

(05-034) - Improving the energy efficiency of air conditioning systems in buildings based on

based on equipment overhaul and vertical gardens.

Marzal Peña, Noelia ¹; Martín Rivas, Sebastián ¹; Garcia Ceballos, Mari Luz ¹

¹ Universidad de Málaga

Public buildings consume a significant fraction of the energy generated. Within this consumption, air conditioning accounts for a large part. In temperate and warm climate zones, air-conditioning accounts for a very significant fraction of building consumption.

In order to achieve maximum energy efficiency in the air-conditioning service, we propose a series of measures to air conditioning service, we propose a series of improvements, based on the study of the operation and maintenance of the equipment and passive improvement of the air conditioning, through hybrid systems that combine heat pumps with plant elements such as vertical gardens.

The proposed methodology allows a significant reduction in energy consumption associated with the air conditioning of the building while maintaining service and comfort levels or even improving them in some aspects. The vegetation cleans the air, reducing the presence of compounds such as CO₂ and dust in suspension, which reduces air exchange with the outside.

To illustrate the proposed method, it is applied to the case study of the building of the School of Industrial Engineering of the University of Malaga.

Keywords: Energy efficiency; public building; energy saving

Mejora de la eficiencia energética de sistemas de climatización de edificios basada en revisión de equipos y jardines verticales

Los edificios públicos consumen una fracción importante de la energía generada. Y dentro de ese consumo, la climatización supone una gran parte. En las zonas climáticas templadas y cálidas el aire

acondicionado representa una fracción muy significativa del consumo del edificio.

Con el objetivo de conseguir la máxima eficiencia energética en el servicio de climatización, proponemos una serie de mejoras, basadas en el estudio del funcionamiento y mantenimiento de los equipos y mejora pasiva de la climatización, mediante sistemas híbridos que combinen bombas de calor con elementos vegetales tipo jardines verticales.

La metodología propuesta permite reducir notablemente el consumo de energía asociado a la climatización del edificio manteniendo los niveles de servicio y confort o incluso mejorándolos en algunos aspectos. La vegetación limpia el aire, reduciendo la presencia de compuestos como el CO₂ y polvo en suspensión, lo que permite reducir el intercambio de aire con el exterior. Adicionalmente, contribuyen a la regulación de la temperatura interior del edificio.

Para ilustrar el método propuesto se aplica al caso de estudio del edificio de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Málaga



©2024 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Palabras clave: Eficiencia energética; edificio público; ahorro energético

Correspondencia: Noelia Marzal. noeliamarzal@uma.es

Mejora de la eficiencia energética de sistemas de climatización del edificio de Ingenierías Industriales de la Universidad de Málaga, basada en revisión de equipos y jardines verticales

1. Introducción

El aprovechamiento de los recursos naturales comprende el consumo de energía, agua y materias primas, un perfecto y óptimo uso de ellos engloba la eficiencia ambiental. Este proyecto se centra en el estudio y propuestas de mejoras para un óptimo consumo en el ámbito energético. Se ha elegido este ámbito en consonancia con los objetivos de reducción de emisiones plasmados en los siguientes planes:

- Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) (España, 2021a): Uno de los objetivos establecidos en este plan es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% para el año 2030, en comparación con los niveles de 1990. Además, establece una meta del 42% de energías renovables en el consumo final bruto de energía para 2030.
- Estrategia a largo plazo para una economía española moderna, competitiva y climáticamente neutra en 2050 (España, 2020a): Esta estrategia tiene como objetivo alcanzar la neutralidad climática en España para el año 2050, lo que significa reducir las emisiones netas de CO₂ a cero.
- Plan de Rehabilitación Energética de Edificios (PREE) (España, 2020b): Este plan tiene como objetivo mejorar la eficiencia energética de los edificios en España y reducir las emisiones de CO₂. El plan incluye ayudas económicas para la renovación de edificios y la instalación de sistemas de energías renovables.

