



TRABAJO DE FIN DE GRADO  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE SEVILLA

AUTORA: **MARÍA JESÚS GUTIÉRREZ MORENO**  
TUTOR: SAMUEL DOMÍNGUEZ AMARILLO

# RESILIENCIA Y SOSTENIBILIDAD

EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DEL PATRIMONIO FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO,  
MEDIANTE EL ANÁLISIS MICROCLIMÁTICO Y LA CARACTERIZACIÓN MATERIAL-CONSTRUCTIVA

CASO DE ESTUDIO:  
BIBLIOTECA COLOMBINA Y CAPITULAR DE SEVILLA

## ÍNDICE:

1. Resumen
2. Introducción
3. Justificación:
  - 3.1. Contexto, interés y oportunidad
  - 3.2. Técnica y conceptos clave
4. Antecedentes de la investigación:
  - 4.1. Conservación preventiva
  - 4.2. Conservación vs Confort
  - 4.3. Conservación vs eficiencia energética
5. Estado de la cuestión:
  - 5.1. Precedentes y enfoques generales
  - 5.2. Condiciones del microclima interior para garantizar los requisitos de conservación
  - 5.3. Herramientas de observación y diagnóstico: Monitorización y simulación
  - 5.4. Investigaciones de referencia:
    - 5.4.1. Justificación del método: Referencia de estudio internacional
    - 5.4.2. Enfoque 1: Control microclimático interior mediante técnicas activas y pasivas
    - 5.4.3. Enfoque 2: El espacio arquitectónico y su influencia en las condiciones microclimáticas de conservación
    - 5.4.4. Marco normativo
6. Objetivos:
  - 6.1. Objetivos Generales
  - 6.2. Objetivos específicos

## 7. Alcance pretendido

## 8. Metodología:

### 8.1. Resumen Metodológico

### 8.2. Justificación del método: Referencia de estudio internacional

### 8.3. Datos generales de la Biblioteca Colombina:

#### 8.3.1. Ubicación

#### 8.3.2 El edificio

#### 8.3.3 Usos y planimetría

### 8.4 Caracterización de los elementos constructivos:

#### 8.4.1. La envolvente

#### 8.4.2. EL suelo

#### 8.4.3. Forjado intermedio

#### 8.4.4. La cubierta

### 8.5. Análisis de la situación actual de la Biblioteca:

#### 8.5.1. Datos experimentales de temperatura y humedad

#### 8.5.2. Datos meteorológicos

#### 8.5.3. Análisis de datos:

##### 8.5.3.1. Sala Colón

##### 8.5.3.2. Sala Capitular

##### 8.5.3.3. Sala Noble

##### 8.5.3.4. Área de archivo y restauración

##### 8.5.3.5. Sala de lectura y consulta

### 8.6. Propuesta de simplificación del espacio arquitectónico

### 8.7. Discusión y conclusiones

## 9. Bibliografía

## 10. Anexos:

10.1. Anexo A: Investigaciones precedentes

10.2. Anexo B: Técnicas de acondicionamiento microclimático para la conservación patrimonial

10.3. Anexo C: El efecto de las intervenciones en el espacio arquitectónico en las condiciones ambientales interiores de conservación

10.4. Anexo D: Tablas cálculo de transmitancias

10.5. Anexo E: Monitorización y análisis de datos



## 1. Resumen:

Integrada en la Catedral de Sevilla, en las naves este y norte del patio de los naranjos, encontramos la Biblioteca Colombina y Capitular, en origen espacios de uso flexible de la mezquita almohade y reacondicionada como archivo histórico y biblioteca de investigación y gestión patrimonial. Acoge como elemento fundamental los fondos bibliográficos de Hernando Colón, documentos únicos de la época de la colonización, además de los archivos del Cabildo de la Catedral. Este aspecto hace que se pueda considerar un caso de especial interés, al confluir las necesidades especiales de conservación y protección, tanto del elemento contenedor como del contenido. El presente trabajo analiza la evolución de las condiciones ambientales interiores y sus dinámicas, en contraste con las necesidades de conservación de los elementos patrimoniales, tanto los construidos como los custodiados. Para ello se han utilizado tanto registros históricos como medidas in situ de contraste. Se ha pretendido establecer un modelo de comportamiento ambiental interior, y las características de la envolvente arquitectónica. El objetivo último es el diseño de estrategias de adaptación y mitigación microclimática, orientadas a la conservación dentro de un enfoque de sostenibilidad y disminución del impacto de este control.

Este trabajo aflora la dicotomía, entre el confort del usuario y la conservación patrimonial, persiguiendo la eficiencia energética, la conservación preventiva y en última instancia, el confort del usuario, en un espacio emblemático, con documentos irremplazables.

Palabras Clave: Biblioteca Colombina y Capitular, Sevilla, Catedral de Sevilla, Arquitectura, Microclima interior, acondicionamiento ambiental. Conservación preventiva.

## 2. Introducción:

La conservación de edificios históricos, como la Biblioteca Colombina y Capítular de Sevilla, así como su uso sostenible, precisa de una amplia gama de compromisos a corto, medio y largo plazo, a nivel social, económico y ambiental. Este deseo de preservar y proteger el patrimonio ha sido abordado a lo largo de la historia por autores como John Ruskin que, en 1849, en su libro *Las siete lámparas de la arquitectura*, mencionaba “[...] *la conservación de edificios del pasado no es una cuestión de oportunidad o sensibilidad. No tenemos ningún derecho a tocarlos. No son nuestros. Pertenecen por un lado a quienes los construyeron, y por otro a todas las generaciones que nos han de suceder.*” [1]

La actualidad del patrimonio en el panorama europeo tal como se recoge en el comunicado de la Comisión al Parlamento Europeo “*Hacia un enfoque integrado del patrimonio cultural para Europa*”, presenta una situación de riesgo y creciente deterioro “medio ambiental” como consecuencia de las actividades humanas, el cambio climático y otras catástrofes naturales, por lo que se requiere de una forma de uso innovadora del patrimonio y una constitución del éste como un recurso productivo relevante. La conservación de estos bienes se apoya en la innovación e investigación a través de estrategias, metodologías y herramientas, con objeto de regenerar el territorio a través del patrimonio bajo principios de sostenibilidad económica, integración de la tecnología, innovación social, multiplicidad de actores y buscando soluciones a largo plazo que fomenten las futuras inversiones.

El enfoque planteado por la comisión europea considera que los edificios históricos forman parte de la herencia cultural, constituyendo una riqueza común y un depósito de conocimiento irremplazable, así como un valioso recurso de crecimiento económico y cohesión social. Constituyendo elementos de identidad y testigos históricos a escala local y global.

En el contexto global se desarrollan medidas en apoyo a la Agenda Europea de la Cultura con programas como Europa Creativa y Horizonte 2020, siendo este último un nuevo programa marco para la investigación y la innovación, en refuerzo del campo de la conservación, restauración y valorización del Patrimonio. Las colecciones europeas de Archivos, Museos y Bibliotecas, como en el caso de estudio, suponen un activo irremplazable de la memoria histórica. [2]

La necesidad de compatibilizar el control ambiental, la conservación de bienes patrimoniales y los propios elementos contenedores, asegurar el confort y la salud de los usuarios, a la vez que un uso energético razonable, constituye un problema multidimensional y de compleja resolución. Hoy en día la conservación y renovación de edificios ya existentes es un desafío tanto para investigadores como para los distintos profesionales, debiendo aplicar mejoras sobre todo en el campo energético. Este reto se agudiza cuando hablamos de un edificio patrimonial en el que su papel como objeto contenedor de actividades, usos y bienes, no debe comprometer el valor histórico ni la integridad de este.

Nos encontramos en un momento crucial en el que la reducción del consumo energético y las emisiones, son una prioridad, sobre todo tras la modificación del Real Decreto 564/2017 que modifica el RD 235/2013 [3], en el cual se incluye a los edificios patrimoniales en la certificación energética, siempre que las intervenciones de mejora no alteren las características o apariencias de éste. Estos cambios legislativos reflejan la reinención del sector en pro de un concepto resiliente y adaptativo del patrimonio. El antiguo enfoque proteccionista musealizaba el bien protegido, mientras que hoy en día los nuevos enfoques pretenden su inserción como elementos dinamizadores sociales, económicos y culturales a escala local y global.

El presente trabajo pretende dar respuesta a la problemática planteada mediante el análisis de las condiciones ambientales interiores de un edificio patrimonial como es la Biblioteca Colombina y Capítular de Sevilla. Para ello se realizará la caracterización material y espacial del edificio y su influencia en el comportamiento microclimático, analizando variables de temperatura y humedad que permitirán valorar las condiciones de conservación del edificio, situándonos en la dicotomía entre confort del usuario y conservación tanto del inmueble como de los archivos que custodia, persiguiendo la eficiencia energética, la conservación preventiva y el confort del usuario, en última instancia, en un espacio emblemático con documentos únicos.



### 3. Justificación:

#### 3.1. Contexto, interés y oportunidad:

El año 2018 se presenta como el Año Europeo del Patrimonio Cultural, aprobado por el Parlamento Europeo y el Consejo de la UE en mayo del 2017, basado en principios y valores arraigados en el patrimonio cultural de Europa como fuente común de memoria, entendimiento, identidad, diálogo y conexión entre naciones.

Las iniciativas de ámbito nacional, dentro del marco en que se desarrolla el presente estudio, tienen un marcado enfoque **Bottom-Up** o de abajo arriba, un modelo de organización y decisión participativo que integra a la comunidad como elemento activo en el proceso de propuestas, innovación, formación, difusión y conservación de la ciudad y el patrimonio.

La selección de la Biblioteca como objeto de estudio se debe a sus particularidades como edificio histórico integrado en el conjunto de la Catedral de Sevilla, y por los bienes documentales y archivos que alberga; cuyo potencial se ve aún por explotar como elemento identitario y potente agente socio-cultural y económico.

Hasta el momento las investigaciones realizadas se han concentrado en la Catedral y en el Patio de los Naranjos, centrándose en enfoques arqueológicos, históricos y arquitectónica. Sin embargo, apenas hay registros e información accesible de la Biblioteca Colombina, debido a que pertenece a los bienes eclesiásticos del Cabildo.

La intervención de rehabilitación y acondicionamiento de la Biblioteca data de 1986, bajo la dirección del Arquitecto Ricardo Sierra Delgado, permitió recuperar elementos almohades singulares, consolidar las preexistencias, aumentar la capacidad de archivo del edificio, e incorporar instalaciones de acondicionamiento junto a nuevos programas complementarios al principal como son: las salas de investigación y consulta, espacio expositivo, área de conservación y restauración y, uso administrativo/directivo.

Dentro de las labores para retornar a la forma prístina del edificio se elimina la entreplanta y particiones interiores generando espacios diáfanos de nobles alturas, coronados con cubiertas de teja a dos aguas, en sustitución a la cubierta preexistente tras su hundimiento. Recientemente en 2017 se ha llevado a cabo la consolidación y refuerzo de la cimentación del inmueble y el recalce de sus muros a cuenta de sus problemas de fisuración.[4]

La investigación desarrollada en adelante se ve incentivada por la necesidad de asegurar la integridad y preservación de cerca de 70.000 volúmenes, de los cuales 1200 datan del Xs. al XX, y 200 incunables, constituyendo un fondo documental que contempla todas las ramas del saber humano de la época [5]. Impulsado además por la creciente concienciación, a escala local y global, en considerar el patrimonio cultural no sólo como legado del pasado, sino como recurso imprescindible para nuestro futuro.

Problemas de gestión asociados al elevado coste de uso y al mantenimiento de sistemas y equipos, los cuales muestran síntomas de obsolescencia, hacen poco sostenible la situación del edificio, debido a los gastos de consumo energético. En este caso el sistema no se utiliza de forma continua debido a este elevado coste, introduciendo situaciones de inestabilidad térmica que pueden ocasionar situaciones de riesgo para la conservación tanto del continente como del contenido.

En el trabajo se analiza la evolución del ambiente interior del edificio para comprobar las condiciones microclimáticas interiores, necesarias para la conservación de los documentos, y, el comportamiento ambiental en espacios de peculiares características arquitectónicas y materiales, como es el caso. Se considerarán variables de diversa índole con el fin de completar la creación y calibración de un modelo energético virtual de la Biblioteca. Por un lado, se tendrá en cuenta las características de la envolvente en la interacción térmica entre el interior y el exterior, por ello será necesario, en primer lugar, seleccionar un modelo climático específico para establecer las condiciones climáticas exteriores y, en segundo lugar, analizar los registros que caracterizan las condiciones ambientales interiores.

### 3.2. Técnica y conceptos clave:

Los edificios tienen un impacto significativo suponiendo el consumo energético del 40% (dato obtenido del EFFESUS Report Summar [6], por lo que, en el actual contexto global de cambio climático y evolución del paradigma energético motivado por la escasez de recursos, exige la gestión sostenible de nuestra herencia patrimonial. Para afrontar dicho reto es necesario conocer las variaciones climáticas y su influencia en las condiciones ambientales interiores, con el objetivo de desarrollar estrategias de adaptación y mitigación que garanticen su preservación a largo plazo, bajo los principios de una gestión más eficiente. Es en este contexto donde se presenta el estudio microclimático interior como herramienta de evaluación.

Según Dario Camuffo [7], eminencia en el campo del estudio microclimático en edificios patrimoniales, define el concepto de microclima como la síntesis de las condiciones físicas ambientales como el tiempo, distribuciones espaciales, fluctuaciones, etc.; debido a cualquiera de las variables atmosféricas como por ejemplo temperatura y humedad, luz solar, velocidad del aire, o intercambios con otros cuerpos (sistema de calefacción, radiación, iluminación, ventilación), durante un periodo de tiempo representativo de todas las condiciones naturales y artificiales.

Obviamente, las condiciones de conservación interiores se ven influenciados por las variaciones macroclimáticas a nivel global, regional y local, alteradas por el panorama del cambio climático, representando un riesgo para la preservación de elementos patrimoniales, siendo la temperatura y la humedad, los parámetros más relevantes para definir las características microclimáticas del edificio. Es interesante estudiar las variaciones semanales o mensuales, mostrando anomalías en relación con las variables consideradas entre interior y exterior. La medición anual permitirá evaluar el ciclo estacional a fin de asegurar la conservación de los documentos y archivos patrimoniales.

La envolvente constructiva del edificio supone la barrera física entre las condiciones entre el clima exterior y el interior, actuando como amortiguador y aislante, variando su eficacia en función de la hermeticidad del elemento según sus características constructivas y materialidad. La caracterización de esta capa física de interrelación, en el caso de la Biblioteca Colombina, se detallará en apartados posteriores del presente estudio, para comprobar cómo influye en los intercambios energéticos de masa (aire, ocupación, objetos, etc.) y energía; representados por los factores y variables consideradas para el análisis.

Se contemplarán como factores principales para definir las características microclimáticas del edificio, la temperatura y la humedad, cuya alteración repercute directamente en la integridad de los bienes protegidos, favoreciendo a un posible deterioro biológico, químico o mecánico.

Los registros de los parámetros mediante equipo específico permiten analizar el comportamiento del ambiente interior del edificio. El análisis de secciones consecutivas de un mismo espacio representa la evolución microclimática, y permitiendo un diagnóstico y la planificación de estrategias de conservación preventiva.

La espacialidad interior, al igual que las características materiales del edificio influyen en el comportamiento de las masas de aire interiores, llevando a la estratificación del aire en espacios de alturas considerables dificultando el control y el acondicionamiento climático idóneo para cumplir los requisitos de conservación, como es el caso de la Biblioteca.

#### 4. *Antecedentes de la investigación:*

Las pautas utilizadas para definir el clima interior que caracteriza los edificios históricos han evolucionado en los últimos años investigando el comportamiento de materiales para plantear nuevos métodos basados en el riesgo de deterioro. Pese a esta metodología basada en el riesgo, el uso de pautas tiene un papel primordial en la ciencia de la **conservación preventiva**, abarcando de forma progresiva objetivos de menor calado [8].

La conservación planificada tiene el objetivo de prevenir emergencias, actuando de antemano mediante el estudio de las interacciones del edificio patrimonial con el factor ambiental y microclimático, restringiendo las acciones de restauración para casos extremos y, estableciendo normas y protocolos de actuación. Dichas normas se establecen para climas específicos, no siendo extrapolables de forma directa a otros casos de estudio, ya que podrían acarrear consecuencias negativas asociadas a la preservación del bien en cuestión. Este es el caso del edificio que compete el presente estudio, pues el clima templado en el que se localiza la Biblioteca Colombina complejiza el estudio de comportamiento higrotérmico del edificio histórico debido a las altas temperaturas, irregulares precipitaciones y fuerte insolación.

Será necesario considerar las peculiaridades materiales y constructivas de la envolvente del edificio y su elevada inercia térmica, debido a la capacidad de almacenar calor y, amortiguar y retrasar los ciclos térmicos, gracias al gran espesor de sus muros, pequeños porcentajes de hueco y amplias superficies opacas. Características que dar lugar a un equilibrio térmico, para ciclos cortos, en climas templados. Dicho comportamiento se verá influido por equipos y estrategias de acondicionamiento, iluminación y, la presencia de ocupantes.

Es imprescindible considerar las características de la envolvente y sus limitaciones, junto con las condiciones microclimáticas interiores y las condiciones exteriores asociadas al contexto del edificio, para profundizar en el conocimiento de los fenómenos que suceden en el interior, a fin de planificar acciones preventivas y evitar la restauración invasiva y la generación de situaciones de riesgo que supondrían una pérdida irremplazable de bienes patrimoniales únicos albergados en la Biblioteca y archivo, cuyas colecciones reaccionan a las variaciones de temperatura y humedad relativa, siendo necesario establecer límites que restrinjan dichas variables.

#### 4.1. Conservación preventiva:

El marco en que se establece el presente apartado se ha fundamentado en las investigaciones desarrolladas en la obra de Maco Pretello y Kristian Fabbri [9], la investigación de Hugo E.S. y Fernando M.A [12], centrada en climas templados, y los fundamentos de conservación preventiva establecidos por el plan nacional de conservación del IPCE [10] como herramienta de contextualización.

La conservación preventiva se presenta como estrategia de conservación del patrimonio cultural proponiendo un método de trabajo sistemático que permita identificar, evaluar, detectar y controlar los riesgos de deterioro de todo bien y colección cultural, considerando aspectos como la sostenibilidad, la optimización de recursos técnicos, humanos y presupuestarios y, la accesibilidad, como elementos que influyen en la conservación del patrimonio.

El nacimiento de esta corriente se encuentra íntimamente ligado a la producción de bienes patrimoniales y el deseo del ser humano de su preservación, siendo el s.XIX cuando se asientan las bases de la conservación y la restauración, como campo de estudio dedicado a la permanencia de las arquitecturas como documento histórico y memoria (B.Torsello). Algunos de los estudios precedentes dentro del campo de la investigación abarcan desde 1915, con el estudio de la relación entre hombre, clima y arquitectura, llevado a cabo por Huntington, hasta nuestros días.

Cabe destacar como hitos de especial interés: la premisa de Victor Olgyay (1963) el primero en publicar un estudio sobre el rol del clima en las formas arquitectónicas en donde pone en relación arquitectura, confort, recursos energéticos y clima; la descripción de los efectos del microclima y la arquitectura en el confort percibido por el usuario, de Guioveni (1969); entre numerosos estudios y publicaciones realizadas a partir de los 70's.

Su objetivo principal consiste en mejorar la capacidad de conservación de los bienes culturales mediante la eliminación y reducción de riesgos, asociados por lo general a factores externos a los bienes culturales, evitando su deterioro o pérdida y la necesidad de acometer costosos tratamientos para su recuperación.

La implantación de estas estrategias debe articularse mediante el denominado Plan de Conservación Preventiva (PCP), concebido como herramienta de gestión, programación y coordinación de las tareas de preservación y uso del bien cultural, cuya metodología de trabajo cuenta, en primer lugar con la fase de documentación, en segundo lugar la fase de análisis de riesgos de deterioro, en tercer lugar el diseño e implantación de procedimientos y protocolos y, en finalmente, en la fase de verificación.

El presente estudio abarcará principalmente las fases de documentación y análisis, esbozando en última instancia el diseño de procedimientos y protocolo de conservación, que se desarrollarán en futuras investigaciones. Uno de los apartados más complejos de dicho método es el análisis de riesgos y, para ello los diferentes métodos existentes se basan en normas internacionales como la ISO 31000, transpuesta a la normativa española por AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) como *UNE-ISO 31000: Gestión del riesgo. Principios y Directrices*.

Debido a su complejidad, se presenta como la opción más efectiva, el analizar analíticamente los diferentes componentes individualizando los elementos singulares que afectan al edificio, y entendiendo las diferentes interacciones.

## 4.2. Conservación vs confort:

La demanda de confort térmico en edificios ha aumentado en las últimas décadas provocando un drástico cambio en los microclimas históricos interiores, cuyas condiciones originarias habían asegurado la conservación durante siglos tanto del continente como del contenido. Según Camuffo [13-15] sólo se plantea la problemática del confort térmico en edificios donde además haya algún problema de conservación, siendo escasas las ocasiones en el que prime el confort sobre los requisitos de conservación del edificio, instalando sistemas de acondicionamiento para alcanzar y mantener unas condiciones de temperatura y humedad que fluctúen en torno a los niveles requeridos.

Es inevitable cuestionarse la compatibilidad entre las condiciones de confort térmico y los requisitos de conservación, ya que el aparente buen estado de conservación se encuentra en un equilibrio inestable, estrictamente ligado al clima histórico y en particular a las variables citadas anteriormente.

El confort térmico es teóricamente independiente de la forma específica de calentamiento, suponiendo una demanda energética que puede ser contraria a las necesidades de conservación, teniendo por objetivo el reducir la incomodidad aproximándose en la medida de lo posible a condiciones más confortables.

Cualquier forma de calentamiento puede tener consecuencias negativas en los objetos, al igual que la compensación de humedad relativa que puede ocasionar condensaciones en superficies frías. Sea cual sea el uso de los sistemas de acondicionamiento (continuo, ocasional o mixto) las condiciones de confort afectan a la integridad de los objetos a conservar.

Se plantea como posible solución la implementación de equipos de acondicionamiento, en uso constante, para mantener un microclima templado como punto de encuentro entre ambos enfoques, pero resulta tener un elevado coste económico, y finalmente su uso se suele ver reducido a una práctica discontinua que produce perturbaciones microclimáticas y generarán movimientos convectivos que afectan tanto al confort del usuario como a las condiciones de conservación del patrimonio, dando lugar a corrientes de aire, condensaciones y favoreciendo el aumento de partículas en suspensión. Dichos equipos también pueden ser usados para controlar situaciones negativas propias del clima histórico.

La norma CEN EN 15757 (2011) recomienda mantener las condiciones microclimáticas lo más próximo a las condiciones de clima histórico para asegurar la conservación de los bienes y edificios patrimoniales. ya que las necesidades de confort térmico y la conservación tienen objetivos divergentes que pueden estar en conflicto.

Se confirma la evidente dificultad que impera en la combinación de variables de confort, conservación y bajo coste, requiriendo el compromiso donde primen los requisitos de preservación en proporción a la importancia del patrimonio cultural del objeto o edificio en cuestión, y el uso del edificio. Será requisito indispensable el análisis detallado de pros y contras de cada sistema de climatización y acondicionamiento, siendo aconsejable el uso combinado de varios sistemas para evitar impactos excesivos.

### **4.3. Conservación vs eficiencia energética**

Conservación y sostenibilidad ambiental son corrientes caracterizadas por unos principios comunes que han originado la confluencia de intenciones, prácticas y herramientas, siendo el patrimonio cultural objeto primordial de investigación como recurso irremplazable a revalorizar, sin perjudicar su valor histórico.

