Figura 4 (g). Finalmente, la Figura 4 (f) muestra un detalle de extremo perimetral del faldón, en la zona próxima a la puerta de acceso a la cubierta. En la Figura 4 se incluyen también las imágenes con cámara digital de las zonas analizadas mediante imagen térmica. La comparativa entre sí de dichas imágenes permiten observar los beneficios del uso de la termografía en la detección de patologías, siendo esta una técnica de apoyo a la inspección visual.

Por otro lado, en las Figuras 5, 6 y 7, se muestran los detalles de la distribución de temperaturas en el interior de las tres salas interiores analizadas. Debe destacarse que debido a los bajos niveles de diferencias térmicas entre los diferentes elementos estructurales que constituyen el cerramiento, la nitidez de las imágenes no muestra un comportamiento tan diferenciado como para el caso del análisis de las cubiertas. A fin de aumentar el contraste térmico, en algunas salas se mantuvo encendidas los focos previos a la realización de la prueba, para poder asegurar la posición de las aristas de la sala, una vez tomadas las fotos térmicas, ya que estas se realizaron con la luz apagada. Analizando el comportamiento térmico de la sala bajo la zona inferior de la cubierta 1, Figura 5, denominada a lo largo del estudio como la sala adyacente a la capilla de la Comunión, se puede observar como en la Figura 5 (a), correspondiente a la esquina de conexión entre la fachada exterior y el arco toral que da acceso a la capilla de la Comunión y, dispuesto en la zona próxima a la presencia del sumidero en la cubierta por su parte superior, que queda claramente definida la diferencia térmica entre la parte correspondiente a la fachada y el techo de la bóveda. Sin embargo, con las condiciones climáticas registradas durante la realización del ensayo, no se han detectado la presencia de irregularidades térmicas específicas en las zonas potencialmente dañadas asociadas a la conexión entre la fachada y el arco toral de la bóveda de arista analizada. Asimismo, se observa parte de la ventana exterior, la cual nos sirve de referencia a fin de poder encuadrar la foto. En la Figura 5(b), se muestra un detalle de la zona de ventana. En dicha imagen es claramente observable el efecto de punto frío debido a la mayor transparencia térmica del vidrio frente a los elevados espesores de la fachada. Además, se puede observar la falta de aislamiento térmico en las zonas de conexión entre la fachada y la cubierta, marcándose claramente la arista de unión entre ambas, y mostrándose un gradiente de temperatura desde el inicio hasta la zona central de la bóveda. En la Figura 5(c), se muestra la termografía de la otra esquina de la fachada exterior, de forma similar a lo descrito para la figura 5 (a). Como puede observarse, en esta imagen no se aprecian signos relevantes de patología, siendo detectados únicamente el salto térmico entre los paramentos verticales y la cubierta de la bóveda. Finalmente, en la Figura 5 (d) se muestra una imagen general de la cubierta. En dicha imagen puede observarse la presencia de una parte de la cubierta ligeramente más fría que la otra, debida principalmente al efecto de la acumulación de agua durante

la realización del ensayo.