En línea con el objetivo europeo, el Plan Nacional de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (PNAEE) (Unión Europea, 2023), contempla una serie de actuaciones dirigidas a reducir los consumos y los costes energéticos en todos los sectores económicos por medio de acciones de eficiencia energética, con el propósito de hacer frente a los objetivos establecidos por Europa del 20% para el año 2020 y del 27% para 2030. Dentro de este plan, el sector edificación y equipamiento comprende, los servicios que tienen un mayor peso sobre el consumo energético de los edificios, y que son:

- Instalaciones térmicas de calefacción
- Climatización
- Ventilación
- Producción de agua caliente sanitaria
- Instalaciones de iluminación interior
- Resto de equipamiento habitual en función del sector de actividad

La actividad relacionada con el ahorro y la eficiencia energética en el sector de edificios se enmarca en las líneas de actuación que proponen las directivas:

- Directiva 2006/32/CE, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos, (Unión Europea, 2006). La transposición al ordenamiento jurídico español de la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002 (Unión Europea, 2002) relativa a la eficiencia energética de los edificios ha sido realizada, en lo que respecta a requisitos mínimos de eficiencia energética, inspección periódica de eficiencia energética de las instalaciones térmicas y certificación energética de edificios mediante los siguientes Reales Decretos:

- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE) (España, 2006).
- Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación energética de edificios de nueva construcción (España, 2007a).
- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) (España, 2007b).
- Real Decreto 390/2021 (España, 2021b) que completa la transposición de la Directiva 2002/91/CE al ordenamiento jurídico español añadiendo las condiciones para la certificación energética de edificios existentes.

Dentro de las 7 medidas que propone el plan de ahorro, el presente trabajo se centra en:

- 1) Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes, reduciendo el consumo de energía de las instalaciones térmicas de calefacción, climatización y producción de agua caliente sanitaria. La guía propone las siguientes mejoras para este punto:
 - 2) Sustitución de equipos de producción de calor y frío por otros de alta eficiencia energética, seleccionados en base a un mayor rendimiento energético, tanto para instalaciones de tipo individual como centralizado.
 - 3) Sustitución de equipos de movimiento de los fluidos calor portadores por otros de alta eficiencia energética. Incluirá la mejora del aislamiento térmico de las redes de tuberías y aparatos que disminuyan las pérdidas en el transporte de fluidos térmicos.
 - 4) Sistemas de enfriamiento gratuito por aire exterior y de recuperación de calor del aire de extracción.
 - 5) Sistemas que combinen equipos convencionales con técnicas evaporativas que reduzcan el consumo de energía de la instalación: enfriamiento evaporativo, condensación evaporativa, pre-enfriamiento evaporativo del aire de condensación, enfriamiento evaporativo directo e indirecto previo a la recuperación de calor del aire de extracción, etc.
 - 6) Sistemas de control y regulación de equipos y/o instalaciones que ahorren energía, por ejemplo, en función de la variación de la temperatura exterior, la presencia o las necesidades del usuario. Sistemas de gestión telemática de suministro de agua caliente sanitaria para edificios que permitan controlar el consumo de agua caliente sanitaria y energía, limitar el caudal máximo instantáneo, el volumen máximo de uso e incluso el corte del suministro por vivienda y/o estancia. Grifos para el control y gestión de agua caliente sanitaria en el punto de consumo, que permitan una óptima y rápida regulación de temperatura y caudal, que permitan ser controlados directamente por el usuario y, a la vez, mediante sistemas telemáticos, para gestionar y controlar el consumo instantáneo, la temperatura de salida y el volumen máximo de consumo de éstos. Medidas necesarias para implantar una contabilización y telegestión del consumo de energía.
 - 7) Integración de los subsistemas térmicos en un sistema domótico que permita la comunicación entre los diferentes sistemas, de forma que estos interactúen entre sí y puedan ser controlados local o remotamente. Con un modelo predictivo de confort térmico y un algoritmo de optimización basado en una red neuronal se puede llegar a ahorrar un 36.5% de energía (Chaudhuri et al., 2019).

Entre el 40-60% de la energía que demanda un edificio va destinado a calefacción y aire acondicionado (Allouhi et al., 2015). En este aspecto, en la reducción del consumo de los equipos de climatización juega un papel muy importante la envolvente del edificio, por ejemplo, las ventanas son responsables del 47% de la pérdida del calor (Alrashidi et al., 2020). Es, por lo tanto, este punto el más importante en el estudio y optimización del consumo eléctrico.

También sería interesante estudiar la distribución de cargas con el fin de hacer un uso responsable del uso de los equipos y realizar perfiles de uso con el objetivo de disminuir o distribuir el consumo a lo largo de las horas de uso para no consumir más energía de la necesaria, ya que no hay que olvidar, que su generación no es gratuita y también lleva asociada costes de emisión.

Para llevar a cabo un uso óptimo de los recursos energéticos, es necesario estudiar las cargas (Kelly y Knottenbelt, 2016). La monitorización de energía se basa en identificar y registrar medidas energéticas asociadas a los consumos de los diferentes sistemas en el edificio (Darby et al., 2006).