La sostenibilidad aplicada en el ámbito del Patrimonio Cultural genera un creciente interés en todas las escalas tanto sociales como de investigación, ya que aporta beneficios medioambientales bajo premisas de ahorro y viabilidad económica, apostando por la transferencia de conocimiento desde el campo científico para su aplicación práctica para salvaguardar el “patrimonio mundial”.

Mediante la normativa sobre rehabilitación, ahorro y mejora energética, se aplican los términos de sostenibilidad en edificación con la implementación de equipos, sistemas y materiales de mayores prestaciones. Pero los edificios históricos de valor patrimonial quedan exentos de la normativa sobre eficiencia energética en la edificación fijada por la Directiva Europea 2010/31, por su singularidad, y se promueven intervenciones adaptadas a la naturaleza arquitectónica y cultural de cada bien, evitando un impacto negativo sobre la conservación, el valor estético y espacial, y estructura, motivado por una actuación de renovación a un alto nivel energético.

Una adaptación y reacondicionamiento de un edificio patrimonial debe tener por objetivo la mejora energética, el bajo impacto, la valoración histórica y la regeneración económica y social de la zona urbana en la que se inscribe, partiendo del conocimiento meticuloso del edificio, y su relación con el entorno, como base para la mejora energética.

Esta visión, desde el respeto y apreciación de las cualidades estéticas, materiales y espaciales, ha complejizado el proceso de intervención en este tipo de edificios, debiendo considerar la compatibilidad y reversibilidad de las acciones/trabajos llevadas a cabo.

## 5. Estado de la Cuestión:

### 5.1. Precedentes y enfoques generales:

En el campo de la investigación microclimática en edificios, tal y como se menciona en la *Guía para la conservación de edificios patrimoniales* [16], se cuenta con numerosas contribuciones dirigidas a la conservación tanto del patrimonio inmueble como de los bienes albergados en ellos, radicando su origen en los estudios de Camuffo y otros investigadores como Ballocco y Boddi, sobre el clima histórico, definido en el marco normativo de la EN 115757 (2010).

Las principales investigaciones realizadas hasta ahora han abordado el control microclimático mediante el uso de sistemas activos de climatización, monitorización y control, los efectos del clima exterior en las variables microclimáticas interiores, los riesgos de conservación vinculados al cambio climático, y la calidad ambiental relacionada con la demanda energética de acondicionamiento y climatización. Estableciendo las bases para el debate entre la conservación y la adaptación de eficiencia energética de estos edificios.

Los diversos enfoques conforman una sinergia teórico-práctica en torno a la comprensión del comportamiento microclimático en edificios patrimoniales, aplicando metodologías de control y prevención de riesgos de degradación, y planteando un abanico de posibles formas de intervención. En este ámbito cabe destacar la metodología desarrollada por Camuffo en 2013 para reconstruir el clima histórico y predecir el clima futuro.

Para enmarcar los precedentes en investigación en este campo y sus diversos enfoques se ha tomado como referencia el libro *Historic Indoor Microclimate of the Heritage Buildings* [9], procediendo a la traducción e interpretación del capítulo 1.4 *Heritage Building and Microclimate*, desarrollado en el Anexo correspondiente.



## 5.2. Condiciones del microclima interior para garantizar los requisitos de conservación:

Las condiciones microclimáticas interiores para garantizar los requisitos de conservación exigen un rango estable de temperatura y humedad relativa, evitando fluctuaciones que pueden poner en riesgo la integridad del objeto pues todo cambio brusco supone una amenaza, incluido los ciclos diarios de dichos parámetros definitorios del ambiente interior, cuyo efecto reiterativo produce un estrés que afecta a la preservación del bien patrimonial, pudiendo ocasionar daños mecánicos a corto o largo plazo.

Los cambios estacionales entrañan un menor riesgo de deterioro en materiales con cierto grado de elasticidad o deformación como es el papel o el pergamino, debido a que se producen en un lapso amplio, a una menor velocidad, evitando estreses significativos en el bien patrimonial. Sin embargo, se debe tener en cuenta que ciertos ciclos microclimáticos que resultan inofensivos para un componente individual, pueden suponer un daño severo sobre un objeto.

Para establecer las condiciones idóneas de conservación se puede proceder al análisis físico del material, donde el parámetro primordial es la HR, debiendo mantenerse en equilibrio con el porcentaje de agua absorbida por el material a conservar, evitando estrés y deformaciones. En menor medida se asocia con la temperatura en base a cómo afecta la variación de dicho parámetro al porcentaje de humedad del ambiente interior. El objetivo es evitar intervalos de HR donde una pequeña variación pueda ocasionar grandes cambios en el contenido de humedad del objeto.

Esta aproximación a la idoneidad microclimática no resulta siempre la mejor opción. Según Camuffo [18] si el intervalo determinado tras dicho análisis físico dista mucho de las condiciones locales naturales, sería recomendable seleccionar un microclima natural estable similar a los valores ambientales de la zona climática donde se localiza el edificio, que uno artificial.

En base a esta premisa, y pese a que los valores de las condiciones ambientales interiores apropiadas vienen determinados por la naturaleza de las piezas a conservar, se suele adoptar una humedad relativa constante en torno al 50% (con una tolerancia admisible que oscila, en más o en menos, entre el 3% y el 5%), y una temperatura también constante alrededor de 22 °C (con una tolerancia de  $\pm 1$  °C).

Referido al material que nos compete al caso de estudio objeto de la presente investigación, es necesario considerar rangos ambientales que puedan suponer un riesgo para la preservación de libros y archivos, contemplando las prescripciones del Plan de Gestión y Conservación Preventiva del Ministerio de Cultura de España.

En el caso de la HR dicho rango de riesgo iría comprendido de 35-45%, ya que para valores inferiores a 35% se produce rigidez y riesgo de rotura. Con respecto a la temperatura se establece un máximo de 30°C.

Con el fin de evitar el biodeterioro se evitarán periodos en los que la HR sea superior a 60%, por la presencia de hongos, o superiores al 85%, por la proliferación de bacterias, y temperaturas comprendidas entre 22-38°C.

### **5.3. Herramientas de observación y diagnóstico: Monitorización y Simulación.**

Tal y como se ha mencionado anteriormente una de las principales consideraciones en la implementación de técnicas de acondicionamiento ambiental en espacios de valor patrimonial debería ser la sostenibilidad y la eficiencia energética, debiendo seleccionar las estrategias que reduzcan la demanda energética, el impacto ambiental y los riesgos de conservación.

El control exhaustivo de las condiciones ambientales en espacios interiores requiere de la comprensión física y cuantitativa de las interacciones que se producen entre el aire, la estructura, objetos y personas. Para ello se emplean técnicas de control y diagnóstico, mediante la evaluación higrotérmica, considerando los valores de las variables obtenidos mediante mediciones puntuales, monitorización o simulaciones mediante software.

La monitorización es una técnica que permite medir y registrar una o varias variables a lo largo de un periodo de tiempo, siendo necesario establecer el periodo y duración del proceso, el número de puntos de medición en el espacio, los instrumentos y equipos empleados con respecto a las variables consideradas, el coste y administración de dispositivos, y la seguridad y control de la instalación para asegurar la veracidad del estudio. Ésta técnica difiere de la medición puntual, principalmente, en la duración de la acción y el número de puntos de medida.

Se empleará la medición puntual para calibrar los modelos de simulación o evaluar situaciones específicas de degradación, mientras que la monitorización se usará para detectar condiciones anómalas que puedan ocasionar situaciones de riesgo de conservación tanto del edificio como de las colecciones y archivos custodiados en él. Sin embargo, será la simulación virtual la que permita una aproximación a la comprensión del comportamiento ambiental y las interacciones que se producen en el espacio interior objeto de estudio.

Estas técnicas permitirán evaluar valores, fluctuaciones y comportamiento de las variables de temperatura y humedad relativa, consideradas en el presente estudio para la evaluación higrotérmica de los espacios interiores de la Biblioteca Colombina, debiendo incluir la interpretación de los datos obtenidos.

Se debe tener en cuenta la aplicación de programas de cálculo en edificios de valor patrimonial como estrategia de aproximación, cuya precisión no es infalible pues en origen éstas están pensadas para evaluar edificios contemporáneos y, no edificios patrimoniales de complejidad arquitectónica y material compleja. Por ello será necesario comparar los resultados obtenidos mediante simulación, con los datos obtenidos mediante la monitorización, corroborando su validez y aproximación al caso real objeto de estudio.

Para el desarrollo de este apartado se ha consultado la referencia [17-18].

#### 5.4. Investigaciones de referencia:

#### 5.5. Enfoque 1: Control microclimático interior mediante técnicas activas y pasivas

Estudiaremos la tesis de Carmen M<sup>a</sup> Muñoz González [19], perteneciente al grupo de investigación TEP 130 del Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción de la Universidad de Sevilla, con intención de analizar la metodología empleada en el análisis de la Iglesia de San Francisco de Asís del s. XVI (Morón de la Frontera. Sevilla), donde se mantenía el uso religioso y albergaba una valiosa colección de pinturas y retablos, en riesgo por unos niveles inadecuados de humedad relativa y de temperatura, que han propiciado daños mecánicos y biodeterioro.

Las variables a considerar fueron las propiedades de los materiales, la temperatura exterior y la humedad relativa, la radiación solar difusa, la intensidad normal directa, la nubosidad y la lluvia. Se monitorizaron los parámetros de temperatura y humedad relativa de forma simultánea en intervalos de 15min, durante 2 años consecutivos, mediante sensores colocados a la altura de una persona sentada (1.10m) y a 8m para observar la estratificación térmica a esa altura. Los datos climáticos exteriores a estimar fueron: temperatura (T), humedad relativa (HR), viento y presión atmosférica, radiación global y cobertura de nubes.

Para el cálculo térmico de diseño se empleó en método simplificado de cálculo RTS (radiant time series o método de las series temporales radiantes) originado por el comité de ASHRAE, definiendo para su calibración tres indicadores adimensionales de errores: MBE (error de sesgo medio por hora, CV (RMSE) (coeficiente de variación de la raíz cuadrática media) y  $\epsilon$  (valores de error). El software de diseño utilizado fue el generador **Ener-gyPlus** para la simulación energética del edificio en régimen dinámico, permitiendo interrelacionar las prestaciones de los sistemas de climatización con las características constructivas de la envolvente del edificio.

Se analizaron varias hipótesis de acondicionamiento ambiental desarrolladas mediante un modelo de simulación, en un clima templado mediterráneo. Posteriormente, se realizó un análisis basado en el estudio del confort térmico y en el riesgo de degradación mecánica y biológica, para comparar el clima natural del edificio, fruto de técnicas pasivas, con el clima modificado por intervención de sistemas activos de climatización. Llegando a la conclusión de que el uso exclusivo de técnicas ambientales pasivas era insuficiente para garantizar las condiciones de preservación de los bienes patrimoniales. La aplicación de sistemas activos, operativos las 24h y con control de T y HR, en combinación con técnicas pasivas mejoraba las condiciones ambientales tanto en términos de conservación, como de confort. También se realizó el estudio en términos de consumo energético, teniendo en cuenta que la demanda en edificios históricos es alta debido sus características espaciales y materiales, observando que la reducción de consumo no era lineal.

Debido a la similitud arquitectónica, constructiva y espacial, con la Biblioteca Colombina y Capitul, objeto de estudio de la presente investigación, y su emplazamiento en área de clima templado, esta investigación se presenta como referente para el posterior desarrollo de una metodología propia. Se tomará el método de análisis de espacios de grandes alturas, con cerramientos de elevada inercia térmica, considerando la estratificación del aire en ese tipo de espacios.

Cabe destacar la elección de periodos cortos de monitorización de las variables de temperatura y humedad, como método de calibración o ajuste del modelo virtual, al caso real. El breve tiempo de muestreo (15min) se justifica por una particularidad del software utilizado, el cual para determinar la evolución de la temperatura de un espacio considera un parámetro que aumenta de forma “ficticia” la capacidad térmica de la zona produciendo oscilaciones irreales de la temperatura interior, con el fin de dar estabilidad numérica a la simulación implicando el balance de energía y la respuesta del equipo de climatización. (IDEA ; capítulo3.3.4, p.52)

## 5.6. Enfoque 2: El espacio arquitectónico y su influencia en las condiciones microclimáticas de conservación

Como referente de investigación sobre los riesgos químicos, mecánicos y biológicos de la degradación de los manuscritos en una biblioteca histórica en base a mediciones y simulaciones de T y RH, se presenta el estudio realizado por Turgay Coşkun y su equipo, sobre **la Biblioteca Tire Necip Pasa** del s.XIX (Izmir, Turquía) [20], donde sucesivas intervenciones en el espacio arquitectónico habían afectado a las condiciones ambientales interiores alterando el estado de conservación de los 1147 manuscritos y 1312 libros de la época del Imperio Otomano que albergaba.

(Inputs y Outputs) Los registros de T y HR interiores y exteriores se efectuaron durante el año 2014-2015, con intervalos de diez minutos, centrándose en ambas variables como parámetros vinculados a los riesgos de degradación, cuyos límites quedan establecidos por ASHRAE bajo criterios de conservación en bibliotecas y archivos. Se calcularon las fluctuaciones diarias considerando la diferencia entre los valores mínimo y máximo en un día, considerando como situación libre de riesgo de degradación mecánica, aquellas en las que el 90% de las fluctuaciones eran menores que los valores permitidos.

Para determinar la influencia de las intervenciones arquitectónicas en las condiciones climáticas interiores y en los factores de deterioro, se generaron simulaciones mediante el software DesignBuilder, tras la evaluación previa del nivel de deterioro de los manuscritos. Se plantearon dos modelos, uno en representación del estado existente y otro con el proyecto original en el que el pórtico estaba abierto, para comparar las perturbaciones del régimen térmico e identificar su origen y predecir sus consecuencias. La calibración de los modelos se llevó a cabo mediante la aplicación de los indicadores de error adimensionales establecidos por la ASHRAE: Error de polarización media (MBE) y el coeficiente de error de variación raíz-media-cuadrado (CV (RMSE)). Tras obtener resultados similares de riesgo de degradación en ambos modelos, se optó por adoptar técnicas de ventilación como solución al riesgo por biodeterioro.

Se estableció el riesgo de degradación química en los manuscritos mediante el método Lifetime Multiplier (LM), referido al número de intervalos que un objeto permanece inestable en comparación con unas condiciones microclimáticas interiores de 20 ° C y 50% HR, y aplicando el coeficiente (eLM) para medir la respuesta anual de los objetos a las fluctuaciones (<0.75 alto riesgo, >1 riesgo bajo).

El factor de riesgo de moho (MRF) se evaluó mediante el software WUFI-Bio para analizar el contenido crítico de agua, definiendo tres clases de sustrato. Las colecciones basadas en papel quedarían comprendidas en el sustrato de clase II.

Esta investigación se presenta como referente para el posterior desarrollo de una metodología propia desde el enfoque de riesgos por degradación química, mecánica y biológica de manuscritos en una biblioteca histórica, siendo este uno de los objetivos principales de la investigación que nos concierne en la conservación del fondo bibliográfico de la Biblioteca Colombina y Capitular, considerando la influencia del espacio arquitectónico en la alteración de las variables microclimáticas interiores.

Cabe tener en cuenta las limitaciones propias de la metodología aplicada propias del software para el cálculo de la HR, resultando frecuencias de fluctuaciones más bajas que las exigidas por los requisitos de la ASHRAE (clase climática A1 en nuestro caso), incumpléndose el requisito que establece un máximo del 10% de fluctuaciones para evitar el riesgo por degradación mecánica.

## 5.7. Marco normativo:

### Actualidad normativa:

- **Norma UNE EN 15757:**

Conservación del patrimonio cultural. Especificaciones de temperatura y humedad relativa para limitar los daños mecánicos causados por el clima a los materiales orgánicos higroscópicos

(**Anexo A**): Determinación de los valores de referencia de la humedad relativa (HR)

- **UNE-EN-15759-1:**

Conservación del patrimonio cultural. Clima interior. Parte1: Recomendaciones para la calefacción de iglesias, capillas y otros lugares de culto.

Norma elaborada por el comité técnico AEN/CTN 41. AENOR 2012. (asociación española de normalización y certificación. Depósito legal: M41238:2012)

### Medición in situ y protocolo instrumental:

- **Norma UNE-EN 15758:**

Conservación del patrimonio cultural. Procedimientos e instrumentos para la medición de las temperaturas del aire y de las superficies de objetos

- **Norma UNE-EN 16242:**

Conservación del patrimonio cultural. Procedimientos e instrumentos para la medición de la humedad del aire y los intercambios de humedad entre el aire y el patrimonio cultural.

### Validación del modelo:

- **GUÍA ASHRAE 14-2002:**

Indicadores adimensionales de errores

## 6. Objetivos:

### 6.1. Objetivos Generales:

- Analizar la evolución de las condiciones ambientales interiores en la Biblioteca Colombina y Capitular y, sus dinámicas.
- Evaluar de las condiciones microclimáticas de los espacios en base a los criterios de conservación patrimonial.
- Conocer cómo la geometría del edificio y la sección arquitectónica de la Biblioteca influye en el microclima interior.
- Asentar las bases para una futura investigación sobre el comportamiento microclimático en el edificio.

### 6.2. Objetivos específicos:

- Evaluar cualitativamente la influencia del diseño arquitectónico en el ambiente interior (contexto, volumetría, espacio y envolvente)
- Establecer los criterios idóneos de conservación para los bienes documentales y archivos
- Valorar los registros de temperatura y humedad

## 7. Alcance pretendido:

Este estudio asienta las bases de una futura investigación que se centrará en plantear una propuesta de mejora de acondicionamiento de los espacios interiores con el fin de garantizar las condiciones idóneas de conservación, y la adaptabilidad del sistema a las variables climáticas tanto interiores como exteriores, asegurando un uso sostenible y eficiente de la instalación.

Valorar el modelo energético para diagnosticar posibles riesgos de deterioro, posibilita la identificación de perturbaciones ambientales y, ofrece una herramienta de predicción que permite aplicar técnicas de conservación preventiva, aproximándonos a la idoneidad climática de dichos espacios para la conservación de los bienes que salvaguarda.

## **8. Metodología:**

### **8.1. Resumen metodológico:**

El enfoque empleado para el estudio de las características y evolución del ambiente interior en edificios históricos incluye métodos tradicionales de investigación y nuevas estrategias de simulación mediante software, como herramienta de predicción del comportamiento microclimático del edificio para adoptar estrategias de mitigación y conservación preventiva.

En el presente trabajo se establecen las bases para el desarrollo de investigaciones futuras, desarrollando la primera fase de análisis del estado actual de la Biblioteca Colombina. Se procede a analizar el comportamiento microclimático interior de un edificio histórico, en clima mediterráneo, mediante el estudio de las variables climáticas de temperatura y humedad, según criterio de conservación y eficiencia energética.

El primer paso metodológico consistió en una investigación para contextualizar el edificio, proceder a su descripción histórica, constructiva y de uso, y definir las características térmicas de la envolvente del edificio mediante el planteamiento de hipótesis sobre su caracterización material y el cálculo de transmitancias de los elementos que lo constituyen.

En segundo lugar, se procedió a la recopilación de datos experimentales de temperatura y humedad relativa climática exterior, de la base de datos de AEMET. Para los parámetros microclimáticos interiores, se emplearon registros de temperatura y humedad relativa pertenecientes al equipo de conservación de la Biblioteca.

Posteriormente se propuso una simplificación volumétrica del edificio como paso previo al desarrollo de la fase de simulación energética mediante el programa Desing Builder, que tendría lugar en futuras investigaciones.

En fases posteriores al presente trabajo se desarrollará un estudio comparativo de los resultados obtenidos con el programa informático y los datos reales recopilados. Mediante dicho análisis y comparación de resultados se comprobará la calibración del modelo y su utilidad como herramienta de prevención, bajo un enfoque de conservación dual/múltiple, en el que se debe asegurar la integridad y preservación tanto el edificio patrimonial, como los bienes documentales y archivos albergados en su interior.

## 8.2. Justificación del método: Referencia de estudio internacional

Para establecer el ámbito de desarrollo metodológico del presente estudio, se ha seleccionado la investigación “*Climate for Culture: assessing the impact of climate change on the future indoor climate in historic buildings using simulations*”, dirigida por Johanna Leissner, en cuyo equipo destaca la presencia de Dario Camuffo. Se enmarcó en el proyecto europeo *Climate for Culture* en el cual se planteó una nueva metodología para evaluar los riesgos resultantes del cambio climático sobre los bienes del patrimonio cultural.

Se desarrollaron mapas predictivos de climas interiores y exteriores hasta el 2100, considerando los factores de riesgo de degradación y la demanda energética requerida por los edificios históricos para mantener las condiciones idóneas de conservación, empleando la simulación mediante software como herramienta para el desarrollo y testeo de estrategias de mitigación, sostenibilidad, adaptación y eficiencia energética, con el fin de generar sistemas de apoyo para la toma de decisiones.

Los casos de estudio seleccionados para el análisis fueron una estancia del Palacio de Linderhof (Babiera) y la Capilla de la Santa Cruz en el Castillo de Karlštejn (Chequia). Se llevaron a cabo dos procesos de distinta complejidad. El más complejo consideraba el edificio en su totalidad, basándose en la simulación higrotérmica multizona, mientras que el otro proceso planteaba una simplificación de representación y cálculo del modelo.

En el Palacio de Linderhof se desarrolló una simulación higrotérmica, considerando el uso y el sistema de HVAC del edificio, para el analizar el impacto de la ventilación y el consumo energético. En este primer enfoque se contempló la demanda energética requerida para el acondicionamiento interior, la temperatura (T), la humedad relativa (HR) y la evaluación de daños.

En la Capilla de la Santa Cruz se planteó un modelo simplificado del espacio arquitectónico, considerando las transferencias entre el ambiente exterior y el interior, la temperatura y humedad relativa, como parámetros que permitían simplificar la simulación del microclima interior del edificio. Este método reducía el tiempo de cálculo y simplificaba la configuración del modelo, siendo aplicable sólo en caso de contar con el registro de las variables para la parametrización del modelo.

El método de evaluación desarrollado permitió realizar una evaluación en una escala de tiempo anual, estacional y mensual, poniendo en relación los resultados obtenidos en la simulación con situaciones de riesgo mecánicos, biológicos y químicos, que podían afectar tanto al edificio como a los bienes patrimoniales de su interior. Esta información se empleó para generar mapas de riesgo mediante el Sistema Isopleth.

Para la simulación macroclimática se desarrollaron modelos climáticos regionales (REMO) estableciendo dos posibles escenarios, uno en un futuro cercano (2010-2050), y otro hacia un futuro lejano (2071-210), empleando para la verificación de las simulaciones los registros de un pasado reciente (1961-1990), mientras que para la simulación microclimática en edificios se emplearon las herramientas de simulación mediante software, Hambase y WUFIplus.



Hoy día, la simulación informática mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) permite predecir de forma aproximada el comportamiento real de las dinámicas microclimáticas que se producen en el ambiente interior de un edificio, y se emplea como herramienta de análisis para resolver el acondicionamiento higrotérmico, calidad del aire, así como la comparación de sistemas para facilitar la elección energética más eficiente. Este método exige caracterizar de forma dinámica el balance térmico entre el interior del edificio y el ambiente exterior a través de su envolvente y, los flujos de aire intercambiados, pudiendo resultar complejos y tediosos.

El proceso que se realiza habitualmente mediante acoplamiento, ya sean simulaciones de estado estacionario o dinámico, consta de dos fases correlativas. En primer lugar, se realiza el cálculo nodal, donde se establece un balance térmico global del que se generan las condiciones de contorno, y en segundo lugar se ejecuta el cálculo mediante Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) en el cual se analizan las masas de aire e intercambios de energía producidos a lo largo del tiempo.

