

Organizers:



REHABEND 2016

Euro-American Congress

CONSTRUCTION PATHOLOGY, REHABILITATION TECHNOLOGY AND HERITAGE MANAGEMENT

Burgos (Spain) - May 24th-27th, 2016

Sponsor entities:



REHABEND 2016

**CONSTRUCTION PATHOLOGY, REHABILITATION TECHNOLOGY AND
HERITAGE MANAGEMENT**

(6th REHABEND Congress)

Burgos (Spain), May 24th-27th, 2016

PERMANENT SECRETARIAT:

UNIVERSITY OF CANTABRIA

Civil Engineering School

Department of Structural and Mechanical Engineering

Building Technology R&D Group (GTED-UC)

Avenue Los Castros s/n 39005 SANTANDER (SPAIN)

Tel: +34 942 201 738 (43)

Fax: +34 942 201 747

E-mail: rehabend@unican.es

www.rehabend.unican.es

REHABEND 2016

ORGANIZED BY:



UNIVERSITY OF CANTABRIA (SPAIN)
www.unican.es // www.gted.unican.es



UNIVERSITY OF BURGOS (SPAIN)
www.ubu.es

CO-ORGANIZERS ENTITIES:



UNIV. ARGENTINA JOHN F. KENNEDY (ARGENTINA)



UNIV. ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUIDA FILHO" (BRAZIL)



UNIVERSIDAD AUSTRAL (CHILE)



TECNALIA (SPAIN)



UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO (SPAIN)



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA (SPAIN)



POLITÉCNICO DI BARI (ITALY)



UNIV. MICHOACANA SAN NICOLÁS HIDALGO (MEXICO)



UNIV. NACIONAL AUTÓNOMA (MEXICO)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA (PERU)



UNIVERSIDADE DE AVEIRO (PORTUGAL)



UNIV. DE LA REPÚBLICA (URUGUAY)



UNIVERSITY OF MIAMI (USA)

CONFERENCE CHAIRMEN:

LUIS VILLEGAS
JUAN MANUEL MANSO

CONGRESS COORDINATORS:

IGNACIO LOMBILLO
JOSÉ MANUEL GONZÁLEZ
JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ
HAYDEE BLANCO
YOSBEL BOFFILL

EDITORS:

LUIS VILLEGAS
IGNACIO LOMBILLO
HAYDEE BLANCO
YOSBEL BOFFILL

INTERNATIONAL SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE:

HUMBERTO VARUM – UNIVERSITY OF AVEIRO (PORTUGAL)
PERE ROCA – TECHNICAL UNIVERSITY OF CATALONIA (SPAIN)
ANTONIO NANNI – UNIVERSITY OF MIAMI (USA)

The editors do not assume any responsibility for the accuracy, completeness or quality of the information provided by any article published. The information and opinion contained in the publications are solely those of the individual authors and do not necessarily reflect those of the editors. Therefore, we exclude any claims against the author for the damage caused by use of any kind of the information provided herein, whether incorrect or incomplete.

The appearance of advertisements in this Scientific Publications (Printed Abstracts Proceedings & Digital Book of Articles - REHABEND 2016) is not a warranty, endorsement or approval of any products or services advertised or of their safety. The Editors do not claim any responsibility for any type of injury to persons or property resulting from any ideas or products referred to in the articles or advertisements.

The sole responsibility to obtain the necessary permission to reproduce any copyright material from other sources lies with the authors and the REHABEND 2016 Congress can not be held responsible for any copyright violation by the authors in their article. Any material created and published by REHABEND 2016 Congress is protected by copyright held exclusively by the referred Congress. Any reproduction or utilization of such material and texts in other electronic or printed publications is explicitly subjected to prior approval by REHABEND 2016 Congress.

ISBN: 978-84-608-7940-4 (Printed Book of Abstracts)

ISBN: 978-84-608-7941-1 (Digital Book of Articles)

Recorded by Serigrafías Serimar, S.A.

1	7	14	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO EVAPORATIVO DE LA ERMITA DEL HUMILLADERO (AVILA, ESPAÑA) MEDIANTE TÉCNICAS DE AUSCULTACIÓN HIGROTÉRMICA <i>Lopez Gonzalez, Laura; Otero Ortiz de Cosca, Raquel; Garcia-Morales, Soledad Gomez-Heras, Miguel; Sanz Arauz, David</i>	790
1	7	17	DETECCIÓN DE ANOMALÍAS DEL HORMIGÓN CONSTRUIDO A PARTIR DE IMAGEN <i>Núñez Andrés, María Amparo; Buill Pozuelo, Felipe; Regot Marimón, Joaquín; Corso Sarmiento, Juan</i>	798
1	7	18	IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN EDIFICACIONES TRADICIONALES DE VIVIENDAS CON ESTRUCTURA DE OBRA DE FÁBRICA MEDIANTE MEDICIÓN DE VIBRACIONES <i>Vázquez-Vicente, Enrique, Sánchez, J., Rodríguez-León, M.T.</i>	807
1	7	20	ESTUDIOS MORFOLÓGICOS Y FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CAL DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO <i>Aulet, Alina; Cetrangolo, Gonzalo; Domenech, Leandro; Romay, Carola; Sabalsagaray, Stela; Dalchiele, Enrique; Morquio, Atilio</i>	816
1	7	21	FICHA DE EVALUACIÓN DE DAÑOS EN BIENES CULTURALES AFECTADOS POR SISMO <i>Martínez Ríos, Carmen; Spairani Berrio, Yolanda; Huesca Tortosa, José Antonio</i>	825
1	7	22	UTILIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE GEORRADAR SIN CONTACTO PARA EL ANÁLISIS DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE LA IGLESIA DE SAN NICOLÁS DE VALENCIA <i>Gosalbez Castillo Jorge; Bosch Roig Ignacio</i>	833
1	7	25	ESTUDOS PARA A DETERMINAÇÃO DE ESFORÇOS RESISTENTES DE CÁLCULO PARA BARRAS FLETIDAS DE MADEIRA <i>Prates, Marcus Vinicius Sousa; Oliveira Neto, Luttgardes; Faria, Obede Borges</i>	841
1	7	26	EVALUATION OF THE STRUCTURAL INTEGRITY OF A STRUCTURAL MASONRY PROJECT <i>Filho, José Carlos de Carvalho Fontes; Pantoja, João da Costa; Narváez, Nathaly Sarasty</i>	849
1	7	29	LA VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACIÓN MEDIANTE METODOLOGIAS PROBABILISTAS EXPLICITAS. CONSIDERANDO EL CARÁCTER ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS ACCIONES <i>Mosquera Rey, Emilio R., Pérez Valcárcel, Juan B.</i>	855
1	7	31	MONITORIZACIÓN DE LAS CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES DURANTE LA RESTAURACIÓN DE LA IGLESIA DE SAN NICOLÁS <i>Vivó Soria, Enrique; Bosch-Roig, Pilar; Marcenac, Valeria; Montes Estellés, Rosa M^a; Roig Picazo, Pilar</i>	864
1	7	32	STRUCTURAL ASSESSMENT AND RESTORATION OF AN ANCIENT EGYPTIAN TEMPLE <i>Hamdy Gehan</i>	876
1	7	33	NUMERICAL INVESTIGATION OF STRENGTHENED VAULTED MASONRY STRUCTURES <i>Hamdy, Gehan; Kamal, Osama; El-Hariri, Mohamed; El-Salakawy, Tarik</i>	884
1	7	34	CARACTERIZAÇÃO DE PAREDES RESISTENTES DE ALVENARIA ANTIGA <i>Marques, Ana Isabel; Candeias, Paulo Xavier; Ferreira, João Gomes; Veiga, Maria do Rosário</i>	892
1	7	36	SEISMIC VULNERABILITY ASSESSMENT OF A CULTURAL HERITAGE CASTLE <i>Perrone, Daniele; Cascardi, Alessio; Leone, Marianovella; Micelli, Francesco; Aiello, Maria Antonietta</i>	901
1	7	38	DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA DO EDIFICADO EXISTENTE EM BETÃO ARMADO <i>José Silva; Tiago Ferreira; Hugo Rodrigues; Romeu Vicente; Anibal Costa</i>	910
1	7	43	MONITORIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS ABÓBADAS DA CAPELA DOS OSSOS DURANTE O ENSAIO DE CARGA <i>Costa, Aníbal; Rodrigues, Hugo; Fonseca, Jorge; Varum, Humberto</i>	919
1	7	44	MAPEAMENTO E INVESTIGAÇÃO DA INTEGRIDADE FÍSICA DO EDIFÍCIO – CATEDRAL METROPOLITANA DE SÃO SEBASTIÃO, BRASIL <i>Fonseca de Almeida, Maisa; Pereira, Danilo J.</i>	926
1	7	46	ONSITE INVESTIGATION AND DAMAGE ASSESSMENT OF ARTIFICIAL STONE STRUCTURAL COMPONENTS <i>De Fino, Mariella; Scioti, Albina; De Tommasi, Giambattista, Fatiguso, Fabio</i>	934
1	7	47	REFORZAMIENTO DE VIVIENDAS DE ADOBE EN ZONAS SÍSMICAS <i>Saldivar, Mary; Garino, Lucas; Navarta, Gustavo; Albarracin, Osvaldo</i>	943
1	7	48	ANÁLISIS DE DAÑO EN ESTRUCTURAS DE TAPIAL SOMETIDAS A CARGAS SÍSMICAS <i>Gallego, Rafael; Arto, Ignacio</i>	952