2. Objetivos

El cambio de paradigma energético y las nuevas políticas reflejadas en la revisión bibliográfica, deja manifiesto que la sociedad es más consciente en la aplicación de técnicas de optimización de recursos que a su vez, repercutan en el gasto económico imputable al mismo.

Ya el propio Real Decreto 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores (España, 2018), establece en su introducción:

“El sistema energético ha iniciado un proceso de transición hacia un nuevo paradigma caracterizado por la descarbonización, la descentralización de la generación, la electrificación de la economía, la participación más activa de los consumidores y un uso más sostenible de los recursos.”

Centrándonos en un caso de estudio como es, un edificio tipo Escuela de Ingenierías de la Universidad de Málaga, en el que se realizan actividades de docencia e investigación, se procederá a analizar el uso de la energía eléctrica en este edificio para proponer medidas de mejora para el ahorro y la eficiencia energética en este edificio.

El edificio de la Escuela de Ingenierías se divide en cinco plantas:

- Planta sótano. Comprende las zonas de estacionamiento formadas por 577 plazas, los cuartos con los grupos de presión, la oficina y taller de mantenimiento, dos aulas destinadas a los exámenes de la EVAU y aseos. Cuenta con una superficie útil de 14598.44 m²
- Planta baja. Con una superficie útil de 12784.85 m². Comprende aulas, laboratorios docentes, cocina y comedor, reprografía, conserjería, auditorio y aseos.
- Planta primera. Con una superficie útil de 10923.56 m². Comprende aulas de enseñanza, biblioteca, aulas de grados y laboratorios, secretaría, auditorio, sala de proyección y aseos.

- Planta segunda. Con una superficie útil de 9600.00 m². Comprende despachos, aulas de informática, biblioteca, aulas dedicadas a investigación, talleres y aseos.
- Planta tercera. Con una superficie útil de 3693.02 m², comprende despachos de profesorado, aulas de informática, laboratorios, salón de grados y aseos.
- Un edificio anexo ubicado en el ala este, destinado a talleres de distintos departamentos. En el año 2016 se ejecuta y pone en funcionamiento el Laboratorio y Área de Experimentación en Nuevas Tecnologías para la Intervención en Emergencias (LAENTIEC).

El edificio cuenta con una superficie total construida de 55973.3 m² y con una superficie acristalada en fachada y cubierta de 4321.8 m². Las fachadas y cubierta tienen una superficie de 20538.3 m² de los cuales el 21.04% es acristalada, según se muestra en el tabla 1.

	Acristalada (m ²)	Superficie total (m ²)	Acristalado (%)
Alzado Sur	1311.8	3778.98	34.71
Alzado Norte	549.00	3909.00	14.04
Alzado Oeste	190.24	686.76	27.70
Alzado Este	246.76	715.56	34.48
Cubierta	2024.00	11448.00	17.68
TOTAL	4321.80	20538.30	21.04

Tabla 1. Superficies Escuela de Ingenierías de la UMA

Ya que el edificio está destinado a uso docente e investigación, el uso del mismo se ve condicionado por el calendario académico. Según datos aportados por la propia Universidad de Málaga publicados en la web, dentro del edificio de la Escuela de Ingenierías, realizan su actividad profesional los siguientes grupos:

1. El Personal Docente e Investigador (PDI) en un número aproximado de 180 personas.
2. Más de 100 trabajadores de administración y servicios (PAS).
3. Y más de 4000 estudiantes repartidos en 7 grados, 3 dobles grados, 7 Másteres y los diferentes programas de doctorado y titulaciones propias de la UMA.

El centro cuenta con personal las 24 horas por motivos de seguridad, pero la mayor actividad se centra en el horario de clases que es de 8:00 de la mañana hasta las 21:15.

El edificio cuenta con contadores inteligentes que proporcionan el valor agregado del consumo de todo el edificio en valores promediados cada 15 minutos.

Es posible también conocer los valores de capacidades de las principales instalaciones: alumbrado, aire acondicionado, etc... Existe un cierto grado de incertidumbre a la hora de conocer el nivel de uso de ciertas instalaciones y el uso de equipos que no estuvieran recogidos en el proyecto original. Por lo que será necesario reconstruir las curvas de consumo para los diferentes equipos y cuantificar el potencial ahorro.

Conocidos estos parámetros de entrada, se tiene como objetivo identificar:

- El margen de ahorro en cada uso (iluminación, computación, aire acondicionado, etc..).

- Las potenciales medidas, con las que se podría conseguir ese ahorro.
- Cuantificar el impacto económico que esas medidas pueden tener el coste del suministro eléctrico del edificio, calculando diferentes índices económicos, como factor de ahorro, período de amortización de la medida de ahorro, etc.