El método desarrollado en futuras fases de la investigación será el **cálculo nodal aplicado al modelo simplificado del espacio arquitectónico de la Biblioteca Colombina y Capitular**. Dicho método permite realizar una caracterización detallada del movimiento, la variación térmica de las masas interiores y, las interacciones dinámicas con el resto de los elementos del edificio, a partir de las condiciones previas de la envolvente. Proceso de simulación energética que requiere validar el modelo, contrastando los datos obtenidos con los valores registrados durante la fase de monitorización, para otorgarle fiabilidad.

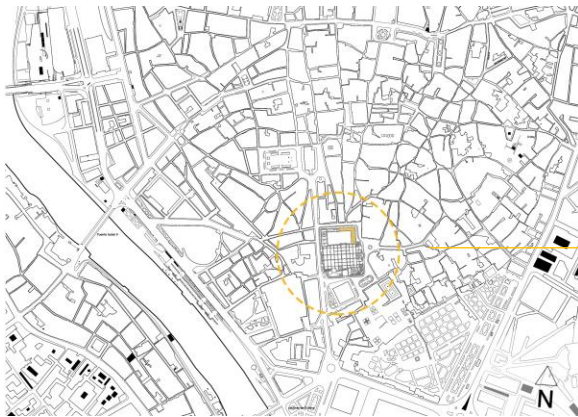
La herramienta de simulación que se utilizará será el software **DesignBuilder**, herramienta validada mediante el protocolo de validación del equipo de investigación de la Escuela Superior de Arquitectura de Sevilla, dirigido por Miguel Ángel Campano; que permite realizar capturas temporales del modelo analizado a partir de un conjunto de condiciones de contorno obtenidas de su módulo nodal de Energy Plus. Dichas condiciones de contorno se obtienen a partir de las mediciones in situ del edificio, considerando las variables de temperatura, velocidad media del aire interior, temperatura radiante de sus superficies, la emisión térmica de los elementos y, los caudales de admisión/ extracción de aire. Sin embargo, en caso de nuestra investigación se partirá del análisis de las variables de temperatura y humedad relativa, ya que son las que están íntimamente ligadas a los riesgos de deterioro de los bienes patrimoniales como son los libros y archivos albergados en la Biblioteca, considerando tanto el valor medio de las mediciones, como su desviación estándar.

### 8.3. Datos generales de la Biblioteca Colombina

#### 8.3.1. Ubicación:

(latitud: 37°23'11.84"N / longitud: 5°59'33.93"O)

La Biblioteca Colombina ocupa la nave Norte y Este que encierra el Patio de los Naranjos de la Catedral de Sevilla, sito en la Calle Alemanes y Calle de Placentines, respectivamente, resolviendo el acceso en la intersección de ambas naves por la c/Alemanes.[Ilustración 1-2]



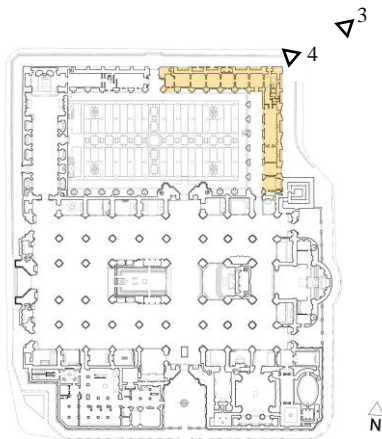
#### Ilustración 1:

Plano de situación

Modificación del plano de situación [22]

#### Ilustración 2:

Vista aérea de la Catedral de Sevilla, Patio de los Naranjos y Biblioteca Colombina. (Fuente: Google Earth)



#### Ilustración 3:

Vista exterior Biblioteca Colombina Fachada Este.  
(Fuente: Google Earth)

#### Ilustración 4:

Vista exterior Biblioteca Colombina Fachada Norte.  
(Fuente: Google Earth)



### 8.3.2 El edificio:

Emplazado en espacios remanentes de la Mezquita Mayor Almohade (1198, s.XII), las medidas aproximadas de dichas naves son de 43.80x6.4m (nave norte) y, 39x5.70 (nave este), ambos con una altura interior aproximada de 12m. Consideraremos la altura interior de las naves, sin tener en cuenta la altura del espacio abuhardillado que constituye la cubierta a dos aguas, del cual el espacio principal queda separado por el falso techo raso, en caso de la nave norte, y abovedado en caso de la nave este. Ambas cubiertas fueron rehabilitadas tras su hundimiento

Espacios de una y dos alturas, conforman ambas naves como resultado de la construcción de plantas y entreplantas donde se albergan múltiples usos. (consultar planimetría),

Para el presente estudio destaca dos áreas principales: la Biblioteca del arzobispado, archivo de la Catedral y Archivo Arzobispal, al norte, y la Biblioteca Colombina y Capitular, al Este; ambas con desarrollo en planta primera y con espacios a doble altura.



#### **Ilustración 5:**

Se observan las características espaciales que definen el edificio, como es la elevada altura espacial coronada con un falso techo abovedado, en Sala Capitular Nave Norte

(Fuente: José Cabello Morales en <http://eltallerdenuadernacion.blogspot.com>)



#### **Ilustración 6:**

El vestíbulo de acceso como intersección y relación entre la nave Norte y Este

(Fuente: Web Ricardo Sierra en <http://joseramonsierra.es/arquitectura-ficha.php?id=170>)

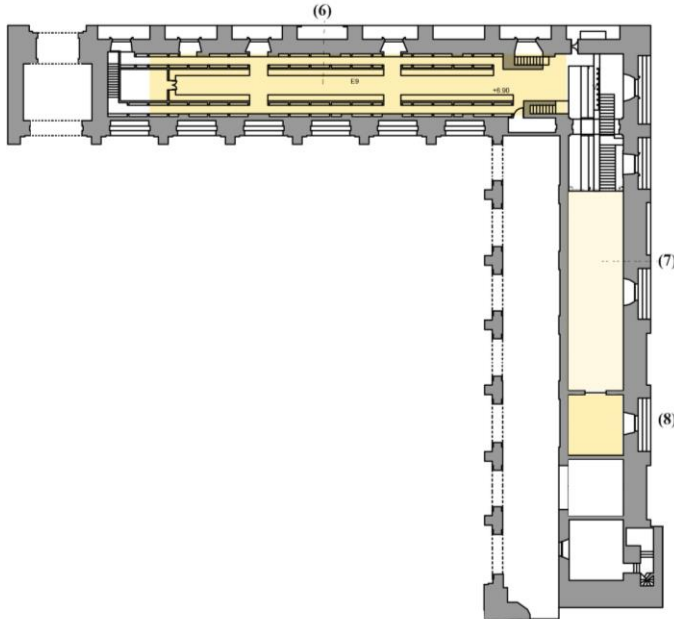
#### **Ilustración 7:**

Biblioteca del Arzobispado, Archivo de la Catedral y Archivo Arzobispal

(Fuente: Web Ricardo Sierra en <http://joseramonsierra.es/arquitectura-ficha.php?id=170>)

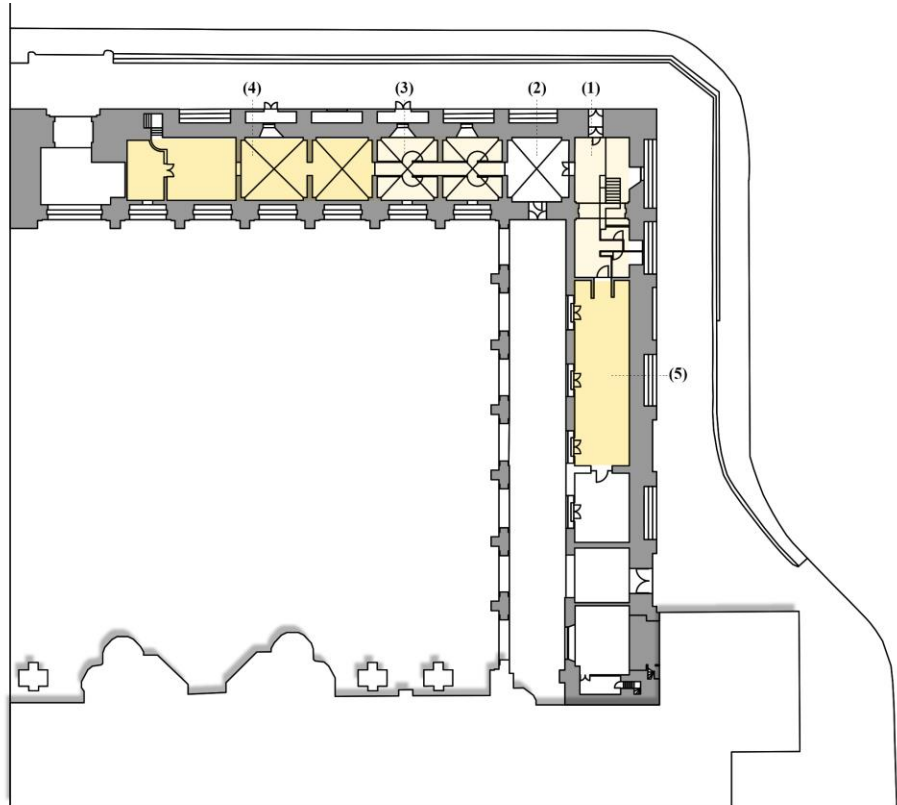
### 8.3.3. Usos y planimetría:

El edificio actualmente funciona como archivo histórico, biblioteca de investigación y gestión patrimonial. Se adjunta a continuación el programa albergado en el edificio.



#### Planta Primera

- (6) Biblioteca del Arzobispado
- (7) Sala Capitular
- (8) Sala Colombina



#### Planta baja:

- (1) Vestíbulo-Acceso
- (2) Administración
- (3) Restauración
- (4) Archivo y depósito
- (5) Sala de consulta

## 8.4. Caracterización de los elementos constructivos

Para definir las características térmicas de la envolvente se procedió a una investigación histórica-constructiva, como base al planteamiento de hipótesis sobre la caracterización material del edificio, apoyándonos en el Catálogo de materiales del CTE para la caracterización térmica de dichos materiales, mediante el cálculo de transmitancias térmica  $U$  ( $W/m^2K$ ) estableciendo el espesor y la conductividad térmica de cada capa. Dicho cálculo puede consultarse en el Anexo D.

### 8.4.1 La envolvente:

Cabe destacar el trabajo de Álvaro Jiménez Sancho [22] cuyo trabajo arqueológico sobre la construcción de la mezquita almohade de Sevilla, asentó las bases para el planteamiento de hipótesis materiales sobre la envolvente.

Se consideró una fábrica mixta de cajones de tapial con verduga simple y remate de fábrica de ladrillo [Ilustración 8] como hipótesis material para la envolvente de la Biblioteca Colombina y Capítular. Según esta hipótesis la densidad del material sería de  $1400kg/m^3$ , con una conductividad térmica de  $0.6 W/m \cdot K$  [24].

Se observa que el espesor de los muros es más grueso en la nave norte, siendo de 1.50 y 1.57m y, de 1.40 y 1.49 en la este. En ambos casos, por el exterior, tienen estribos rectangulares de 1.32 y 1.36m en la c/ Alemanes (norte) y, 1.13 y 1.18m en la c/ Placentines (este). [Ilustración 9]

El zócalo está compuesto por mampuestos y sillarejos de piedra alcoriza dispuestos de forma irregular, para protegerlo de la humedad del terreno [Ilustración 10].

La masividad material de la envolvente, pese a contar con vidrio simple en las carpinterías, proporciona una gran masa o inercia térmica que atenúa parcialmente las oscilaciones térmicas del interior, y modera la humedad ambiente interior, manteniendo un microclima estable, aunque insuficiente en algunos casos según las exigencias de conservación patrimonial.



Ilustración 8:  
Esquema muro tapial con Verduga simple y remate de fábrica de ladrillo [23]



Ilustración 9: Detalle fachada nave Norte  
Ilustración 126 [22]



Ilustración 10: Detalle zócalo  
Ilustración 125 [22]

### 8.4.2 El suelo:

La complejidad material del suelo del edificio se debe a la superposición de estratos históricos [Ilustración 11]. En base a catas realizadas en investigaciones arqueológicas anteriores podemos plantear una hipótesis simplificada del mismo [22].

Se consideró un solado de piedra natural de mármol con mortero de cemento como material de agarre, colocado directamente sobre suelo existente, sin capa de regulación, como hipótesis material del suelo del edificio [Ilustración 12] ,y se consultó el Catálogo de elementos constructivos para el cálculo de transmitancias (Anexo D).

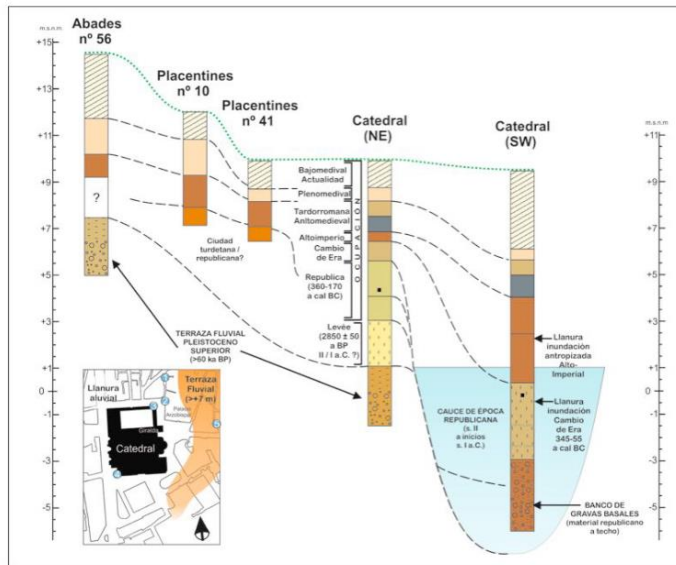


Ilustración 11:

Síntesis geoarqueológica del entorno de la Catedral. Autor F.Borja Barreza

Ilustración 11 [22]



Ilustración 12:

Vista zapata de un pilar nave norte, mediante cata.

Ilustración 121 [22]

### 8.4.3. Forjado intermedio:

Para plantear la hipótesis constructiva del forjado de planta primera, realizado en la rehabilitación de los 80's, se consideró el contexto histórico e hipótesis de carga según el uso del edificio.

Según los criterios para la construcción de archivos [25] los forjados de los depósitos han de poder soportar una sobrecarga de 1.500 Kg/m<sup>2</sup>. y estar preparados con los gruesos y refuerzos necesarios para el anclaje de armarios compactados. En el caso de la Biblioteca Colombina, los armarios compactos solo se ubican en la planta baja de la nave norte, en la zona de archivo y restauración, de modo que el resto de almacenaje no requiere consideraciones de carga tan restrictivas, por lo que se usó como parámetro orientativo en el predimensionado del forjado para posteriormente establecer las hipótesis constructivas de forma coherente, obtenido mediante el uso de un documento Excel de libre acceso [28-30]

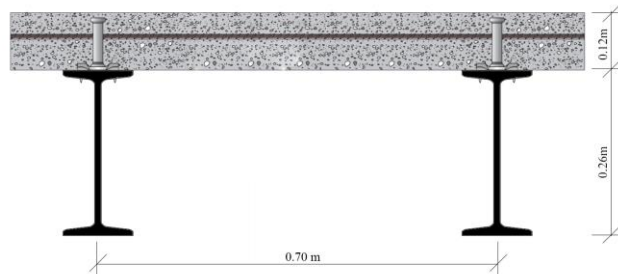
Para una carga entorno a 15kN/m<sup>2</sup>, una separación entreteje de 0.70m y una longitud de vano de 6.00m, las hipótesis constructivas fueron las siguientes:

- Hipótesis 1: Viga metálica IPE 240, en forjado mixto.
- Hipótesis 2: Viga de hormigón armado 40x20cm
- Hipótesis 3: Forjado unidireccional canto mínimo 42cm

Las hipótesis 2 y 3 se descartaron por cantos excesivos y por las elevadas cargas propias del sistema constructivo en sí mismo. Debido a que el forjado de planta primera es fruto de un proyecto de rehabilitación, la elección se decanta por la hipótesis 1, con el uso de viga metálica, dando lugar a una serie de subhipótesis referidas al tipo de entrevigado empleado.

- Subhipótesis 1.1: Chapa colaborante
- Subhipótesis 1.2: Bovedilla de hormigón o cerámica
- Subhipótesis 1.3: Losa armada

remonta a 1938 en Estados Unidos, y el cual no se utilizó en Europa hasta 1969; se usara en España en los años ochenta. Se descartó la opción de entrevigado de bovedillas debido al elevado canto requerido por las sobrecargas de archivo y biblioteca, lo que supondría un elevado coste material y peso propio, decantándose por la hipótesis de losa armada apoyada sobre vigas IPE.



**Ilustración 13:**  
Hipótesis forjado mixto en planta intermedia  
(producción propia)

#### 8.4.4. La cubierta:

El hundimiento parcial del techo de la Biblioteca en enero de 1986 incentivó la rehabilitación completa de la misma en ambas naves, sustituyendo la cubierta abuhardillada por una ligera inclinada formada por cercha metálica, tableros para la formación de pendiente y teja cerámica como terminación [Ilustración 14-15]. Éste elemento estructural está conformado, no sólo por dicha cubierta ligera, sino también por una bóveda de cañón, no estructural, la cual conforma la terminación por su cara interior y el espacio residual entre ambos elementos, a modo de “cámara” o espacio no ventilado.

La hipótesis material planteada requirió la investigación sobre bóvedas no estructurales, para la configuración del espacio abovedado que conforma la cara interior de la cubierta, y la consulta del Catálogo de materiales y elementos constructivos del CTE para la caracterización térmica de los materiales y el cálculo de la transmitancia térmica del elemento. Se consideró como hipótesis el sistema constructivo de bóveda encamionada [Ilustración 16-17] formada por una estructura de madera apoyada en los muros de tapial, y un entramado de madera cubierto de yeso para aligerar el peso de esta falsa bóveda, elemento autoportante y carente de función estructural.

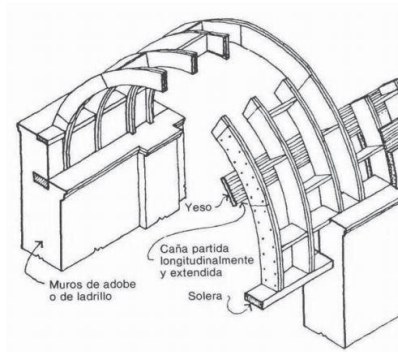
La transmitancia se calculó según el apartado E.1.3.1 del DB HE para particiones interiores en contacto con espacios no habitables, para lo cual se aplicó un coeficiente de reducción de temperatura fruto de la relación entre el área de cubierta a dos aguas y el área de forjado interior, y considerando un nivel de estanqueidad de 1. (Consultar cálculos en Anexo D)



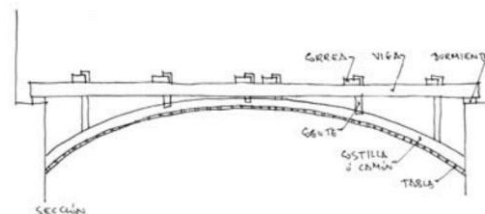
**Ilustración 14:**  
Remodelación de las cubiertas de la Biblioteca 1988.  
Ilustración 71 [22]



**Ilustración 15:**  
Recrecido del adarve en cubierta con la subida de la cubierta para alojar la maquinaria de A/A.  
Ilustración 58 [22]



**Ilustración 16-17:**  
Esquemas estructurales bóveda encamionada [27]





## 8.5. Análisis de la situación actual de la Biblioteca:

### 8.5.1. Datos experimentales de temperatura y humedad:

Para poder llevar a cabo la caracterización de la envolvente del edificio, y contrastar los resultados reales con los obtenidos mediante la simulación, con el fin de calibrar el modelo, es necesario recopilar información de temperatura y humedad relativa climática exterior y microclimática del edificio.

Se emplearán los registros de temperatura del aire y humedad relativa del equipo de conservación de la Biblioteca en la Sala Colón, la Sala Noble, la Sala Capitular, la Sala de lectura y consulta, el archivo y, el área de administración; mientras que los datos meteorológicos característicos del clima mediterráneo en donde se emplaza el edificio se obtendrán de la base de datos de AEMET. El periodo de estudio, tal y como se ha dicho en varias ocasiones, se prologará desde marzo de 2014 a marzo de 2017. Respecto a la recopilación de datos internos, se nos han facilitado los datos existentes que valoran temperatura y humedad relativa y que pertenecen a este periodo, aunque se desconoce la posición en la que han sido colocadas las sondas y los sensores que conforman el equipo de monitorización de la Biblioteca.

El conjunto que está previsto instalar para monitorización se desarrollará según el protocolo establecido por la UNE-EN ISO 7726 y UNE-EN 1558 (ver tabla 1), y las mediciones se realizarán con herramientas calibradas periódicamente según la UNE-EN ISO 7726, siendo la incertidumbre de medición menor a 1. Con el objetivo de observar la estratificación térmica en espacios de dobles alturas, se colocarán sensores a la altura de una persona sentada (1.10m) y a una altura de 9-10m, debiendo ubicar los sensores evitando la influencia de fuentes de radiación, el flujo de aire a través de las aberturas de las puertas y la pérdida de calor a través de las paredes externas o de la pared.

**Table 1**  
Characteristics of measuring instruments, UNE- EN ISO 7726 and UNE-EN 1558.

Quantity	Measuring range	Uncertainty	Resolution	Position
Air temperature (T)	-20 °C to 60 °C (indoor)	Required 0.5 °C Desirable 0.2 °C	0.1 °C	h = 1.1 m (sitting)
Radiant temperature (T <sub>r</sub> )	-20 °C to 100 °C (indoor)	Required 2 °C Desirable 0.5 °C	0.1 °C	h = 1.1 m (sitting) h = 1.7 m (standing)
Surface temperature (T <sub>s</sub> )	-20 °C to 80 °C (indoor)	Required 1 °C + 0.01 [T - T <sub>s</sub> ] Desirable 0.5 °C + 0.01 [T - T <sub>s</sub> ]	0.1 °C	h = 1.1 m (sitting) h = 1.7 m (standing)
Air speed (V)	0.05 m/s to 1 m/s	Required ±0.5 s Desirable ±0.2 s		h = 1.1 m (sitting) h = 1.7 m (standing)

La premisa fundamental de este proyecto de investigación es la conservación de los documentos y archivos albergados en la Biblioteca, por lo que para llevar a cabo el análisis de los datos recopilados se tomarán los parámetros de conservación establecidos por el Directorio Institucional de la Cultural y Archivos de Andalucía.

Siendo los valores idóneos para la conservación de bienes documentales y archivos, una temperatura de 21°C (±1) y 50 % de HR (±5) y, unos valores máximos de 16°C y 22°C de temperatura y de 45% y 60% de humedad relativa. Se considerarán situaciones de riesgo de conservación, por deshidratación (21°C; HR<45%), por reblandecimiento (T<18°C; HR>55%) y, por rigidez o cristalización (T<18°C; HR<45%).

Se ha realizado un estudio mediante tablas y gráficos de línea y punto donde se relacionan inputs y outputs de ambas variables.

### 8.5.2. Datos meteorológicos:

Los datos de temperatura fueron obtenidos del registro de AEMET mediante consulta de la web datosclima.es, y los datos de humedad relativa se obtuvieron de la web woespana.es.

Tras consultar los registros diarios de temperatura máximas y mínimas desde marzo de 2014 a 2017, se procede a realizar la media de cada mes. Los datos diarios de humedad relativa se estimaron a través de gráficas, y de igual modo que con la anterior variable, se procedió a calcular la media mensual en el periodo indicado.

