Guía de aplicación para la rehabilitación energética de edificios patrimoniales











Proyecto:

RENERPATH (www.renerpath.eu)

Metodología De Rehabilitación Energética De Edificios Patrimoniales

El consorcio está formado por:

CARTIF: Fundación CARTIF (España)

CTCV: Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (Portugal)

RECET: Associação dos Centros Tecnológicos de Portugal (Portugal)

EREN: Ente Regional de la Energía de Castilla y León (España)

FCR: Fundación Ciudad Rodrigo 2006 (España)













File	's best the state of the state
	uía ha sido elaborada dentro del proyecto 0475_RENERPATH_3_E, que está cofinanciado con Fondos Europeos a través del ma Operativo de Cooperación Transfronteriza España - Portugal 2007-2013 (POCTEP) (www.poctep.eu)
Edita:	Junta de Castilla y León Consejería de Economía y Empleo Ente Regional de Energía de Castilla y León
Diseño:	Imprenta Sorles. LEÓN www.sorlesimprentaonline.es
Déposito Le	gal: LE-1289-2012

ÍNDICE

1.	Intro	ducción		7
2.	Met	odología		8
	2.1.	Caracter	ización energética del edificio patrimonial.	9
		2.1.1. Ca	racterización de cerramientos mediante técnicas no intrusivas	9
		2.1.2. Ca	racterización de la demanda energética actual del edificio	9
		2.1.3. Ca	racterización de las instalaciones energéticas	9
		2.1.4. Cr	eación del modelo energético del edificio y simulación dinámica del mismo	10
	2.2.	Identifica	ación de medidas de eficiencia y mejora energéticas aplicables	10
	2.3.	Simulaci	ón dinámica y cuantificación de acciones de mejora identificadas	11
3.	Técn	icas no int	trusivas en la caracterización de la envolvente de edificios.	12
4.	Solu	ciones en	ergéticas aplicables a edificios patrimoniales	18
	4.1.	Envolver	nte. Nuevos conceptos de cerramientos	18
		4.1.1.	cBloco - Bloques de mampostería cerámica	18
		4.1.2.	Solar Tiles - Sistemas solares fotovoltaicos en cubiertas y revestimientos cerámicos	19
	4.2.	Climatiza	ación	21
		4.2.1.	Sistemas de distribución energética	22
		4.2.2.	Sistemas de generación energética	26
		4.2.3.	Soluciones portátiles de calefacción-refrigeración	30
	4.3.	Iluminac	ión	32
		4.3.1.	Clasificación de los sistemas de iluminación	32
		4.3.2.	Componentes de los sistemas de iluminación	33
5.	Simu	ılación dir	námica energética de edificios	37
6.	Aplic	cación de l	la metodología. Casos de estudio	39
		6.1.1.	Edificios de culto	39
		6.1.2.	Edificios patrimoniales de uso civil	45
	6.2.	Criterios	en iluminación	49
7.	Bibli	ografía		52

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta guía metodológica es establecer un procedimiento que ayude en la rehabilitación energética de edificios patrimoniales, ofreciendo una medida del efecto energético que sobre este tipo de edificios van a tener las posibles acciones de mejora energética aplicables, orientando a los propietarios y gestores de estos edificios en la elección del sistema más adecuado en función de sus características, definidas a través de diferentes parámetros.

Como casos de aplicación de la metodología se han tomado dos edificios tipo: un edificio patrimonial de culto inspirado en la Catedral de Ciudad Rodrigo, Salamanca (España) y un edificio patrimonial con uso civil como es el Palacio Episcopal de Pinhel (Portugal). Sobre ellos se ha aplicado la metodología, se han establecido una serie de variables de entrada que permitan su caracterización y clasificación, y se ha cuantificado el efecto que sobre la explotación energética, tienen posibles acciones de intervención, mediante modelos y simulaciones dinámicas. Con ello se ha llegado a establecer ratios y valores numéricos con los que ofrecer una serie de criterios de actuación.

De manera complementaria y de forma totalmente innovadora, se han integrado y adaptado técnicas de visión por computador (2D / 3D) para la caracterización energética, permitiéndose su rápida aplicación y un mínimo impacto sobre los edificios de interés histórico y artístico a estudio.

La guía se ha estructurado, presentando como primer punto la metodología de rehabilitación energética RENERPATH. A continuación se desarrollan aspectos importantes en su aplicación y las posibles acciones de mejora disponibles. Finalmente se muestran dos ejemplos prácticos de aplicación, obteniendo datos cuantitativos de mejora asociados a diferentes variables de definición.

El procedimiento ha sido desarrollado dentro del proyecto RENERPATH "Metodología de Rehabilitación energética de edificios" (www.renerpath.eu) enmarcado en el programa POCTEP (*Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España – Portugal*).

2. METODOLOGÍA

La metodología de rehabilitación de edificios patrimoniales RENERPATH, pretende facilitar la labor de rehabilitación energética de este tipo de edificios, estableciendo un nuevo método de trabajo, en base al cual poder detectar y cuantificar las medidas más adecuadas de eficiencia a aplicar en cada edificio, considerando las posibles variables particulares, y aplicando técnicas de medida no intrusivas en su caracterización y herramientas de simulación para la valoración de su efecto. Dada la dificultad de intervención en los edificios considerados, ello permite disponer de información sin la necesidad de intervenir, garantizando el éxito de su aplicación y minimizando los efectos sobre el propio edificio.

La metodología establece las siguientes etapas en el estudio de cada edificio:

- Caracterización energética del edifico patrimonial considerado.
- Identificación de las medidas de reducción de consumo energético y de mejora de la eficiencia aplicables.
- Simulación dinámica y cuantificación del efecto de la aplicación de dichas medidas sobre el comportamiento del edificio.

Tras la última etapa, los gestores y propietarios del edifico dispondrán de información suficiente para valorar energéticamente el efecto de todas las medidas previamente identificadas y determinar la viabilidad tanto técnica como económica de su posible implementación en el edificio.

2.1. Caracterización energética del edificio patrimonial

Esta etapa pretende caracterizar el comportamiento energético del edificio, mediante la aplicación de técnicas y procedimientos que no afecten a su estado actual. Para ello se establece:

2.1.1. Caracterización de cerramientos mediante técnicas no intrusivas

Uno de los mayores inconvenientes que hay que afrontar cuando se planifican actuaciones relacionadas con los edificios patrimoniales, es que en la mayoría de las ocasiones, no se dispone de información oficial, tanto a nivel constructivo, ni en cuanto a instalaciones, materiales empleados, características térmicas, etc. Por ello, para solventar estos inconvenientes, se plantea como medida innovadora la combinación de técnicas de digitalizado 3D, técnicas de medición infrarroja (reflectividad y emisividad), y termoflujometría, para obtener un modelo digital de los cerramientos, así como las principales propiedades térmicas de los mismo, necesarias para realizar las simulaciones dinámicas y así obtener posibles mejoras.

2.1.2. Caracterización de la demanda energética actual del edificio

Satisfacer las necesidades de confort interiores, tanto térmicas como de iluminación, precisa consumir una determinada cantidad de energía, generalmente electricidad y/o combustibles fósiles,... Partiendo de la información sobre el uso del edificio y su horario de utilización, y analizando la facturación energética del mismo, se obtienen las curvas de demanda energética del edificio con las que poder modelar sus necesidades energéticas.

El horario y las consignas de operación de los sistemas del edificio, permiten obtener la modulación energética reflejada en la facturación, generalmente mensual o bimensual, asociado a las fuentes de suministro: electricidad, combustibles, etc.

2.1.3. Caracterización de las instalaciones energéticas

De forma complementaria a la caracterización de la envolvente, es importante y necesaria la identificación de los diferentes sistemas energéticos disponibles en cada uno de los edificios: equipos de climatización, equipos de iluminación, equipos con grandes consumos, etc...

Ello requiere combinar información de modelos genéricos de comportamiento de equipos junto con los datos proporcionados por los fabricantes, sin olvidar la información aportada por los gestores de cada edificio.

El análisis de las instalaciones debe ponderar el peso que cada una de ella tiene sobre el total del consumo. Así por ejemplo, en los edificios de culto, la iluminación y la climatización, son los elementos más importantes dentro del conjunto del total del consumo energético. Sin embargo en edificios patrimoniales de uso civil, pueden existir otras cargas como son cocinas, equipos de oficina, servicios de lavandería, restaurantes, etc.

2.1.4. Creación del modelo energético del edificio y simulación dinámica del mismo

Partiendo de la información recopilada se puede establecer el modelo energético completo del edificio, el cual simulado bajo un programa de simulación dinámica de reconocido prestigio (*TRNSYS*, *EnergyPlus*, ...), permite disponer de la evolución en el tiempo y bajo cualquier condición, del comportamiento previsible del edificio.

El ajuste de este modelo se realiza con la información puntual disponible, garantizando de esta forma los resultados finales. De esta forma, se dispone de un banco de ensayos virtual sobre el que aplicar cualquier intervención y sin afectar con ello al edificio, pero que permite valorar resultados de la posible intervención real, con un elevado grado de fiabilidad.

2.2. Identificación de medidas de eficiencia y mejora energéticas aplicables

La caracterización energética de un edificio permite identificar sus puntos críticos de consumo y pérdidas de energía, así como las posibles actuaciones de mejora implementables. El establecimiento de las más adecuadas obliga a realizar un análisis de las soluciones comerciales actuales existentes, e identificar casos de éxito de aplicación de las mismas en edificios. Para ello, es útil disponer de una base de datos con los diferentes sistemas, sus requerimientos de instalación y grado de aplicabilidad en función de las características de su uso, así como de las nuevas técnicas de gestión, control y monitorización para estos sistemas. En esta guía se presenta, en un apartado posterior, una clasificación elaborada entorno a los principales sistemas en climatización e iluminación actuales.

2.3. Simulación dinámica y cuantificación de acciones de mejora identificadas

Tomando como punto de partida el modelo obtenido en las etapas de caracterización energética del edificio y la de las instalaciones actuales, se debe proceder a la integración en el mismo de las nuevas actuaciones propuestas. Esto se llevará a cabo, en unos casos a través de los ajustes en el modelo de las consignas de operación de los actuales sistemas, y en otros a través de la sustitución de las características por las de los nuevos sistemas más eficientes. Ello permite simular el nuevo modelo y obtener información sobre el comportamiento del edifico en la nueva situación, y el efecto que dichas medidas tienen sobre el consumo energético.