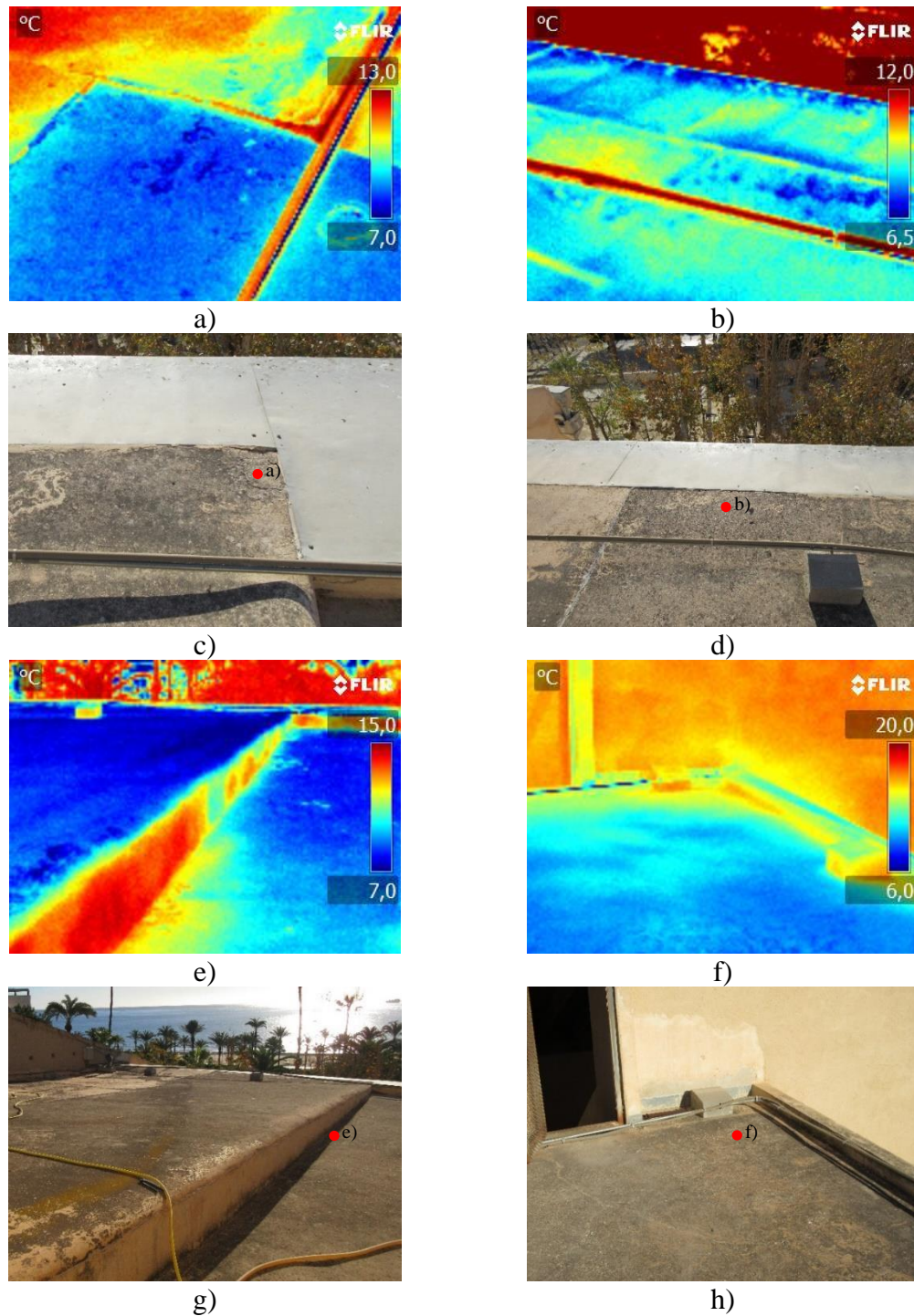


Figura 4. Termografía cubierta 2: a) Deterioro de junta perimetral, b) Detalle de fallo en junta perimetral en contacto del faldón con la fachada, c) y d) Imagen a) y b) con cámara digital, e) Detalle del extremo lateral del faldón y conexión con cubierta, f) Zona perimetral del faldón en zona de acceso a la cubierta; g) y h) Imagen e) y f) con cámara digital.