Tabla 1.1: Resumen datos meteorológicos Sevilla (Estación Meteorológica de Tablada)

Año	Mes	T.Max	T.Min	T.media	Año	Mes	HR(%)
2014	Marzo	21,54	9,03	15,28	2014	Marzo	61,62
	Abril	24,44	13,19	18,82		Abril	67,48
	Mayo	29,50	15,21	22,35		Mayo	47,03
	Junio	30,64	17,49	24,07		Junio	52,52
	Julio	32,27	18,10	25,18		Julio	53,17
	Agosto	32,67	17,80	25,24		Agosto	45,03
	Septiembre	28,08	18,32	23,20		Septiembre	71,76
	Octubre	28,24	16,21	22,23		Octubre	70,43
	Noviembre	20,79	11,84	16,31		Noviembre	79,90
	Diciembre	16,17	5,54	10,86		Diciembre	84,71
2015	Enero	16,71	4,33	10,52	2015	Enero	76,17
	Febrero	17,06	6,13	11,59		Febrero	69,50
	Marzo	22,67	9,21	15,94		Marzo	66,52
	Abril	24,11	13,01	18,56		Abril	67,21
	Mayo	31,24	16,26	23,75		Mayo	48,07
	Junio	32,85	18,45	25,65		Junio	45,14
	Julio	36,78	20,74	28,76		Julio	41,24
	Agosto	33,91	20,67	27,29		Agosto	51,24
	Septiembre	29,94	16,71	23,33		Septiembre	60,76
	Octubre	25,31	16,38	20,84		Octubre	77,21
	Noviembre	22,79	9,72	16,26		Noviembre	72,62
	Diciembre	19,69	8,91	14,30		Diciembre	73,64
2016	Enero	17,56	9,17	13,37	2016	Enero	84,17
	Febrero	18,04	8,39	13,21		Febrero	72,45
	Marzo	20,12	6,72	13,42		Marzo	67,83
	Abril	22,53	11,29	16,91		Abril	69,38
	Mayo	26,35	13,91	20,13		Mayo	62,90
	Junio	32,96	17,93	25,44		Junio	46,34
	Julio	36,42	21,66	29,04		Julio	44,14
	Agosto	36,71	21,80	29,25		Agosto	43,41
	Septiembre	33,50	18,47	25,98		Septiembre	50,83
	Octubre	27,58	15,57	21,58		Octubre	68,59
	Noviembre	19,81	9,76	14,78		Noviembre	75,55
	Diciembre	18,29	8,60	13,45		Diciembre	81,59
2017	Enero	16,94	4,24	10,59	2017	Enero	73,96
	Febrero	18,00	9,13	13,57		Febrero	81,48
	Marzo	21,70	9,74	15,72		Marzo	70,24

### 8.5.3. Análisis de resultados:

#### 8.5.3.1 Sala Colón:



Se procede a continuación al análisis de la evolución del ambiente interior de la Sala Colón o Colombina de la Biblioteca. Ubicada en la nave Este, primera planta, colindante con la Sala Capitular a Norte, y un espacio exterior de transición a Sur. Sus dos fachadas dan a Este, donde se encuentra el único hueco de carpintería del que dispone, y a Oeste. Cuenta con falso techo abovedado que separa la sala del espacio abuhardillado constituido por una cubierta a dos aguas que funciona como amortiguador térmico. En planta baja coincide con el espacio de consulta y lectura. Debido

a su emplazamiento, recibe sombras arrojadas de la torre de la Giralda y de la Catedral, influyendo en la radiación recibida a lo largo del día.

El ambiente interior de la sala parece no alcanzar habitualmente los valores de referencia para los parámetros recomendados y mantener unas condiciones ambientales de conservación idóneas, pero no llegan a registrarse situaciones graves de riesgo de deterioro debido a la estabilidad anual. Sin embargo, se observan variaciones excesivas de temperatura y humedad que someten a "situación de estrés térmico" los documentos y archivos objeto de preservación, superando los rangos de T16-22°C, durante casi todo el año, siendo la primavera la estación más estable. El control de la humedad relativa es el parámetro más relevante en el proceso de conservación, por lo que en caso de superar la oscilación máxima tolerable de HR45-60%, la situación se aproxima peligrosamente a situaciones de riesgo por deterioro mecánico o biodeterioro, siendo el periodo verano-otoño los más alarmantes, a lo largo del periodo que compete a la presente investigación desde marzo de 2014 hasta marzo de 2017. Esto puede deberse a la manipulación del sistema de climatización por parte de la administración del edificio de los sistemas de climatización en otoño, y al cierre de la Biblioteca desde el 15 de junio hasta el 16 de Septiembre, periodo en el que probablemente las condiciones térmicas se conserven por las características del edificio y su inercia térmica material. (se desconoce que incidencia ha podido ocurrir en el periodo de febrero a abril de 2016 en el que no se cuenta con ningún registro. Probablemente debido a una avería del equipo de control y monitorización).

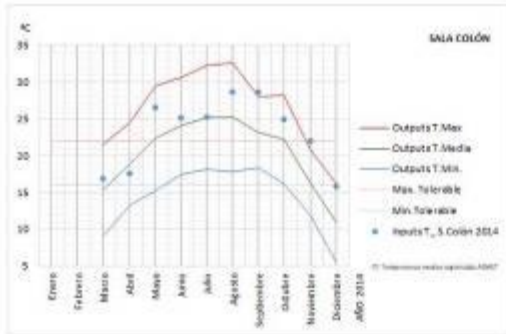
(Para consultar los datos de monitorización y análisis de datos consultar Anexo E)

Condiciones sopesadas:

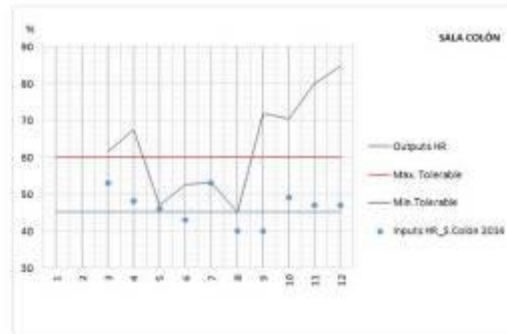
CONDICIONES DE RIESGO DE CONSERVACIÓN:	ESTADO ÓPTIMO/IDÓNEO:	OSCILACIONES MÁXIMAS TOLERABLES:
DESHIDRATACIÓN: $\geq 21^{\circ}\text{C}$ ; HR <45%	T 18-20°C	T 16-22°C
BIODETERIORO: $< 18^{\circ}\text{C}$ ; HR >55%	HR 50-55%	HR 45-60%
CRISTALIZACIÓN: $< 18^{\circ}\text{C}$ ; <45%		

Gráficos: Sala de Colón 2014-2015

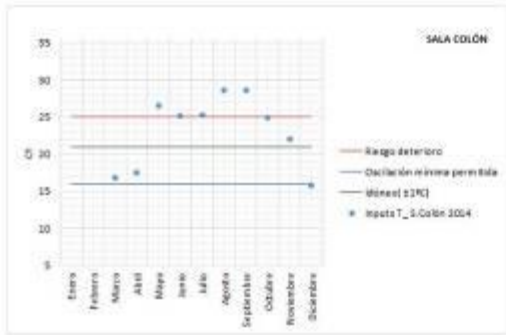
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2014



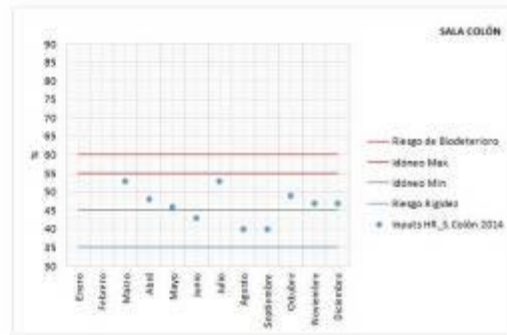
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2014



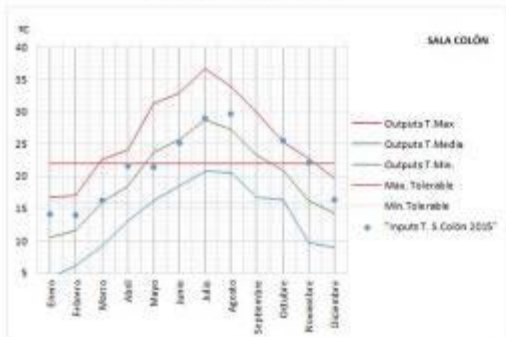
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2014: ANÁLISIS DE RIESGO



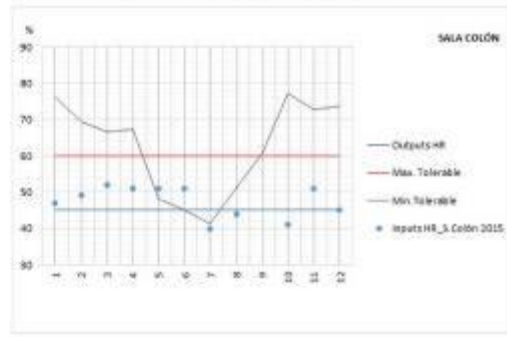
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2014: ANÁLISIS DE RIESGO



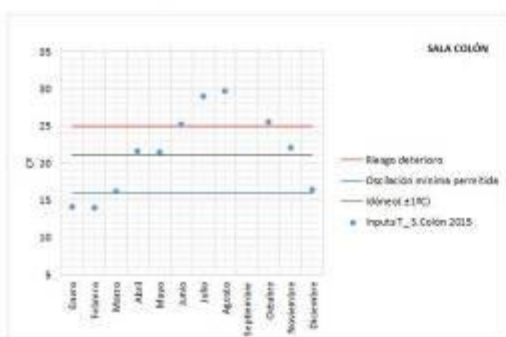
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2015



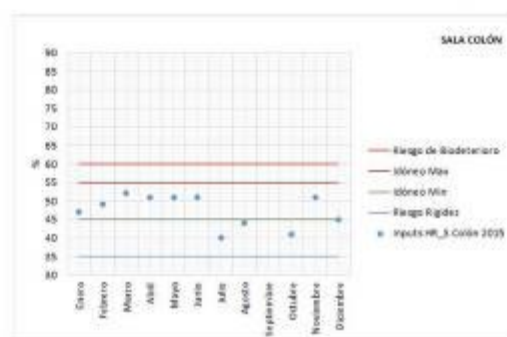
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2015



EVOLUCIÓN TÉRMICA 2015: ANÁLISIS DE RIESGO

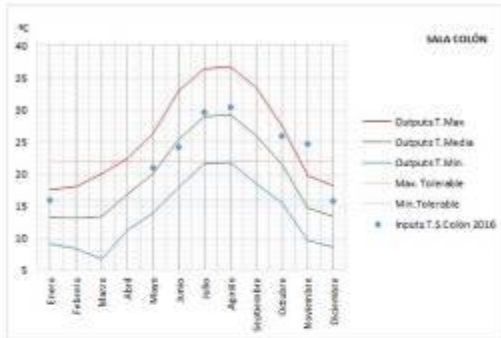


EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2015: ANÁLISIS DE RIESGO

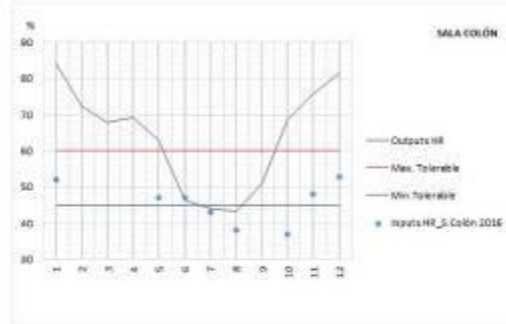


Gráficos: Sala de Colón 2016-2017

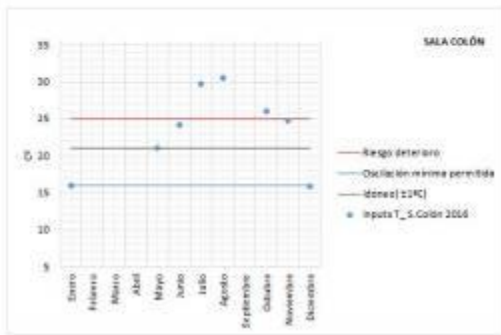
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2016



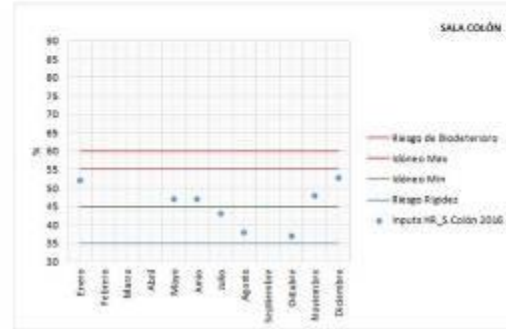
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2016



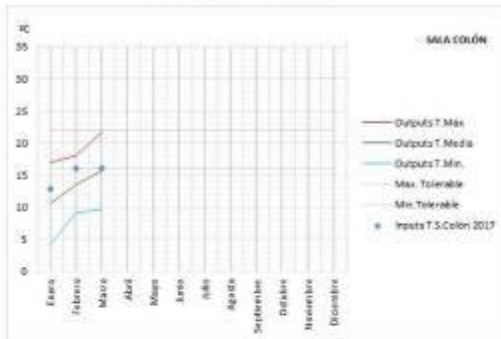
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2016: ANÁLISIS DE RIESGO



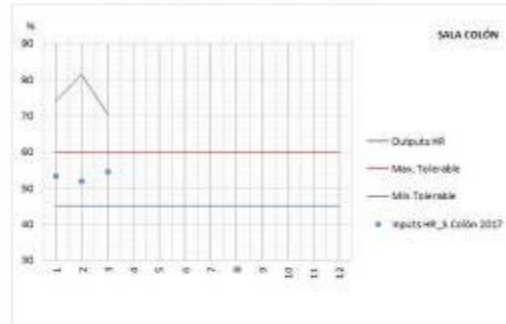
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2016: ANÁLISIS DE RIESGO



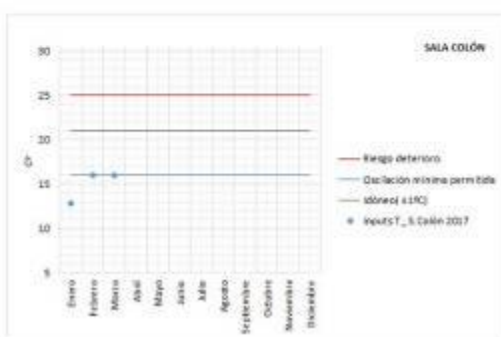
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2017



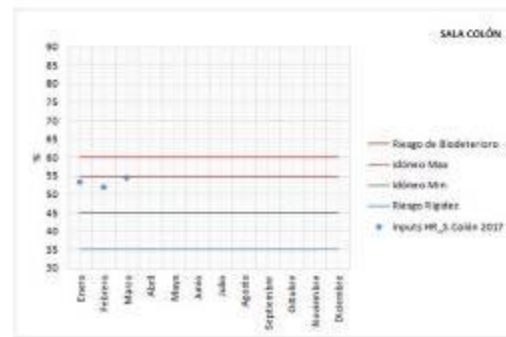
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2017



EVOLUCIÓN TÉRMICA 2017: ANÁLISIS DE RIESGO



EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2017: ANÁLISIS DE RIESGO



### 8.5.3.2. Sala Capitular:



La Sala Capitular se ubica en la Nave Este, en la primera planta, junto a la Sala Colombina, quedando abierto el espacio hacia el vestíbulo de triple altura que da acceso al edificio y, coincidiendo en planta baja con la sala de lectura y consulta. Cuenta con una única ventana orientada a Este y una fachada ciega hacia el Patio de los Naranjos (oeste). Al igual que la sala colindante, la oscilación térmica es excesiva la mayor parte del año sometiendo a los bienes documentales albergados en ella, a estrés térmico.

El periodo estival sigue siendo el más crítico debido a que cesa el funcionamiento del sistema de climatización al estar cerrado el edificio, manteniéndose las condiciones ambientales naturales, que pese a ser de temperatura elevadas y humedad baja, no se alcanzan rangos de riesgo por deterioro mecánico o biológico, en dicho periodo. De forma puntual se puede observar como a lo largo del periodo de estudio de Marzo de 2014 a 2017, se dan situaciones de riesgo real. En primavera el riesgo registrado es por biodeterioro donde la temperatura es inferior a 18°C y el nivel de humedad relativa es superior a 55%. En invierno (2015) se da riesgo por cristalización y rigidez de los documentos, con motivo a una temperatura inferior a 18°C junto a una HR <45%. En el cambio estacional previo a verano (2016) se observa situación de riesgo por deshidratación por temperaturas de 21°C y HR <45%, pudiendo ocasionar deterioro mecánico de los archivos ubicados en esta sala.

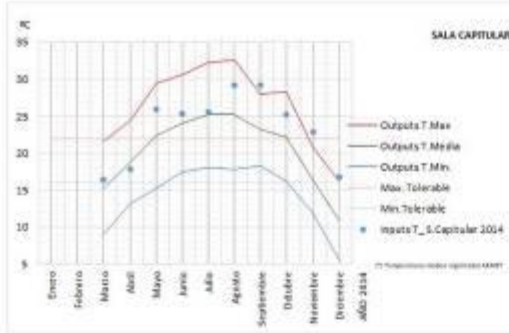
(Para consultar los datos de monitorización y análisis de datos consultar Anexo E)

Condiciones Sopesadas:

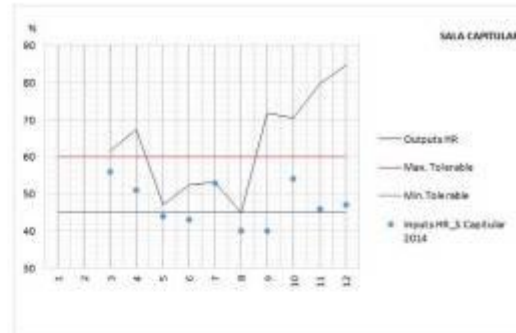
<p><b>CONDICIONES DE RIESGO DE CONSERVACIÓN:</b></p> <p>DESHIDRATACIÓN: ≥21°C ; HR &lt;45%</p> <p>BIODETERIORO: &lt;18°C ; HR &gt;55%</p> <p>CRISTALIZACIÓN: &lt;18°C ; &lt;45%</p>	<p><b>ESTADO ÓPTIMO/IDÓNEO:</b></p> <p>T 18-20°C</p> <p>HR 50-55%</p>	<p><b>OSCILACIONES MÁXIMAS TOLERABLES:</b></p> <p>T 16-22°C</p> <p>HR 45-60%</p>
---	---	--

Gráficos Sala Capitular 2014-2015

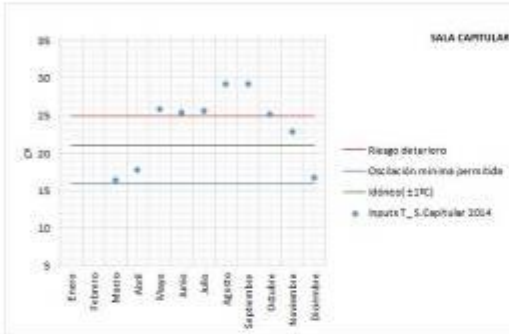
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2014



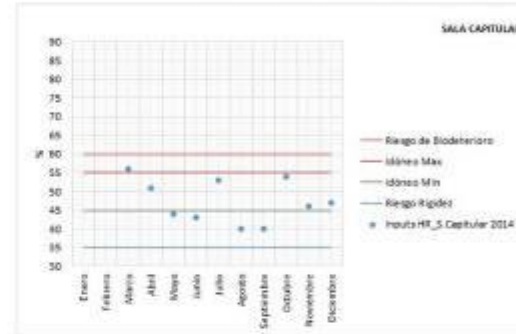
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2014



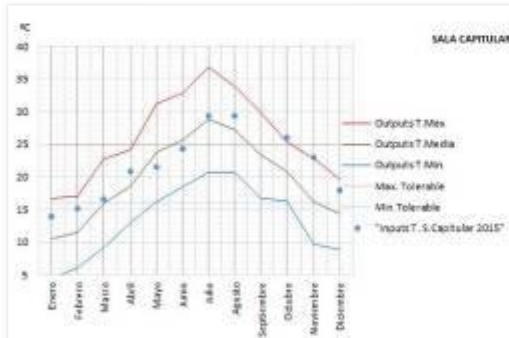
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2014: ANÁLISIS DE RIESGO



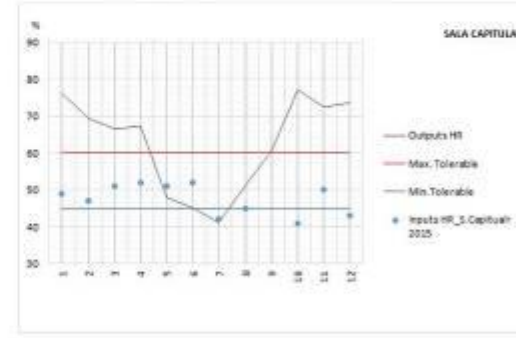
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2014: ANÁLISIS DE RIESGO



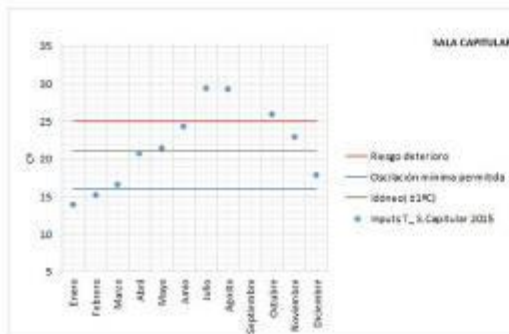
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2015



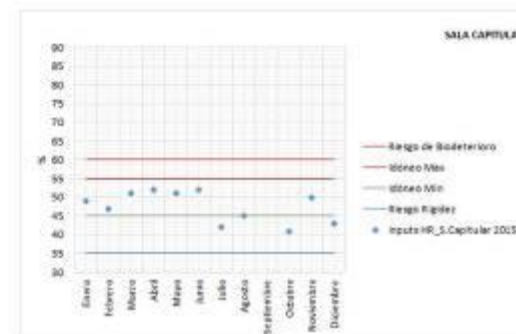
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2015



EVOLUCIÓN TÉRMICA 2015: ANÁLISIS DE RIESGO

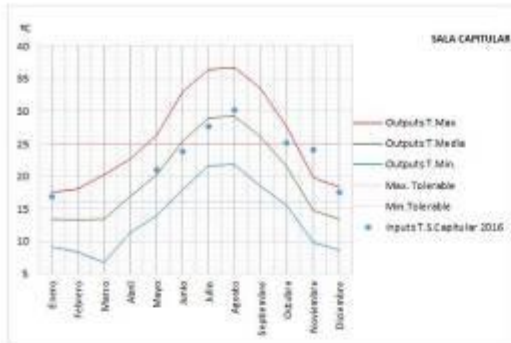


EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2015: ANÁLISIS DE RIESGO

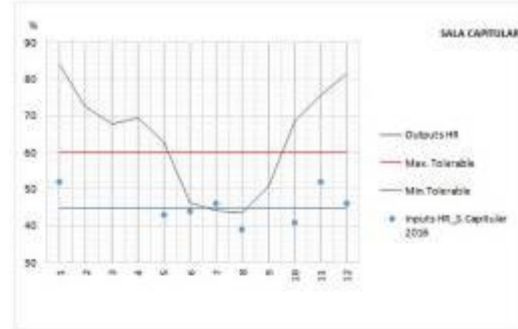


Gráficos. Sala Capitular 2016-2017

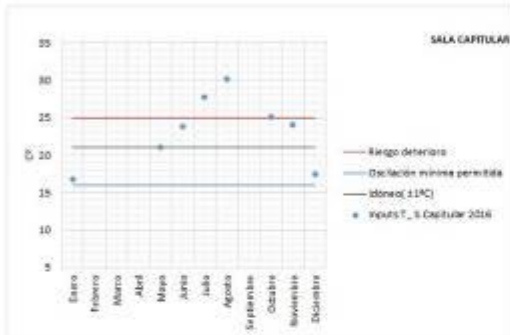
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2016