Cada acción de mejora lleva asociado un coste fijo, a realizar en el momento de la instalación, y un coste de explotación debido a su operación y mantenimiento a lo largo del tiempo. Partiendo de los mismos, se obtiene de forma complementaria al beneficio energético, el beneficio económico y las tasas de retorno asociados a la implementación de cada medida aplicable.

De forma general, la metodología de rehabilitación energética de edificios patrimoniales RENERPATH, permite identificar las mejoras energéticas aplicables en un edifico patrimonial y su grado de viabilidad previamente a su ejecución, y sin la necesidad de una intervención directa en el edifico de estudio, con las ventajas que ello implica en los edificios patrimoniales.

3. TÉCNICAS NO INTRUSIVAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS

Los programas de simulación dinámica necesitan un modelo digital de la envolvente del edificio a estudiar. Debido a la falta de información constructiva (planos, croquis, documentos, etc.), el modelo digital se realiza mediante la realización de representaciones digitales sencillas (utilizando figuras geométricas como prismas, cubos, etc.) mediante programas informáticos para este fin.

La excesiva esquematización y simplicidad de las representaciones digitales de los edificios de los que se simula y analiza su comportamiento energético dan lugar en ocasiones a resultados alejados de la realidad, y, por tanto, de utilidad discutible en la planificación de acciones reales de eficiencia energética. Este hecho es aún más acusado en los edificios de interés cultural, por su complejidad morfológica y sucesión de etapas constructivas en una misma zona.

Se requiere por tanto de modelos digitales 3D que reflejen lo más fielmente posible el emplazamiento original. Existen diferentes técnicas que permiten documentar gráficamente el estado del edificio en el momento de que se trate, aunándose aspectos de documentación para rehabilitación arquitectónica con los de rehabilitación energética:

• Modelado en SketchUp: permite diseñar desde cero las unidades constructivas fundamentales (habitaciones, salas y cubiertas) cuya composición dará lugar a la réplica digital. Soporta la georreferenciación del edificio que se trate sobre un mapa de base, apareciendo sobre él, en 3D el edificio modelado a través de Google-Maps (Figura 1). Las unidades fundamentales diseñadas son exportables a programas de simulación energética dinámica mediante plug-ins específicos adaptados para SketchUp. Una vez importadas en un programa de simulación energética, se les dota de propiedades físicas y de materiales para hacer posible esa simulación.

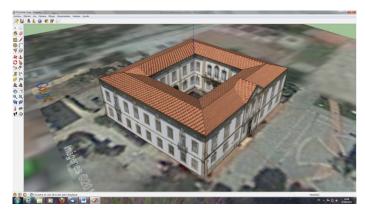
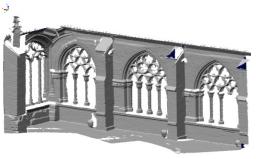


Figura 1: Modelado y georreferenciación del Palacio Episcopal de Pinhel en SketchUp

 Modelado por escaneado láser: con este tipo de aparatos se obtiene una nube de puntos con las coordenadas geométricas (X, Y, Z), de color (R, G, B) y el índice de reflectividad (L) del edificio digitalizado (Figura 2). Esa nube de puntos puede convertirse a malla de triángulos, lo que supone disponer de superficies de exactitud milimétrica, tratables directamente en entornos CAD fundamentalmente a través del formato OBJ al que se exporta la malla en cuestión.







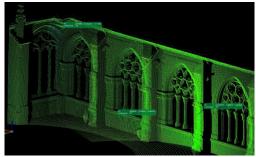


Figura 2: Datos proporcionados por un escáner láser (LEICA HDS3000): nube de puntos, malla e índice de reflectividad

Modelado por fotografías: las recientes técnicas de fotoescaneado 3D permiten obtener un modelo
de complejidad semejante al escaneado láser, pero de una exactitud centimétrica en este caso. El
trabajo de campo y el postprocesamiento en oficina se reduce aproximadamente a la quinta parte.
Los modelos obtenidos también son exportables a entornos CAD a través del formato OBJ con una
textura fotorrealista de una calidad muy superior a la suministrada por un escáner (Figura 3).







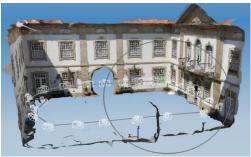


Figura 3: Fotomodelado 3D de la envolvente interior del Palacio Episcopal de Pinhel

El siguiente paso una vez obtenido el modelo digital de la envolvente, es caracterizar ésta según sus propiedades térmicas, para poder realizar las simulaciones dinámicas en busca de posibles mejoras. Para ello, en esta guía proponemos utilizar conjuntamente tres técnicas: medida del índice de reflectividad, termografía y termoflujometría.

• Medida del índice de reflectividad. Éste índice puede obtenerse utilizando un escáner láser tal como hemos visto. El método no es intrusivo, permite abarcar grandes áreas por unidad de tiempo y no interacciona con los materiales, lo que hace óptima su aplicación en edificios de importancia histórico-artística a la vez que se documentan en 3D. De esta manera los profesionales del sector de la conservación disponen de información objetiva y global que permite tomar decisiones sobre las acciones a emprender.

Además, esta técnica permite la detección de humedades, incluso donde todavía no son perceptibles a simple vista¹. Esto se logra tratando y analizando convenientemente el índice de reflectividad, es decir, la fracción de radiación láser incidente reflejada por la superficie del monumento (Figura 4).

La inspección visual es el medio convencional de verificación de humedades.

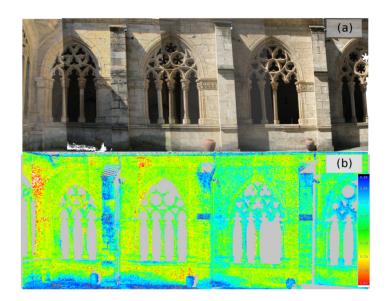


Figura 4: Claustro de la Catedral de Ciudad Rodrigo: Detección de humedades empleando el índice de reflectividad dado por un escáner láser

• Termografía. Es una técnica que se basa en medir la radiación infrarroja emitida por la superficie de un cuerpo. Dicha radiación depende de varios parámetros siendo los más importantes la temperatura del objeto bajo estudio, y la emisividad de la superficie. Mediante el análisis de varias imágenes termográficas, pueden obtenerse varios de los parámetros térmicos asociados a la superficie estudiada (en nuestro caso la envolvente), caracterizándola térmicamente de esta manera. Sus resultados son muy intuitivos en tanto que se representan en imágenes con gradación de color según esa emisión.

Además, es posible combinar esta técnica con el digitalizado 3D para obtener modelos termográficos 3D (Figura 5), lo que permite determinar de forma sencilla e intuitiva dónde se producen las mayores pérdidas o ganancias térmicas, zonas no aisladas, puentes térmicos, ataques de hongos, etc.

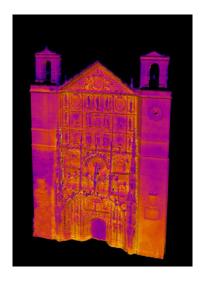


Figura 5: Modelo 3D termográfico de la fachada de la iglesia de San Pablo de Valladolid (Cortesía CARTIF)

Termoflujometría. Consiste en un sistema de medición in situ para analizar la resistencia térmica y el coeficiente de transmisión de elementos constructivos. El sistema de medición puede ser empleado para mediciones de acuerdo a la norma ISO9869, ASTM C1155 y normas C1046. La medición in-situ de la resistencia térmica y la transmitancia térmica (U) de los cerramientos que constituyen los edificios, se aplica a menudo en los estudios para la caracterización de los elementos de construcción. La medida de la resistencia térmica (R), se basa en la estimación simultánea del flujo de calor medio Φ (utilizando un sensor de flujo de calor, HFM) y la diferencia de temperatura, ΔT entre sus dos caras laterales. La conductividad térmica se mide basada en la ley de Fourier, utilizando un medidor de flujo de calor y dos sondas de temperatura superficiales con las que se obtiene R = ΔT / Φ

Los sensores se deben montar de acuerdo con el propósito de la prueba (ver Figura 6). Para determinar la conductividad térmica del cerramiento, se instala un transductor de flujo de calor (HFM) en una ubicación lo más representativa posible de todo el elemento, evitando los lugares situados en la proximidad de los puentes térmicos, ranuras o fuentes similares de error. El sensor de temperatura interior debe ser instalado en las proximidades del sensor HFM y el de temperatura exterior debe montarse en la superficie exterior opuesta lo más alineado posible. Los sensores no deben estar bajo la influencia de calentamiento directo o dispositivos de refrigeración. La superficie exterior debe ser protegida de la lluvia, la nieve y la luz solar directa.

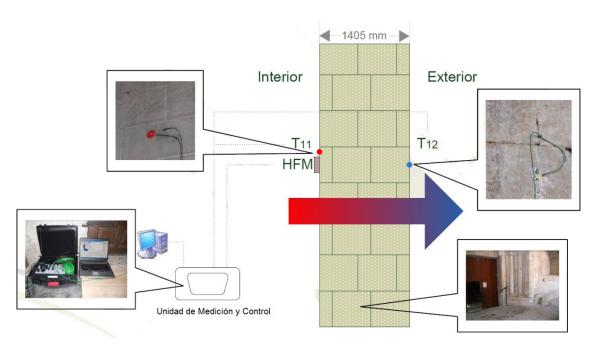


Figura 6: Esquema de instalación de componentes

Las temperaturas de la superficie se miden mediante termopares y el calor medido por el HFM. Aplicando la Ley de Fourier, mostrada anteriormente se tiene que el calor medido es proporcional al elemento de resistencia térmica.



Figura 7: Termoflujómetro (HFM – Heat Flowmeter)

En la Figura 7 se muestra una imagen del HFM, con el que se determina el flujo térmico que atraviesa el cerramiento.

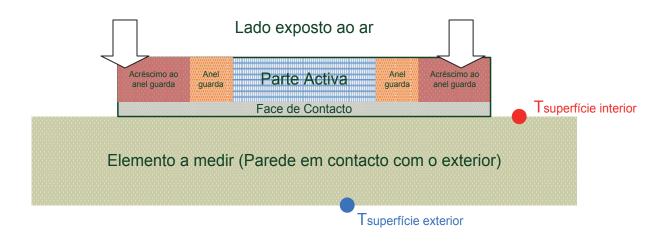


Figura 8: Ejemplo de la sección de un termoflujómetro

En el caso de la fijación de la instalación temporal del termoflujómetro, se realiza con cinta adhesiva o pegamento a través de un protector. El HFM debe estar en contacto térmico directo con la superficie del elemento siendo posible recurrir al uso de una fina capa de pasta térmica para este fin.