CODE 1.7.31**MONITORIZACIÓN DE LAS CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES DURANTE
LA RESTAURACIÓN DE LA IGLESIA DE SAN NICOLÁS****Vivó Soria, Enrique¹; Bosch-Roig, Pilar²; Marcenac, Valeria³; Montes Estellés,
Rosa M⁴; Roig Picazo, Pilar⁵**

1: Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio (IRP) (colaborador externo)
Universitat Politècnica de València (UPV); e-mail: quiquevivo@ono.com; web: <http://www.upv.es>

2: UPV, IRP
e-mail: pboschroig@gmail.com

3: UPV, IRP
e-mail: marceval@pra.upv.es

4: UPV, CAMA
e-mail: rmontes@btc.upv.es

5: UPV, IRP
e-mail: proig@crbc.upv.es

PALABRAS CLAVE: Monitorización termohigrométrica, psicrometría, partículas en suspensión, microorganismos en el aire.

RESUMEN

En el marco de la restauración de las pinturas murales y revestimiento ornamental de la nave central de la Iglesia Parroquial de San Nicolás Obispo y San Pedro Mártir de Valencia, se propone una metodología de intervención que contempla tanto la estricta intervención restaurativa como los pertinentes trabajos de apoyo, control y definición de pautas de conservación del conjunto intervenido.

El presente artículo expone la metodología empleada y los primeros resultados de la monitorización de las condiciones medioambientales, que comprende la toma de datos termo-higrométricos, partículas en suspensión y del nivel de microorganismos presentes en el aire.

Para ello se dispone de un sistema de control centralizado con sensores combinados de temperatura y humedad relativa ambiental y de temperatura superficial, situados a lo largo de la nave principal y en el exterior. Con este sistema se pretende la observación en un período anual de las variaciones de la temperatura y humedad relativa en los diferentes espacios que componen el edificio, así como sobre las superficies pictóricas. El sistema permite la obtención y transmisión de datos en tiempo real.

Paralelamente se realiza muestreo trimestral (para determinar las variaciones estacionales) de los contaminantes atmosféricos, para el control de la evolución de las partículas en suspensión y microorganismos presentes en el aire, en el ambiente interior de la iglesia.

Esta investigación microclimática pretende caracterizar la evolución y tendencias de parámetros psicrométricos en el ambiente objeto de estudio, y poner en relación estos datos con la evolución de las partículas en suspensión y actividad microbiológica en el aire.

Este conjunto de sistemas de control permiten por un lado la monitorización de la restauración, y por otro lado la realización de una estrategia de conservación preventiva que permitirá prolongar en el tiempo los resultados de la presente restauración.

1. INTRODUCCIÓN

La degradación es un proceso acumulativo y progresivo en la naturaleza, y cualquier perturbación ambiental ayuda a acelerar este proceso. El progresivo envejecimiento del objeto y la alteración de sus propiedades físico-químicas, es a veces imperceptible para el ojo humano. Las mismas causas pueden producir diferentes efectos dependiendo del tipo de objeto, sus materiales y antecedentes. En ausencia de sistemas de control ambiental activos, el clima natural se determina por la interacción entre el objeto, la envolvente (edificio), los usos y el medio ambiente externo. Gran parte del patrimonio cultural europeo y en concreto el español, se encuentra en edificios históricos que contienen valiosas obras de arte, constituyendo el propio edificio una de ellas. Por lo tanto se hace necesario que la monitorización de los parámetros ambientales se realice sobre el conjunto general del edificio.

Es oportuno, por lo tanto, para una correcta valoración de la evolución del fenómeno, una medición continua en el tiempo. Por ello la investigación microclimática debe ser realizada por lo menos a lo largo de todo un año, de manera que se puedan medir las variaciones termohigrométricas que tienen lugar a lo largo de los meses y durante el cambio de las estaciones. La evolución del fenómeno de interacción entre ambiente y obra depende también de la especial geometría del edificio, de la distribución de los lugares (ambientes cerrados, semicerrados, criptas, grandes espacios abovedados, etc.) y de los usos, atendiendo al número de ocupantes, a la apertura de puertas y ventanas, etc. Por lo tanto, para caracterizar el comportamiento general del ambiente es necesario que la medición continua de los parámetros se realice en varios puntos elegidos oportunamente (1).

El microclima engloba múltiples factores como el agua, la temperatura, la contaminación, etc. Los factores climáticos determinan la presencia de microorganismos potencialmente causantes de biodeterioro (2).

El agua es imprescindible para la supervivencia de los seres vivos y por eso limita su crecimiento, pero existen diferentes microorganismos con necesidades de agua muy distintas y algunos toleran la desecación (3).

Los principales agentes causantes del biodeterioro de las obras de arte son: bacterias y hongos. Afectan a todo tipo de materiales, principalmente a aquellos que poseen sustancias orgánicas que les sirven de nutrientes. Producen cambios de color, manchas, pérdida de resistencia de los materiales, corrosión de metales y pudrición de la madera (4, 5).