3. Metodología

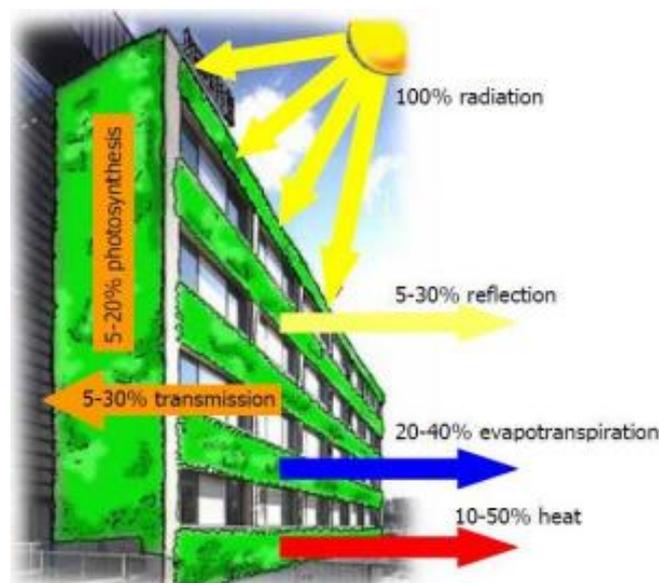
Se conoce como epidermis de un edificio la capa envolvente que separa el interior del exterior y a través de la cual se produce un intercambio de calor. Los materiales como el vidrio y el metal permiten un alto intercambio de calor, lo que produce pérdidas por dichos materiales tanto en verano como en invierno. Las temperaturas en Málaga pueden llegar a alcanzar los 42°, recordemos que la temperatura de confort se da entre 23-24°, lo que supone una diferencia máxima de 15°C a 20°C.

La envolvente del Edificio de Ingenierías de la Universidad de Málaga está compuesta en un 70% por vidrio. Aunque existen ciertos retranqueos de fachada para generar sombras en fachada, estos retranqueos no son suficientes en ciertas horas del día donde el sol da de pleno en la parte alta de la fachada sur. Para mejorar la epidermis, se proponen las siguientes medidas:

- Modificación del tipo de vidrio
- Instalación de protecciones solares (toldos)
- Mejora del aislamiento térmico de cerramientos verticales y cubiertas como la implantación de una epidermis verde o fachada vegetal. Esto contribuiría a la refrigeración pasiva del edificio, así como a aportar un beneficio ambiental al edificio, al ambiente y a los usuarios del mismo (Magill et al., 2011). Está demostrado (Pérez et al, 2018) que el uso de cubiertas y fachadas vegetales hace de aislante regulando de forma más eficiente el intercambio de calor entre el interior del edificio y el exterior.

En la Figura 1 se muestra de manera gráfica el efecto que generan las fachadas vegetales en los edificios. En el estudio publicado por ElHady et al (2019), se presentan valores de mediciones sobre una pared reverdecida en una región de Alemania, y por comparación con valores para paredes con la misma orientación y muy próximas a la pared reverdecida obtiene que el 50% de la energía solar que llega es absorbida por la cubierta vegetal de la pared, el 30% reflejada y tan solo el 20% alcanza el revestimiento directamente.

Figura 1 Efectos fachada vegetal, (Borowski, 2018)