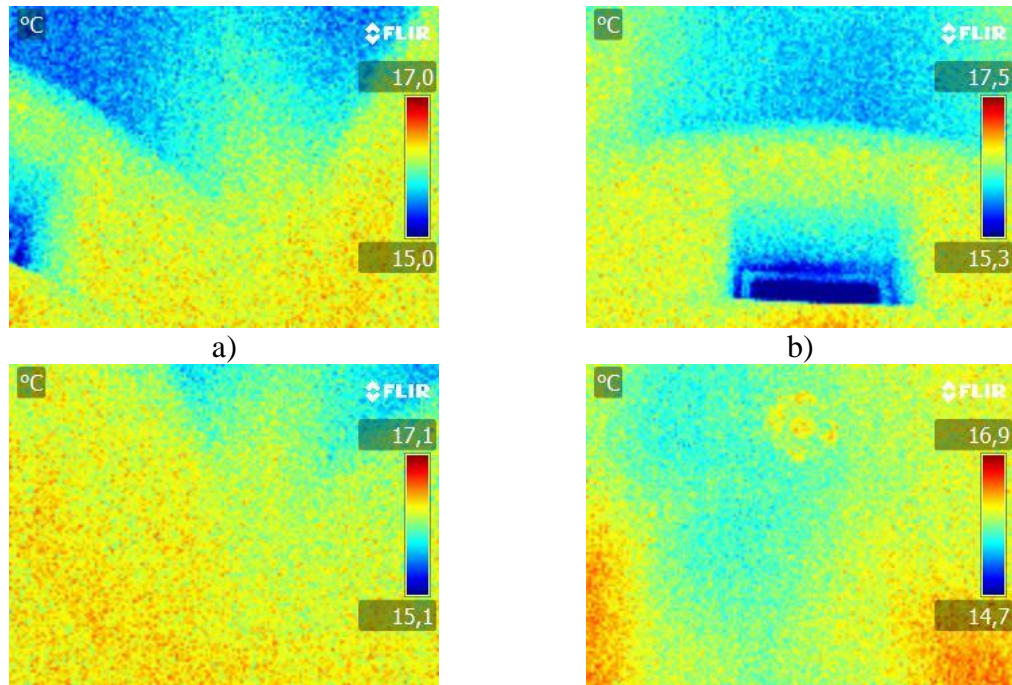


Figura 5. Termografía salas bajo cubierta 1, adyacente a la capilla de la Comunión: a) Conexión del arco toral con la fachada exterior, en zona de acceso a la capilla de la Comunión, b) Conexión fachada con cubierta en zona de ventana, c) Segunda esquina del muro de fachada, equivalente a la imagen (b), d) Vista general del a cubierta desde abajo.