El anillo de protección montado alrededor del HFM para facilitar su instalación, está hecho del mismo material que debe ser similar a las propiedades de HFM.

4. SOLUCIONES ENERGÉTICAS APLICABLES A EDIFICIOS PATRIMONIALES

Son múltiples las opciones disponibles para la rehabilitación energética de edificios, siendo gran parte de ellas aplicables a edificios patrimoniales de forma directa o bien mediante modificaciones, enfocadas estas últimas no tanto en sus modos de uso y gestión, sino en los métodos o técnicas de instalación, debido al carácter restrictivo al respecto que presentan este tipo particular de edificios.

De forma resumida, se muestra un repaso de las principales soluciones energéticas disponibles en el mercado, clasificándolas según aplicabilidad y uso en el edificio, diferenciando así entre aquellas que aplican a la envolvente del edificio, y las enfocadas a los principales sistemas de consumo energético, como son la climatización y la iluminación del edificio.

Se pretende que los usuarios, propietarios o gestores de este tipo de edificios conozcan las opciones tecnológicas de actuación de las que disponen, estableciendo las condiciones de aplicabilidad de las mismas sobre los edificios.

4.1. Envolvente. Nuevos conceptos de cerramientos

4.1.1. cBloco - Bloques de mampostería cerámica

La solución cBloco fue desarrollada por CTCV en base a la necesidad de mejorar el rendimiento térmico, y las propiedades mecánicas y acústicas de los cerramientos de mampostería en las viviendas circundantes y adyacentes. El motivo principal para su desarrollo está relacionado directamente con el comportamiento térmico de los muros. La determinación del coeficiente de transmisión térmica, determinado a partir de sus especificaciones (geometría y composición de las unidades y posibles revestimientos como el yeso) arrojó un valor inferior a 0,60 W/m²·°C. Con ello se pretende que estos nuevos elementos cerámicos, formen parte de sistemas integrados que combinen elementos de construcción tanto habituales como singulares, que presenten un rendimiento que satisfaga las necesidades actuales, impuestas por la normativa vigente (normas técnicas, térmicas, mecánicas y acústicas, incendio, etc.). Además, estos sistemas pueden ser confinados de mampostería o armado ligeramente, permitiendo su uso en la construcción de edificios estructura (ver Figura 9).

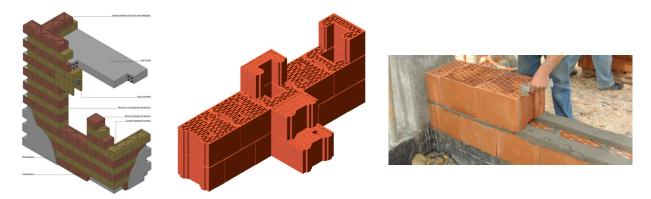


Figura 9: cBloco-Bloques de mampostería cerámica

4.1.2. Solar Tiles - Sistemas solares fotovoltaicos en cubiertas y revestimientos cerámicos

La solución Tejas Solares (Solar Tiles) mostrada en la Figura 10, consiste en un sistema basado en productos cerámicos fotovoltaicos para revestimientos de edificios (azulejos y revestimientos exteriores de fachada), que incorporan a través de deposición, finas capas productoras de energía.

Esta solución ha sido desarrollada para aprovechar el potencial de la energía solar existente en países como Portugal y España, siendo un producto innovador por integrar la producción de energía eléctrica en productos que constituyen parte de la "piel" de los edificios (revestimientos y recubrimientos). Estos productos pasar a desempeñar una doble función generadora y arquitectónica, aumentando su valor.

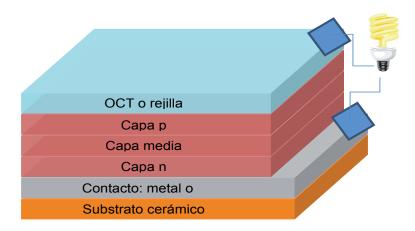


Figura 10: Principio de funcionamiento de la solución Solar Tiles

Este tipo de soluciones, pensada también para la rehabilitación de edificios, permite:

- Incorporar en fachadas y recubrimientos, productos multifuncionales de mayor valor añadido.
- Conservar las características arquitectónicas de los edificios históricos, integrando la tecnología fotovoltaica.
- Disponer de nuevas soluciones constructivas, de acuerdo a una construcción sostenible.
- Convertir armoniosamente los edificios históricos existentes en edificios más eficientes.

Esta solución constructiva de fachadas y recubrimiento de edificios basados en materiales cerámicos fotovoltaicos, permite una mejor integración arquitectónica de los sistemas fotovoltaicos en los edificios, siguiendo principios de ecodiseño, permitiendo conjugar funciones de revestimiento, estéticas y de producción de energía.





Figura 11: SolarTiles, ejemplos de tejas fotovoltaicas

4.2. Climatización

Los edificios patrimoniales, en mayor o menor medida precisan de unas necesidades de climatización y acondicionamiento térmico para obtener niveles de confort adecuados a su uso, siendo necesario generar el aporte de calor o frío según sus requerimientos. A la hora de afrontar la acometida de una instalación para edificios patrimoniales, se puede proceder de varias formas: por un lado se encuentra el uso de sistemas comunes, que se instalan de manera más o menos directa sin tener en cuenta las restricciones que el edificio presenta. Por otro lado se pueden diseñar y desarrollar sistemas, que de manera particular den cobertura a zonas particulares, o bien de manera próxima a los ocupantes. Finalmente, se puede recurrir a sistemas portables, los cuales disponen de bajos requisitos en cuanto a su instalación y se pueden adaptar fácilmente.

A la hora de diseñar la implantación de un sistema de calefacción para edificios patrimoniales, han de considerarse aspectos fundamentales relativos a:

- Restricciones Patrimoniales: los efectos que sobre las piezas que albergan los edificios tiene la temperatura no están claros. El aumento de la temperatura, reduce la vida de las obras de arte, de forma que al establecer unas condiciones de climatización se debe intentar preservar las prescripciones impuestas por el organismo encargado de velar por la conservación y el patrimonio.
- *Su uso:* necesidad de rapidez de puesta a régimen. Dependiendo del uso del edificio, se puede optar por sistemas de un elevado número de horas de uso con altas inercias, frente a estrategias en las que si el uso es discontinuo, se pueden emplear sistemas con baja inercia y respuesta rápida.
- Su estética: integración de los elementos calefactores en el conjunto, minimizando el impacto visual. Dada las características arquitectónicas y patrimoniales de este tipo de edificios, la integración con el entorno es un aspecto fundamental.
- Rapidez de ejecución en el montaje: optimización de los tiempos de ejecución de las obras de montaje.
 Dependiendo del caso, se puede llegar a optar por sistemas portátiles o de uso eventual, de forma que su facilidad de instalación y necesidad de baja infraestructura, puede ser una característica deseable según el caso.
- Bajo nivel de inversión: "disponibilidad de un sistema de calefacción al más bajo coste".
- Bajos costes de explotación: minimización del consumo de gas y electricidad y de los costes de mantenimiento de la instalación. Muchos de estos edificios, no disponen de una asignación

presupuestaria importante, y los ingresos que se obtienen por su explotación pueden ser reducidos, por lo que los aspectos de costes de mantenimiento y explotación son importantes al ser necesario un equilibrio con respecto a nivel de financiación.

A continuación se muestra de forma resumida las opciones disponibles.

4.2.1. Sistemas de distribución energética

De manera general, los sistemas se pueden clasifican en función del fluido de distribución:

• Sistemas todo aire: Este tipo de sistemas, emplean el aire para compensar las cargas térmicas en el recinto climatizado, no siendo necesario ningún tratamiento posterior. Su instalación se realiza en torno a Unidades de Tratamiento de Aire (UTA) las cuales disponen de diferentes elementos para el control de la temperatura y humedad ambiente, permitiendo una elevada calidad de aire interior así como, la zonificación y la recuperación térmica de los flujos mediante recuperadores, uso de enfriamiento gratuito (free-cootling), etc. Estos sistemas disponen de elevados requerimientos de espacio, tanto de las unidades climatizadoras como los conductos de distribución, siendo en general necesaria su instalación fuera de las zonas ocupadas, lo cual constituye una restricción importante para su uso en edificios patrimoniales.



Figura 12: UTA (Fuente Wikipedia)

• Sistemas todo agua: Son aquellos en que el agua es el agente que se ocupa de compensar las cargas térmicas del recinto acondicionado (aunque también puede tener aire exterior para la renovación que en este caso entraría sin tratamiento térmico). Aquí se encuentran las instalaciones de calefacción con radiadores, suelo radiante, aerotermos, ventiloconvectores (fan-coils), etc.



Figura 13: Radiadores en la Colegiata de San Isidoro (León)

En la Figura 13 se observa una solución adaptada a un edificio de culto, uno de los tipos de edificios patrimoniales más restrictivos en cuanto a aplicabilidad. La imagen mostrada se corresponde con la Colegiata de San Isidoro en León, la cual adaptó tanto las instalaciones de producción y distribución de agua caliente, como los bancos para el alojamiento de esta solución de climatización.

La Figura 14 muestra un resumen de los diferentes sistemas todo agua disponibles para la climatización de espacios.



Figura 14: Sistemas de climatización todo agua

 Sistemas aire-agua: Se trata de sistemas donde llega tanto agua como aire para compensar las cargas. Dentro de las opciones, se encuentran los inductores y los ventiloconvectores con aporte de aire exterior.



Figura 15: Sistema aire-agua

- Sistemas todo refrigerante: Se trata de instalaciones donde el fluido que se encarga de compensar las cargas térmicas del local es el refrigerante asociado a una bomba de calor. Recientemente, están ganando peso, sobre todo para edificios del sector terciario, los sistemas basados en Volumen de Refrigerante Variable con recuperación, cuyos rendimientos en situaciones de desequilibrios en la demanda, son muy elevados.
- Sistemas por infrarrojos: Se trata de instalaciones cuyo mecanismo básico de intercambio de calor es la radiación emitida por un cuerpo cerámico a elevada temperatura. La fuente primaria de energía puede ser combustible, o bien electricidad.