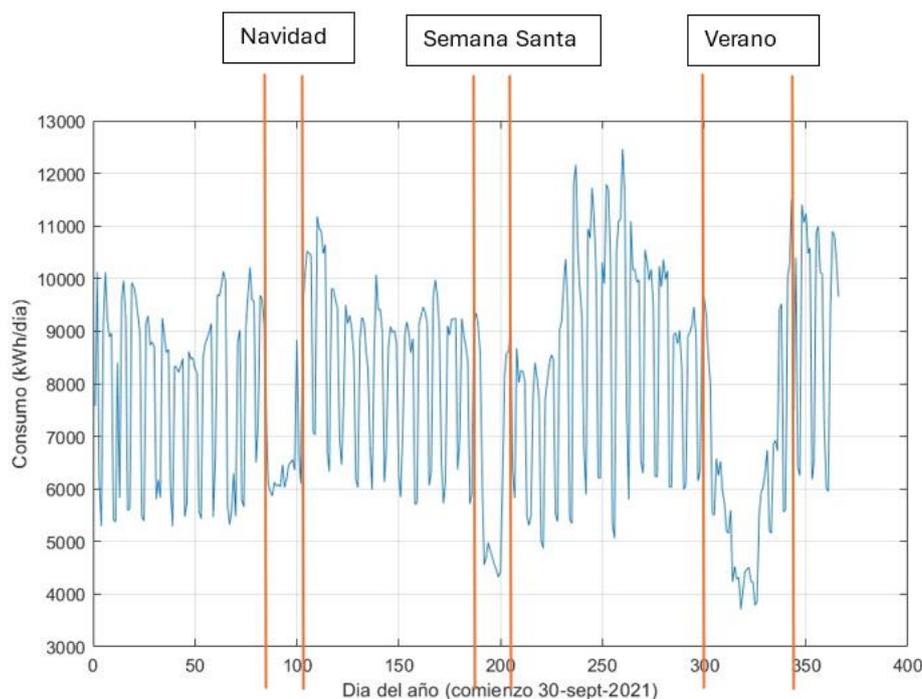


4. Caso de Estudio

Del gráfico mostrado en la Figura 2, se observa:

- Los meses con menor consumo en el edificio corresponden al mes de abril, con unos valores medios de unos 8500 kWh/día.
- Hay tres franjas de días o periodos donde el consumo disminuye, estos periodos corresponden al periodo no lectivo de Navidades, Semana Santa y verano, se aprecia de que a pesar de que la Escuela no tiene uso en esos periodos, mantiene un consumo de entre 3712 kWh/día y 5952 kWh/día, equivalente al consumo de luz en un piso durante un año que es, aproximadamente de 3.373 kWh/año y el de una vivienda unifamiliar que asciende hasta los 3.754 kWh/año.
- Se observan tres picos de consumo coincidentes con los meses de abril, mayo, junio, julio y septiembre donde el consumo se dispara hasta los 12460 kWh/día, con una media de entre 11800-12000 kWh/día.
- En los meses correspondientes a Enero y Febrero, también se aprecia un pico de consumo de hasta 11182 kWh/día, con un consumo medio de 9200-9500 kWh/día.

Figura 2 Consumos del edificio en kWh/día.



Si comparamos este gráfico con los datos de temperatura para año aportados por la AEMET, se aprecia como esos picos coinciden con los registros de temperaturas más altos (entorno a 40°) y más bajos (en torno a 6°), lo que indica que la desviación respecto al consumo es debido al uso de la climatización del edificio.

Para un mejor estudio de las cargas se realizó un inventario de las diferentes cargas eléctricas.

Analizando los datos de consumo aportados por el contador inteligente, los usos del edificio, el inventario de los equipos y los datos climatológicos aportados por AEMET, se realizó una

distribución de porcentajes de consumo durante los días con temperatura moderada, mostrado en la Figura 3, y otro en la época más calurosa mostrado en la Figura 4, donde el consumo se dispara hasta las 12000 kW/h, donde se estima que un 62.98% del consumo se destina a la climatización, aumentando un 18,55%

Figura 3 Porcentajes de consumo medios.

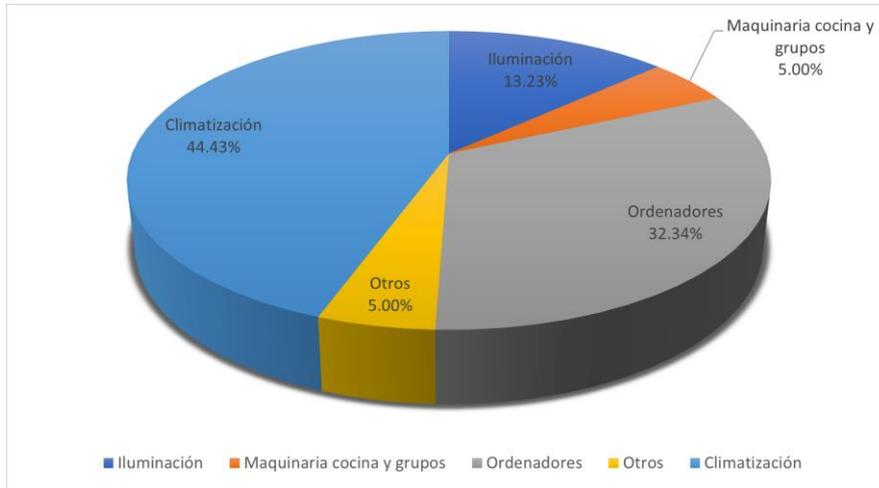
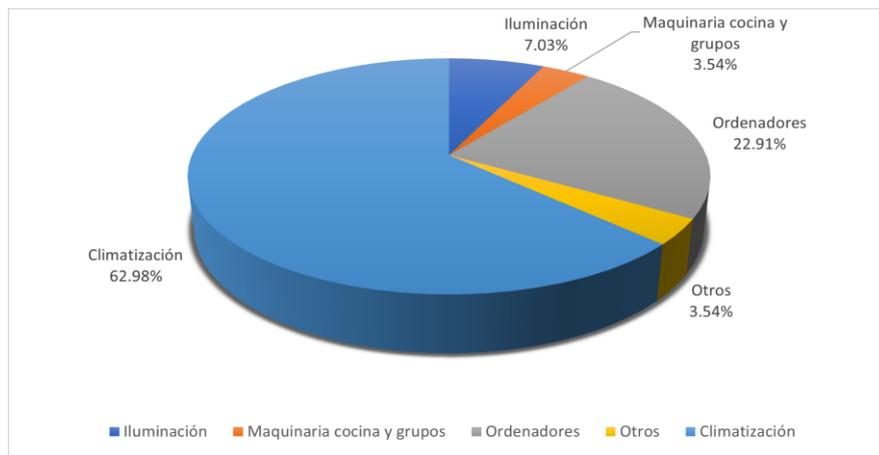