El límite de humedad relativa generalmente citado para evitar el crecimiento de los hongos es el 65%. Por debajo de este límite, los hongos no crecerán, independientemente de la temperatura. Con niveles altos de HR, por ejemplo del 85%, los hongos probablemente aparecerán en menos de una semana. Pero es muy difícil predecir lo que sucederá en condiciones intermedias, entre 60% y 70% de HR y con diferentes temperaturas, si no es en base a experiencias en campo, analizando los parámetros ambientales de temperatura, humedad, contaminación, deposición de partículas, etc.

Otro importante factor relacionado con el microclima y el deterioro del patrimonio consiste en la deposición de partículas del aire. Las partículas en suspensión son una mezcla compleja de sustancias de distinta composición química y de diversa naturaleza física (suspensiones de sólidos o gotas de líquido) que presentan un tamaño variable que oscila desde 0,005 a 100µm. Los elementos que pueden encontrarse en las partículas son sumamente heterogéneos: carbón, hidrocarburos, sílice, sulfato de amonio, nitratos, metales como el plomo, hierro, aluminio o cadmio, polen, microorganismos, dioxinas, plaguicidas, etc.

En general, las partículas más pequeñas tienen en su composición elementos más tóxicos (como metales pesados) y con efectos adversos sobre la salud ya que son las que pueden llegar a los alveolos pulmonares. Estas partículas denominadas partículas totales en suspensión (TSP) agrupan las partículas con diámetro desde menos de 0,1 micras a 50 micras, ya que las de tamaño superior se depositan por gravedad. Las TSP se expresan como PM, materia particulada con un subíndice que hace referencia al

diámetro de partícula, en peso de partículas por volumen de aire (mg/m^3 o $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cuanto mayor es el tamaño de las partículas, menor es el tiempo que permanecen suspendidas en el aire y menores son las distancias capaces de recorrer. Las partículas mayores de 10 micras caen rápidamente cerca de la fuente que las produce; las partículas PM10 (con diámetro ≤ 10 micras) pueden permanecer suspendidas durante horas y viajar desde 100 metros a 40 kilómetros mientras que las partículas PM2,5 (con diámetro $\leq 2,5$ micras) pueden permanecer en el aire durante semanas y son capaces de trasladarse cientos de kilómetros, desplazándose con las corrientes de aire y penetrando en el interior de los locales a través de los sistemas de ventilación.

Las principales fuentes de partículas en el exterior son el tráfico rodado, especialmente los vehículos diesel, procesos industriales, incineradoras, canteras, minería, emisiones de chimeneas, calefacciones de carbón... También el polvo procedente de las labores agrícolas, de la construcción de carreteras, o del paso de vehículos por caminos sin asfaltar son otras fuentes importantes de partículas. Por otra parte, se encuentran presentes en casi todos los ambientes interiores procedentes fundamentalmente de aparatos de combustión y del humo del tabaco. También pueden tener un origen biológico, como polen, esporas, bacterias y hongos. Normalmente, la mayor parte de las partículas de origen antropogénico están en el rango de 0,1 a 10 μ .

La existencia de gradientes termohigrométricos entre el soporte de la pintura mural y el aire ambiente, es causa directa e indirecta del proceso microfísico que puede aumentar notablemente la deposición de partículas. Entre los mecanismos que rigen este fenómeno cabe destacar: Deposición de partículas debido al movimiento browniano: causado por la colisión entre las partículas y las moléculas que componen el aire ambiente en el que se encuentran; Termofóresis: ligado a los gradientes de temperatura que implican el transporte de partículas hacia la superficie del paramento (pintura mural) o el alejamiento del mismo, dependiendo de si el nivel térmico de la superficie está por encima o por debajo del nivel del aire ambiente; Deposición en presencia de gradientes de humedad específica (dHs/dx): causados por la adsorción de vapor sobre el material poroso de la pintura mural debido a la condensación en los microporos ($dHs/dx > 0$) o, por el contrario, el desprendimiento de vapor por evaporación en los microporos ($dHs/dx < 0$); Deposición inercial: se materializa cuando las fuerzas inerciales de las partículas son mayores que las fuerzas viscosas del aire que las transporta; Fuerza gravitatoria: actúa sobre todas las partículas, pero en un fluido estas fuerzas son (parcialmente) contrarrestadas por el arrastre viscoso; y Electroforesis; una característica de ambientes secos, donde las partículas cargadas moviéndose en un campo electro-estático son atraídas hacia una superficie y se adhieren a ella (6).

El objetivo de esta investigación es caracterizar la evolución y las tendencias de los parámetros psicrométricos, así como la evolución de las partículas en suspensión y actividad microbiológica del ambiente interior de la Iglesia Parroquial de San Nicolás Obispo y San Pedro Mártir de Valencia.

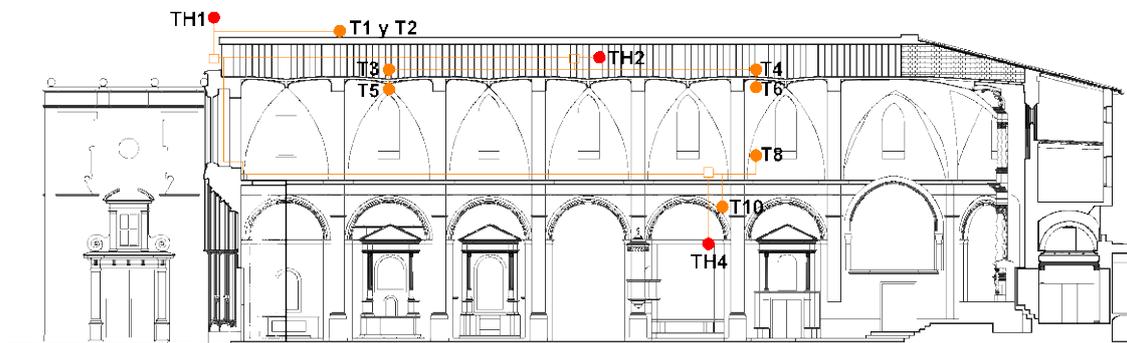
2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Control termohigrométrico