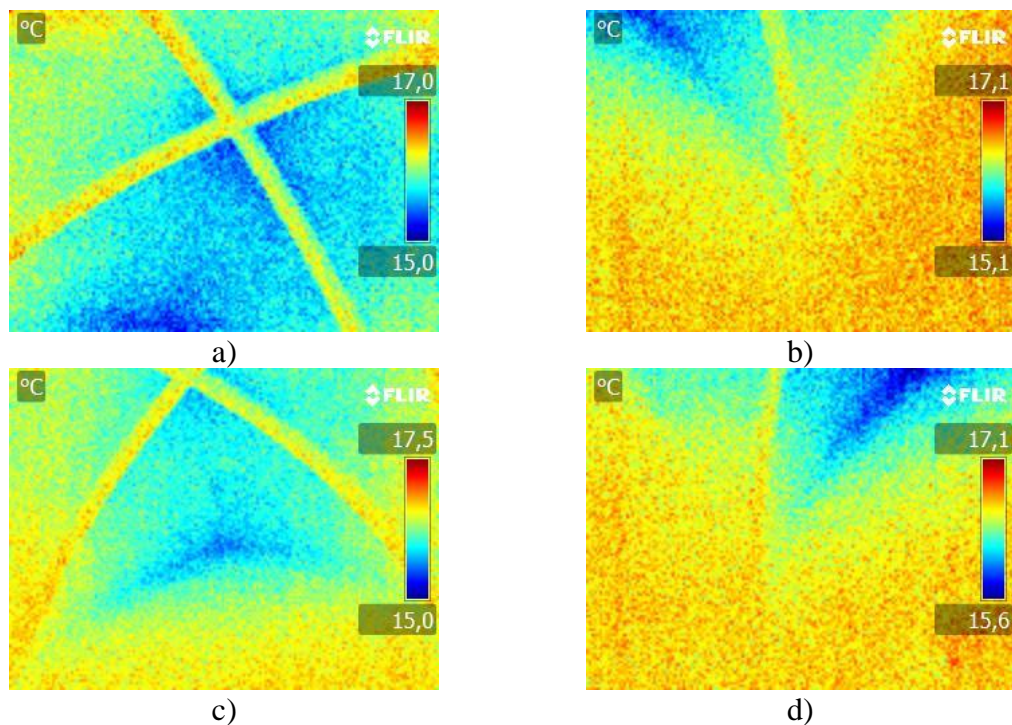


Figura 5. Termografía salas bajo cubierta 1, adyacente a la nave lateral: a) Vista general de cubierta, b) Conexión fachada con esquina lateral, c) Conexión fachada con cubierta, d) Conexión fachada con esquina lateral opuesta.

En relación al análisis por termografía realizada para la sala dispuesta en la nave lateral, adyacente a la nave central de la basílica, en la Figura 6 se muestra la distribución de las temperaturas en los diferentes puntos críticos analizados en los apartados anteriores. En primer lugar, en la Figura 6 (a), se muestra una vista inferior de la cubierta de la bóveda de arista. Puede observarse la diferencia de temperaturas entre los arcos perpiños y el resto de la plementería que conforma el techo de la bóveda. Por otro lado, en la Figura 6 (b) y 6 (d), se muestran la termografía de detalle de las esquinas de conexión entre los arcos perpiños, y los muros de fachada. Se observa un patrón de comportamiento similar a los descritos para la sala anterior, con la diferencia de la mayor temperatura del arranque de los arcos. Debe destacarse que el análisis de dichos puntos se ha realizado sin la presencia de fuentes de luz próximas ni antes ni durante la prueba, por lo que la distribución térmica es la debida al equilibrio higrotérmico entre el exterior y el interior del edificio. Finalmente, la Figura 5 (c), muestra el mismo problema de falta de aislamiento que el comentado en la sala anterior, debido a la junta de conexión entre el paramento vertical y la cubierta.

Finalmente, en relación al análisis por termografía realizada para la sala dispuesta bajo la cubierta 2, en la Figura 7 se muestra la distribución de las temperaturas en los diferentes puntos críticos analizados en los apartados anteriores. De forma general, el comportamiento térmico es muy similar a los detectados en las salas anteriores, con la salvedad de que en este caso no se ha observado una diferencia térmica tan elevada entre los puntos de la fachada interior y la cubierta. Es decir, en las Figuras 7 (a), (b), (c) y (d) se observa el detalle del contacto entre la fachada y la cubierta, observándose las filtraciones térmicas en la parte superior de la zona de la ventana, así como en la propia ventana. En la Figura 7 (e) se muestra una termografía de la parte de la cubierta correspondiente al anclaje del candelabro, donde se observa una distribución uniforme de temperaturas sin presencia de daños detectados. En las Figuras 7 (f) y (g), se observan las termografías asociadas a las figuras 7(c) y (d), pero en este caso, en la fachada opuesta a la exterior. En este caso, puede observarse las variaciones térmicas en las zonas afectadas por el calentamiento de los focos. Esto es debido a la presencia de puntos fríos en las zonas de contacto entre la pared lateral y la fachada. Dichos puntos fríos, especialmente los detectados en la Figura 7(g), están relacionados con las manchas de humedad detectadas. En dichas imágenes se muestra el agujero circular, más frío, a modo de referencia para ubicar la posición de las fotos. Es importante destacar que dichas manchas de humedad, además de estar relacionadas con la presencia de una zona fría, también están relacionadas con la presencia de una zona de acumulación de agua en la parte superior de la cubierta 2, próxima a la cúpula. En dicha zona se produce el vertido del agua recogida en la cúpula, y la falta de estanquidad lateral en el extremo del faldón, junto con el bajo nivel de ventilación presentado en la sala mostrada, provocan el aumento de la humedad, y con ello la aparición de dichas eflorescencias.