Son múltiples los sistemas o soluciones asociadas a cada uno de los tipos de sistemas de climatización descritos A continuación, a modo de ejemplo, se detallan algunas de ellas y sus características específicas aplicadas de forma particular en el ámbito de los edificios de culto:

 Calefacción mediante emisores infrarrojos. Es un sistema de acción rápida que para casos en los que haya un elevado volumen de aire a acondicionar y los receptores del calor estén en una posición fija y delimitada, como es el caso de los edificios de culto, es una buena solución sobre todo si el uso es en horario reducido.



Figura 16: Calefacción mediante emisores infrarrojos (www.gestigas.com)

 Suelo radiante: Frente al sistema anterior, es un sistema con elevada inercia, lo que le hace un sistema muy recomendable en aquellos casos en los que el uso del edificio tenga un número de horas elevado. Al transmitir mediante radiación, la fracción convectiva es reducida y por lo tanto es adecuado para edificios con grandes alturas.



Figura 17: Montaje de suelo radiante

 Bancos calefactados: Consiste en llevar la acción del calor a zonas próximas a los usuarios, estando disponibles diferentes opciones: radiadores de agua, o bien emisores eléctricos colocados en los bancos tanto en la parte inferior como en el respaldo.



Figura 18: Ntra. Señora de la Asunción (Laguna de Duero)

• *Alfombras térmicas:* Constituyen en general una opción provisional de calentamiento muy localizado y con reducidas necesidades de instalación.

Es habitual que en un edifico haya diferentes zonas que presenten distintas necesidades de climatización, por lo que la zonificación de espacios es un importante aspecto a considerar en el diseño de los sistemas de climatización de un edificio. Se define como zona cada uno de los espacios que puede disponer de diferentes condiciones de operación, a través del establecimiento de diferentes consignas así como de acciones de climatización. Una selección inadecuada de zonas, puede conducir al fracaso de cualquier sistema de climatización que se considere.

Relacionado con este concepto de zonificación, y según como se realice el suministro y regulación energética de cada una de las zonas, las instalaciones de climatización se pueden también clasificar en sistemas centralizados para varias zonas, o bien unitarios o específicos:

- Sistema unitario, utiliza un equipo donde la producción, distribución y elemento final están incluidos en una mima unidad. Todo su ciclo de operación está ligado a una zona, de forma que la regulación y las consignas se establecen directamente.
- Sistema centralizado, permite la separación funcional entre producción, distribución y elementos finales, siendo necesario un control supervisor que coordine todos ellos. De esta forma se consiguen mayores sinergias al emplear elementos comunes, si bien el empleo de sistemas grandes a carga parcial, así como las pérdidas de distribución pueden incurrir en consumos mayores.

4.2.2. Sistemas de generación energética

La producción de energía tanto de calor como de frío, se puede realizar mediante diferentes sistemas. Aunque la producción de calor se puede realizar mediante resistencias, es un procedimiento no recomendado, salvo que sea de manera provisional, debido sobre todo a su elevado coste de operación frente a sistemas basados en calderas, bombas de calor o renovables. Los sistemas de generación actualmente disponibles son:

- Calderas: es un equipo que transfiere la energía producida en un proceso de combustión a un fluido (agua, vapor, aceite), que una vez calentado se distribuye a las cargas.
 Con carácter general, las calderas para calefacción emplean los siguientes combustibles:
 - → Gas natural.
 - → Gasóleo.
 - → Biomasa.
 - → Gas licuado del petróleo (GLP)
 - → Fueloil.



Figura 19: Caldera de biomasa (Colegiata de San Isidoro en León)

De manera particular, destacar las calderas de biomasa, las cuales se abastecen de una fuente renovable, como es la bioenergía. El combustible sólido se almacena en locales anejos. Hay una tendencia a proveerle en forma de pelets, facilitando de esta forma la estandarización de los sistemas de transporte y alimentación, si bien también se puede emplear astillas o briquetas. Es importante tener en cuenta el sistema de alimentación a la caldera.

• Bombas de calor: pueden ser tanto aerotérmicas como geotérmicas en función de que realicen el intercambio con el foco de energía exterior bien con el aire o bien con el terreno. Frente a los sistemas basados en calentamiento mediante resistencias, presentan rendimientos entre 2 y 4 veces mayor para la producción de calor.

Por otro lado la reversibilidad del ciclo frigorífico, permite además suministrar tanto calefacción como refrigeración.

La opción geotérmica aunque tenga un mayor coste de inversión, presenta múltiples ventajas frente a la aérea en climas con temperaturas elevadas así como un menor impacto visual. En la Figura 20 se muestra una de bomba de calor geotérmica



Figura 20: Bomba de calor geotérmica

• Enfriadores evaporativos: Este sistema aprovecha la reducción de temperatura que se produce en el aire al disolver agua en su interior. Es un sistema capaz de enfriar el aire de forma sobre todo en climas con bajas humedades relativas. Al evaporarse el agua, el aire pierde energía y se reduce la temperatura hasta un valor próximo a la de bulbo húmedo o de saturación adiabática, que se corresponde a la temperatura más baja que se puede alcanzar mediante la evaporación del agua. En climas del interior de España y Portugal, por su bajo nivel de humedad relativa en la época estival presentan un buen rendimiento.

- Refrigeración por absorción: Los sistemas de refrigeración por absorción, permiten la obtención de frío a partir de un foco térmico caliente, sustituyendo el compresor eléctrico de las enfriadoras convencionales por un compresor térmico. Su aplicabilidad puede llegar a ser eficiente si se asocian a los siguientes tipos de instalaciones:
 - → Donde exista calor residual o focos que en determinados períodos no tengan suficiente demanda.
 - → Las instalaciones solares térmicas durante el verano.
 - → Sistemas de cogeneración con baja demanda térmica).



Figura 21: Máquina de absorción

A modo de resumen se puede ver la Figura 22.



Figura 22: Figura resumen con los sistemas de generación

Una alternativa o complemento a estos sistemas generadores son el uso de sistemas renovables, entre los que cabría incluir el mencionado sistema de caldera de biomasa. De forma general presentan baja densidad energética, lo cual obliga en general a disponer de elevadas superficies de instalación en el caso de energía solar térmica o fotovoltaica, o de grandes volúmenes de almacenamiento de combustible en el caso de la biomasa. Ello dificulta sin duda su posible aplicación y se transforma en un reto para los diseñadores que se ven obligados a la búsqueda de nuevas formas de integración de elementos de generación renovable, los cuales están llamados a jugar un papel importante en el horizonte energético futuro, con el aumento del precio de las fuentes de energía no renovables.

Aunque no se pretende realizar un repaso exhaustivo de los sistemas disponibles, si se presentan algunas opciones de soluciones de integración a modo de ejemplo. Para ello se diferencian tres tecnologías renovables: captadores solares, los cuales se orientan a la producción de agua caliente a baja temperatura (por debajo de 80°C) para la producción de ACS o bien refrigeración solar mediante máquinas de absorción; módulos fotovoltaicos, para la producción de electricidad directa, generalmente conectada a red y calderas de biomasa. Finalmente la energía eólica no se ha considerado, al presentar mayores restricciones y ser muy difícil su integración en edificación.



Figura 23: Captador con carcasa de policarbonato (www.roth-spain.com)



Figura 25: Captador solar de pizarra (www.thermoslate.com)

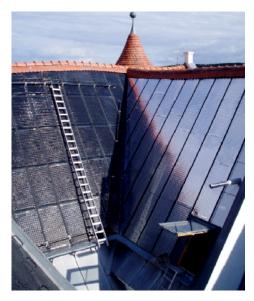


Figura 24: Castillo Grosskmehlen (Dresden, Alemania) (www.energie-solaire.com)

• Captadores solares para la producción de agua caliente. Hay que diferenciar por un lado los captadores basados en efecto invernadero y los basados en absorción-acumulación. Los primeros disponen de una cubierta, un absorbedor y una cámara de aire entre ambos. La cubierta puede ser de vidrio o de materiales plásticos. Con respecto a la carcasa envolvente, en general son metálicos, si bien están apareciendo en el mercado, captadores a base de policarbonato (Figura 23) que facilitan su integración arquitectónica.

Los captadores basados en la absorción-acumulación, en los que destacan por un lado captadores metálicos como los aplicados en el Castillo de Grosskmehlen, ubicado en Alemania (Figura 24), y por otro lado los captadores de materiales cerámicos, los cuales presentan elevadas ventajas para su integración arquitectónica y funcional con los edificios. En la Figura 25 se muestra un captador de pizarra, desarrollado por Thermoslate.

 Módulos fotovoltaicos. Permiten la producción de electricidad de manera directa, siendo su integración arquitectónica relativamente sencilla y abundante, sobre todo en edificios convencionales. Hay disponibles soluciones con diferentes niveles de opacidad y colores.





Figura 26: Ejemplos de integración (Cortesía CARTIF)

4.2.3. Soluciones portátiles de calefacción-refrigeración

Una opción a considerar en la climatización de edificios patrimoniales, es el empleo de sistemas portátiles. Estos presentan una serie de ventajas y de inconvenientes. Entre las primeras destacar:

- No requieren de grandes infraestructuras para su instalación.
- Son fáciles de instalar y poner en marcha.
- Su impacto visual es limitado en el tiempo.

Entre los inconvenientes se encuentran:

- Peor rendimiento que los equipos fijos.
- Son de poca potencia, por lo que si los requerimientos son elevados, es necesario emplear varias unidades trabajando en paralelo.
- Su regulación y gestión es autónoma.

En cualquier caso, son una opción a considerar por parte de los gestores de edificios, a la hora de dar un servicio energético eventual tanto en el espacio como en el tiempo. En la Figura 27 se muestra un esquema resumen simplificado con los diferentes sistemas de distribución y generación disponibles.