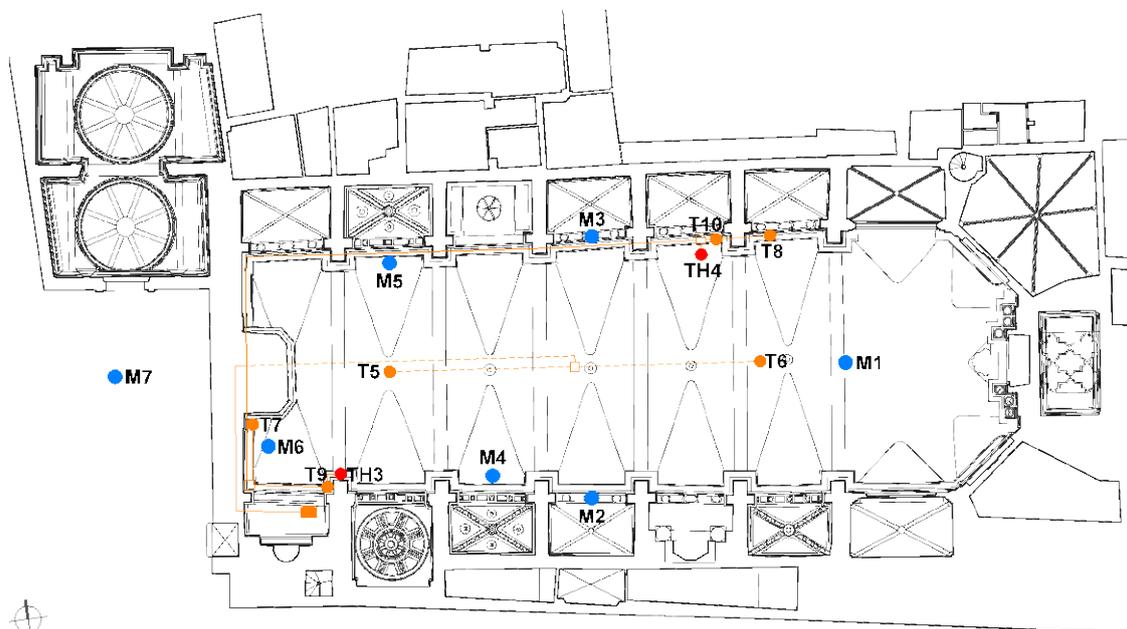
Estos estudios se enmarcan en el conjunto de los trabajos de apoyo, seguimiento y control de la restauración de las Pinturas Murales, Esculturas y Revestimiento Ornamental de la nave central de la iglesia de San Nicolás (7). Para realizar la labor de toma de datos y seguimiento de las diferentes variables en la Iglesia de San Nicolás durante los años 2014 y 2015, se dispone de un total de 18 sensores conectados (figura 1), registrando información con una cadencia de 15 minutos. Esta cadencia de lectura y almacenamiento se estima suficiente para el análisis que posteriormente se realizará de las fluctuaciones tanto de amplitud como de velocidad de cambios ambientales.

Los parámetros seleccionados de medición automática son la temperatura, tanto ambiental como superficial, y la humedad relativa. También se procede a la obtención de parámetros derivados de los fundamentales, tales como humedad específica (W), temperatura de rocío (Tr), distancia al punto de rocío (DPR), etc. En el diseño de la instalación y fabricación de los sensores se ha prestado especial

atención a su localización y características (dimensiones, peso, materiales empleados...), así como al sistema de adhesión, sobre todo en las superficies pictóricas, evitando que se produjeran daños sobre estas superficies y a su vez buscando que tuviesen la menor presencia posible.



SECCIÓN LONGITUDINAL DE LA NAVE CENTRAL · ALZADO INTERIOR NORTE



PLANTA CENTRAL DE LA IGLESIA DE SAN NICOLÁS

- Localización de las sondas de captación de datos termo-higrométricos del ambiente (TH)
 - Localización de los puntos de toma de muestras de aire para el control de la contaminación microbiológica y el control de partículas en suspensión (M)
 - Localización de las sondas de captación de temperatura superficial (T)
 - Centralita de Control
 - Controlador ModBus
- (Se omite la localización de puntos situados en andamio por tratarse de una estructura que se desplaza según las fases de obra)

Figura 1. Planos de la instalación de control termohigrométrico y localización de puntos de toma de muestras de aire. (Levantamiento planimétrico: Arq. C. Campos. Diseño Instalación: Equipo de trabajo del IRP-UPV).

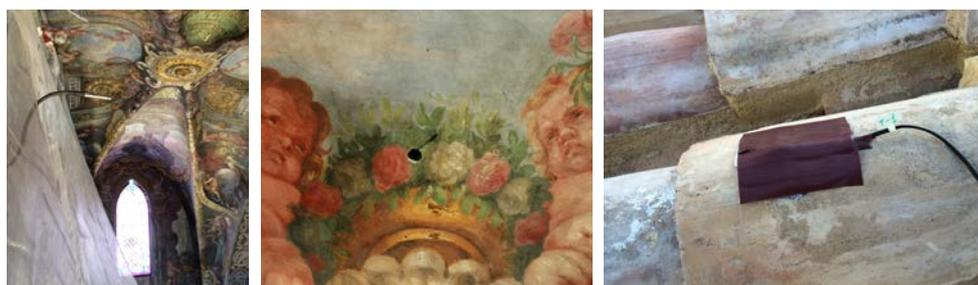


Figura 2. Sensor combinado de Tª y HR en bóveda zona central (izquierda). Sensor de Tª superficial en fresco (centro). Sensor de Tª superficial en teja de cubierta (derecha).

2.2 Control de micrororganismos del aire

El control de la contaminación microbiológica del aire del ambiente interior y exterior de la iglesia se ha realizado mediante la utilización del equipo S.A.S (Surface Air System pbi) SUPER 100/180. Dicho equipo aspira un caudal de aire controlado, permitiendo un estudio cuantitativo, este caudal de aire impacta sobre la superficie de placas petri con medios de cultivo específicos para el aislamiento de microorganismos. El flujo de aire aspirado utilizado en el SAS fue de 100L.

Los medios de cultivo selectivos empleados fueron: Agar Sabouraud con cloranfenicol para el recuento de hongos y Agar Plate count para el recuento de bacterias. Una vez tomadas las muestras fueron incubadas en estufas a 28° C, durante 5-7 días para hongos y levaduras y 3 días para bacterias.

Una vez finalizada la incubación se han contado las colonias de hongos y bacterias crecidas y se han expresado los resultados como Unidades formadoras de colonias por m³ de aire (UFC/m³).

El control de la contaminación microbiológica del aire se ha realizado mensualmente. Se seleccionaron 17 puntos de toma de muestras de aire: 6 puntos en la planta baja, 8 puntos en el andamio y 3 puntos en el exterior de la iglesia (ver figura 1).

Para el correcto cálculo de resultados se ha realizado la conversión del número de colonias obtenidas en las placas Petri a Unidades Formadoras de Colonias (U.F.C.)/m³ mediante la tabla de corrección estadística de Feller. Esta conversión se ha realizado, ya que existe la posibilidad de que varios microorganismos entren por el mismo orificio en la tapa perforada del SAS, posibilidad que aumenta a medida que existen más microorganismos en el ambiente a muestrear.

2.3 Control de las partículas en suspensión

El control de las partículas en suspensión se realizó mediante un Contador de Partículas móvil: Airy Technology P311. Este equipo es capaz de muestrear simultáneamente y en función del tiempo la presencia de partículas de tres tipos de tamaño diferente: 0,3 µm/m³; 0,5 µm/m³ y 5,0 µm/m³. Este control se ha realizado mensualmente, mediante la toma de muestras en 17 puntos (los mismos que en el control microbiológico del aire): 6 puntos en la planta baja, 8 puntos en el andamio y 3 puntos en el exterior de la iglesia (ver figura 1).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Control termohigrométrico

Para establecer los límites o rangos de variables ambientales a fin de evitar los riesgos sobre los bienes culturales, la tendencia actual desaconseja aplicar estándares establecidos y aplicados durante muchos años (5, 6). Los estándares deben dirigirse a los métodos de trabajo utilizados, como por ejemplo establecen normas europeas específicas de conservación del Patrimonio Cultural, ya en la normativa española (UNE-EN 15757:2011, UNE-EN 15758:2011, UNE-EN 15886:2011), o la norma italiana UNI 10829:1999. Las especificaciones de temperatura y humedad relativa son más flexibles en estas normas, como sucede también con los grados de control climático del ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers). Estas nuevas normativas y/o recomendaciones suponen el reconocimiento de que los objetos (obras de arte) tienen un rango dentro del cual toleran las fluctuaciones sin daño (8).