Finalmente, se debe destacar la presencia de una gotera detectada en el edificio anexo de acceso a la sala 2. Dicha gotera se presenta en el techo de la planta superior. No se ha podido detectar si la presencia de la humedad es debido a un error en la cubierta de teja, o en la propia cubierta 2. Sin embargo, por su posición geométrica está muy próxima a la posición del desagua de la cubierta, pudiendo ser un signo de falta de estanquidad del mismo.

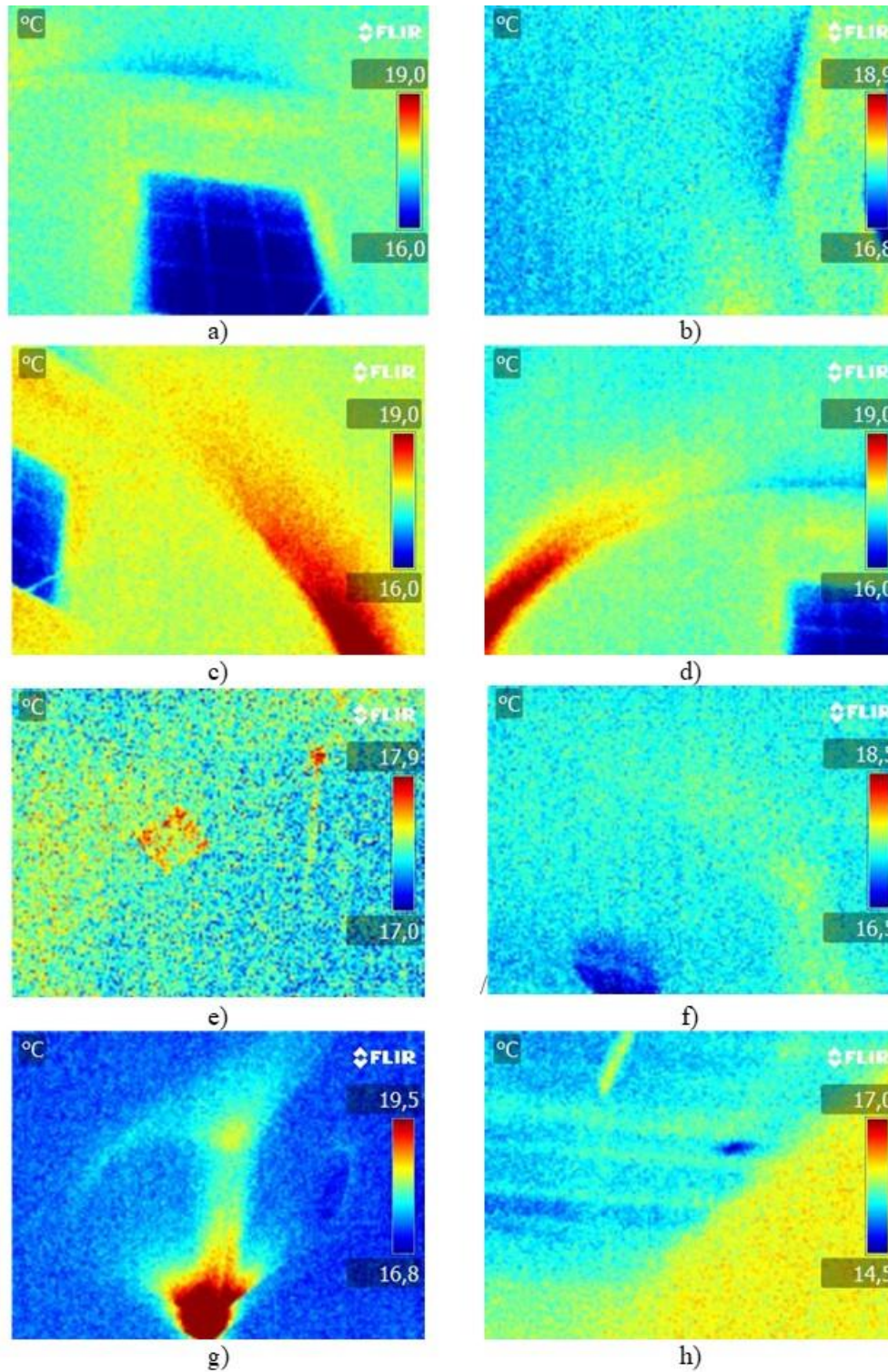


Figura 7. Termografía sala bajo cubierta 2: a) zona de ventana y forjado, b) Vista inferior de la cubierta, c) Vista conexión paramento lateral forjado, d) Vista conexión paramento lateral forjado, e) zona central de cubierta, f) Vista de muro divisorio trasero, g) Vista conexión paramento lateral y muro trasero, h) Gotera en zona de edificio anexo.

4. CONCLUSIONES

Tras la realización del estudio de valoración técnica del estado de estanquidad y el análisis de humedades de las cubiertas analizadas en la basílica de Santa María, se puede concluir que el estado actual de la cubierta no cumple las condiciones mínimas técnicas en base al estado actual de los detalles constructivos según lo dispuesto en la normativa (NBE QB-90). Asimismo, el estado de humedades y eflorescencias presentes en las zonas interiores es debido a un problema de condensación higroscópica, a causa de los aumentos de humedad por la proximidad a la zona marítima, así como la falta de ventilación de las salas interiores estudiadas. Además, esta patología se ve intensificada por los posibles problemas de filtración ocasionados durante los meses de octubre y noviembre, debido al mayor nivel de lluvias. Estas aguas se acumulan en el interior de los elementos constructivos y van eliminando el exceso de humedad por transmisión de vapor al variar las condiciones térmicas del edificio. Además, la presencia de sales marinas en edificios próximos y la elevada capacidad de absorción de los materiales estudiados, muestran un comportamiento propenso al arrastre de sales en disolución durante las épocas de lluvia que, favorece la aparición de eflorescencias, las cuales aumentan el riesgo de humedades por condensación. Por otro