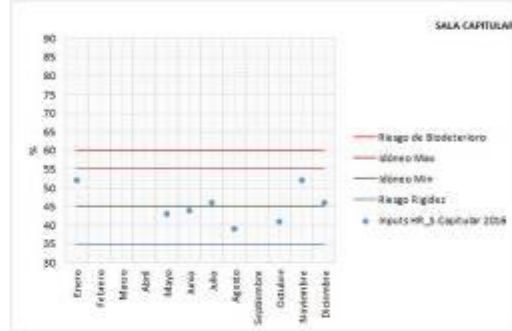
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2016



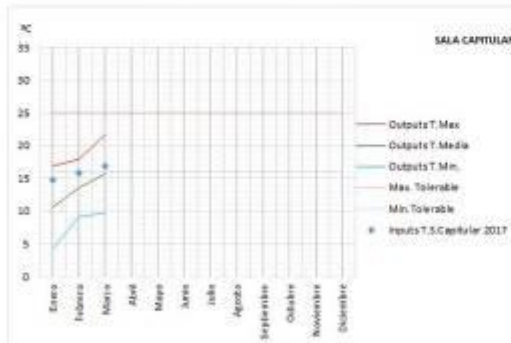
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2016: ANÁLISIS DE RIESGO



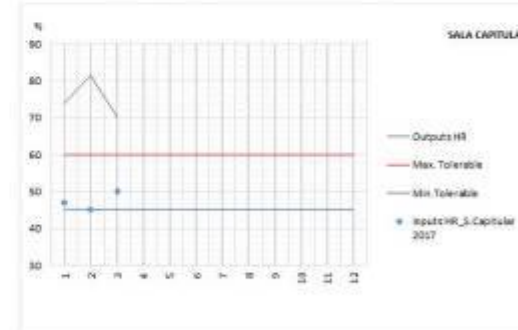
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2016: ANÁLISIS DE RIESGO



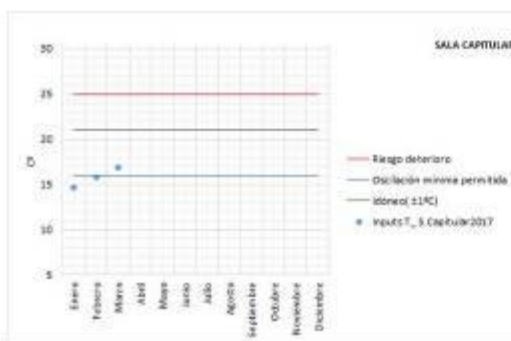
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2017



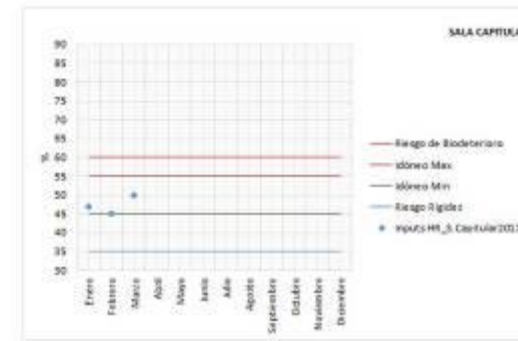
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2017



EVOLUCIÓN TÉRMICA 2017: ANÁLISIS DE RIESGO



EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2017: ANÁLISIS DE RIESGO





### 8.5.3.3. Sala Noble:



La Sala Noble, referida a la biblioteca arzobispal, se encuentra en planta primera, nave Norte, sobre el archivo y áreas de despacho. Cuenta con cuatro ventanas orientadas a Norte, y una fachada ciega a Sur. Ocupa casi toda la planta, abierta al espacio a triple altura del vestíbulo de entrada al edificio. El ambiente interior, pese a no darse ningún registro de situación de riesgo, no es el óptimo. Se produce la compensación entre temperaturas y humedad sin llegar a situación crítica que amenace la integridad de los documentos, pero las oscilaciones térmicas al igual que en la S. Colón, son excesivas durante casi todo el año. La oscilación de humedad relativa principalmente en los meses de verano y otoño desciende en compensación con las altas temperaturas, suponiendo un riesgo latente de deshidratación y rigidez de los documentos y archivos a conservar.

Tal y como se ha mencionado anteriormente la inestabilidad ambiental en el periodo de verano se debe al cierre de la Biblioteca desde el 15 de Junio Hasta el 16 de Septiembre, periodo en el que probablemente las condiciones térmicas se conserven por las características del edificio y su inercia térmica material, evitando situaciones críticas.

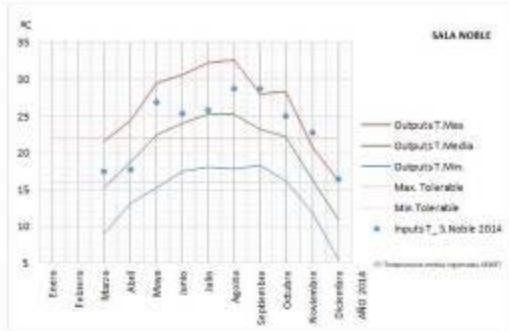
(Para consultar los datos de monitorización y análisis de datos consultar Anexo E)

Condiciones sopesadas:

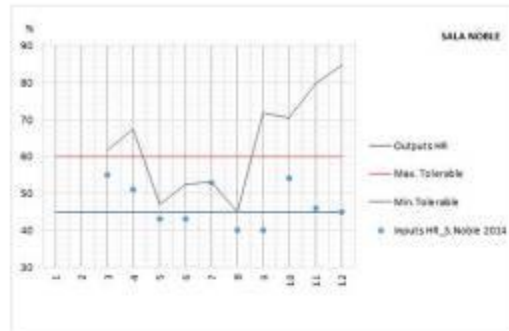
<p><b>CONDICIONES DE RIESGO DE CONSERVACIÓN:</b></p> <p>DESHIDRATACIÓN:  <math>\geq 21^{\circ}\text{C}</math> ; HR &lt;45%</p> <p>BIODETERIORO:            &lt;18°C ; HR&gt;55%</p> <p>CRISTALIZACIÓN:            &lt;18°C; &lt;45%</p>	<p><b>ESTADO ÓPTIMO/IDÓNEO:</b></p> <p>T 18-20°C</p> <p>HR 50-55%</p>	<p><b>OSCILACIONES MÁXIMAS TOLERABLES:</b></p> <p>T 16-22°C</p> <p>HR 45-60%</p>
---	---	--

Gráficos. Sala Noble 2014-2015

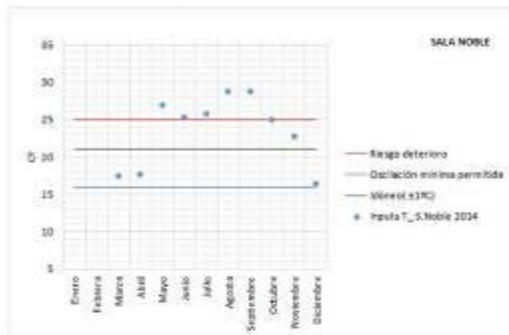
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2014



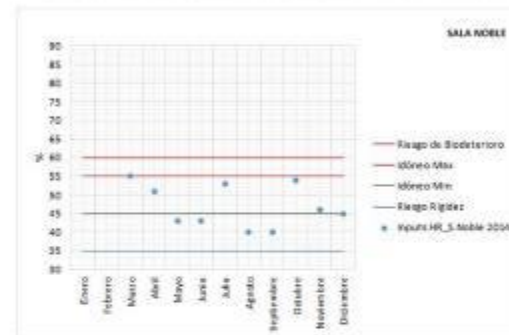
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2014



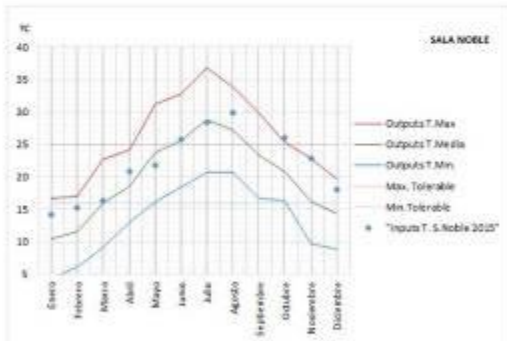
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2014: ANÁLISIS DE RIESGO



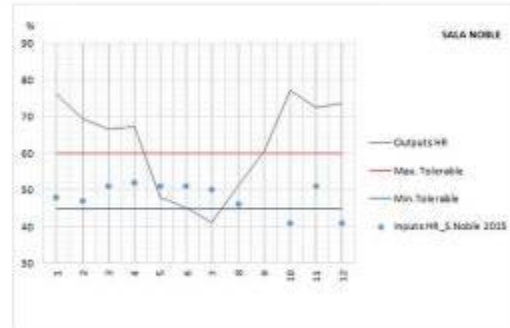
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2014: ANÁLISIS DE RIESGO



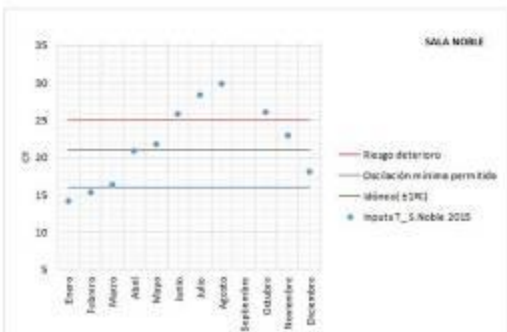
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2015



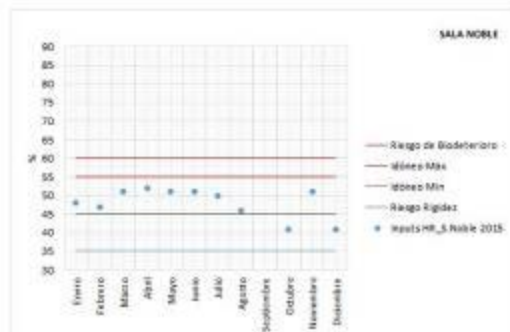
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2015



EVOLUCIÓN TÉRMICA 2015: ANÁLISIS DE RIESGO

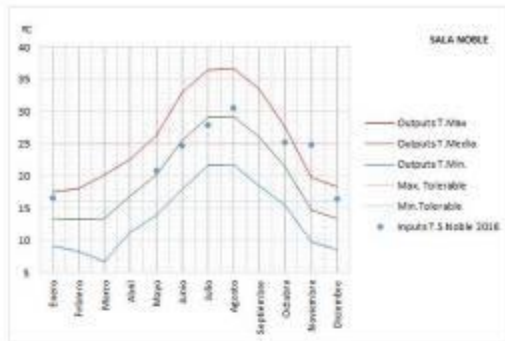


EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2015: ANÁLISIS DE RIESGO

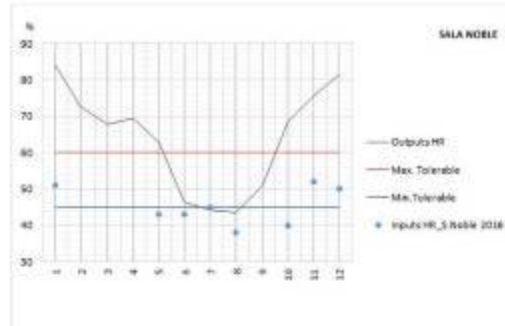


Gráficos. Sala Noble 2016-2017

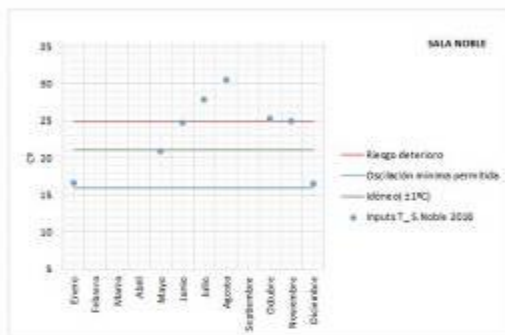
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2016



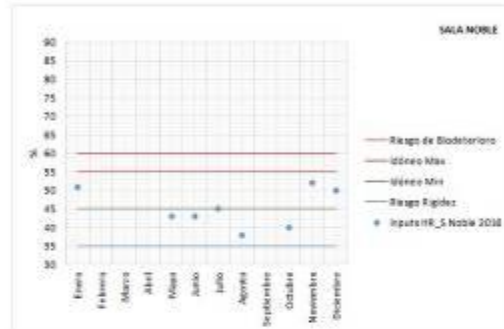
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2016



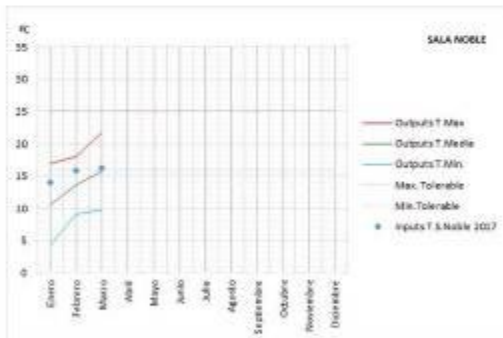
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2016: ANÁLISIS DE RIESGO



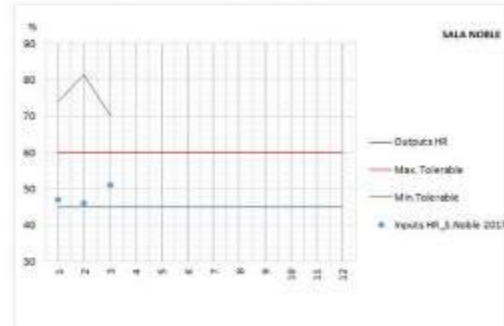
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2016: ANÁLISIS DE RIESGO



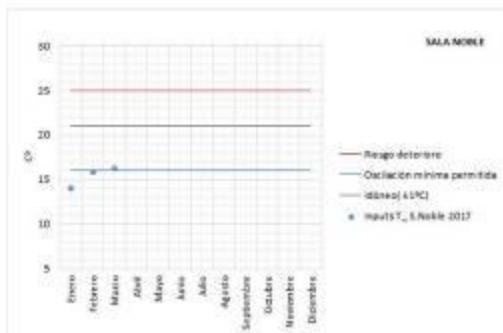
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2017



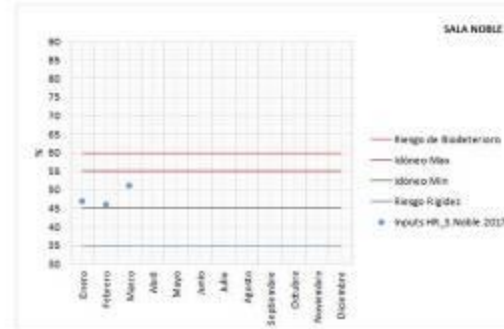
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2017



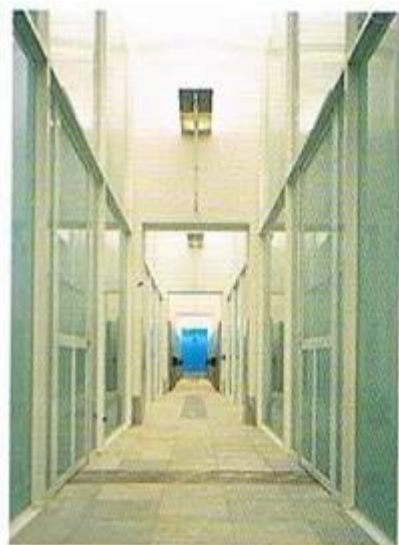
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2017: ANÁLISIS DE RIESGO



EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2017: ANÁLISIS DE RIESGO



#### 8.5.3.4. Área de archivo y restauración:



El Archivo ocupa casi toda la planta baja de la nave norte en una sucesión de 5 naves de doble altura y techos planos, conformado por una zona de depósito y áreas/despacho de restauración, colindantes con el área de administración. La envolvente es casi ciega, sus huecos no se distribuyen de forma homogénea, contando con dos huecos en fachada hacia sur y tres hacia norte, asociados en su mayoría a la zona de despachos y restauración. Al igual que en los espacios anteriormente analizados, se puede observar que las oscilaciones térmicas son excesivas casi todo el año, sometiendo a los bienes documentales a estrés térmico, pudiendo verse afectada su integridad a largo plazo. Los meses en los que además la oscilación de humedad relativa agrava la situación suele coincidir con cambios estacionales. Sin embargo, no se registran situaciones de riesgo "real" de deshidratación, biodeterioro o cristalización, a excepción de dos casos puntuales en 2014, donde se observó riesgo de biodeterioro en Marzo, por temperaturas inferiores a 18°C y HR>55%, y riesgo de cristalización en Diciembre, por temperaturas inferiores a 18°C y HR<45%. Las condiciones ambientales del archivo son suficientes gracias a su característica constructiva y material, y orientación, incluso en los meses de verano en los que el equipo de climatización se encuentra inactivo. (Se desconoce por qué no existe registro del mes de Septiembre, ya que para esas fechas la Biblioteca vuelva a estar operativa, y tampoco se conoce el motivo de la ausencia de datos desde febrero a Abril del 2017, como se ha comentado anteriormente, se cree que pudo estar ocasionado por un fallo del sistema de monitorización y control.

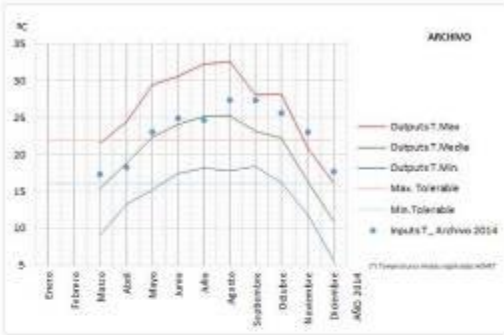
(Para consultar los datos de monitorización y análisis de datos consultar Anexo E)

Condiciones sopesadas:

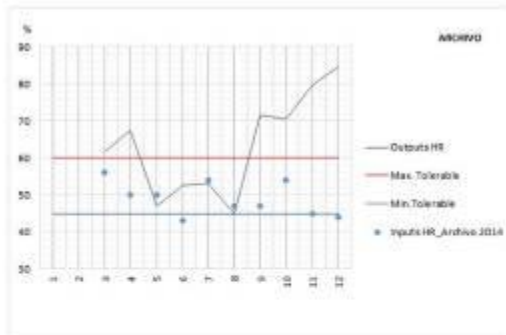
<p><b>CONDICIONES DE RIESGO DE CONSERVACIÓN:</b></p> <p>DESHIDRATACIÓN: ≥21°C ; HR &lt;45%</p> <p>BIODETERIORO: &lt;18°C ; HR&gt;55%</p> <p>CRISTALIZACIÓN: &lt;18°C; &lt;45%</p>	<p><b>ESTADO ÓPTIMO/IDÓNEO:</b></p> <p>T 18-20°C</p> <p>HR 50-55%</p>	<p><b>OSCILACIONES MÁXIMAS TOLERABLES:</b></p> <p>T 16-22°C</p> <p>HR 45-60%</p>
---	---	--

Gráficos Área de Archivo y restauración 2014-2015

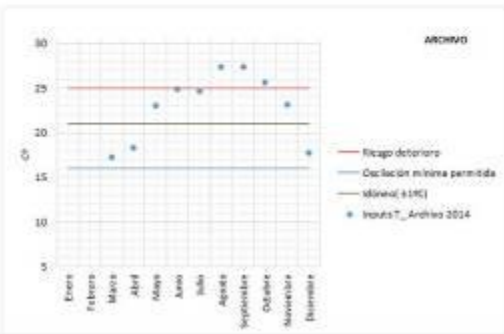
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2014



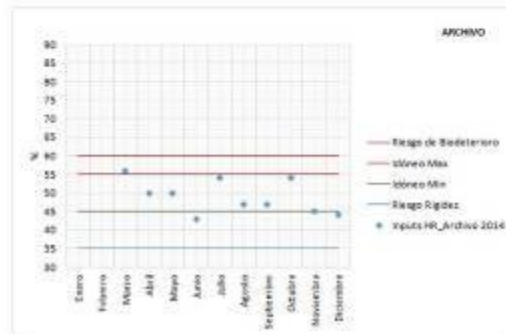
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2014



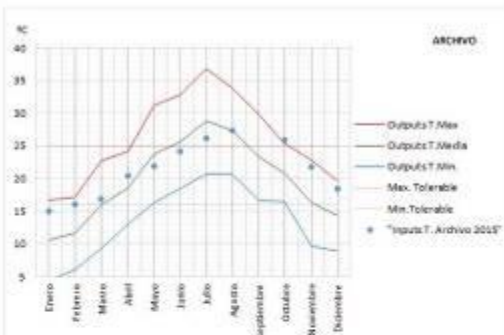
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2014: ANÁLISIS DE RIESGO



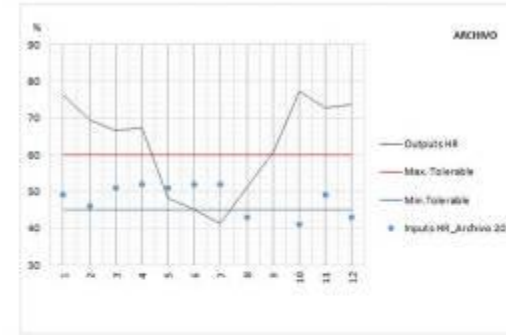
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2014: ANÁLISIS DE RIESGO



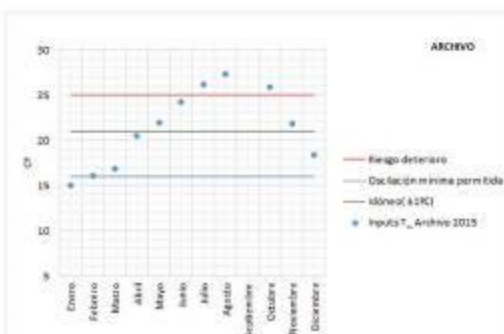
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2015



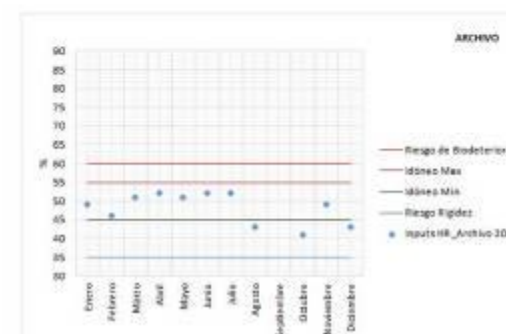
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2015



EVOLUCIÓN TÉRMICA 2015: ANÁLISIS DE RIESGO

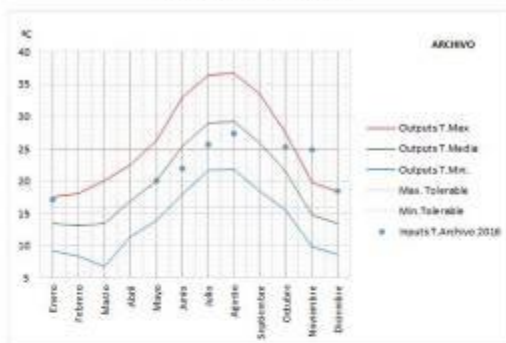


EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2015: ANÁLISIS DE RIESGO

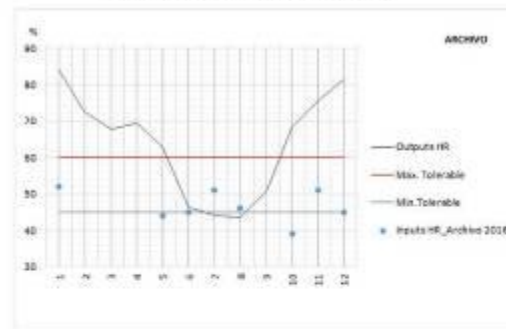


Gráficos Área de Archivo y restauración 2016-2017

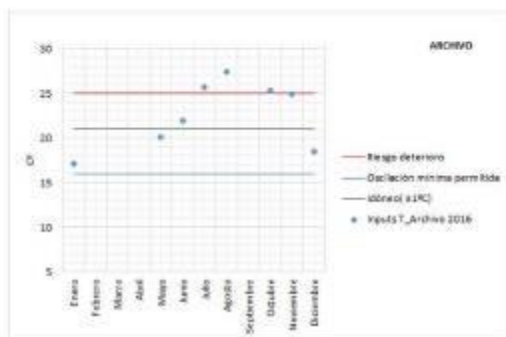
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2016