Para la evaluación del riesgo de los elementos ornamentales en general, se han empleado los grados de control climático de ASHRAE que son B y C más específicos para edificios históricos; y los AA y A con exigencias más estrictas, correspondientes a controles de precisión en museos, archivos y bibliotecas, con sistemas activos de acondicionamiento de aire. El grado B permite a corto plazo fluctuaciones de ±10% HR y ±5°C, sin elevar la temperatura por encima de 30°C, siendo ésta tan baja como sea necesario para mantener la HR. En la figura 3 podemos observar la zona de seguridad “B”

sombreada, lo que supone un bajo riesgo para la mayoría de las pinturas del interior de la iglesia, ya que las máximas oscilaciones horarias cumplen con este requisito. El grado C permite rangos de HR dentro de 25-75%, y de temperatura generalmente por encima de 25°C y raramente por encima de 30°C. En la figura 4 se comprueba cómo en la iglesia se respetan las limitaciones de HR mientras que durante un 40.48% del tiempo anual se alcanzan valores de temperatura por encima de 25°C y un 6.5% del tiempo anual se alcanzan valores superiores a 30°C (zona de riesgo “R”). Este grado C reconoce la existencia de un potencial daño microclimático incontrolado, que puede prevenirse simplemente evitando excesos de humedad (9).

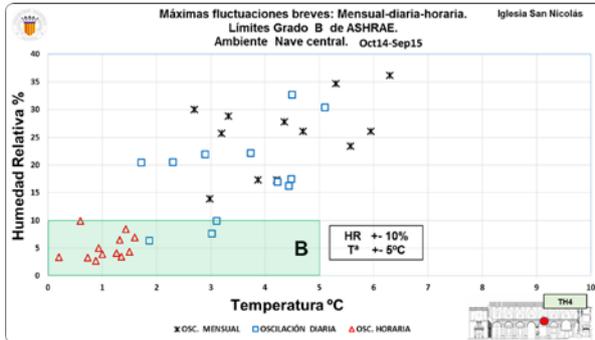


Figura 3. Zona segura (B) de máximas fluctuaciones de Tª y HR siguiendo los Límites grado B de ASHRAE.

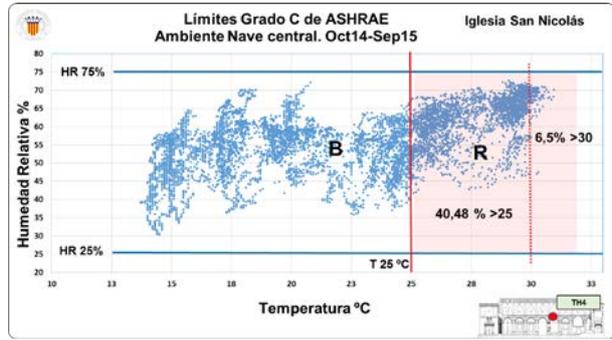


Figura 4. Porcentajes zona de riesgo (R) siguiendo los Límites grado C de ASHRAE.

En particular para evaluar las condiciones favorables para el crecimiento biológico emplearemos análisis mediante gráficas de nube de puntos y de evolución mensual de los valores de temperatura y humedad relativa del ambiente interior de la iglesia, en el periodo junio 2014 a septiembre 2015 (figura 5). Esta figura muestra cómo los periodos estivales son las épocas donde los dos factores determinantes (>65% y >25°C) presentan sus zonas de riesgo “R”. Con la nube de puntos de estos valores (figura 6) se obtienen los porcentajes temporales de niveles de riesgo. En este caso un 15.31% del tiempo (correspondiente al periodo estival) nos encontramos en esta situación.

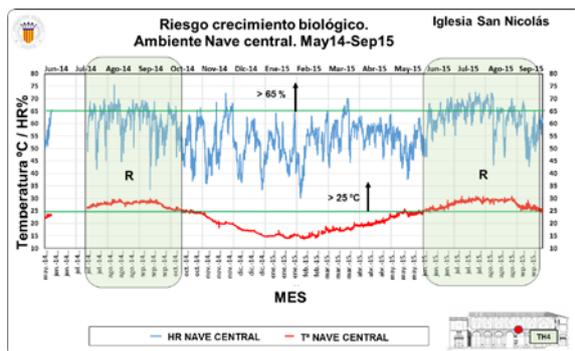


Figura 5. Evolución mensual de temperatura y HR ambientales. Zonas de riesgo (R) de crecimiento biológico (sombreado en verde).

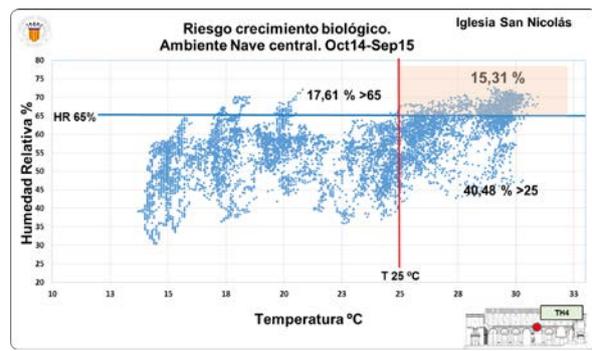


Figura 6. Porcentaje temporal de riesgo de crecimiento biológico (zona sombreada naranja).

En el caso de la iglesia de San Nicolás, el uso del templo tiene peculiaridades que definen de forma específica la evolución del microclima interior. En las siguientes gráficas se puede observar la evolución diaria de la humedad específica Hs del ambiente interior y exterior (expresada en g de agua por Kg de aire seco). La figura 7 (izquierda) representa el día lunes 12.01.2015, donde se observa claramente el considerable aumento de la Hs interior, coincidente con la apertura del templo y la afluencia masiva de feligreses (400 personas a la hora), tanto en periodo de mañana como de tarde. Este efecto solamente se

produce los lunes, debido al culto de esta iglesia, manteniendo unos niveles totalmente estables cualquier otro día de la semana, por ejemplo el día martes 13.01.15 (figura 7, derecha). Esta afluencia masiva de feligreses no sólo incrementa los niveles de humedad, también afecta a la temperatura y al aporte de contaminantes (polvo, fibras textiles, CO₂, etc.), tanto por apertura constante de puertas como de los propios visitantes (10).

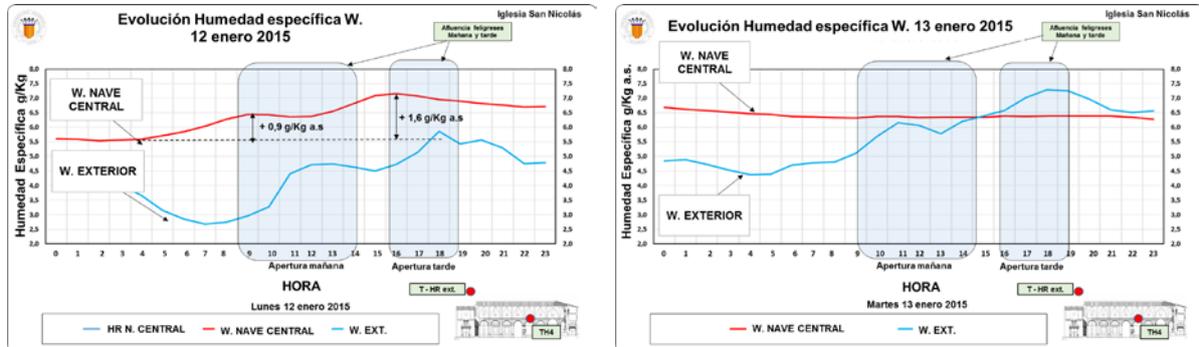


Figura 7. Aporte de humedad específica al ambiente de un “lunes de San Nicolás” (izquierda) vs día normal (derecha).