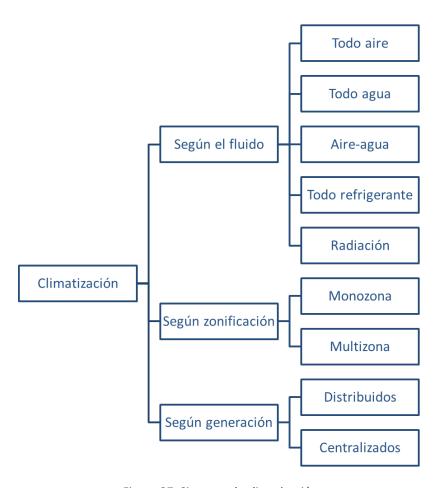


Figura 27: Sistemas de climatización

4.3. Iluminación

Los gestores de edificios patrimoniales se encuentran con diferentes posibilidades para garantizar de forma eficiente su iluminación, manteniendo las características especiales que presentan cada edificio, particularmente la iluminación ambiental y la artística.

4.3.1. Clasificación de los sistemas de iluminación

La iluminación de este tipo de edificios se suele configurar como una iluminación de base o general, que permite tener un nivel uniforme de luminosidad, complementada con otras más específicas que resaltan aspectos particulares. De forma más detallada, su concepto y las técnicas asociadas a cada uno de estos tipos de iluminación son:

- *Iluminación general o ambiental*. Proporciona una iluminación uniforme sobre toda el área iluminada, siendo posible aplicar diferentes técnicas.
 - → *Dirigida Directa*: Se produce una iluminación uniforme procedente de las lámparas hacia el plano de trabajo horizontal, en general el suelo. Es el sistema con mayor rendimiento luminoso, pero con un mayor riesgo de deslumbramiento y elevada producción de sombras.
 - → Difusa Directa: Se aprovechan las paredes u otras superficies como reflector secundario o bien luminarias de pared difusa, estando referida a un plano de trabajo horizontal. El riesgo de deslumbramiento es bajo y no hay sombras, de forma que la arquitectura queda visible.
 - → Indirecta: Se aprovecha el techo como reflector indirecto de forma que la luz llega de manera indirecta tanto al plano horizontal como a las paredes. Es la más parecida a la luz natural pero es una solución muy cara, puesto que las pérdidas por absorción son muy elevadas. El aumento de la iluminación en las zonas perimetrales del espacio lo hacen aparentar más abierto.
- *Iluminación localizada*: Se trata de un tipo de luz suplementaria que aumenta la intensidad luminosa en alguna zona que por motivos de uso requiera unos valores más elevados.
 - → Bañeras: Es un sistema de iluminación que busca la generación de un contorno más o menos definido y uniforme sobre las paredes a modo de "baño" en el que la luz se desliza por ellas.

- → Acentuación: Consiste en focalizar luz sobre un objeto o elemento arquitectónico que se quiere destacar.
- → *Proyección*: Permiten conseguir efectos y formas, fijas o móviles, mediante la proyección sobre las paredes, techos o suelo.
- *Iluminación funcional*: Es un tipo de luz que raramente es estética, poseyendo un papel funcional de comodidad y seguridad y adaptándose a las actividades del edificio (salas, baños, zonas de paso...).
- *Iluminación cinética*, o iluminación que permite crear una iluminación en movimiento.

De forma complementaria, y como una característica especial de este tipo de edificios frente a otros, generalmente presentan una iluminación exterior, orientada a resaltar su carácter artístico. El alumbrado arquitectónico exterior de edificios ayuda a crear un paisaje nocturno incluso más impresionante que el que se contempla a pleno día. El alumbrado arquitectónico mediante proyectores no requiere grandes niveles de luz pudiendo modelar los aspectos arquitectónicos con colores y resaltando sus matices. Para esta aplicación son apropiadas las fuentes de luz de alta calidad así como el uso de los colores. En la siguiente Tabla 1, se indican los tipos de lámparas para alumbrado arquitectónico más habitualmente utilizadas, según su tecnología.

	Sodio a alta presión	Halogenuros metálicos cerámicos	Halogenuros metálicos
Alumbrado	Fachadas	Fachadas	Fachada
Arquitectónico	raciiauas		Puentes y Estatuas

Tabla 1: Tipos de lámparas para alumbrado arquitectónico (Fuente Phillips)

4.3.2. Componentes de los sistemas de iluminación

La iluminación, suele ser una de las partidas energéticas más importantes. Aunque en general la potencia contratada suele ser baja comparada con otros servicios, el número de horas que se emplea es elevado, por lo que la selección de sistemas más eficientes, o bien el empleo de sistemas que permitan una reducción en la potencia o en el número de horas de uso, son medidas que generalmente, tienen un retorno rápido de inversión.

De manera general, un sistema de iluminación está formado por:

Fuentes de luz o lámparas: La lámpara se puede considerar como el punto inicial en el proceso
de generación de luz. Es el elemento que trasforma la electricidad en radiación luminosa. El
rendimiento de este proceso, depende mucho de la tecnología empleada. Existen desde sistemas
incandescentes basados en hilo de wolframio, hasta modernas lámparas basadas en LED, siendo los
rendimientos, y con ello la generación de calor asociada, muy variable.



Figura 28: Diferentes tipos de lámparas (Fuente Wikipedia)

En la Figura 29 se muestra un esquema general que resume las tecnologías de lámparas disponibles.

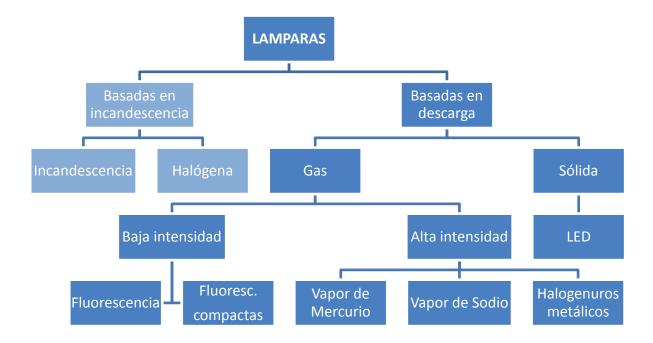


Figura 29: Diagrama con los tipos de lámparas

- Luminarias: Se definen como el conjunto de dispositivos para el soporte, fijación y proyección de la luz emitida por la lámpara. Dicha luz, antes de llegar a las diferentes superficies, debe ser filtrada, concentrada, repartida o transformada.
 - Para su clasificación se definen los parámetros de distribución lumínica caracterizados por la distribución fotométrica, y su rendimiento, definido como la relación existente entre el flujo luminoso que emite la luminaria y el que recibe procedente de la lámpara.



Figura 30: Luminaria (Cortesía GWISS)

- Equipos Auxiliares: Resultan imprescindibles para conseguir la funcionalidad del sistema, e influyen en gran medida en su calidad, consumo energético, economía y durabilidad. Entre ellos se encuentran reactancias, balastos, condensadores, etc.
- Sistemas de regulación y control: Los sistemas de regulación y control de alumbrado son actualmente una pieza clave en la mejora energética de los sistemas de iluminación. Dentro de las diferentes posibilidades de regulación actuales destacan las siguientes:
 - → Regulación o control bajo demanda del usuario mediante interruptor manual, pulsador, potenciómetro o mando a distancia.
 - → Control horario y por fechas que puede ser implantado de manera centralizada o distribuida sobre los elementos de encendido y apagado de las lámparas mediante un reloj.
 - → Control del encendido y apagado según presencia en la zona, donde un sensor de presencia procede al encendido o apagado de la iluminación. Se debe establecer una histéresis con el fin de que si un ocupante permanece quieto, no haya excesivos ciclados de puesta en marcha y paro, lo cual puede ser contraproducente, tanto para la durabilidad de la lámparas como desde el punto de vista del consumo, aparte de las molestias que para los usuarios pueda tener.
 - → Control del encendido y apagado según luminosidad exterior, basada en la medida de luminosidad exterior mediante una fotocélula de forma que a partir de un determinado nivel se enciendan las luminarias y por debajo se apaguen.
 - → Regulación de iluminación artificial según el aporte de luz natural, la cual utiliza una fotocélula para medir la cantidad de luz total que hay en el local. Esta medición se lleva al sistema de control, que ordena la regulación del flujo de las lámparas del área controlada para mantener un nivel de iluminación constante y adecuada a los niveles necesarios. Este tipo de sistemas requiere de lámparas con regulación.

En función del tipo de lámpara, las opciones de regulación admisibles son las que se muestran en la siguiente tabla:

Tecnología de lámpara	Rango [%]	Regulador
Lámparas incandescentes	1-100	Dimmer
Lámparas incandescentes halógenas		
Baja tensión de alimentación	1-100	Dimmer
Buju terision de dimentación		Trafos electrónico
Tensión de red	1-100	Dimmer
Lámparas fluorescentes		
Tubulares		Balasto electrónico
compactas		Balasto electrónico
Lámparas de descarga Alta intensidad	35-100	Balasto electrónico

Tabla 2: Regulación de luminarias

5. SIMULACIÓN DINÁMICA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

Otro de los pilares fundamentales de la metodología RENERPATH, es el uso de la simulación dinámica de los edificios y sus instalaciones, para la caracterización de su comportamiento energético. El desarrollo de los ordenadores, con mayores velocidades de cálculo y capacidad de procesado de información, ha propiciado la aparición e implantación de algoritmos de cálculo, cuya aplicación manual era impensable hace unos años.

Termodinámica y la Transferencia de Calor establecen la forma en la que interactúan los flujos de calor con la materia, aportando una serie de ecuaciones con las que valorar el efecto que puede tener sobre un edificio la radiación solar, la temperatura exterior, el viento, etc., o el calor que emiten equipos y personas.

La simulación dinámica presenta varias ventajas frente a los métodos de cálculo basados en balances puntuales con valores medios:

- Permite caracterizar la interacción entre variables de manera semejante a como ocurre en la realidad, de forma que en instalaciones en las que haya un gran acoplamiento entre ellas, arrojará resultados más precisos.
- Puede determinar los límites máximos y mínimos de demanda energética, necesario para el dimensionado adecuado de equipos como los de producción. Permiten estimar la frecuencia con la que se dan los diferentes rangos de demanda, con lo que ayudan a realizar dimensionados mucho más eficientes, evitando sobredimensionados o subdimensionados.
- Tiene en cuenta la inercia energética de los sistemas que provocan un retraso entre la causa y el efecto. Por ejemplo, en paredes de gran espesor, como es el caso de los edificios patrimoniales, provocan un retraso relativamente importante entre el momento en el que la radiación incide sobre uno de los muros, o la temperatura exterior alcanza el valor máximo y el tiempo que tarde en transmitirse este calentamiento a la zona interior. También tiene en cuenta el efecto contrario, es decir, el calor que puede estar cediendo ese mismo muro durante la noche, de forma que la temperatura en el interior sea mayor que en el exterior.