Figura 4 Porcentajes de consumo medios en meses más calurosos.



5. Resultados

Analizados los datos obtenidos durante el estudio, se aprecia que el mayor consumo energético en el edificio es provocado por el sistema de climatización, para ello se proponen a continuación, una serie de medidas de ahorro y eficiencia tanto para el edificio, con el objetivo de disminuir la demanda energética, como de las instalaciones.

Existen dos conceptos importantes a la hora de proponer e instaurar un sistema eficiente, uno es la "demanda energética", entendida esta como la energía que un edificio requiere para que en su interior un usuario pueda disfrutar de unas determinadas condiciones de confort. Y la otra, el uso que se hace de las instalaciones.

Existen cinco factores que condicionan la demanda energética:

- La temperatura exterior, que da lugar de forma natural a una transferencia de calor desde el foco caliente al foco frío con el objetivo de igualar la temperatura.
- La radiación solar, que fomenta la diferencia de temperatura entre el foco caliente y el frío.
- Infiltraciones, que se dan lugar entre los encuentros de los distintos materiales que componen un edificio, como ventanas, puertas ya que los encuentros no son herméticos.
- Ventilación, a diferencia que las infiltraciones que constituyen una entrada o salida involuntaria de aire, la ventilación es una entrada de aire exterior necesaria para evitar un ambiente viciado.
- Cargas internas, producidas por equipos que emiten una cierta cantidad de calor cuando funcionan y que, por lo tanto, producen transferencia de calor

Mientras la demanda energética depende del clima y de las características del edificio, el consumo depende del usuario y de las pautas de comportamiento del mismo, es decir el consumo energético es el gasto que realmente tiene el edificio. Por ello, se proponen medidas que afectan a la demanda energética y a consumo energético.

5.1. Ahorro en los sistemas de climatización

Se recomienda realizar un análisis detallado del sistema de climatización del edificio, pues los datos de consumo indican que los parámetros de configuración del mismo no están acordes con los espacios y usos del edificio, así como la revisión del plan de mantenimiento de los equipos que lo componen.

Se recomienda:

- Puesta a punto de los equipos en mal estado
- Revisar los aislamientos del edificio
- Enfriamiento gratuito
- Recuperación del calor de extracción
- Revisar la zonificación realizada en proyecto y ajustarla a la actualidad y sus usos
- Sustitución de equipos por otros de mayor
- Realizar una adecuada regulación y control de los sistemas

Con estas medidas se estima disminuya el consumo energético hasta un 40% del total del consumo, que es lo que apuntan los diferentes artículos revisados como óptimo para edificios públicos.

5.2. Medidas de ahorro en epidermis

Según el artículo de Djedjig, R., Belarbi, R., & Bozonnet, E. (2017) en el que realizan un experimento para medir el impacto térmico de las fachadas vegetales en el interior y el exterior de los edificios, demuestran que los muros verdes instalados en la fachada oeste sin ningún tipo de aislamiento disminuyen la temperatura interior en hasta 10°C en periodos diurnos.

Para ilustrar esta solución, en la Figura 5 se muestra la integración de fachadas vegetales en la fachada sur del edificio, así como mayor masa forestal en las inmediaciones de la Escuela. En la Figura 6 se muestra una integración de fachada vegetal en la zona Sur del edificio y ampliación de masa forestar en los alrededores del complejo.