El riesgo de deposición de partículas sobre las superficies, y sobre el fresco en concreto, viene determinado por la combinación de los factores físicos descritos en la introducción. En el caso de la iglesia de San Nicolás, el aire caliente (más rico en vapor, y por lo tanto más ligero) tiende a elevarse y a estratificar en planos horizontales por debajo de la bóveda, y el aire frío tiende a descender y estratificar cerca del suelo.

En un ambiente cerrado, el perfil de temperatura vertical siempre presenta una cierta estabilidad, reduciéndose la turbulencia y los movimientos convectivos, reduciendo el transporte de partículas y en consecuencia minimizando los procesos de deposición. La estabilidad deja paso a multitud de flujos de aire con la afluencia de feligreses, acompañada de la apertura de las puertas y ventanas, el encendido de las luces que son fuentes de calor, generando movimientos convectivos y el aporte de nuevos contaminantes y humedad, como hemos señalado anteriormente.

En la gráfica de la figura 8 se muestra la evolución de las temperaturas superficiales del fresco, relacionadas con el ambiente de la bóveda y el punto de rocío. Se observa como la tendencia de la temperatura superficial sigue de cerca a la ambiente, con diferencias de alrededor de 2-3°C en el periodo primaveral y de 1-2°C en verano. Es en el periodo primaveral cuando se acentúan los riesgos tanto de deposición de partículas (en este caso por termofóresis), y de menores distancias de la temperatura superficial de los frescos respecto al punto de condensación (figura 9).

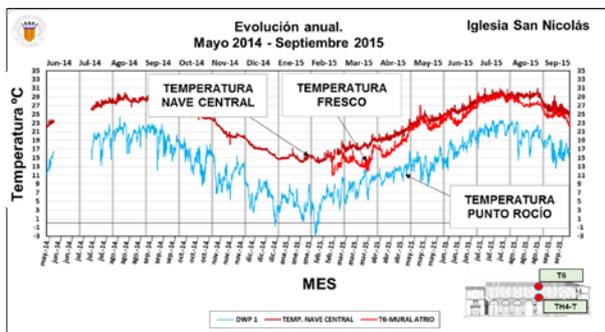


Figura 8. Evolución de T^a ambiental, superficie del fresco y de punto de rocío. May14-sep15.

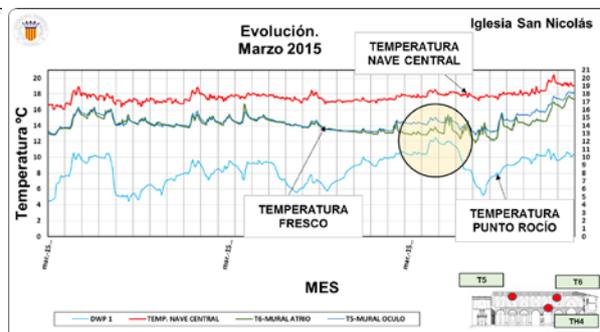


Figura 9. Evolución de T^a ambiental, superficie del fresco y de punto de rocío. Marzo 2015

3.2 Control de microorganismos del aire

Los valores menores de microorganismos se observan en el mes de julio para el exterior de la iglesia (70 UFC/m³ para hongos y 167 UFC/m³ para bacterias), mientras que en el interior de la iglesia los valores menores se obtuvieron en el mes de marzo (65 UFC/m³ para hongos y 213 UFC/m³ para bacterias) para la zona de la planta baja; y en la zona del andamio en el mes de marzo para hongos (38 UFC/m³) y en el mes de julio para bacterias (138 UFC/m³).

Respecto a los valores más elevados de microorganismos, los obtenemos en abril para el exterior de la iglesia (250 UFC/m³ para hongos y 900 UFC/m³ para bacterias) y para el andamio (290 UFC/m³ para hongos y 540 UFC/m³ para bacterias). Mientras que para la planta baja los obtenemos en el mes de junio para hongos (368 UFC/m³) y en el mes de julio para bacterias (630 UFC/m³).

No existe legislación ni normativa sobre límites en los niveles de hongos y bacterias en el interior de iglesias y monumentos. Tan sólo se dispone de recomendaciones y normas internacionales para otros ambientes interiores, por lo que los resultados se pueden comparar con esas recomendaciones. Según *la Norma UNE 100012:2005 de higienización de sistemas de climatización*, “el valor recomendado de aire en ambiente interior, de flora microbiana mesófila total en aire ambiente debe ser menor de 800 UFC/m³”.

La Nota Técnica de Prevención *NTP 409 de 1996 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, recomiendan valores de hongos en el aire menores de 100 UFC/m³. Según estas recomendaciones, los resultados obtenidos de microbiota mesófila total en aire ambiente en la mayoría de los casos están por debajo de las recomendaciones, encontrando sólo dos puntos por encima de las recomendaciones de microbiota total en el ambiente interior de la iglesia: en abril en el andamio y en junio en la planta baja.

Los resultados obtenidos muestran (ver figura 10) una gran variabilidad de cantidades de microorganismos presentes en el aire entre muestreos, y en algunos casos también entre las diferentes zonas de muestreo (planta baja, exterior y andamio). En la mayoría de los muestreos observamos que los resultados son del mismo orden en el interior y el exterior de la iglesia, lo que nos indica que la contaminación microbiológica del ambiente interior depende en gran medida de la contaminación del aire del exterior de la iglesia. Sin embargo, en algunos muestreos encontramos diferencias significativas entre el interior y el exterior de la iglesia, como es el caso de las bacterias el 17.04.15 y el 21.07.15 (figura 11).

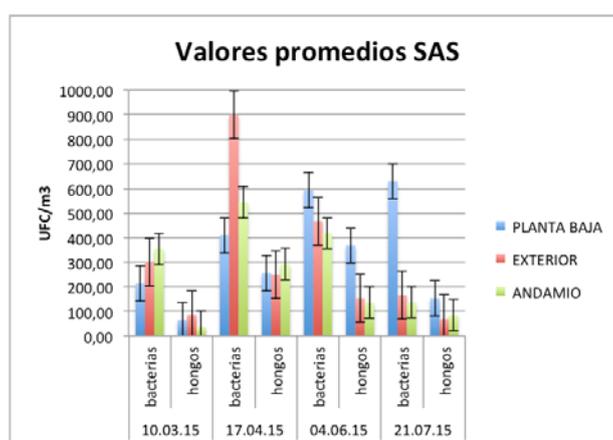


Figura 10. Valores promedios de microorganismos (hongos y bacterias) aislados de la Iglesia de San Nicolás.

En el caso de abril encontramos una contaminación microbiológica del aire mucho mayor en el exterior que en el interior de la iglesia, eso puede ser debido a diferentes factores ambientales que podrían haber

hecho aumentar la microbiota mesófila del aire de la ciudad de Valencia y su baja presencia en el interior de la iglesia podría deberse a que ese día las ventanas se mantuvieron cerradas, disminuyendo así la entrada de microorganismos al interior de la iglesia.