Para poder realizar la simulación de un edificio, es necesaria una serie de datos, los cuales permiten la definición del escenario:

• Localización del edificio: Este dato es fundamental en tanto que va servir para establecer los datos climáticos, que son las restricciones primarias a las que cualquier edificio se va a ver sometido.

Hay disponibles diferentes bases de datos, todas ellas fundamentadas en análisis estadísticos a lo largo del tiempo, provenientes de puntos en los que se dispone de estaciones meteorológicas y posteriormente se extrapolan a otras zonas. Algunas bases de datos empleadas son: Energy Plus, TMY, TRY, AMeDas, etc. La estructura de estos ficheros suele contener información sobre la ciudad o zona a la que se refiere, y luego se disponen de datos, en general con frecuencia horaria (8760 datos), de radiación, temperaturas, humedad, presión atmosférica, velocidad de viento, etc.

- Características del edificio: Son necesarios varios tipos de datos. Por un lado la topología, es decir, las dimensiones de cada uno de los espacios. También son necesarios datos sobre la composición de los cerramientos, esto es, paredes, suelo y techo, obtenidos bien a partir de la descripción de la secuencia de materiales que les componen, con sus correspondientes espesores, o bien a partir de descripciones globales. Las cargas internas generalmente, están asociadas al número de ocupantes del edificio, a los equipos y a la iluminación, debiendo conocer cual es el horario que sigue cada uno de ellos. En el caso de edificios patrimoniales, como se ha indicado anteriormente, los horarios pueden ser muy diferentes, según el fin que cumpla el edificio. También es necesario conocer si hay elementos en sus proximidades que pueden alterar el microclima o bien arrojar sombras de manera parcial o total.
- Características de las instalaciones: Las instalaciones se pueden caracterizar de diferentes formas, en función de la complejidad del modelo empleado. En algunos casos, es suficiente con indicar algunos parámetros característicos, mientras que en otros es necesario la introducción de un "mapa" de funcionamiento que registre las prestaciones en diferentes condiciones, de manera que el entorno de simulación mediante interpolación, establezca las prestaciones que tendrá en cualquier momento.

Hay diferentes herramientas de simulación dinámica, que hacen un uso en mayor o menor medida de los datos anteriores. Algunos de los más conocidos son: Energy Plus, DOE, TRNSYS o los desarrollados para la certificación de edificios de nueva construcción en España (LIDER y CALENER), los cuales emplean el motor de cálculo de DOE.

6. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA. CASOS DE ESTUDIO

Como resultado de la aplicación de la metodología RENERPATH en dos edificios tipo, se han obtenido criterios de actuación que permiten extrapolar de forma generalizada los resultados obtenidos. Los edificios considerados son:

- Por un lado, un edificio de culto en el que se trata de reducir los rigores térmicos del invierno, permitiendo temperaturas interiores suficientemente agradables como para poder disfrutar de los oficios, y para el que se ha tomado como referencia base la catedral de Ciudad Rodrigo
- Por otro lado, un edificio patrimonial de uso público, caracterizado por un horario y unas condiciones de operación más exigentes en lo que a temperatura y consumo energético se refiere, tomándose como referencia en este caso el Palacio Episcopal de Pinhel.

Asociados a cada uno de estos edificios, se han definido una serie de variables, con las que establecer las acciones más adecuadas en cada caso, clasificando y orientando al usuario de la guía hacia la solución más conveniente. Evidentemente, no se trata de ofrecer un dimensionado de las instalaciones, el cual debe ser realizado por un técnico especializado, sino de disponer de criterios sobre los ahorros aproximados que se pueden llegar a obtener, por la adopción de las diferentes posibles soluciones.

Dadas las diferentes particularidades de requerimientos en los dos tipos de edificios considerados, se han establecido distintas variables para cada uno de los dos casos planteados.

6.1.1. Edificios de culto

La simulación se ha realizado sobre un edificio de planta rectangular, con el fin de facilitar su estudio. Se ha tomado la longitud total de la nave central de la Catedral de Ciudad Rodrigo, 60 m y una anchura de 40 m estableciendo un diseño de experimentos, en el que el resto de parámetros dimensionales han sido variados. Para la clasificación y análisis de los edificios de culto, se han establecido las siguientes variables de estudio:

Sistema de climatización (2 casos):

Se han considerado dos opciones.

→ Por un lado sistemas basados en aire, los cuales tratan de atemperar una masa de aire la cual al final debe ser dirigida o confinada. Destacar la tendencia del aire a estratificar, la cual será más importante cuanta mayor sea la altura del edificio.

→ Por otro lado, se ha considerado un sistema de suelo radiante, el cual permite el acondicionamiento de tan sólo una parte del edificio, mediante diferentes posibles soluciones como se ha visto anteriormente. Este sistema de calefacción tiene una componente de transmisión por convección menor y por ello presenta un mejor rendimiento en edificios altos.

Altura (4 casos):

Con la planta definida anteriormente, se han estudiado 4 alturas (5 m, 10 m, 15 m y 20 m.). Con ello se trata de establecer el efecto de la estratificación y el volumen de aire, en base al sistema de climatización empleado.

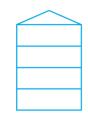


Figura 31: Casos de altura considerados

• Climatología (3 casos):

Las variables climáticas, que establece el Código Técnico en la Edificación para clasificar las diferentes zonas, se realiza en base a los conceptos de severidad climática en verano y en invierno, de forma que mediante un código formado por una letra seguida de un número, se puede tener una referencia sobre las condiciones de cargas debidas al clima que van a tener los diferentes edificios, tanto en verano como en invierno.

Dada la zona de actuación del proyecto, se ha decidido tomar las bases climáticas de las zonas D1, D2 y E1², de forma que se puede ver el efecto que el clima puede tener, manteniendo el resto de condiciones iguales.

• Volumen acondicionado (3 casos):

Se trata de analizar el efecto de acondicionar sólo una parte del edificio o su totalidad, de forma que a la hora de acometer una climatización completa, además de considerar el coste de inversión, se tenga una estimación del coste de mantenimiento del sistema a través de la energía consumida. Para ello se ha decidido establecer 3 zonas en el edificio de 20 x 20 m, de forma que las necesidades de climatización sean de 1, 2 o 3 zonas, estando en los tres casos la zona central siempre climatizada, al ser la que se corresponde habitualmente con la ocupada por los feligreses.

² El Código Técnico de la Edificación en su documento HE1, establece diferentes zonas climáticas en base a su severidad climática en invierno (letras de A a la E) y severidad climática en verano (número de 1 a 4). Estos parámetros se calculan teniendo en cuenta, tanto la temperatura en base a grados día como la radiación, comparando con un valor de referencia.

Horario (2 casos):

Las opciones de horarios posibles son muy elevadas, por lo que se ha deicidio establecer dos horarios límite. Uno semejante al que puede tener un edificio de culto, caracterizado por 1 o 2 sesiones de misa diarias. Por otro lado se encuentran edificios con una elevada tasa de visitas y que por lo tanto dispone de un horario continuo. En concreto los valores adoptados han sido:

- → El horario tipo culto presenta un uso de lunes a sábado durante una hora que va de 12:00 a 13:00, y los domingos dos sesiones: una de 10:00 a 11:00 y otra de 13:00 a 14:00.
- → El horario continuo va desde las 10:00 hasta las 20:00.

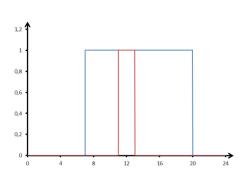


Figura 32: Horarios

Todas estas variables han dado un total de 144 posibles casos de estudio, para los que se ha evaluado la energía demandada por el edificio. Se han agrupado los resultados en función de las variables obtenidas con los siguientes resultados. Los resultados mostrados, indican la máxima diferencia porcentual obtenida en una determinada variable, variando todas las demás, por lo que se está evaluando la "sensibilidad" del sistema a las diferentes variables.

• Influencia de la altura. La diferencia porcentual en la demanda de energía entre sistemas idénticos con diferentes alturas, hay que diferenciar entre los dos posibles horarios. Con horario de culto y por lo tanto con un uso poco intensivo, la climatización mediante aire en general es insensible a cambios de altura, a pesar del efecto de estratificación de aire. La menor diferencia porcentual es de 1,17 % acondicionando 1/3 de las superficie total mediante aire, mientras que la mayor diferencia de energía demandada al cambiar la altura se produce también para una superficie acondicionada de 1/3 pero con suelo radiante, con un valor de 4,76 %. Como se puede ver, con horarios cortos, la influencia de la altura, prácticamente es despreciable.

Sin embargo con horario continuo, el comportamiento cambia radicalmente, ya que la situación más insensible a la altura alcanza un valor de 1,51% acondicionando todo el edificio mediante suelo radiante, y sin embargo el que mayor diferencia presenta es la climatización de toda la superficie del edificio con aire que puede tener variaciones de hasta 25,79 %. La energía entre calefactar un edificio de 5 m de altura y otro de 20 m puede ser un25% mayor si se tiene un horario continuo y con aire, ya que los volúmenes de aire en un caso y en otro son sensiblemente mayores.

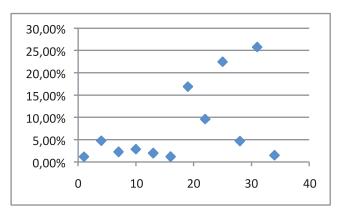


Figura 33:Influencia de la altura

En resumen, para edificios con poca superficie relativa de acondicionamiento y horario reducido, la calefacción por el aire será menos insensible a los cambios de altura, mientras que en los casos en los que la superficie sea completa y se haga un uso intensivo en el tiempo, el sistema que menores diferencias presenta con la altura es el suelo radiante.

• Influencia de la climatología. La diferencia porcentual en la demanda de energía, entre sistemas idénticos en diferentes zonas climáticas (D1, D2 y E1), oscila entre el 5,54% y el 9,56%. Destacar que las diferencias de demanda debido a la climatología son mayores para los casos de horario continuo, en los que el número de horas de uso es mayor, y grandes volúmenes a acondicionar, que hacen al edificio más sensible a la temperatura y radiación exteriores, mientras que las menores diferencias se producen en situaciones con horarios de culto y en los que se acondiciona 1/3 del edificio.