lado, en relación al empleo de las técnicas de análisis mediante termografía, las imágenes han permitido detallar con mayor precisión las patologías existentes, especialmente las debidas a las fugas térmicas y las zonas de acumulación de humedad, las cuales son imperceptibles durante la exploración visual. Este hecho pone de manifiesto la viabilidad del uso de la termografía para identificar patologías en edificios de mampostería que podrían estar ocultas por recubrimientos o condiciones geométricas que impidan su detección a simple vista. Además, mediante el uso de esta técnica es posible acotar de forma más precisa las superficies de reparación desde el punto de vista de una futura intervención en comparación con un análisis visual directo sin termografía tal y como comenta Barbosa (Barbosa et al, 2021).

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Obispado de Orihuela-Alicante la disponibilidad para realizar este estudio en un bien catalogado.

6. REFERENCIAS

- Barbosa, M.T.G., Rosse, V. J., Laurindo, N. G. (2021), “*Thermography evaluation strategy proposal due moisture damage on building facades*”, Journal of Building Engineering, 43, art. no. 102555, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.102555>
- Barreira, E., Almeida, R.M.S.F., Simões, M.L., Rebelo, D. (2020), “*Quantitative infrared thermography to evaluate the humidification of lightweight concrete*”, Sensors (Switzerland), 20 (6), art. no. 1664, DOI: <https://doi.org/10.3390/s20061664>
- Barreira, E., Almeida, R.M.S.F., Simões, M.L. (2021), “*Emissivity of building materials for infrared measurements*”, Sensors, 21 (6), art. no. 1961, pp. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21061961>
- Bevià García, M., Azuar Ruiz, R. (2005), “*Santa María descubierta: Arqueología, arquitectura-cerámica: Excavaciones en la Iglesia de Santa María de Alicante (1997-1998)*”. Alicante. Fundación MARQ. ISBN: 84-609-7478-2

Brotóns, V., Tomás, R., Ivorra, S., Alarcón, J.C. (2013), “*Temperature influence on the physical and mechanical properties of a porous rock: San Julian's calcarenite*”. *Engineering Geology*, 167, pp. 117-127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.10.012>