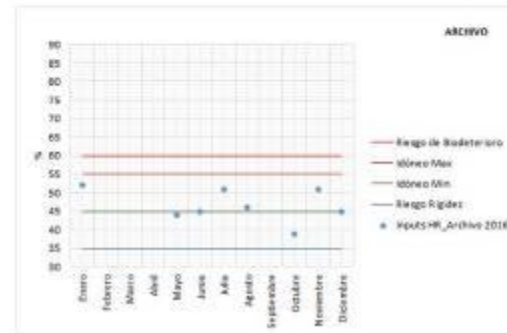
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2016



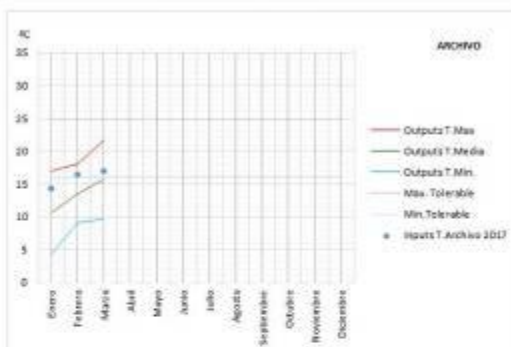
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2016: ANÁLISIS DE RIESGO



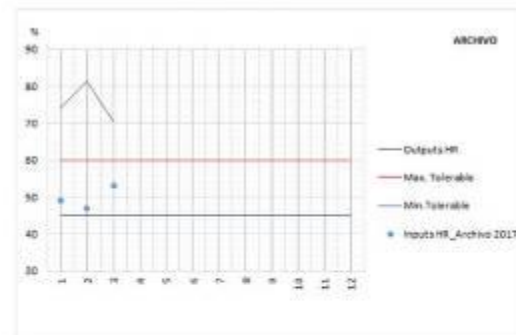
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2016: ANÁLISIS DE RIESGO



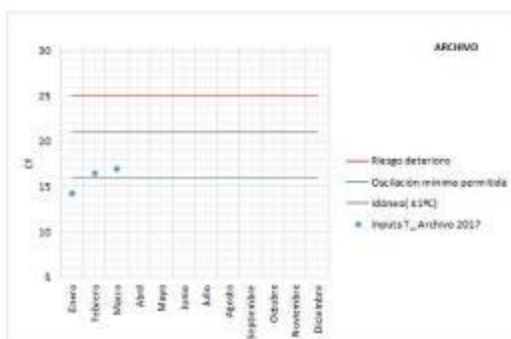
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2017



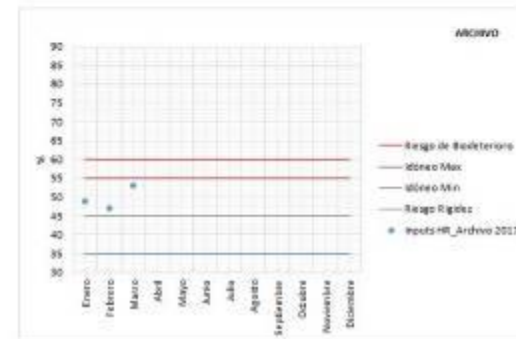
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2017



EVOLUCIÓN TÉRMICA 2017: ANÁLISIS DE RIESGO



EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2017: ANÁLISIS DE RIESGO



### 8.5.3.5. Sala de lectura y consulta:



La Sala de Lectura y Consulta se ubica en la planta baja de la nave este, colinda con espacios de servicios e instalaciones a sur, y con el vestíbulo de entrada al edificio a norte. El estudio del ambiente interior de esta área radica en la necesidad de continuidad de las condiciones climáticas para la conservación de los bienes documentales y archivos albergados en la Biblioteca, de modo que no se vean alterados en el periodo en que dichos documentos son consultados. También es necesario comprobar que no se dan situaciones de riesgo que afecten al edificio.

Como es característico, según hemos analizado anteriormente, las oscilaciones térmicas son elevadas durante casi todo el año, mientras que la HR es mayor en los cambios estacionales y verano.

El último espacio a analizar es el área de administración y el área de vestíbulo de acceso, los cuales no requieren de un análisis exhaustivo ya que en ellos no se albergan bienes patrimoniales a salvaguardar, pero sí es necesario observar el comportamiento ambiental interior para asegurar la conservación del edificio en sí. Al igual que los espacios analizados anteriormente las oscilaciones térmicas son elevadas durante casi todo el año, siendo los índices de HR mayores en los cambios estacionales o en los meses de verano. Las únicas situaciones de riesgo registradas fueron en 2014, sin consecuencias relevantes.

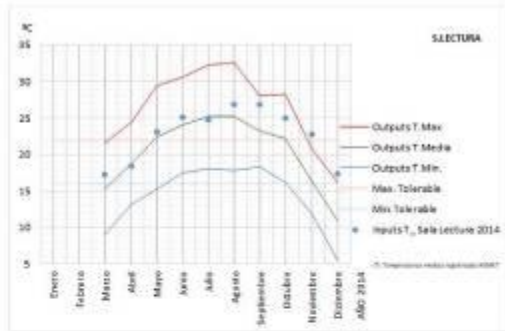
(Para consultar los datos de monitorización y análisis de datos consultar Anexo E)

Condiciones sopesadas:

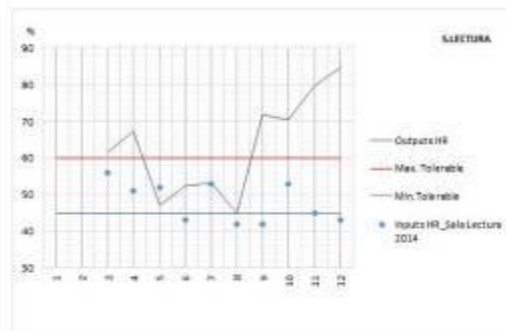
<p><b>CONDICIONES DE RIESGO DE CONSERVACIÓN:</b></p> <p><b>DESHIDRATACIÓN:</b> ≥21°C ; HR &lt;45%</p> <p><b>BIODETERIORO:</b> &lt;18°C ; HR&gt;55%</p> <p><b>CRISTALIZACIÓN:</b> &lt;18°C; &lt;45%</p>	<p><b>ESTADO ÓPTIMO/IDÓNEO:</b></p> <p>T 18-20°C</p> <p>HR 50-55%</p>	<p><b>OSCILACIONES MÁXIMAS TOLERABLES:</b></p> <p>T 16-22°C</p> <p>HR 45-60%</p>
--	---	--

Gráficos. Sala de Lectura y Consulta 2014-2015

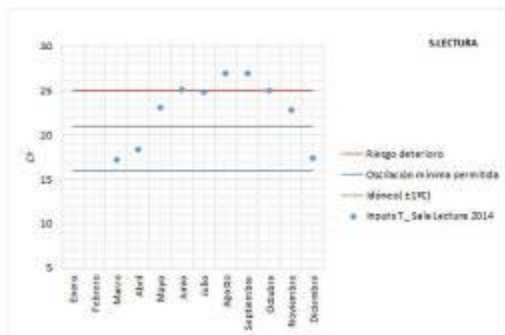
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2014



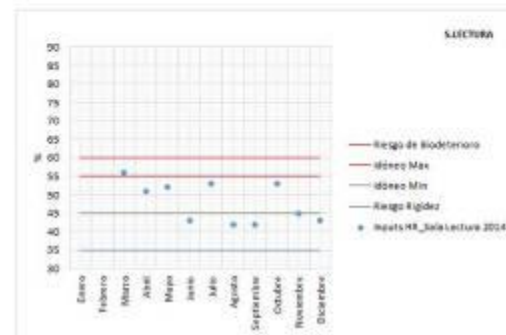
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2014



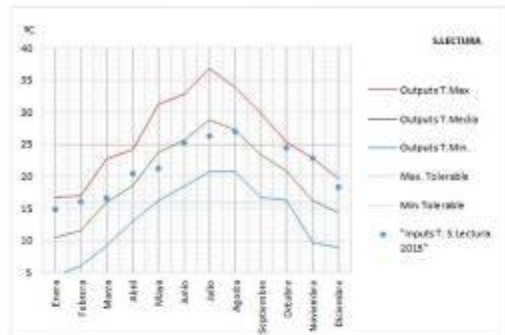
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2014: ANÁLISIS DE RIESGO



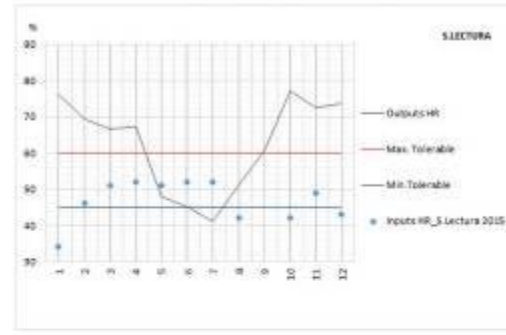
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2014: ANÁLISIS DE RIESGO



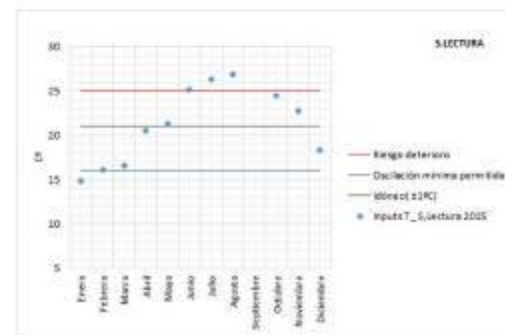
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2015



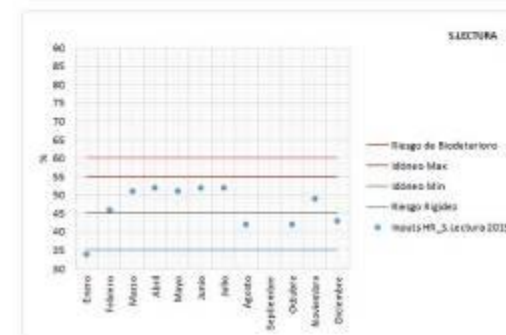
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2015



EVOLUCIÓN TÉRMICA 2015: ANÁLISIS DE RIESGO



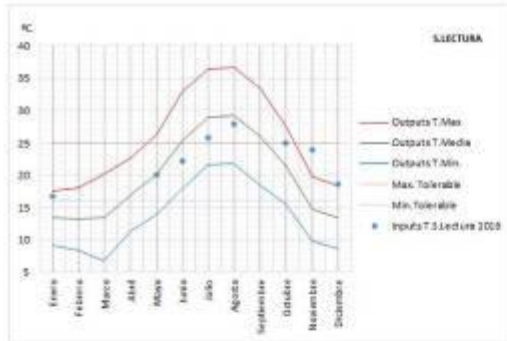
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2015: ANÁLISIS DE RIESGO



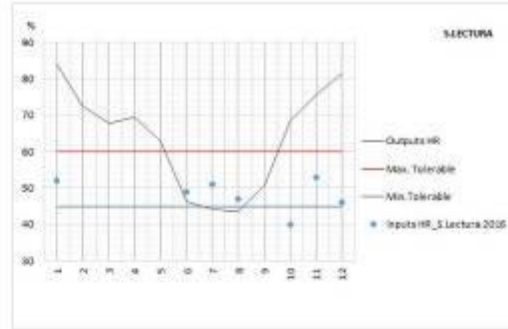


Gráficos. Sala de Lectura y Consulta 2016-2017

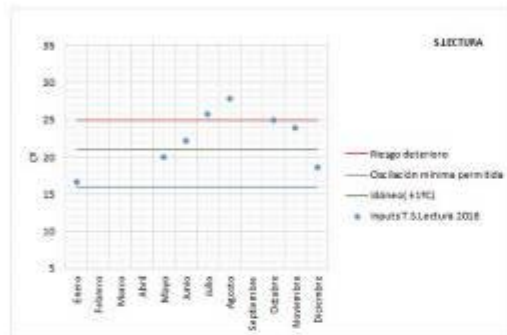
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2016



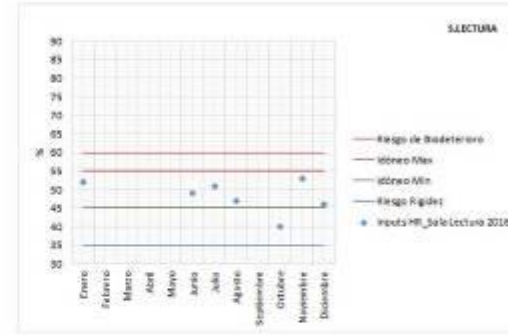
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2016



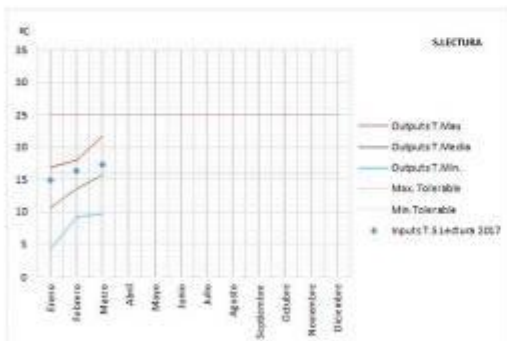
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2016: ANÁLISIS DE RIESGO



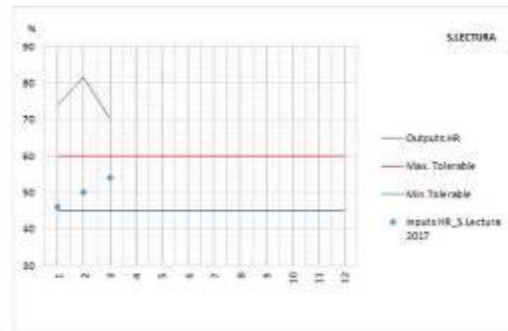
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2016: ANÁLISIS DE RIESGO



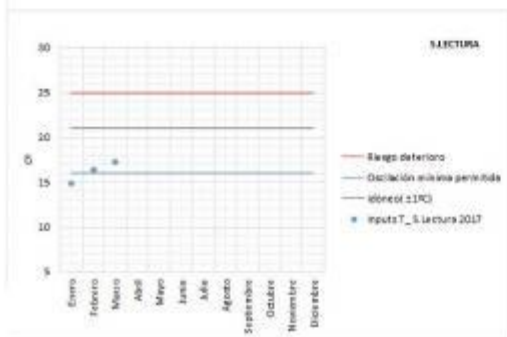
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2017



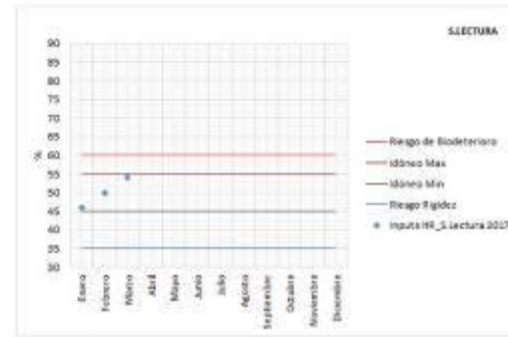
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2017



EVOLUCIÓN TÉRMICA 2017: ANÁLISIS DE RIESGO

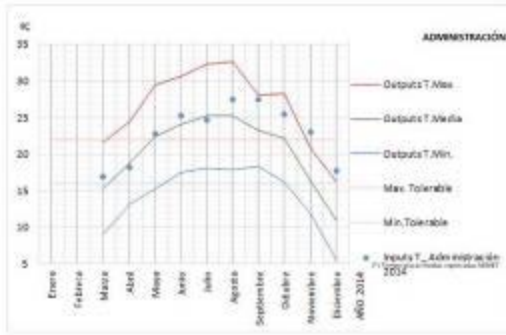


EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2017: ANÁLISIS DE RIESGO

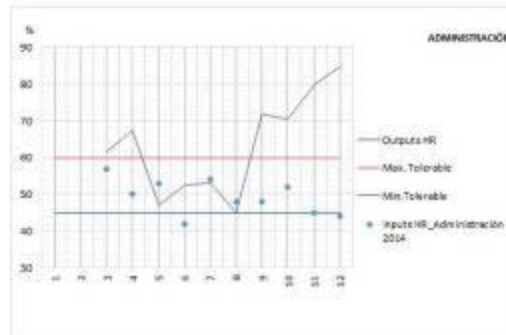


Gráficos Área de administración 2014-2015

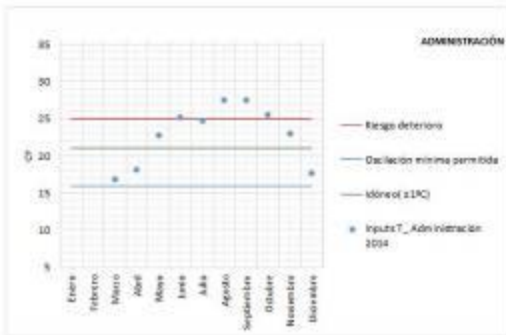
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2014



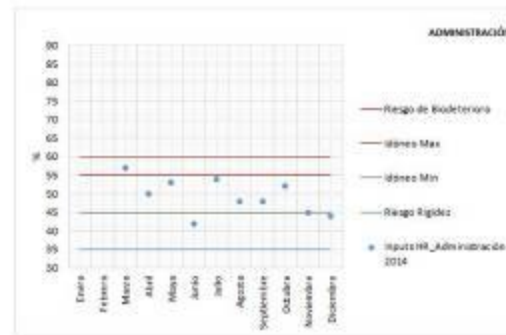
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2014



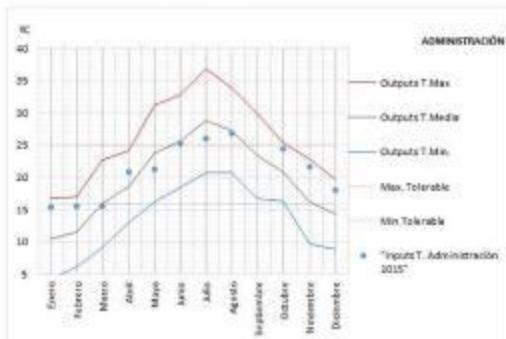
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2014: ANÁLISIS DE RIESGO



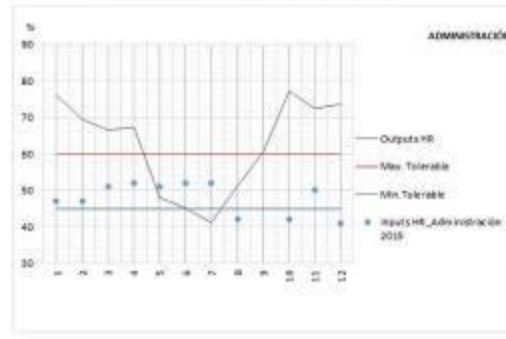
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2014: ANÁLISIS DE RIESGO



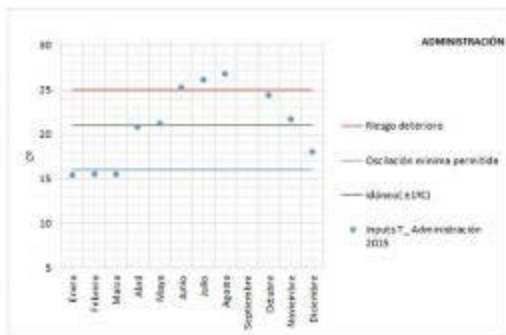
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2015



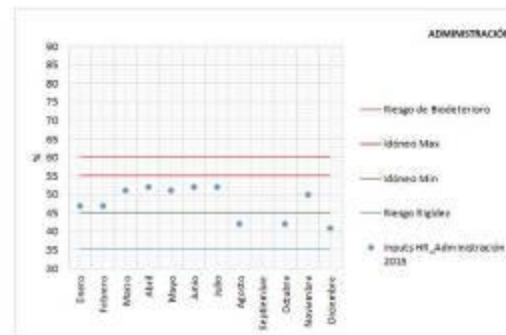
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2015



EVOLUCIÓN TÉRMICA 2015: ANÁLISIS DE RIESGO

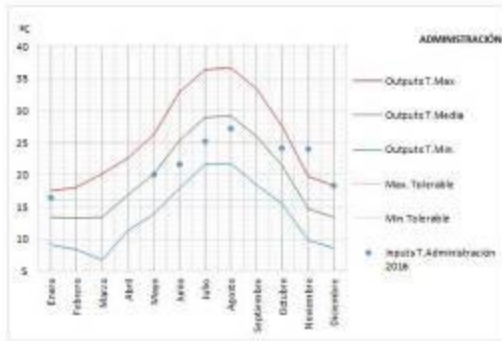


EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2015: ANÁLISIS DE RIESGO

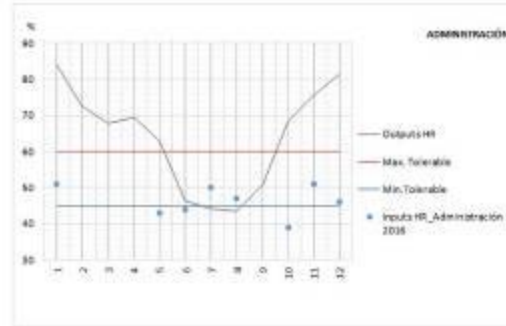


Gráficos Área de administración 2016-2017

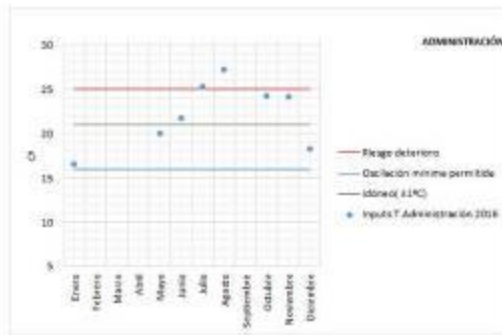
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2016



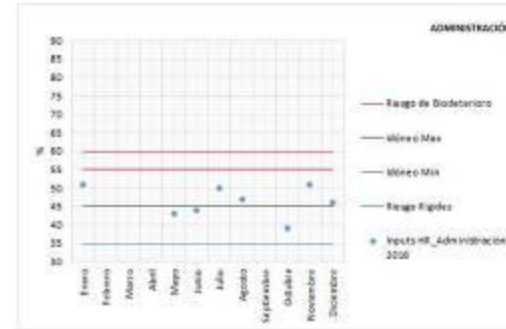
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2016



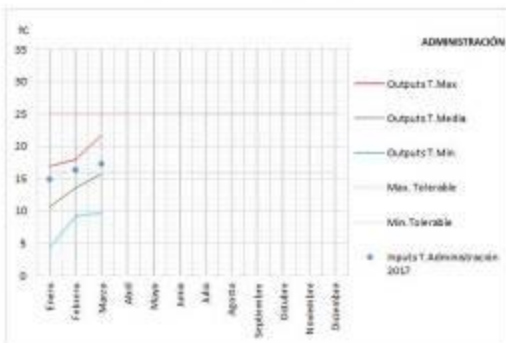
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2016: ANÁLISIS DE RIESGO



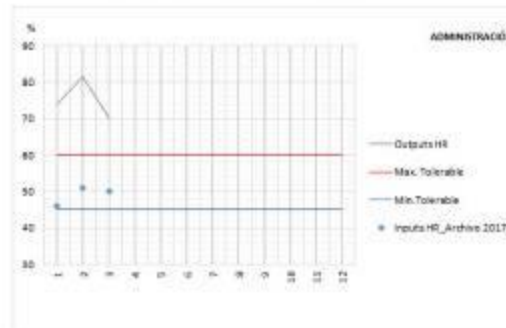
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2016: ANÁLISIS DE RIESGO



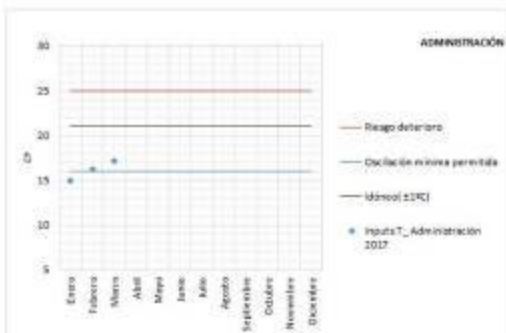
EVOLUCIÓN TÉRMICA 2017



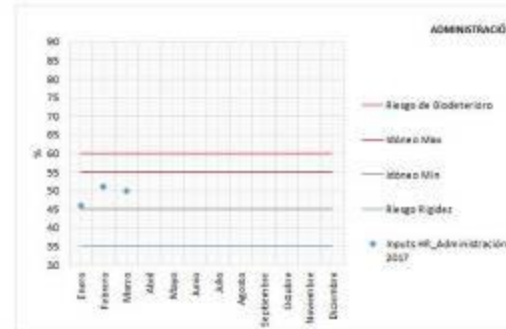
EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2017



EVOLUCIÓN TÉRMICA 2017: ANÁLISIS DE RIESGO



EVOLUCIÓN HUMEDAD RELATIVA 2017: ANÁLISIS DE RIESGO



### 8.6. Propuesta de simplificación del espacio arquitectónico:

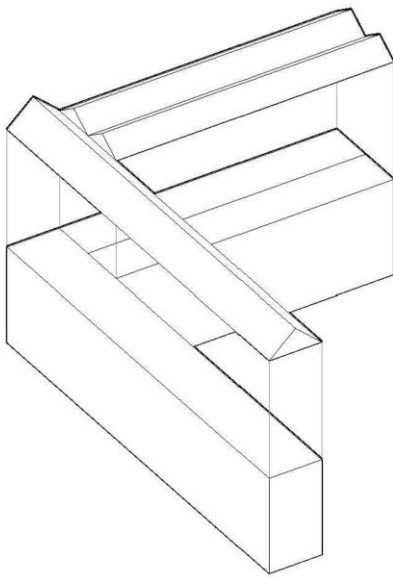
Se propone una simplificación volumétrica del edificio para el desarrollo futuro de la fase de simulación mediante software Design Builder, cuyo módulo de cálculo energético permite analizar el comportamiento del ambiente interior de la Biblioteca Colombina y Capitular.