El caso del mes de julio es muy diferente ya que encontramos mucha más cantidad de bacterias en la planta baja que en el exterior y en el andamio. Esto podría explicarse porque el día de toma de muestra se estaba realizando trabajos de levantamiento y sustitución del pavimento del interior de la iglesia.

3.3 Control de las partículas en suspensión

De los conteos realizados observamos valores medios de PM muy variables en función del tipo de partícula estudiada (figura 11, izquierda). Los valores más elevados los encontramos en las partículas de menor tamaño $0,3 \mu\text{m}/\text{m}^3$; seguidas por las partículas de tamaño $0,5 \mu\text{m}/\text{m}^3$, y los valores menores los encontramos en las partículas de mayor tamaño $5,0 \mu\text{m}/\text{m}^3$.

El sumatorio medio máximo en el interior de la iglesia lo observamos para dos de los tres tamaños de PM estudiados en la toma del 15.05.15 (60.752.572,86 partículas $0,5 \mu\text{m}/\text{m}^3$ por minuto; y 1.984.605,43 partículas $5,0 \mu\text{m}/\text{m}^3$ por minuto) y en la toma del 25.09.15 para el tamaño de PM $0,3 \mu\text{m}/\text{m}^3$ (102.246.882,57 partículas por minuto); ver figura 11; mientras que los sumatorios medios mínimos del interior de la iglesia los observamos en la toma del 04.06.15 para las PM $0,5 \mu\text{m}/\text{m}^3$ (54.082.496.117,90 partículas/minuto) y PM $5,0 \mu\text{m}/\text{m}^3$ (397.469,21 partículas/minuto) mientras que para las PM $0,3 \mu\text{m}/\text{m}^3$ los observamos en la toma del 05.03.15 (22.429.544,21 partículas/minuto).

Los sumatorios medios mínimos y máximos en el exterior de la iglesia no corresponden en todos los casos con los días en los que se registran valores mayores o menores en el interior de la iglesia. Encontramos coincidencia sólo en los valores mínimos encontrados para PM $0,5 \mu\text{m}/\text{m}^3$ y PM $5,0 \mu\text{m}/\text{m}^3$, en ambos casos el 04.06.15. Por lo que no parece que haya una relación directa entre la cantidad de partículas en suspensión en el interior y en el exterior de la iglesia. Esto puede ser debido a que las tomas de muestra se realizaron mientras se estaban llevando a cabo las diferentes acciones de restauración de la iglesia, que conllevan en muchos casos un aumento y levantamiento de partículas en suspensión.

Según las normativas vigentes sobre calidad de aire en ambientes interiores, los valores límite para PM $0,5 \mu\text{m}/\text{m}^3$ son de 35.200.000 partículas/minuto, y según los criterios de conformidad de la calidad ambiental al menos el 75% de los puntos analizados se deben encontrar por debajo del valor límite (según norma UNE 171330-2: 2009). Según los datos obtenidos en el interior de la iglesia la mayoría de los días de toma de muestra nos encontramos por debajo de los valores límites recomendados, sin embargo obtenemos valores por encima en algunos de los puntos de las tomas de mayo y septiembre.

Esto se puede explicar ya que los días de toma de muestra de mayo y septiembre coincidieron con días de intensa realización de labores de levantamiento, pulido y sustitución del pavimento de la iglesia, lo que conllevó una elevación puntual del número de partículas en suspensión.

Estos resultados elevados hacen necesaria extremar las precauciones de seguridad y salud de los trabajadores que participan diariamente en la restauración de la iglesia, mediante un uso responsable de los EPIs, fundamentalmente de mascarillas.

Si hacemos la comparativa entre el exterior de la iglesia y las dos zonas del interior de la iglesia estudiadas: el andamio y la planta baja (ver figura 11 derecha) observamos de nuevo como los valores de PM son muy variables entre los 3 espacios estudiados. Obteniendo los mayores valores de sumatorio medios en el andamio el día 25.09.15 para PM $0,3 \mu\text{m}/\text{m}^3$ (97.100.000.000,00 partículas/minuto), mientras que para el mismo tamaño de partículas en la planta baja y en el exterior encontramos los mayores valores el día 16.07.15 (111.338.092,83 partículas/minuto en la planta baja y 97.688.652,00 partículas /minuto en el exterior).

En cuanto a las PM $0,5 \mu\text{m}/\text{m}^3$ y $PM 5,0 \mu\text{m}/\text{m}^3$ observamos los valores mayores tanto en el andamio como en la planta baja el día 15.05.15. En cuanto a los valores mínimos obtenidos de $PM 0,3 \mu\text{m}/\text{m}^3$, tanto en el andamio como en la planta baja, los observamos en las tomas del 05.03.15; mientras que en el exterior los observamos el día 15.05.15 ($9.903.661,66$ partículas/minuto). Respecto a los tamaños $0,5 \mu\text{m}/\text{m}^3$ y $5 \mu\text{m}/\text{m}^3$, observamos los tamaños menores en la planta abaja también el día 05.03.15, mientras que en el andamio y en el exterior los observamos el día 04.06.15.

De nuevo los resultados observados en este estudio no parecen indicar una relación directa entre la cantidad de PM del exterior y del interior de la iglesia.