Figura 5 Ejemplo de edificio con fachada vegetal



Figura 6 Integración de fachada vegetal y arbolado en fachada Sur Escuela de Ingenierías



En la Figura 7 se muestra una vista aérea del complejo, en ella se ha implementado fachada y cubierta vegetal integrada con las placas solares, en la fachada se han reemplazado las placas solares por fachadas vegetales ya que esa zona de PV puede ser trasladadas a otras zonas de los alrededores del complejo.

Figura 7 Integración de fachada y cubierta vegetal en Escuela de Ingenierías



5.3. Vegetación interior

El uso de vegetación en espacios interiores actúa como biofiltros depuradores de aire y como sistemas de enfriamiento evaporativo, disminuyendo la temperatura entre 3-4°C, e incrementando la humedad del aire que los rodea. Lo que supone un ahorro de un 25 % de la energía usada por la climatización, según (Zhang et al., 1996).

Se presentan dos opciones de jardines interiores a través de fotomontajes. En la Figura 8 se plantea un jardín vertical y un jardín interior en el hall del edificio.

En la Figura 9 se muestra un fotomontaje del hall de la Escuela donde se han incorporado dos jardines verticales, dejando libre el suelo.

Figura 8 Jardín vertical en pared y hall



Figura 9 Integración jardín vertical en paredes



6. Conclusiones

Analizados los datos obtenidos durante el estudio, se aprecia que el mayor consumo energético en el edificio es debido al sistema de climatización, se proponen una serie de medidas centradas en el estudio de los usos del edificio y el mantenimiento de los equipos con el objetivo de reducir este consumo hasta valores entorno al 40% del consumo total, según se describe en artículos previos en la literatura sobre eficiencia energética en edificios públicos.

En la revisión bibliográfica se aprecia que los estudios suelen centrarse en los consumos y medidas de ahorro de forma separada, y habitualmente no entran en los detalles de su interacción. En este trabajo se considera explícitamente la interacción entre consumo y medidas de ahorro a través de los siguientes parámetros:

- Parámetros del edificio
- Parámetros de uso del edificio
- Parámetros ambientales
- Parámetros técnicos de las instalaciones

Consideramos que la eficiencia energética se debe centrar y enfocar en esas cuatro ramas relacionadas entre sí, si es cierto que el mayor porcentaje de consumo energético del edificio recae sobre las instalaciones de climatización, pero el uso de esta está muy relacionado con la ocupación de edificio, los parámetros ambientales y los parámetros propios de construcción del edificio. Por ello, se realiza un diagnóstico energético basado en las siguientes mejoras:

- Mejoras en la epidermis del edificio como modificación del tipo de vidrio, para reducir el coeficiente de transferencia térmico o instalación de toldos.
- Mantenimiento y puesta a punto de las instalaciones de climatización.

Mejora del aislamiento térmico de cerramientos verticales y cubiertas como la implantación de una epidermis verde o fachada vegetal. Esto contribuiría a la refrigeración pasiva del edificio, mejoraría su aspecto externo y también contribuiría a mejorar las condiciones de confort para los usuarios, tal y como se refleja en el artículo (Magill et al, 2011). En el artículo (Gallardo et al, 2018) se cuantifica y se aportan evidencias de que el uso de cubiertas y fachadas vegetales hace de aislante regulando de forma más eficiente el intercambio de calor entre el interior del edificio y el exterior.

Referencias

- Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraoui, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings current status and future trends. *Journal of Cleaner production*, 109:118–130.
- Alrashidi, H., Issa, W., Sellami, N., Ghosh, A., Mallick, T. K., & Sundaram, S. (2020). Performance assessment of cadmium telluride based semi-transparent glazing for power saving in facade buildings. *Energy and Buildings*, 215:109585.
- Borowski, J. (2018). Impact of climbing plants on buildings and their environment. In *Design Solutions for nZEB Retrofit Buildings*, pages 297–309. IGI Global.
- Chaudhuri, T., Soh, Y. C., Li, H., & Xie, L. (2019). A feedforward neural network based indoor-climate control framework for thermal comfort and energy saving in buildings. *Applied energy*, 248:44–53.
- Darby, S. et al. (2006). The effectiveness of feedback on energy consumption. A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and direct Displays, 486(2006):26.
- Djedjig, R., Belarbi, R., & Bozonnet, E. (2017). Green wall impacts inside and outside buildings: experimental study. *Energy Procedia*, 139, 578-583.
- ElHady, A., Elhalafawy, A., & Moussa, R. (2019). Greenwall benefits perception according to the users' versus experts' views. *International Journal of Engineering Research and Technology*. ISSN, pages 0974–3154.
- España (2006). Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. *Boletín Oficial del Estado*, 28 de marzo de 2006, núm. 74, pp. 11816-11831.
- España (2007a). Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. *Boletín Oficial del Estado*, 31 de enero de 2007, núm. 27, pp. 4499-4507.
- España (2007b). Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de agosto de 2007, núm. 207, pp. 35931-35984.
- España (2018). Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. *Boletín Oficial del Estado*, 6 de octubre de 2018, núm. 242, pp. 97430-97467.