#### Modelado geométrico:

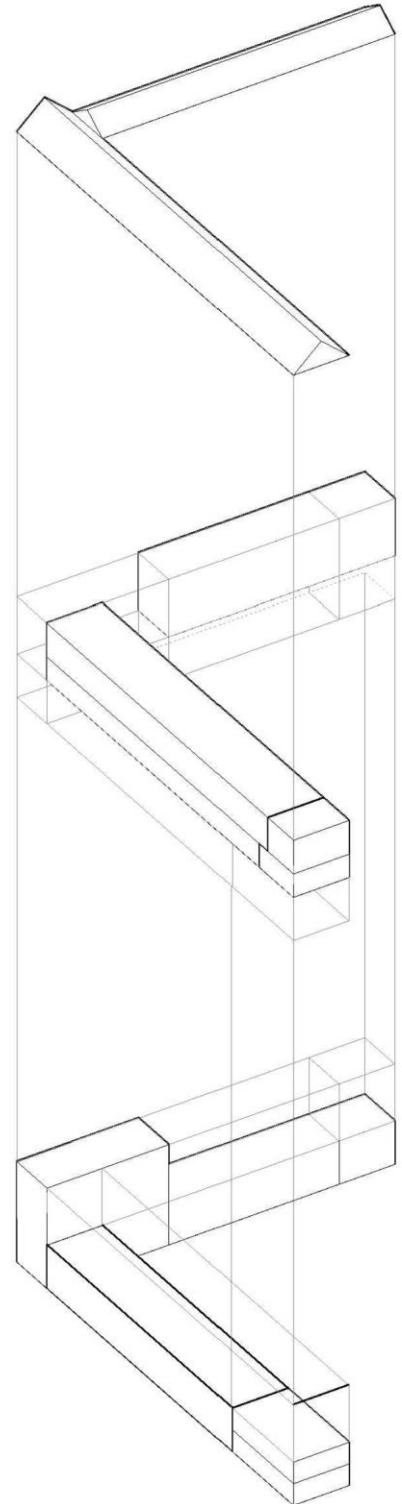
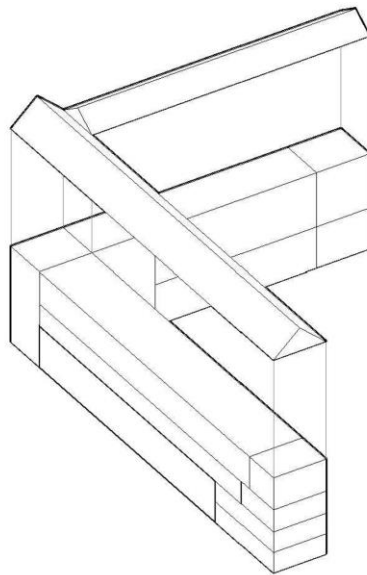
Se procedió a la simplificación volumétrica del edificio considerando el espacio interior definido por la envolvente. Los espacios a doble y triple altura se subdividieron para poder analizar el comportamiento del ambiente interior a distinta altura y la estratificación de las masas de aire.

La complejidad de la cubierta requiere la consideración del elemento como una superposición de dos espacios, tomando por una parte el espacio entre cubierta y la falsa bóveda como un espacio no aclimatado, y por otro lado, considerando el forjado que separa dicho espacio no habitable del espacio interior habitable. Dicho espacio no habitable se representó en el modelo de simulación como un espacio anexionado paralelepípedo de 1.20m de altura, con el fin de simplificar la volumetría, siendo este equivalente al espacio albergado bajo la cubierta a dos aguas y la falsa bóveda.

Con respecto a los espacios de gran altura, se recomienda la división ficticia en plantas, para poder estudiar el comportamiento estratificado de las masas de aire interior.



①



②

## 8.7. Discusión y conclusiones:

La estrategia de conservación preventiva se presenta como salvaguarda del patrimonio para hacer frente a la dicotomía entre conservación y eficiencia energética, mediante la aplicación de un enfoque analítico, de detección y predicción, y bajo criterios de sostenibilidad, optimización de recursos y preservación patrimonial, sin olvidar el confort de usuarios y visitantes.

Para garantizar las condiciones microclimáticas es necesario implementar estrategias activas que operen 24h, evitando fluctuaciones que puedan generar situaciones de riesgo de deterioro mecánico o biodeterioro, lo que supone un consumo energético elevado debido a las características espaciales del edificio.

Las variables consideradas para definir las características microclimáticas del edificio son la temperatura y la humedad, cuya alteración repercute de forma directa en la integridad de los bienes protegidos. Los rangos estimados para el análisis y valoración del estado actual de la Biblioteca, consideran una temperatura de 21°C ( $\pm 1$ ) y 50 % de HR ( $\pm 5$ ) y, unos valores máximos de 16°C y 22°C de temperatura y de 45% y 60% de humedad relativa. Se considerarán situaciones de riesgo de conservación, por deshidratación (21°C; HR<45%), por reblandecimiento (T<18°C; HR>55%) y, por rigidez o cristalización (T<18°C; HR<45%). Tras el análisis de la situación actual en la Biblioteca Colombina y Capitular, se puede concluir que el ambiente interior del edificio, por lo general, no alcanza los valores recomendados de temperatura y humedad relativa para asegurar las condiciones ambientales de conservación tanto del edificio como de los bienes documentales que alberga.

Podemos concluir al respecto que las técnicas pasivas no son suficientes para mantener las condiciones ambientales idóneas. Destacan los periodos entre estaciones y la época estival como las fechas donde se registran las situaciones más alarmantes, a lo largo del periodo que compete a la presente investigación desde marzo de 2014 hasta marzo de 2017, debido al uso discontinuo del sistema de climatización, motivado por un elevado coste de consumo energético.

Con respecto a las características materiales y constructivas del edificio, cuya envolvente cuenta con una elevada inercia y masa térmica que atenúa la temperatura y mantiene unos rangos estables de humedad, no llegan a registrarse situaciones graves de riesgo de deterioro, pero sí se producen situaciones de estrés térmico que podrían conducir al deterioro de los bienes a conservar, en un futuro.

En el futuro desarrollo de la fase de simulación, se mostrará especial interés el análisis del comportamiento ambiental interior en espacios de gran altura libre, estudiando la estratificación de las masas de aire y su interacción con los espacios colindantes. Se empleará el cálculo nodal aplicado a un modelo simplificado del edificio, empleando la herramienta Design Builder como primer acercamiento a la comprensión del comportamiento del microclima interior, en base a condiciones de contorno.



## 9. Bibliografía:

### JUSTIFICACIÓN Y CONTEXTO:

[1] Ruskin, John; *Las siete lámparas de la arquitectura*; Coyoacán, 9ªEd, 2014. (Q.72.0162)

[2] European Commision; *Communication from the commission to the European Parliament, The Council, The European economic and social committee and the Committee of the Regions; Towards an integrated approach to cultural heritage for Europe*; Brussels,22.7.2014; COM(2014) 477 final.

[3] Ministerio de la presidencia y para las administraciones territoriales; *Real Decreto 564/2017, de 2 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*; BOE nº134, Sec. I, p.45935.

Enlace: <https://www.boe.es/boe/dias/2017/06/06/pdfs/BOE-A-2017-6350.pdf>

[4] **Mosquera Adell, Eduardo; Pérez Cano, M<sup>a</sup> Teresa; Torres Tur, Elías;** *José Ramón Sierra, Ricardo Sierra*; Documentos de Arquitectura 27; Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Oriental, Delegación de Almería; 1993. (Q.72 Sierra 2)

[5] Wagner, Klaus; Guillen Torralba, Juan; *Pasado, presente y futuro de la Biblioteca Colombina*; Boletín de la Real Academia Sevillana de Buenas Letras, XVIII; 1991.

Enlace: [http://institucional.us.es/revistas/rasbl/18/art\\_4.pdf](http://institucional.us.es/revistas/rasbl/18/art_4.pdf)

### TÉCNICA Y CONCEPTOS CLAVE:

[6] Fundación Tecnalia Research & Innovation; *Final Report Summary – EFFESUS(Energy efficiency for EU historic districts sustainability)*; Cordis,European Commission;2016 ( ID:314678)

[7] Camuffo D; *Microclimate for Cultural Heritage*; Elsevier Science, 1998.

### MICROCLIMA: Justificación estudio microclima interior

[8] Entradas Silva, Hugo; M.A. Henriques, Fernando; *Preventive conservation of historic buildings in temperate climates. The importance of a risk-based analysis on the decision-making process*; Energy and Buildings; Volume 107; 2015,pp 26-36; ISSN 0378-7788

Enlace: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815301833>

## CONSERVACIÓN PREVENTIVA:

[9] Pretelli Marco, Fabbri, Kristian; *Historic Indoor microclimate of the heritage buildings. A Guideline for Professionals who care for heritage buildings; Heritage Building and Microclimate*; Springer, 2018. (Q 7.025.287)

[10] Departamento de conservación preventiva, Área de investigación y formación Subdirección general del IPCE (Instituto del Patrimonio Cultural de España); *Planes nacionales de conservación preventiva. Fundamentos de conservación preventiva*; Dirección general de bellas artes y patrimonio cultural; Secretaría de estado de cultura; Ministerio de educación, cultura y deporte; 2017.

Enlace:<http://www.mecd.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:7de1dd75-89e6-412a-92dd-73478c8b22c4/CPFundamentos2017.pdf>

[11] García Fernández, Isabel M.; *Historia de la conservación preventiva\*. Parte I*; Ge-conservación; pp. 27-41, dic. 2013. ISSN 1989-8568.

Enlace:<https://ge-iic.com/ojs/index.php/revista/article/view/195>

## CONTEXTO CONSERVACION PREVENTIVA:

[12] Hugo Entradas Silva, Fernando M.A. Henriques, Preventive conservation of historic buildings in temperate climates. The importance of a risk-based analysis on the decision-making process, *Energy and Buildings*; Volume 107, 2015; pp 26-36; ISSN 0378-7788,

Enlace: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.067>.

## CONSERVACIÓN VS CONFORT:

[13] Camuffo, Dario; *Microclimate for Cultural Heritage*; Chapter 1.7. *It is possible to combine people comfort, conservation needs and low cost?*; p.24 ; Elsevier Science, 1998.

[14] Camuffo, Dario; Bertolin, Chiara; *From Historical Climate to Comfortable Climate in Historic Buildings. How Shall Energy Efficiency Cope with this Revolution?*; Postprints from the conference energy efficiency in historic buildings. 2011; pp 9-19.



## **CONDICIONES MICROCLIMÁTICAS INTERIORES PARA LA CONSERVACIÓN:**

[15] Camuffo D; *Microclimate for Cultural Heritage*; Chapter 2.10. *What is the best type of microclimate for conservation?*; Elsevier Science, 1998; pp.68-69

## **ESTADO DE LA CUESTIÓN: “MARCO HISTÓRICO”:**

[16] Pretelli Marco, Fabbri, Kristian; *Historic Indoor microclimate of the heritage buildings. A Guideline for Professionals who care for heritage buildings; Heritage Building and Microclimate*; chapter 1.4, p.13-15 ; Springer (Q 7.025.287)

## **HERRAMIENTAS DE OBSERVACIÓN Y DIAGNÓSTICO: MONITORIZACIÓN Y SIMULACIÓN HIGROTÉRMICA:**

### **Interpretar las variables físicas, medición y monitorización:**

[17] B.Torsello, Paolo; Citado por Pretelli Marco, Fabbri, Kristian; *Historic Indoor microclimate of the heritage buildings. A Guideline for Professionals who care for heritage buildings*; chapter 2.4, p.45 ; Springer (Q 7.025.287)

### **Monitorización:**

[18] Camuffo D; *Microclimate for Cultural Heritage*; Chapter 1.8. *Monitoring air temperatura to study air-surface interactions and for microclimate diagnostics*; Elsevier Science, 1998; pp.68-69

## **VALIDACIÓN DE SIMULACIÓN DINÁMICA:**

[18] Campano, M.Á., Dos Santos Pinto, A.T., Acosta García, I.J. y Sendra, Juan J.; *Validación de simulación dinámica de sistema HVAC de aula docente mediante comparación con recinto ferial*; Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Ecoeficientes; 3º, 2017; pp. 342-354; Sevilla: Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

**ESTUDIOS DE REFERENCIA:**

[19] Muñoz-González, C.M<sup>a</sup>; León-Rodríguez, A.L.; Navarro-Casas, J.; *Air conditioning and passive environmental techniques in historic churches in Mediterranean climate. A proposed method to assess damage risk and thermal comfort pre-intervention, simulation-based*; Energy and buildings; Volume 130; Elsevier Science, 2016; pp 567-577; ISSN 0378-7788.

Enlace: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816307873>

[20] Coşkun, Turgay; Gülhan, Özcan; Şahin, Cem Doğan; Arsan, Zeynep Durmuş; Akkurt, Gülden Gökçen; *The effect of spatial interventions on historic buildings' indoor climate (Case Study: Tire Necip Paşa Library, Izmir-Turkey)*; Energy Procedia; Volume 133; Elsevier Science, 2017; pp.358-366; ISSN 1876-6102.

Enlace: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217344533>

[21] Leissner, J.; Kilian, R.; Kotova, L.; Jacob, D.; Mikolajewicz, U.; Broström, T.; *Climate for Culture: assessing the impact of climate change on the future indoor climate in historic buildings using simulations*; Heritage Science, 3(1), 38; 2015.

Enlace: <http://doi.org/10.1186/s40494-015-0067-9>

**CARACTERIZACIÓN ENVOLVENTE TÉRMICA:****Hipótesis material:**

[22] Jiménez Sancho, Álvaro; *La mezquita mayor almohade de Sevilla. Análisis arqueológico de su construcción*; Universidad de Sevilla. Departamento de Prehistoria y Arqueología; Tesis doctoral 2016.

Enlace: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/39118>

[22] López Martínez, Francisco Javier; *Tapias y tapiales*; Loggia, Arquitectura & Restauración, [S.l.], n. 8, pp. 74-89, 1999. (ISSN 1136-758X)

Enlace: <https://polipapers.upv.es/index.php/loggia/article/view/5288/5321>

[23] Graciani García, Amparo; Tabales Rodríguez, Miguel Ángel; *El tapial en el área sevillana. Avance cronológico estructural*; Arqueología de la Arquitectura, 5, pp 135-158, 2008 (ISSN 1695-2731)

Enlace: <https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/52192/EI%20tapial%20en%20el%20área%20sevillana..pdf?sequence=1>

**Caracterización envolvente. Transmitancias:**

[24] Bestranten, S; Hormías, E; Artemir, A; *Construcción con tierra en el siglo XXI*; Informes de la construcción, [S.I.] v.23, n° 523, pp5-20, Sep.2011 ( ISSN 1988-3234)

Enlace: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1248/1333>

**Forjado:****[25] Hipótesis de carga para uso archivo-biblioteca:**

Subdirección General de Archivos; *Criterios para la Construcción de Archivos*; Dirección General del Patrimonio Cultural, Departamento de cultura, Generalitat de Cataluña (2009)

**[26] Hipótesis de techo abovedado:**

De Villanueva Domínguez, Luis; *Bóvedas de madera*; Actas del IV Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Cádiz, 27-29 enero 2005; Ed. S. Huerta, Madrid; SEdHC, Arquitectos de Cádiz, COAAT Cádiz 2005.

Enlace: [http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC4\\_106.pdf](http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC4_106.pdf)

[27] R.Bustamante; J.Monjo; La solución constructiva de la bóveda encamionada del salón de plenos del palacio del Senado de Madrid (España); Informes de la construcción, Vol. 64, n° extra, pp 109-120, 2012 ( ISSN: 0020-0883)

Enlace: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/74418/1/64,%20Nº%20EXTRA,%20109-120.pdf>

**Hojas de cálculo para aproximar el predimensionado estructural (difusión abierta y gratuita):****[28] Losa armada:**

Enlace: <https://es.scribd.com/document/258450822/42541-cal-losas-Concreto-Armado-1>

**[29] Forjado unidireccional:**

Enlace: <http://www.aq.upm.es/Departamentos/Estructuras/e96-50/fjurado/programas/CANTO%20FORJADOS.xls>

**[30] Diseño de vigas:**

Enlace: <http://www.aq.upm.es/Departamentos/Estructuras/e96-550/fjurado/programas/DISEGNO%20DE%20VIGAS.xls>



## 10. Anexos:

### 10.1. Anexo A: Investigaciones precedentes

Para enmarcar los precedentes en investigación microclimática en edificios patrimoniales y sus diversos enfoques se tomará como referencia el libro *Historic Indoor Microclimate of the Heritage Buildings* (\*), procediendo a la traducción e interpretación del capítulo 1.4 “Heritage Building and Microclimate”. Derivado de este capítulo podemos entrever diversos enfoques brevemente planteados a continuación.

**En el campo de la investigación microclimática** en edificios, se cuenta con numerosas contribuciones dirigidas a la conservación tanto del patrimonio inmueble como de los bienes albergados en ellos, radicando su origen en los estudios de Camuffo (1998) y otros investigadores como Balocco y Boddi (2010), sobre el clima histórico, definido en el marco normativo de la EN 115757 (2010).

El primer **enfoque** se centra en el *control microclimático mediante el uso de sistemas activos de climatización, monitorización y control*. Destaca el estudio de la Capilla de los Scrovegni, en Padua, por su prolongación en el tiempo (1977-2002), donde se aborda la gestión microclimática interior mediante el control de las principales propiedades físicas del ambiente interior (temperatura del aire, velocidad del aire y humedad) y, el control de visitantes. Estudio que se vería complementado por Camuffo y Bernardi (1991), aplicando cálculos CDF (dinámica de fluidos computacional) para completar la información obtenida en la fase de monitorización.

Un **segundo enfoque** trata los **efectos del clima exterior en las variables microclimáticas interiores**, destacando en este ámbito los estudios de Lankester y Brimblecombe (2012) en Huijbregts (2012) y Van Schijndel (2015).

Los **riesgos energéticos relacionados con el cambio climático** en los museos, **se muestra como tercer enfoque**, donde destaca el protocolo para evaluar las condiciones climáticas en los museos de D'Agostino (2015), así como la definición de los criterios multidisciplinares para evaluar la conservación, la eficiencia y la comodidad de Lucchi (2016). Para elaborar **datos y referencias normativas** Corgnati (2009) aporta instrumentos útiles para elaborar datos y referencias normativas en edificios patrimoniales utilizados como museos y archivos.

Con respecto a las condiciones microclimáticas en museos para la conservación de diferentes colecciones, en La Gennusa (2008) establece los requisitos mínimos, y Camuffo (1999) sugiere micromapas, para recrear el ambiente interior en edificios patrimoniales, y otros instrumentos de análisis en su estudio sobre el Museo Correr en Venecia. En este ámbito cabe destacar la metodología desarrollada por Camuffo en 2013 para reconstruir el clima histórico y predecir el clima futuro.

El cuarto enfoque al que se hace referencia aborda la **calidad ambiental interior en relación con la demanda energética de calefacción y refrigeración, tratada en** investigaciones como las de Ferdyn-Grygierek 2014, Ferdyn-Grygierek y Andrzej Baranowski 2015, y Ferdyn-Grygierek 2016, las cuales ponen en relación **los resultados de la monitorización instrumental con los consumos energéticos**, así como en Ascione 2009.

Por último, los edificios patrimoniales y la eficiencia energética se ponen en relación en un quinto enfoque, planteando el debate sobre la necesidad de adecuación y mejora de la eficiencia energética de edificios siguiendo los criterios de eficiencia o preservación del patrimonio, como se describe en Fabbri 2013.

Entre los investigadores más importantes recientemente publicados se encuentran el proyecto 3eficiencia de energía eficiente para el patrimonio cultural de la UE 2010-2014 y el proyecto EFFESUS Eficiencia energética para la sostenibilidad de los distritos históricos de la UE.

Troi y Bastian (2014) describen una lista de soluciones técnicas para mejorar el rendimiento energético, Santoli (2015) proporciona pautas para optimizar la eficiencia energética de los edificios históricos, mientras que Mazzarella (2015) aborda el marco legislativo. Las principales investigaciones sobre el tema se recopilan y revisan en el trabajo de Martínez-Molina (2016).

(\*)Pretelli M.; Fabbri K.; *Historic Indoor microclimate of the heritage buildings. A Guideline for Professionals who care for heritage buildings; Heritage Building and Microclimate*; chapter 1.4, p.13-15 ; Springer (Q 7.025.287)

## **10.2. Anexo B: Técnicas de acondicionamiento microclimático para la conservación patrimonial**

A continuación, se describirá el trabajo de investigación de C. Muñoz en la Iglesia de San Francisco de Asís, del s. XVI, emplazada en Morón de la Frontera en la provincia de Sevilla (España), cuyo entorno climático es similar al que nos ocupa, así como sus características arquitectónicas y espaciales.

### **El edificio:**

La iglesia se compone de una única nave rectangular (10 × 35 m) cuya altura máxima es de 13m. Actualmente mantiene el uso religioso y alberga una valiosa colección de pinturas y retablos, en riesgo por unos niveles inadecuados de humedad relativa y de temperatura, que han propiciado daños mecánicos y biodeterioro. Cabe destacar las características de su envolvente, compuesta por mampostería y ladrillo, de 1m de espesor, que le proporcionan una gran masa térmica.