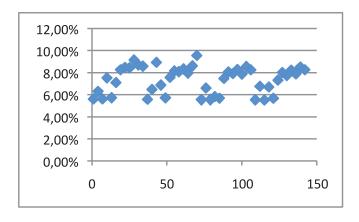


Figura 34: Influencia de la climatología

Por lo tanto se puede afirmar que la influencia del clima sobre la demanda de dos edificios idénticos, sometidos a las mismas cargas y sistema de acondicionamiento, cabe esperar como mucho diferencias del 10%, todo ello basado en bases climáticas anuales.

• Influencia del horario. La diferencia porcentual en la demanda de energía, entre sistemas idénticos sometidos a diferentes horarios, presenta dos casos extremos muy claros independientemente de la altura, el volumen acondicionado, etc., como se puede ver en la Figura 35. Por un lado se encuentra los sistemas de acondicionados por aire en los que la diferencia entre un horario continuo y un horario de culto presenta diferencias porcentuales de hasta un 84,89 % lo que demuestra que el sistema es muy sensible a la variable horario. Sin embargo, en sistemas con suelo radiante, para diferentes alturas la diferencia es tan sólo del 11,67 %, de forma que estos casos son más insensibles al horario.

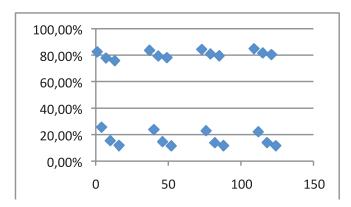


Figura 35: Influencia del horario

Ello se traduce en que los casos con horarios reducidos, la demanda mediante aire es mucho más pequeña que la que presenta un horario continuo, mientras que la calefacción con suelo radiante, va a presentar una demanda más semejante aunque los horarios sean diferentes. Esto es así debido a la gran cantidad de calor que necesitan aportar los sistemas de suelo radiante para de manera previa a la emisión de calor al ambiente, está la puesta en temperatura de toda la estructura que contiene los tubos.

• Influencia del volumen acondicionado. Con respecto a la diferencia de climatizar todo el edificio o sólo una parte, las variaciones en la demanda se encuentran entre un 49 % y un 65 %. El caso en el que hay una menor diferencia se corresponde con un edificio de 5 m de altura y horario continuo acondicionado con suelo radiante. Sin embargo el que presenta una mayor diferencia es un edificio de 20 m de altura, horario de culto acondicionado con un sistema de aire. A la hora de tomar la decisión de climatizar de manera parcial o completa, se debe tener en cuenta que en un caso se va a consumir del orden de como mínimo el doble que en el otro.

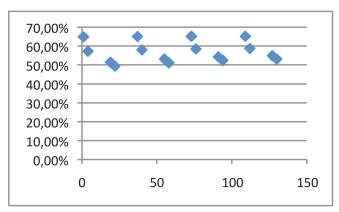


Figura 36: Influencia del volumen acondicionado

• Influencia del sistema de climatización. Con respecto a las diferencias entre los dos tipos de sistemas de climatización analizados, el comportamiento del aire presenta un consumo de entre un 64% y un 70% menor que el suelo radiante con horarios de culto, y prácticamente la mejora es independiente de la altura siendo los mayores las diferencias cuanto menor es la zona acondicionada. Sin embargo, para los casos de horario continuo el suelo radiante es el sistema que presenta un mejor comportamiento, oscilando la mejora entre un 20% para 5 m de altura y 38% para 20 metros. Destacar que la menor diferencia entre ambos se produce para el caso de horario continuo, acondicionando 1/3 de la superficie, oscilando este valor entre el 17 % para 5 metros de altura y 36 % para 20 m.

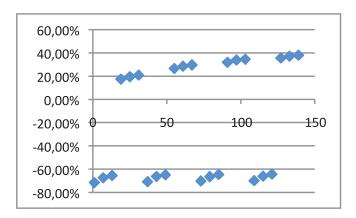


Figura 37: Influencia del sistema de climatización

Finalmente y para dar una idea de la dispersión de los datos, se muestra a continuación un gráfico con la energía anual consumida por año y por metro cuadrado para los diferentes casos analizados.

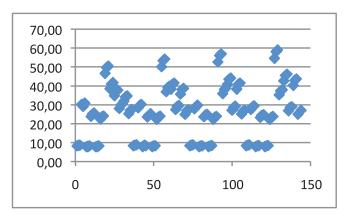


Figura 38: Demanda anual por metro cuadrado [kWh/m²]

Como se puede observar en la Figura 38 la demanda oscila desde valores de 10 kWh/m² correspondiente a casos de horario de culto acondicionando la parte de bancos y mediante aire, hasta valores de 60 kWh/m² en el caso del acondicionamiento de edificios de uso continuo, elevadas alturas y pequeñas superficies acondicionadas mediante aire.

6.1.2. Edificios patrimoniales de uso civil

Como edificio para simulación y obtención de indicadores de referencia para este tipo de edificios, se ha tomado el Palacio Episcopal de Pinhel, un edificio con un uso actual de oficinas, residencia y servicios a la comunidad. Dada las diferencias de uso y posibilidades de actuación con respecto a los edificios de culto, se han establecido otras variables de estudio:

- Espesor de los muros exteriores. Las características y espesor de la envolvente condicionan el
 comportamiento térmico interior del edificio. En este caso se evalúa la variación del espesor de
 los muros y su efecto sobre las necesidades energéticas requeridas para el acondicionamiento del
 edificio. Cuanto mayor sea el espesor, lógicamente mayor será la cantidad de energía almacenada
 en las paredes y mayor será el nivel de aislamiento.
- Aislamiento. Los cerramientos de los edificios patrimoniales, al presentar generalmente elevados espesores, presentan una gran capacidad de almacenamiento de energía, que es cedido al interior.
 Este comportamiento dinámico se mejora con la colocación de un material aislante. Se trata de establecer el efecto de la variación de su espesor y su efecto real sobre el acondicionamiento térmico del edificio. Destacar que a diferencia de los edificios de culto, en los de uso civil, a menudo se instalan revestimientos interiores, siendo por ello factible el colocar una capa de aislamiento.

- Infiltraciones. Se definen como la entrada incontrolada de caudales de aire exterior debido a que existe algún hueco o abertura que lo permite. El intercambio de energía que tiene un edificio con el medio exterior que lo rodea, se produce a través de todos los elementos componentes de la envolvente. Dentro de éstos, se encuentran las aberturas en la carpintería de ventanas y puertas, que pueden representar hasta un tercio de las pérdidas globales de energía. La valoración del efecto de esta variable puede justificar la inversión en mejorar este efecto.
- Zonas de acondicionamiento. Dada la distribución interna de este tipo de edificios con diferentes zonas y usos, sometidas a horarios específicos, y niveles de ocupación variables, se establece analizar el efecto sobre el consumo energético de climatizar determinadas zonas del edificio. Se han considerado:
 - → Climatización del edifico completo
 - → Climatización de una única planta.
 - → Climatización de dos salas/habitaciones anexas y aisladas.
- Sistema de climatización. Se han considerado dos opciones de climatización: un sistema convencional basado en radiadores como el disponible actualmente en el edificio, y la evaluación de un sistema de suelo radiante con una mayor inercia térmica.

La evaluación de todas estas variables ha supuesto un número elevado de simulaciones. El análisis y clasificación de los resultados energéticos obtenidos, muestra los siguientes resultados:

• Influencia del espesor de los muros exteriores. Los espesores de los muros de los edificios patrimoniales suelen ser considerables con respecto a las construcciones modernas. El análisis realizado determina que, tomando como referencia un espesor mínimo de 40 cm, a medida que aumenta el espesor de la pared, aumentan los ahorros en climatización, llegando a valores del 20 %, pero también se detecta, que a partir de ciertos valores esta mejora ya no es tan sustancial

Espesor pared [cm]	Calefacción Convencional	Suelo Radiante
40	0,00	0,00
60	9,99	11,76
70	13,60	13,42
80	16,59	16,49
90	19,12	19,02

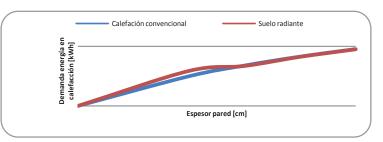


Figura 39: Influencia del espesor del muro en la calefacción

La diferencia en el uso entre un tipo de sistema de climatización y otro no es apreciable en este caso.

• Influencia del aislamiento. El estudio realizado ha considerado además del espesor del aislante variable, otras características como son el espesor de pared y el tipo de sistema de calefacción. Combinando todas estas variables, se obtienen los valores que se muestran analíticamente y gráficamente en las Figura 40 y Figura 41, en las que se muestra el porcentaje de ahorro energético en la climatización del edifico, considerando como referencia paredes de 40 cm y sin aislamiento:

→ Calefacción con suelo radiante

Espesor	Espesor de las paredes [cm]			
aislante [cm]	40	60	70	80
0	0,00	11,76	13,42	16,49
2	27,73	29,81	30,73	31,08
4	34,91	35,84	36,29	36,19
6	38,19	38,74	38,96	39,25
8	40,08	40,44	40,64	40,30
10	41,29	41,60	41,72	41,88
12	42,09	42,67	42,80	42,65

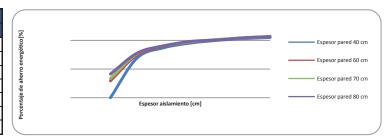


Figura 40: Porcentaje de ahorro energético empleando suelo radiante

→ Calefacción convencional

Espesor	Espesor de las paredes [cm]			
aislante [cm]	40	60	70	80
0	0,00	9,99	13,60	16,59
2	26,74	28,85	30,00	30,62
4	33,69	34,65	35,09	35,52
6	36,89	37,46	37,95	38,00
8	38,72	39,12	39,43	39,51
10	39,91	40,33	40,37	40,52
12	40,75	40,99	41,12	41,24

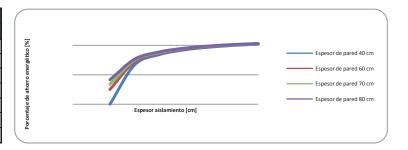


Figura 41: Porcentaje de ahorro energético empleando calefacción convencional

A partir de los resultados obtenidos, se concluye que:

- → La introducción de aislamiento en el sistema mejora considerablemente el consumo necesario para climatizar el edificio, consiguiendo ahorros de hasta el 40 %.
- → Es más importante el efecto de aislamiento que el efecto del espesor de pared.
- → Hay una saturación del efecto de mejora que el aislamiento produce y a partir de 8 cm la mejora no es relevante frente al aumento del espesor.
- Efecto de las infiltraciones. En el análisis de esta variable destaca el fuerte efecto sobre el consumo energético que tiene. Se ha tomado como referencia un sistema cerrado sin infiltraciones.