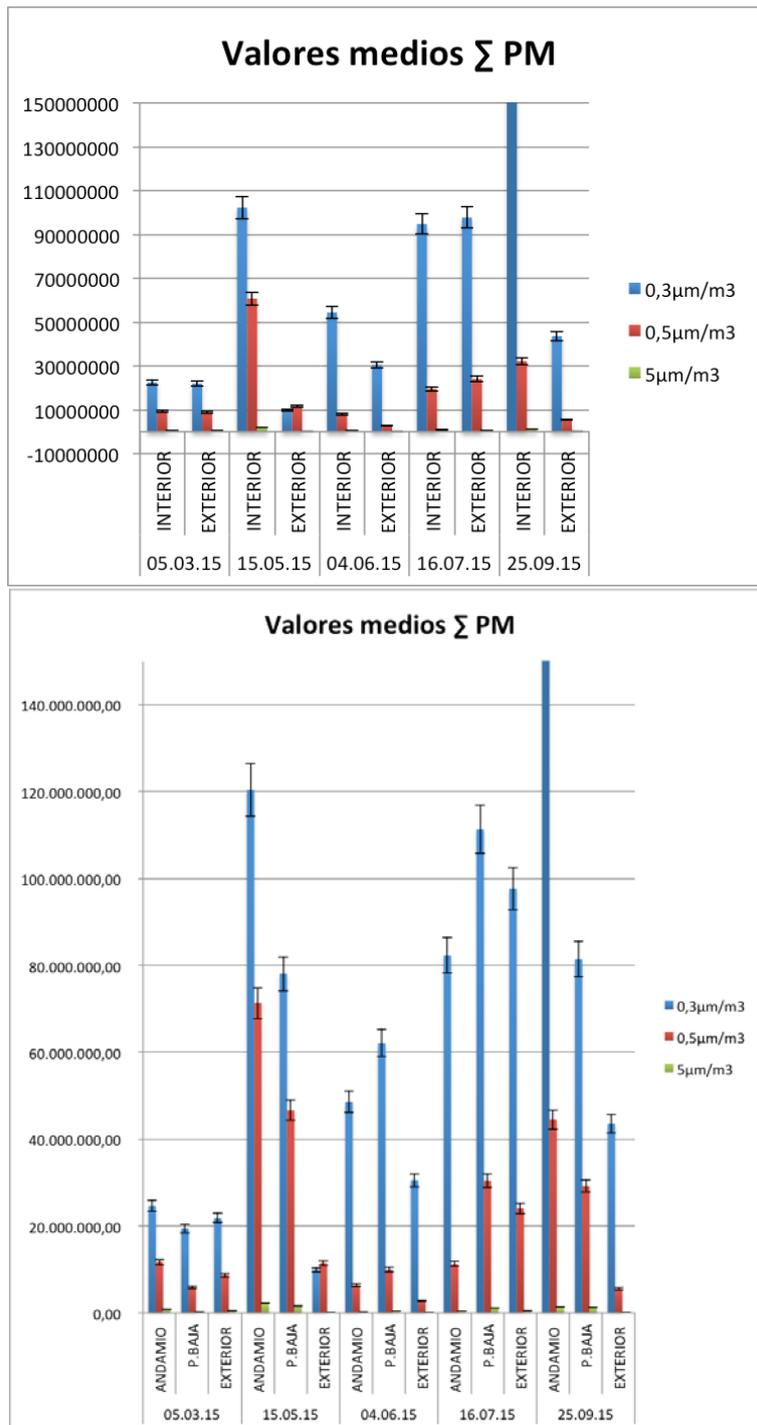


Figura 11. Valores promedio de Σ PM de la Iglesia de San Nicolás: comparativa interior y exterior (izquierda) y comparativa entre andamio, planta baja y exterior.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En análisis complementarios, con el empleo de variables psicrométricas calculadas a partir de los datos del sistema de monitorización, se ha comprobado que durante el periodo de estudio no se han dado las condiciones de condensación sobre la superficie de los frescos (figura 8). Con un bajo porcentaje de humedad relativa en zona de riesgo (en periodo estival), la ausencia de agua por otros fenómenos, unido a la actual intervención de limpieza y restauración de los frescos que elimina restos orgánicos y contaminantes, se estima que el riesgo de crecimiento biológico sobre la superficie de las pinturas es muy bajo.

Respecto a la deposición de partículas, estamos ante la presencia de gran parte de los factores físicos de riesgo durante periodos de tiempo determinados, de gran afluencia de feligreses. Cabe añadir que las tareas de rehabilitación que se están realizando de forma paralela en la bóveda de la nave central, paramentos, pilastras, suelos, capillas, etc., unidas al uso diario fuera de la pauta habitual (por la presencia de entre 30 y 40 profesionales en el interior de la nave), hace que la cantidad de partículas presentes en el aire y la variabilidad microclimática sea todavía más acentuada.

5. RECONOCIMIENTOS

Esta obra se ha llevado a cabo gracias al interés y sensibilidad por el sostenimiento y conservación del patrimonio artístico Valenciano por parte de la Fundación Hortensia Herrero y del Arzobispado de Valencia que ha permitido la “Restauración de las Pinturas Murales, Esculturas y revestimiento ornamental de la nave central de la Iglesia Parroquial de San Nicolás Obispo y San Pedro Mártir de Valencia” por parte del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València.

La Doctora Pilar Bosch ha participado en esta investigación gracias a la beca Post-doctoral VALi + d APOSTD / 2013/024 financiada por la Generalitat Valenciana, España.

Los autores agradecen a la Universidad Politécnica de Valencia; a Don Antonio Corbí, párroco de la iglesia San Nicolás; así como a todos los miembros del equipo de trabajo:

Dirección Facultativa y Coordinación de la Ejecución Conjunta de la Obra: Arq. Carlos Campos González, Arq. Téc. Rafael Pastor Ferrandis.

Dirección Facultativa de la Restauración Pictórica.

Escultórica y Ornamental: Dra. Pilar Roig Picazo.

Equipo de restauración: Responsable: Dr. José Luis Regidor; Coordinadora del equipo de restauradores: Dra. Lucía Bosch. Equipo de restauradores: Gemma Barreda, Antoni Colomina, Gema Gómez, José María Juan, María del Pilar Martín, Beatriz del Ordí, María Amparo Peiró, Paula Pérez, Aurora Inmaculada Rubio.

Colaboradores en la restauración: Dra. Julia Osca, Dra. Pilar Soriano, Dra. Mercedes Sánchez, Dra. Antonia Zalbidea, Dra. Begoña Sáiz.

Seguimiento y Control de Calidad: Registro fotográfico y videográfico: Dr. José A. Madrid, Dr. Juan Valcárcel.

Estudio iconográfico: Dra. Juana Bernal; Estudio Físico-químico: Dra. Teresa Doménech, Dra. Laura Osete.

Estudio de biodeterioro: Dra. Rosa Montes, Dra. Pilar Bosch; Estudio Geofísico: Dr. Jorge Gosálvez.

Estudio Cromático: Dra. María Luisa Martínez.

Coordinación de los trabajos de apoyo, seguimiento y control: Arq. Valeria Marcenac. Estudio Termohigrométrico: Dr. Enrique Vivó Soria.

6. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Threlkeld, J. L. *Ingeniería del ámbito térmico*. Ed. Prentice Hall International, Madrid, 1973.
- (2) Caneva, G., Nugari, M. P. and Salvadori, O. *La biología en la Restauración*. NEREA. Arte y Conservación, 1994.
- (3) Vaillant, M. Conservación Preventiva para Instituciones Cariocas que atesoran bienes culturales. *Acervo*, 23 (2010) 77-88.
- (4) Vaillant, C.M. and Valentín, N. *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*. Monografías del Ministerio de Educación y Cultura. España, 1996.
- (5) Aira, M.J.; Rodríguez-Rajo, F.J.; Jato, V. and Piontelli, E. Aeromycological study in the Cathedral of Santiago de Compostela Spain. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 60 (2007) 231-237.
- (6) Camuffo, D., Bernardi, A., Sturaro, G. and Valentino, A. The microclimate inside the Pollaiuolo and Botticelli rooms in the Uffizi Gallery Florence. *Journal of Cultural Heritage*, 3 (2002) 155-161.
- (7) Roig Picazo, M.P., Regidor Ros, J.L., Madrid García, J.A., Bosch Roig, L. and Marcenac, V. The Church of san Nicolás Obispo y san Pedro Mártir in Valencia; preliminary studies and initial results of the restoration of the decorations. *Disegnare. Idee immagini*, 50 (2015) 82-91.
- (8) ASHRAE. Museums, Galleries, Archives and Libraries. In: *ASHRAE Handbook HVAC Applications*. American Society of Heating, Refrigeration and Airconditioning Engineers (1999, 2003, 2007)
- (9) Michalsky, S. Los niveles ABC para la evaluación de riesgos en las colecciones museísticas e información para interpretar los riesgos derivados de una incorrecta Humedad Relativa y Temperatura. *Instituto Canadiense de Conservación, Notas del Seminario*, Madrid 2009.
- (10) Vivó Soria E., Pinazo Ojer J. M., Roig Picazo P. and Bosch Reig I. Análisis termohigrométrico de la Basílica de la Virgen de los Desamparados de Valencia. *II Congreso Nacional de Medio Ambiente. Comunicaciones Técnicas*, Vol. 2, Madrid 1996.