- España (2020a). Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050. Estrategia a largo plazo para una economía española, moderna, competitiva y climáticamente neutra en 2050. [Consultado en 16 de noviembre de 2023]. Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/sites/lts/lts_es_es.pdf
- España (2020b). Real Decreto 737/2020, de 4 de agosto, por el que se regula el programa de ayudas para actuaciones de rehabilitación energética en edificios existentes y se regula la concesión directa de las ayudas de este programa a las comunidades autónomas y ciudades de Ceuta y Melilla. Boletín Oficial del Estado, jueves 6 de agosto de 2020, núm. 212, pp. 65005-65050.
- España (2021a). Resolución de 25 de marzo de 2021, conjunta de la Dirección General de Política Energética y Minas y de la Oficina Española de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 16 de marzo de 2021, por el que se adopta la versión final del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. Boletín Oficial del Estado núm. 77, de 31 de marzo de 2021, páginas 36796 a 37220 [consultado el 15 de noviembre de 2023]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-5106
- España (2021b). Real Decreto 390/2021, de 1 de junio, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Boletín Oficial del Estado, 2 de junio de 2021, núm. 131, pp. 1-25.
- Ghoma, W.E.O., Sevik, H. & Isinkaralar, K. Comparison of the rate of certain trace metals accumulation in indoor plants for smoking and non-smoking areas. *Environ Sci Pollut Res* 30, 75768–75776, 2023, <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27790-9>
- Huong-Thi Bui, MoonSun Jeong, Sang-Yong Kim, Bong-Ju Park. Evaluating the Particulate Matter and Carbon Dioxide Reduction of Four Broad-leaved Evergreen Plants. *Journal of People Plants Environ*, 2024, 27(2):95-102, <https://doi.org/10.11628/ksppe.2024.27.2.95>
- Kelly, J. & Knottenbelt, W. (2016). Does disaggregated electricity feedback reduce domestic electricity consumption? a systematic review of the literature. arXiv preprint arXiv:1605.00962.
- Magill, J. D., Midden, K., Groninger, J., & Therrell, M. (2011). A history and definition of green roof technology with recommendations for future research. Southern Illinois University Carbondale, [online] <http://opensiu.lib.siu>.
- Pérez Gallardo, N., Rogério, A., Neves, G. Z. F., Vecchia, F. A., & Roriz, V. F. (2018). Reacción frente al frío de edificaciones con envolventes vegetales para climas

tropicales. fachadas verdes y cubiertas ajardinadas. Revista ingeniería de construcción, 33(1):15–28.

Unión Europea (2002). Directiva 2002/91/CE Del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 4 de enero de 2003, núm. 1, pp. 65-71.

Unión Europea (2006). Directiva 2006/32/CE Del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo. Diario oficial de la Unión Europea, 27 de abril de 2006, núm. 114, pp. 64-85.

Unión Europea (2023). Directiva (UE) 2023/1791 Del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de septiembre de 2023, relativa a la eficiencia energética y por la que se modifica el Reglamento (UE) 2023/955 (versión refundida). Diario oficial de la Unión Europea, 20 de septiembre de 2023, núm. 231, pp. 1-111.

Yi Hsing Chang, Ting-Hsuan Chen, Hsin-Ying Chung, Hsi-Yu Hsiao, Pin-Chieh Tseng, Yu-Chun Wang, Shih-Chun Candice Lung, Huey-Jen Su, Yaw-Shyan Tsay. The health risk reduction of PM2.5 via a green curtain system in Taiwan. Building and Environment, volume 255, 2024, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111459>.

Zhang, J., Shaw, C., Kanabus-Kaminska, J., MacDonald, R., Magee, R., Lusztyk, E., & Weichert, H. (1996). Study of air velocity and turbulence effects on organic compound emissions from building materials/furnishings using a new small test chamber. In Characterizing sources of indoor air pollution and related sink effects. ASTM International.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