Infiltraciones [1/h]	Calefacción Convencional	Suelo Radiante
0	0,00	0,00
0,2	19,00	18,03
0,5	47,79	44,42
0,75	71,98	64,65
1	96,34	85,20
1,5	145,59	122,92
2	195,51	158,02

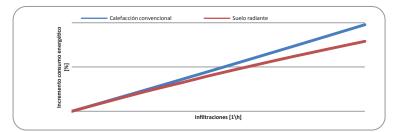


Figura 42: Correlación entre climatización e infiltración

Como se puede ver en la Figura 42, se obtiene una clara correlación directa entre el consumo energético en climatización y las perdidas por infiltración, siendo esta relación más acusada en sistemas de calefacción convencionales que en el caso de suelo radiante, lo cual conlleva que cualquier mejora para evitarlas (mejora de estanquidad de puertas y ventanas, cerramiento de huecos innecesarios, control de la ventilación,...) es energéticamente muy beneficiosa.

• Influencia del acondicionamiento por zonas. Para valorar este aspecto se ha analizado el consumo energético en la climatización de una zona determinada ubicada en la primera planta, considerando la climatización de zonas anexas. Se han planteado 4 casos de estudio. El caso base es la demanda de la zona de estudio, a la vez que se climatiza todo el edificio. A partir de él se han evaluado el aumento de la demanda de la zona de estudio, cuando se acondiciona toda la planta, cuando se hace una zona anexa y cuando se acondiciona únicamente la zona de estudio. Los resultados se muestran en la Figura 43.

Zonas climatizadas	Demanda Energética ZONA de estudio		
Zonas cilmatizadas	Suelo radiante	Calefacción convencional	
Todo el edificio	0,00	0,00	
1ª Planta	11,28	18,24	
Zona de estudio+ zona anexa	15,72	24,39	
Zona de estudio	22,38	31,09	

Figura 43: Influencia de la climatización de zonas anexas

A partir de los resultados obtenidos se ha comprobado que la energía consumida en climatizar la zona considerada, aumenta de forma considerable en función de si se dispone de zonas anexas climatizadas, llegando esta diferencia a un 30 % más de consumo en el caso de ser la única zona climatizada del edificio. La diferencia de climatizar con aire, frente al uso de suelo radiante muestra aumentos de consumo de energía para el mismo objetivo de entorno a un 8-9 %.

6.2. Criterios en iluminación

Las actuaciones en iluminación en edificios patrimoniales están condicionadas en muchos casos, a aspectos ajenos a los puramente energéticos. Por ello, a la hora de considerar las actuaciones a abordar y su valoración, se hace preciso considerar los siguientes aspectos y variables:

 Requerimientos estéticos. Se considera como una de las variables más condicionantes, en el sentido de que en ciertas ocasiones prevalecen el diseño de la luminaria y el tamaño de la misma o las prestaciones de la lámpara frente al criterio energético.

En la Tabla 3 se muestra una valoración de los requisitos de la fuente de luz para aplicaciones de alumbrado arquitectónico. Las variables cromáticas son las que presentan un mayor peso, mientras que la vida útil y la eficacia de lámpara son aspectos menos importantes

Eficacia de la lámpara	**
Flujo luminoso	***
Temperatura de color	***
Reproducción de color	***
Vida útil	*

Tabla 3 Requisitos de la fuente de luz para alumbrado arquitectónico (Fuente Philips)

- Uso del edificio. La actividad a la que está destinado el edificio, condiciona los requerimientos
 de iluminación necesarios para garantizar la correcta realización de las actividades y con ello las
 características y posibles tipos de las luminarias y lámparas a instalar. Es importante tener en cuenta
 que, dadas las características especiales de muchos de los edificios patrimoniales, sus requerimientos
 de iluminación tienen ciertos grados de libertad respecto a la normativa vigente. Así mismo, cabe
 incluir la posible necesidad de iluminación exterior.
- Horario de actividad. Esta variable, asociada de forma directa a la anterior, tiene una gran importancia
 a la hora de escoger el sistema de iluminación más adecuado. Principalmente se diferencian dos
 tipos de usos. Por un lado se encuentran edificios con usos puntuales reducidos a una o varias horas
 al día, siendo un caso típico los edificios de culto. Por otro lado, se tienen horarios de tipo continuo,
 asociado a edificios de uso civil o bien a edificios de culto con horarios continuos de visitas.
- Opciones de regulación y gestión. La diferentes posibilidades de regulación y control están condicionadas por el conjunto luminaria/ lámpara disponible o aplicable según las variables anteriores y las posibilidades de actuación en el edificio.

De forma general los valores de referencia adoptados por estas variables presentan valores similares en todos los edificios patrimoniales, tal como se aprecia en la Tabla 4, salvo ligeras diferencias asociados al uso, por lo que las medidas aplicables en los edificios tomados como referencia, son representativas para el conjunto:

	Edificios de culto	Edificios uso civil
Requerimientos estéticos	altos	variable
Fracción de tiempo de uso diario	variable	variable
Opciones de regulación	limitadas	limitadas

Tabla 4: Requerimientos en los edificios patrimoniales

Considerando estas especificaciones, para mejorar la eficiencia en los sistemas de iluminación, se plantean directamente las siguientes actuaciones:

• Empleo en el interior de los edificios de lámparas de bajo consumo, en conjunción con luminarias de alta eficiencia y balastos electrónicos. La correcta elección de estos sistemas en función del uso y las necesidades de iluminación, reportan importantes ahorros energéticos a la vez que permiten proporcionar un servicio más eficiente.

- Empleo de lámparas de exterior del menor consumo posible que cumpla los requerimientos estéticos mínimos de iluminación del edificio. Un estudio adecuado de iluminación exterior proporciona unos resultados espectaculares y garantiza unos ahorros energéticos importantes en su uso.
- Empleo de sistemas de gestión de la iluminación, los cuales en conjunción de las medidas anteriores garantiza un adecuado uso de los sistemas de iluminación. Como métodos de gestión más adecuados para edificios patrimoniales destacan:
 - → Control por presencia, en zonas comunes de paso, que permita la reducción de horas de uso.
 - → Control por horario, restringiendo la iluminación de determinadas zonas y limitando la del resto en momentos de no uso, y eliminando los consumos indeseados.
 - → Control por luminosidad, adecuando la iluminación de zonas con iluminación exterior en función de la intensidad de la misma.

La cuantificación de los ahorros energéticos que estas medidas implican, depende directamente de los valores que el edificio de aplicación proporcione a las variables que se han considerado características y analizado inicialmente, aunque existen estudios que avalan que, tal como se muestra en la Figura 44, se pueden conseguir ahorros del 75% del consumo inicial.



Figura 44: Ahorros energético en iluminación (Fuente Phillips)

El ahorro no sólo tiene efecto en una reducción de gastos de electricidad, sino que ayuda a reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Con los equipos electrónicos también se obtiene un importante ahorro energético en climatización ya que el calor generado por los equipos es menor.

7. BIBLIOGRAFÍA

Buckley, S.J. (2010): "Laser Scanning for the Environmental Sciences". *The Photogrammetric Record*, 25 (129), p. 84–85. DOI: 10.1111/j.1477-9730.2009.00562_1.x

Farjas, M.; García Lázaro, F.J. (2008): "Modelización tridimensional y sistemas láser aplicados al Patrimonio Histórico". Ediciones Ergástula (Serie: Biblioteca básica), Madrid. ISBN: 978-84-936732-0-8

White, P.D.; Jones, R.R. (2008): "A cost-efficient solution to true color terrestrial laser scanning". *Geosphere*, 4 (3), p. 564-575. DOI: 10.1130/GES00155.1

English Heritage (2007): "3D Laser Scanning for Heritage: Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture". http://www.english-heritage.org.uk/publications/3d-laser-scanning-for-heritage/

Lagüela, S.; Martínez, J.; Armesto, J.; Arias, P. (2011): "Energy efficiency studies through 3D laser scanning and thermographic technologies". *Energy and Buildings*, 43 (6), p. 1216-1221. DOI:10.1016/j.enbuild.2010.12.031

Bryan, P.; Blake, B.; Bedford, J. (Ed. Andrews, D.) (2009): "Metric Survey Specifications for Cultural Heritage". Published by English Heritage. http://www.english-heritage.org.uk/publications/metric-survey-specification/

Lerma, J. L.; Navarro, S.; Cabrelles, M.; Seguí, A.E.; Haddad, N. and Akasheh, T. (2011). "Integration of laser scanning and imagery for photorealistic 3D architectural documentation". En: Chau-Chang Wang, (Ed.): Laser Scanning, Theory and Applications, p. 414-430. Ed. Intech.

Zalama, E.; Gómez-García-Bermejo, J.; Llamas, J.; Medina, R. (2011): "An effective texture mapping approach for 3D models obtained from laser scanner data to building documentation". Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 26 (5), p. 381–392.

Manual técnico sobre ahorro y eficiencia energética en climatización de naves industriales. Junta de Castilla y León, Consejería de Economía y Empleo Ente Regional de Energía de Castilla y León, 2010.

Instalaciones de iluminación en edificios en el marco del Código Técnico de la Edificación, Instituto de la Construcción de Castilla y León – www.iccl.es, EnerAgen Asociación de Agencias Españolas de Gestión de la Energía, 2007

Guía Técnica de Iluminación Eficiente Sector Residencial y Terciario, Comunidad de Madrid, <u>www.fenercom.com</u>, 2006

Guía Técnica: Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmica en edificios., Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2008.

Paul Baker, Historic Scotland Technical Paper 10: U-values and traditional buildings *In situ* measurements and their comparisons to calculated values, www.historic-scotland.gov.uk/technicalpapers, 2011

TRNSYS: A transient Simulation Program. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison WI, http://www.trnsys.com, 1990.

RENOVARE: Guía de buenas prácticas de medidas de uso racional de la energía (URE) y energías renovables (ER), http://www.inform.pt/renovare/homepage_es.htm, programa INTERREG III A, Comisión Europea, 2007