Giovannacci, D., Brissaud, D., Mertz, J.-D., Mouhoubi, K., Bodnar, J.-L. (2017), “*Nonintrusive tools to detect salts contamination in masonry: Case study of Fontaine-Chaalis church*”, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 10331, art. no. 1033103. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2269727>

Grossi, C. M. Esbert, R. M. (1994), “*Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. Revisión bibliográfica*”. *Materiales de Construcción*, Vol. 44, nº 235. DOI: <https://doi.org/10.3989/mc.1994.v44.i235.579>

Louis, M., García del Cura, M. A., Spairani, Y., de Blas. D. (2001), “*The Civil Palaces in Gravina Street, Alicante: building stones and salt weathering*”. *Materiales de Construcción*, Vol. 51, nº262. DOI: <https://doi.org/10.3989/mc.2001.v51.i262.369>

Lucchi, E. (2018), “*Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review*”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, pp. 3077-3090. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.031>

Paricio Ansuateguie, I. “*La construcción de la Arquitectura. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya*”, 1985, T.2, p. 26. ISBN: 978-84-7853-375-6

Norma Básica de la Edificación. Cubiertas con materiales bituminosos: “*NBE QB-90*”. Gobierno de España.

Ruiz Valero, L., Flores Sasso, V., Prieto Vicioso, E. (2019), “*In situ assessment of superficial moisture condition in façades of historic building using non-destructive techniques*”, *Case Studies in Construction Materials*, 10, art. no. e00228, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00228>

Silva, G. P., Batista, P. I. B., Povóas, Y. V. (2019), “*Uso de termografía infrarroja para estudiar el desempeño térmico de paredes: una revisión bibliográfica*”, *Revista ALCONPAT*, 9(2), pp. 117 – 129, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.341>

Takeda, T. Mazer, W. (2018), “*Potencial da análise termográfica para avaliar manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas*”, *Revista ALCONPAT*, 8 (1), pp. 38 – 50, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.181>

Valluzzi, M.R., Lorenzoni, F., Deiana, R., Taffarel, S., Modena, C. (2019), “*Non-destructive investigations for structural qualification of the Sarno Baths, Pompeii*”, *Journal of Cultural Heritage*, 40, pp. 280-287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.04.015>

Vijay, P.V., Tulasi Gadde, K., Gangarao, H.V.S. (2019), “*Structural Evaluation and Rehabilitation of Century-Old Masonry and Timber Buildings*”, *Journal of Architectural Engineering*, 25 (2), art. no. 05019001, DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000350](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000350)

Garrido, I., Solla, M., Lagüela, S., Fernández, N. (2020), “*Irt and gpr techniques for moisture detection and characterisation in buildings*”, *Sensors (Switzerland)*, 20 (22), art. no. 6421, pp. 1-38. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20226421>

Martínez-Garrido, M.I., Fort, R., Gómez-Heras, M., Valles-Iriso, J., Varas-Muriel, M.J. (2018), “*A comprehensive study for moisture control in cultural heritage using non-destructive techniques*”, *Journal of Applied Geophysics*, 155, pp. 36-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.03.008>

Zhang, F., Zhang, X., Li, Y., Tao, Z., Liu, W., He, M. (2018), “*Quantitative description theory of water migration in rock sites based on infrared radiation temperature*”, Engineering Geology, 241, pp. 64-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.05.006>

Thomas, c., Lombillo, I., Setién, J., Polanco, J. A., Villegas, L. (2008), “*Absorción por capilaridad y consolidación de materiales pétreos del patrimonio histórico construido impermeabilizados y reforzados con productos hidrofugantes y consolidantes comerciales*”. Tecnología de la rehabilitación y la gestión del patrimonio construido (REHABEND). ISBN: 978-84-692-5650-3.

UNE EN 13187 (1998). “*Prestaciones térmicas de edificios. Detección cualitativa de irregularidades en cerramientos de edificios. Método de infrarrojos*”. Asociación Española de Normalización.