### **METODOLOGÍA:**

#### **Mediciones in situ:**

Se monitorizaron ambas variables de forma simultánea en intervalos de 15min, durante 2 años consecutivos, siguiendo el protocolo de instalación establecido para los sistemas de monitorización: UNE-EN ISO7726: 2002 y UNE-EN 1558; y la calibración de herramientas según UNE-EN ISO 7726: 2002. Los sensores de temperatura y humedad digitales se colocan evitando fuentes de radiación y flujos de aire. Colocándose a la altura de una persona sentada (1.10m) y a 8m para observar la estratificación térmica a esa altura. Los datos climáticos exteriores (temperatura, HR, viento y presión atmosférica), radiación global y cobertura de nubes se obtuvieron de estaciones meteorológicas.

#### **Modelado computacional:**

Se generaron modelos de simulación para reproducir el espacio interior de la iglesia, su exterior, condiciones constructivas y materiales, para predecir el comportamiento ambiental de diferentes sistemas pasivos y activos, así como el consumo de energía. Para simular procesos de transferencia de calor, sistemas de climatización y otros factores relacionados con el consumo de energía en los edificios. El software utilizado fue Ener-gyPlus.

El modelo de la iglesia consta de tres áreas: la nave y las capillas en la planta baja y el techo de la bóveda de cañón. Las propiedades físicas de este edificio fueron definidas por el catálogo de materiales de construcción del Código Técnico Español de Edificación (CTE). Además, se usó Matlab para calcular el PMV( Predicted Mean Vote).

#### **Inputs:**

El clima interior del edificio y el uso de energía para su acondicionamiento se calculan utilizando las propiedades de los materiales, la temperatura exterior y la humedad relativa, la radiación solar difusa, la intensidad normal directa, la nubosidad y la lluvia. Esta técnica de solución utiliza una solución de diferencia finita unidimensional en los elementos de construcción.

#### **Evaluación del modelo:**

Se empleó la Guía ASHRAE14-2002 para calibrar el modelo de construcción, evaluando la compensación entre los resultados del modelado y los valores obtenidos mediante mediciones. Se definieron tres indicadores adimensionales de errores diferentes, MBE (error de sesgo medio por hora, CV (RMSE) (coeficiente de variación de la raíz cuadrática media) y  $\varepsilon$  (valores de error) utilizando fórmulas.

La validación se ejecutó para las condiciones actuales en la iglesia sin la intervención de ningún sistema de climatización activo. Después de validar el modelo, se simularon las diferentes hipótesis de condiciones higrotérmicas.

### **Hipótesis de condiciones medioambientales:**

Se propusieron diferentes hipótesis de acondicionamiento ambiental para resolver las deficiencias higrotérmicas detectadas, tras mostrar que las condiciones ambientales interiores no eran adecuadas para la preservación del patrimonio mediante el análisis de los datos de monitorización. Considerando tres grupos de técnicas: pasivas, activas y combinadas.

Las técnicas pasivas contemplan acciones sobre elementos constructivos de la envolvente del edificio (huecos, techo, fachada y suelo), las técnicas activas consisten en instalar diversos sistemas HVAC simulados en modo operacional continuo (24h) y ocasional (12h al día), con y sin control de humedad, y finalmente, el tercer grupo es una combinación simultánea de las anteriores.

Fueron consideradas las condiciones de conservación y de confort térmico y, un uso racional de la energía según el RITE. Los requisitos para garantizar la conservación incluidos en la UNE-EN-15759-1, UNE-EN 15758, ASHRAE, presentan diferentes rangos de variables, por lo que se emplearon valores intermedios cercanos al cumplimiento de ambos requisitos.

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS:**

En término de fluctuación tanto estacionales como diarias, se observó que las variables son más estables en el interior que en el exterior, confirmándose la inercia térmica en la demora y la amortiguación de los ciclos estacionales. Durante el invierno, las condiciones en el interior permanecen más estables, registrándose las temperaturas más altas en los estratos superiores. En verano sin embargo la capacidad de amortiguación térmica se atenúa, debido a la alta radiación solar en el verano y la baja masa del techo. Similarmente, los valores máximos de humedad relativa se dan en invierno, y los mínimos en verano.

#### **Técnicas ambientales pasivas:**

Para establecer las hipótesis de trabajo se consideran los valores establecidos por normativa para definir los rangos de degradación mecánica, vinculado principalmente con la variación de humedad, siendo de  $T \geq 2^\circ \text{C}$  (ASHRAE) y de  $HR \geq 10\%$  (EN 15757). Mientras que la degradación biológica se da en rangos de  $T > 20^\circ \text{C}$  y  $HR > 65\%$ . Se propone una limitación del confort térmico en un rango de sensación neutra a ligeramente fría, es decir, con el Voto Promedio Predicho (PMV) entre +1 y - 1, de acuerdo con EN-ISO 7730.

El riesgo se evalúa con el siguiente código: (A) significa que no hay riesgo de biodeterioro, (B) representa una mejora de la condición inicial aunque haya un riesgo y finalmente, (C) representa un agravamiento de la situación inicial.

Los resultados muestran que cuando los sistemas usaron control temperatura y humedad el riesgo de biodeterioro desaparece, siempre que estos sistemas estén activos durante un mínimo de 12 ha al día. Cuando la operación depende del uso, hay una mejora general sobre las condiciones iniciales.

#### **Consumo de energía:**



Con el objetivo de conocer la repercusión energética de incorporar sistemas activos en estos edificios, se evaluó el consumo de energía de las diferentes hipótesis de estudio.

Analiza el consumo de diferentes sistemas y el porcentaje de mejora cuando estos se combinan con sistemas pasivos. (Los valores de consumo máximos están representados por la letra M). Este indicador corresponde a la operación de 24 horas en situaciones en las que no se aplican técnicas pasivas.

La operación de 12 horas reduce el consumo máximo en un 22-38% y la operación en función del uso en un 90%.

Cuando el uso de sistemas se combina con técnicas pasivas, en casos con 24 horas el consumo puede reducirse en un 10-21% , con 12 h de operación se reduce en un 5-10% y en casos donde la operación depende del uso solo en un 2%.

Finalmente, se muestra el consumo anual de energía en kWh para las diferentes hipótesis de estudio.

### **10.3.Anexo C: El efecto de las intervenciones espaciales arquitectónicas en las condiciones de conservación patrimonial**

Se procede a describir el trabajo de investigación de Turgay Coşkun y su equipo, sobre la biblioteca Tire Necip Pasa del s.XIX (Izmir, Turquía) donde se analizaron los riesgos químicos, mecánicos y biológicos de la degradación de los manuscritos en la biblioteca histórica en base a mediciones y simulaciones de temperatura (T) y humedad relativa (HR).

Tras evaluar la tasa de deterioro de los manuscritos se realizaron simulaciones mediante el software DesignBuilder para determinar la influencia del espacio arquitectónico en las condiciones climáticas interiores y en los factores de deterioro, planteando un modelo de la biblioteca existente y otro modelo de proyecto de intervención (semiabierta). Ambos modelos se compararon para comprobar la perturbación del régimen térmico de la biblioteca y sus posibles consecuencias en la conservación de los manuscritos, obteniendo los mismos resultados en la tendencia de riesgo de degradación química y mecánica, y agravándose los riesgos de degradación biológica en el modelo existente de la biblioteca. Como solución se plantean adoptar técnicas de ventilación.

#### **Edificio:**

La construcción original de la Biblioteca consiste en un paralelepípedo, un único espacio precedido por un pórtico. Sucesivas intervenciones en el espacio arquitectónico habían afectado a las condiciones ambientales del mismo, de entre las que destacaba la adición de una estructura en forma de jaula octogonal (1908) en el centro de la sala principal donde se almacenarían los manuscritos, y el cierre del pórtico en 1930, alterando el estado de conservación de los 1147 manuscritos y 1312 libros de la época del Imperio Otomano que albergaba. La sala principal y la zona de manuscritos no contaban con acondicionamiento térmico, siendo el Hall de entrada el único espacio climatizado.

#### **METODOLOGÍA:**

##### **Mediciones in situ:**

Se registraron los datos de T y HR interiores y exteriores de la Biblioteca durante un año (2014-2015), con intervalos de diez minutos.

##### **Análisis de riesgos de degradación:**

Se aplicó la norma ASHRAE (capítulo 12) para establecer los valores de los parámetros de T y HR bajo criterios de conservación en museos, bibliotecas y archivos, definiendo cinco clases de control de parámetros y seleccionando la clase A1 para la preservación de manuscritos.

Mediante el método Lifetime Multiplier (LM), referido al número de intervalos que un objeto permanece inestable en comparación con unas condiciones microclimáticas interiores de 20 ° C y 50% HR, se estableció el riesgo de degradación química en los manuscritos. Empleando el multiplicador Lifetime (eLM) para medir la respuesta anual de los objetos, estableciendo como valor de referencia los inferiores a 0.75 para situaciones de alto riesgo, y los superiores a 1 para bajo riesgo, asumiendo los valores medios de eLM como situaciones de riesgo medio.

**Degradación mecánica:**

Las fluctuaciones diarias en los valores de T y HR se calcularon tomando la diferencia entre los valores mínimo y máximo en un día, considerando como situación libre de riesgo de degradación mecánica, aquellas en las que el 90% de las fluctuaciones eran menores que los valores permitidos.

**Degradación biológica:**

El factor de riesgo de moho (MRF) se evaluó mediante el software WUFI-Bio para analizar el contenido crítico de agua y determinar la germinación de las esporas, definiendo tres clases de sustrato, siendo el sustrato de clase II en que comprende a las colecciones basadas en papel.

**Modelado y Calibración:**

Se procedió a modelar la Biblioteca con el programa DesignBuilder para determinar la influencia de las intervenciones espaciales en el riesgo de degradación de los manuscritos.

En el primer modelo se representó la construcción existente donde el acceso se realizaba a través del pórtico, procediendo al modelado del edificio y su posterior calibración mediante datos de medición, aplicando los indicadores de error adimensionales establecidos por la ASHRAE: Error de polarización media (MBE) y el coeficiente de error de variación raíz-media-cuadrado (CV (RMSE)). En el segundo modelo se consideró el pórtico semiabierto, ejemplificando la construcción original. Una vez que calibrado el "modelo de biblioteca existente", se desarrolló el "modelo semiabierto" y se obtuvieron los resultados considerando el nivel de deterioro de los manuscritos.

**ANÁLISIS DE RESULTADOS:**

Los datos T y HR obtenidos de ambos modelos se utilizaron para determinar el riesgo de degradación química, mecánica y biológica en los manuscritos y se compararon con los resultados de la medición, calibrando el "modelo de biblioteca existente" en -0.71% MBE y 7.16% CV (RMSE) para T, y 4.63% MBE y 15.24% CV (RMSE) para HR.

**Degradación química:**

Los valores de LM, los cuales mostraban casi la misma tendencia en ambos modelos, se calcularon de acuerdo con los resultados de la simulación. No se observó reducción de riesgo químico en el modelo semiabierto.

**Degradación mecánica:**

La frecuencia de las fluctuaciones de T y HR se determinó como 81.1% y 10.6% para el "modelo de construcción existente" mientras que 78.5% y 8.3% para el "modelo semiabierto", respectivamente. Se produjeron discordancias entre las mediciones in situ, donde no se registraron situaciones de riesgo, y la simulación en el "modelo existente" donde apareció riesgo de degradación mecánica, aunque a bajos niveles. Según los requisitos de la ASHRAE (clase climática A1) el 90% de las fluctuaciones debían ser inferiores a los valores de riesgo por degradación mecánica, por lo que ninguno de los dos modelos cumpliría dicha exigencia. Esto podría deberse a limitaciones propias de la metodología aplicada por el software para el cálculo de la HR, resultando frecuencias de fluctuaciones más bajas, por lo que se ha de tener en cuenta esta limitación a la hora de interpretar la predicción de fluctuaciones diarias de dicho parámetro.

**Degradación biológica:**

El nivel de degradación química, muy cercano a la región de riesgo, es similar para ambos modelos, observándose el crecimiento de moho en el "modelo existente".

#### 10.4. Anexo D: Cálculo de transmitancias térmicas de elementos constructivos

Se ha empleado el Catálogo de elementos Constructivos del CTE para obtener la caracterización material junto con la resistencia térmica de cada elemento o capa, con el fin de calcular las transmitancias térmicas de los elementos constructivos, tal como puede observarse en las tablas adjuntas a continuación:

ENVOLVENTE NAVE NORTE (espesor medio=1,50)

Capa	Espesor (m)	U (w/m <sup>2</sup> ·k)	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·k/w)
RSE			0,04
Revoco exterior de mortero	0,015	0,85	0,02
Tapial	1,5	0,6	2,50
Enlucido de yeso	0,015	0,4	0,04
RSI			0,13
COEFICIENTE TRANSMISIÓN TÉRMICA (U)			0,37

ENVOLVENTE NAVE ESTE (espesor medio=1,40)

Capa	Espesor (m)	U (w/m <sup>2</sup> ·k)	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·k/w)
RSE			0,04
Revoco exterior de mortero	0,015	0,85	0,02
Tapial	1,4	0,6	2,33
Enlucido de yeso	0,015	0,4	0,04
RSI			0,13
COEFICIENTE TRANSMISIÓN TÉRMICA (U)			0,39

SUELO:

Capa	Espesor (m)	U (w/m <sup>2</sup> ·k)	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·k/w)
RSE			0,04
Baldosa Mármol	0,02	3,5	0,01
Capa de mortero	0,04	0,8	0,05
RSI			0,1
COEFICIENTE TRANSMISIÓN TÉRMICA (U)			5,11

## LOSA ARMADA SOBRE VIGAS METÁLICAS

Capa	Espesor (m)	U (w/m <sup>2</sup> ·k)	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·k/w)
RSI			0,1
Baldosa Mármol	0,02	3,5	0,01
Capa de mortero	0,04	0,8	0,05
Losa armada	0,12	2,3	0,05
Playa de escayola	0,15	0,25	0,60
RSI			0,1
COEFICIENTE TRANSMISIÓN TÉRMICA (U)			1,10

## CUBIERTA:

Se tendrá en cuenta la complejidad de la cubierta de la Biblioteca, considerando por una parte la cubierta a dos aguas y por otra parte la falsa bóveda interior y aplicando el cálculo de transmitancias para particiones interiores en contacto con espacios no habitables según el DB HE.

Capa	Espesor (m)	U (w/m <sup>2</sup> ·k)	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·k/w)
RSE			0,1
Cubierta ligera, no ventilada (teja sobre tablero de madera, apoyo sobre cercha, lámina impermeabilizante)			0,16
RSI			0,1
COEFICIENTE TRANSMISIÓN TÉRMICA (U)			2,78
Transmitancia para particiones interiores en contacto con espacios no habitables. CTE DB HE apartado E.1.3.1 $U = U_p \cdot b$			2,14

Capa	Espesor (m)	U (w/m <sup>2</sup> ·k)	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·k/w)
RSE			0,1
Tablazon madera conífera	0,02	0,15	0,13
Mortero de yeso armado con arena y cerámica cocida triturada	0,05	0,8	0,06
Enlucido de yeso	0,015	0,4	0,04
RSI			0,1
COEFICIENTE TRANSMISIÓN TÉRMICA (U)			2,31
Transmitancia para particiones interiores en contacto con espacios no habitables. CTE DB HE apartado E.1.3.1 $U = U_p \cdot b$			2,01

**10.5. Anexo E: Monitorización y análisis de datos.**

Sala Colón:

Espacio			Sala Colón		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
Parámetro			C°	HR						
Año	Mes	Nº Muestras								
2014	Marzo	3	16,8	53	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Abril	3	17,5	48	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Mayo	3	26,5	46	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	5	25,1	43	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	3	25,3	53	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	6	28,6	40	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre	1			Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Octubre	3	24,9	49	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	1	22	47	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
Diciembre	1	15,8	47	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo	

Espacio			Sala Colón		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
Parámetro			C°	HR						
Año	Mes	Nº Muestras								
2015	Enero	2	14,1	47	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	4	14	49	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Marzo	2	16,2	52	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Abril	1	21,6	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Mayo	1	21,5	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	3	25,2	51	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	3	29	40	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	4	29,7	44	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre									
	Octubre	3	25,5	41	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	1	22,1	51	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Diciembre	3	16,4	45	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo

Espacio			Sala Colón		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
Parámetro			C°	HR						
Año	Mes	Nº Muestras								
2016	Enero	2	16	52	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	0								
	Marzo	0								
	Abril	0								
	Mayo	2	21	47	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	4	24,2	47	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	4	29,7	43	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	3	30,5	38	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre	0								
	Octubre	3	26,4	37	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	2	24,8	48	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Diciembre	2	15,85	52,85	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo

Espacio			Sala Colón		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
Parámetro			C°	HR						
Año	Mes	Nº Muestras								
2017	Enero	2	12,85	53,3	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	2	16	52	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Marzo	2	16	54,5	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo

## Sala Capitular:

Espacio			Sala Capitular		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
Parámetro			C°	HR						
Año	Mes	Nº Muestras								
2014	Marzo	3	16,4	56	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Amenaza	Sin riesgo
	Abril	3	17,8	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Mayo	3	25,9	44	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	5	25,4	43	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	3	25,6	53	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	6	29,2	40	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre	1			Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Octubre	3	25,2	54	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	1	22,9	46	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
Diciembre	1	16,8	47	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo	

Espacio			Sala Capitular		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
Parámetro			C°	HR						
Año	Mes	Nº Muestras								
2015	Enero	2	14	49	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	4	15,2	47	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Marzo	2	16,6	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Abril	1	20,8	52	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Mayo	1	21,5	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	3	24,3	52	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	3	29,4	42	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	4	29,3	45	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre		0	0						
	Octubre	3	26	41	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	1	23	50	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Diciembre	3	17,9	43	Inadecuado	Tolerable	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Amenaza

Espacio			Sala Capitular		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
Parámetro			C°	HR						
Año	Mes	Nº Muestras								
2016	Enero	2	16,8	52	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	0								
	Marzo	0								
	Abril	0								
	Mayo	2	21	43	Inadecuado	Tolerable	Elevado	Amenaza	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	4	23,8	44	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	4	27,7	46	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	3	30,2	39	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre	0	0	0						
	Octubre	3	25,1	41	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	2	24	52	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Diciembre	2	17,5	46	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo

Espacio			Sala Capitular		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
Parámetro			C°	HR						
Año	Mes	Nº muestras								
2017	Enero	2	14,7	47	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	2	15,8	45	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Marzo	2	16,9	50	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo

## Sala Noble:

Espacio			Sala Noble		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
Parámetro			C°	HR						
Año	Mes	Nº Muestras								
2014	Marzo	3	17,5	55	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Abril	3	17,7	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Mayo	3	26,9	43	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	5	25,3	43	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	3	25,8	53	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	6	28,8	40	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre	1			Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Octubre	3	25	54	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	1	22,8	46	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
Diciembre	1	16,4	45	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo	

Espacio			Sala Noble		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
Parámetro			C°	HR						
Año	Mes	Nº Muestras								
2015	Enero	2	14,2	48	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	4	15,3	47	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Marzo	2	16,4	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Abril	1	20,9	52	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Mayo	1	21,8	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	3	25,8	51	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	3	28,4	50	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	4	29,9	46	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre			0	0					
	Octubre	3	26,1	41	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	1	22,9	51	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Diciembre	3	18,1	41	Inadecuado	Tolerable	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo

Espacio			Sala Noble		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
Parámetro			C°	HR						
Año	Mes	Nº Muestras								
2016	Enero	2	16,6	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	0	0	0						
	Marzo	0	0	0						
	Abril	0	0	0						
	Mayo	2	20,9	43	Inadecuado	Tolerable	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	4	24,7	43	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	4	27,9	45	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	3	30,5	38	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre	0	0	0						
	Octubre	3	25,3	40	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	2	24,9	52	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Diciembre	2	16,5	50	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo

ESPACIO			Sala Noble		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
PARÁMETRO			C°	HR						
AÑO	MES	MUESTRA/DÍA								
2017	Enero	2	14	47	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	2	15,8	46	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Marzo	2	16,2	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo



## Área de Archivo y restauración:

ESPACIO			Archivo		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
PARÁMETRO			C°	HR						
AÑO	MES	MUESTA/DÍA								
2014	Marzo	3	17,3	56	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Amenaza	Sin riesgo
	Abril	3	18,3	50	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Mayo	3	23	50	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	5	24,9	43	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	3	24,7	54	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	6	27,4	47	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre	1			Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Octubre	3	25,6	54	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	1	23,1	45	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Diciembre	1	17,7	44	Inadecuado	Tolerable	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Amenaza

ESPACIO			Archivo		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
PARÁMETRO			C°	HR						
AÑO	MES	MUESTA/DÍA								
2015	Enero	2	15	49	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	4	16,1	46	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Marzo	2	16,8	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Abril	1	20,5	52	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Mayo	1	21,9	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	3	24,2	52	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	3	26,2	52	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	4	27,3	43	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre		0	0						
	Octubre	3	25,9	41	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	1	21,8	49	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Diciembre	3	18,4	43	Inadecuado	Tolerable	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo

ESPACIO			Archivo		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
PARÁMETRO			C°	HR						
AÑO	MES	MUESTA/DÍA								
2016	Enero	2	17,1	52	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	0	0	0						
	Marzo	0	0	0						
	Abril	0	0	0						
	Mayo	2	20,1	44	Inadecuado	Tolerable	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	4	21,9	45	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	4	25,7	51	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	3	27,4	46	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre	0	0	0						
	Octubre	3	25,3	39	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	2	24,9	51	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Diciembre	2	18,5	45	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo

ESPACIO			Archivo		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
PARÁMETRO			C°	HR						
AÑO	MES	MUESTA/DÍA								
2017	Enero	2	14,3	49	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	2	16,5	47	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Marzo	2	17	53	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo

## Área de administración:

ESPACIO			Administración		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
PARÁMETRO			C°	HR						
AÑO	MES	MUESTA/DÍA								
2014	Marzo	3	16,9	57	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Amenaza	Sin riesgo
	Abril	3	18,2	50	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Mayo	3	22,8	53	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	5	25,2	42	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	3	24,7	54	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	6	27,5	48	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre	1			Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Octubre	3	25,5	52	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	1	23	45	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Diciembre	1	17,7	44	Inadecuado	Tolerable	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Amenaza

ESPACIO			Administración		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
PARÁMETRO			C°	HR						
AÑO	MES	MUESTA/DÍA								
2015	Enero	2	15,4	47	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	4	15,5	47	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Marzo	2	15,5	51	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Abril	1	20,8	52	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Mayo	1	21,2	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	3	25,3	52	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	3	26,1	52	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	4	26,8	42	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre			0	0					
	Octubre	3	24,4	42	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	1	21,7	50	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Diciembre	3	18	41	Inadecuado	Tolerable	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo

ESPACIO			Administración		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
PARÁMETRO			C°	HR						
AÑO	MES	MUESTA/DÍA								
2016	Enero	2	16,5	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	0	0	0						
	Marzo	0	0	0						
	Abril	0	0	0						
	Mayo	2	20	43	Inadecuado	Tolerable	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Junio	4	21,7	44	Inadecuado	Tolerable	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Julio	4	25,3	50	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Agosto	3	27,2	47	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Septiembre	0	0	0						
	Octubre	3	24,2	39	Inadecuado	Elevado	Elevado	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Noviembre	2	24,1	51	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Diciembre	2	18,3	46	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
ESPACIO			Administración		Ambiente interior	Oscilación térmica	Oscilación HR	Riesgo deshidratación	Riesgo Biodeterioro	Riesgo Cristalización
PARÁMETRO			C°	HR						
AÑO	MES	MUESTA/DÍA								
2017	Enero	2	15	46	Inadecuado	Elevado	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Febrero	2	16,2	51	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
	Marzo	2	17,2	50	Inadecuado	Tolerable	Tolerable	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo

