

Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN HOTEL EN JACA

MEMORIA

Daniel Laplana Marín

649687@unizar.es

Grado en Ingeniería Mecánica - EINA



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Daniel Laplana Marín

con nº de DNI 77 135 859 T en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)

Grado, (Título del Trabajo)

Análisis de eficiencia energética de un hotel en Jaca

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 20 de septiembre de 2017

Fdo: Daniel Laplana Marín

RESUMEN.

El presente trabajo consiste en un estudio para disminuir el consumo de energía de uno de los edificios que forman parte del Gran Hotel de Jaca. Para ello, se realiza un doble planteamiento: por un lado se tratará de reducir la demanda energética, y por el otro mejorar el rendimiento de la instalación de climatización.

Se ha comenzado realizando una revisión de manuales, guías y artículos sobre eficiencia energética en edificios para recopilar información e ideas para el posterior desarrollo del trabajo y tener una visión general de la situación actual en este ámbito.

Posteriormente, se procede a la descripción del edificio. Se explican las características arquitectónicas, usos, la envolvente térmica y la instalación actual de que dispone. A su vez, se realiza una estimación de la demanda y el consumo energético anual del edificio, energía primaria consumida y emisiones de CO₂ generadas.

A continuación, se proponen y evalúan diferentes mejoras para la disminución de la demanda energética, como la zonificación de espacios y modos de funcionamiento alternativos o la rehabilitación de la envolvente del edificio.

Tratando de mejorar el rendimiento, la eficiencia de la instalación del edificio, se estudian diferentes alternativas para la producción de energía térmica y se analiza su influencia en el consumo y emisiones.

Después de esto, se han seleccionado las distintas mejoras y las alternativas con las que se han obtenido mejores resultados y se ha evaluado la aplicación de todas ellas de forma conjunta para ver la diferencia entre la situación de partida, la situación actual del edificio y tras una posible rehabilitación o “modernización” del mismo. Se ha calculado también la calificación energética del edificio en ambos casos para ver la evolución.

Por último se establecen una serie de conclusiones deducidas del desarrollo y de los resultados obtenidos en los diferentes apartados que componen el trabajo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. SITUACIÓN ACTUAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS.	7
3. REVISIÓN DE DOCUMENTOS SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS.....	8
3.1 Ahorro de energía en la demanda.....	8
3.2 Ahorro en la generación de energía térmica.	10
3.3 Ahorro de energía en el control y modos de operación.....	10
3.4 Ahorro de energía en la distribución.....	10
3.5 Otras técnicas para el ahorro de energía en sistemas de climatización.....	11
3.6 Incertidumbre en la simulación del comportamiento térmico de edificios.	12
3.7 Uso de días tipo para la caracterización de la demanda anual.....	12
3.8 Financiación de proyectos.	13
4. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.....	14
4.1 Emplazamiento.	14
4.2 Descripción arquitectónica.	14
4.3 Régimen de funcionamiento.....	16
4.4 Espacios habitables y no habitables del edificio.	16
4.5 Ocupación.	16
4.6 Caudales de ventilación.....	16
4.7 Transmitancias de los cerramientos.....	17
4.8 Sistema de climatización del edificio.....	18
4.9 Estimación de demanda térmica.....	18
4.10 Factores que influyen en la demanda.	21
4.11 Estimación de la demanda anual.	21
4.12 Consumo.	22
5. LISTA DE POSIBLES MEDIDAS O MEJORAS PARA APLICAR Y EVALUAR.	24
6. MEDIDAS PARA LA DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA TÉRMICA.	25
6.1 Zonificación y modos de funcionamiento.....	25
6.2 Rehabilitación de la envolvente del edificio.	26
6.3 Instalación de recuperadores de calor.	29
7. MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.....	31
7.1 Generación de energía térmica para refrigeración.....	31
7.2 Generación de energía térmica para calefacción.....	33

8. EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS DE FORMA CONJUNTA.....	35
9. CONCLUSIONES.....	37
10. BIBLIOGRAFÍA.....	39

1. INTRODUCCIÓN.

Este trabajo tiene como objetivo la reducción del consumo y la mejora de la eficiencia energética de un edificio que forma parte del complejo hotelero Gran Hotel de Jaca. Se pretende para ello proponer una serie de medidas o alternativas para mejorar la actual situación energética del mismo y evaluar el posible potencial de ahorro que se podría obtener. Esta serie de medidas o mejoras que se proponen se engloban en dos grupos según su finalidad: por un lado para tratar de reducir la demanda energética del edificio y por el otro mejorar el rendimiento de la instalación de climatización.

$$\text{Consumo} = \text{demanda} / \text{rendimiento}$$

El presente trabajo pretende desempeñar una labor de aprendizaje por parte del autor, priorizando la adquisición y comprensión de conocimientos de la metodología y contexto normativo.

Para el desarrollo del trabajo, se ha seguido el siguiente esquema (ver figura 1). Los números que aparecen indican los apartados del documento donde se realiza cada parte.

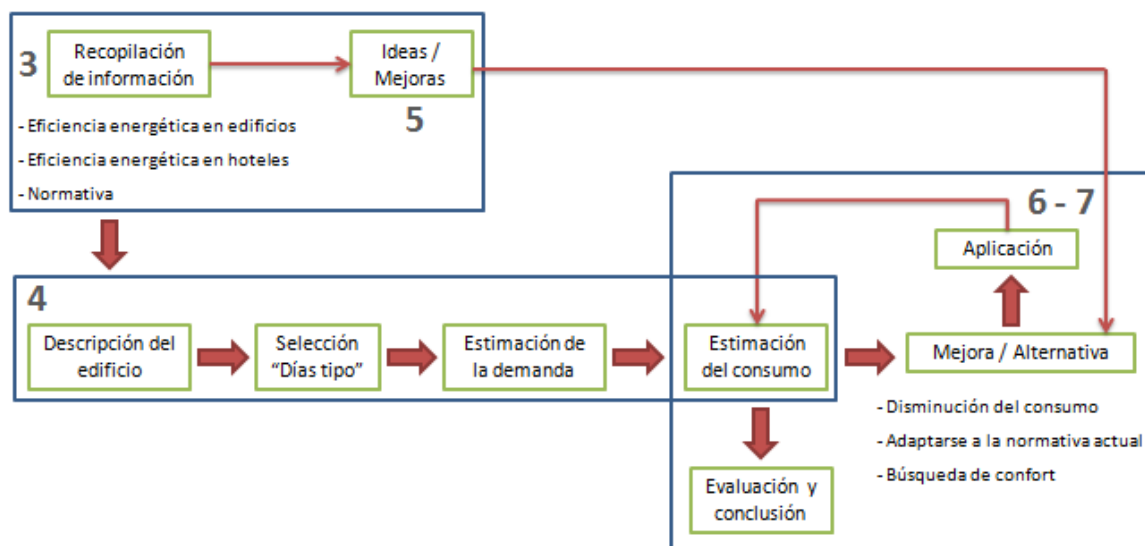


Figura 1. Diagrama del desarrollo del trabajo.

En primer lugar, se ha realizado un trabajo previo de revisión y recopilación de información sobre eficiencia energética en edificios, en hoteles y normativa actual. Esta labor está dirigida a conocer la situación actual en este ámbito y extraer ideas y opciones para el posterior desarrollo y consecución del objetivo fijado.

A continuación se procede con la descripción del edificio, explicando los diferentes aspectos que necesitamos conocer para un posterior cálculo de su demanda energética.

Posteriormente se ha hecho una estimación de la demanda y el consumo energético anual del edificio. Este será el punto de partida. Se intentará reducir este consumo y las emisiones generadas. Para la estimación de la demanda se ha simplificado el cálculo mediante el uso de días tipo. De esta forma, se emplean unos pocos días representativos según sus temperaturas para caracterizar la demanda de todo el año de forma más rápida y sencilla.

A continuación se aplican varias medidas, mejoras o se estudian alternativas para lograr esa reducción del consumo pero siempre teniendo en cuenta el confort de los usuarios y el cumplimiento de la normativa actual. Se aplica cada medida y se estima de nuevo el consumo que tendría el edificio para evaluar el porcentaje de mejora que podría proporcionar. Finalmente con los resultados obtenidos se sacan las conclusiones correspondientes.

En los diferentes anexos podemos encontrar todos los cálculos realizados que no aparecen en la memoria, la metodología y ecuaciones utilizadas en los distintos apartados, explicación más extensa y detallada de conceptos o métodos descritos y documentación técnica.

La elección del caso de estudio, uno de los edificios del Gran Hotel de Jaca (ver figura 2), surge de la propuesta de análisis de varios casos prácticos que forman parte del proyecto europeo ABRACADABRA, desarrollados en la asignatura de Diseño Sostenible de Edificios (Universidad de Bolonia).



Figuras 2 y 3. Fachada sur del edificio estudiado. Logotipo del proyecto ABRACADABRA.

El proyecto ABRACADABRA (Assistant Buildings' addition to Retrofit, Adopt, Cure, And Develop the Actual Buildings up to zeRo energy, Activating and market for deep renovation) (ver figura

3) promueve la renovación de edificios actuales para convertirlos en edificios de consumo de energía casi nulo, EECN (edificios autosuficientes o con consumos muy bajos de energía).

Debido a que la asignatura específica sobre climatización y la de Diseño Sostenible de Edificios que he cursado ha sido durante un periodo Erasmus la realización de este TFG me ha permitido conocer y familiarizarme con el uso de la normativa española actual en este ámbito (CTE, RITE, calificación energética).

2. SITUACIÓN ACTUAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS.

Los sectores residencial y terciario, constituidos esencialmente por viviendas y edificios, utilizan aproximadamente un 40% de la energía final de la Unión Europea y son causantes de producir elevadas cantidades de CO₂ (*Eurostat*). En España el porcentaje es algo menor (entre un 28 y un 30%) (*Balance de energía final 1990-2015*, IDAE).

En cuanto al sector hotelero, este genera el 1% de las emisiones globales de CO₂, y tiene un potencial de ahorro de un 50% en el gasto energético (*neZEH, Nearly Zero Energy Hotels*).

La gran mayoría de los edificios existentes hoy en día presenta índices muy bajos de eficiencia energética y suponen un gran gasto de energía. Esto hace evidente el papel fundamental que tendría la rehabilitación y modernización de estos edificios para el consumo energético en ámbitos generales.

La mayor parte del consumo energético en un edificio es la destinada a la climatización del mismo (ver figura 4). Por ello es esencial disponer de una instalación lo más eficiente posible.

El alto coste económico, la más que probable escasez energética en el futuro y el elevado impacto ambiental que genera, justifican claramente la necesaria búsqueda de la reducción del consumo de energía en los edificios. La parte positiva es que el conjunto de viviendas y edificios ofrece el mayor potencial para ahorrar energía de los distintos sectores que más consumen.

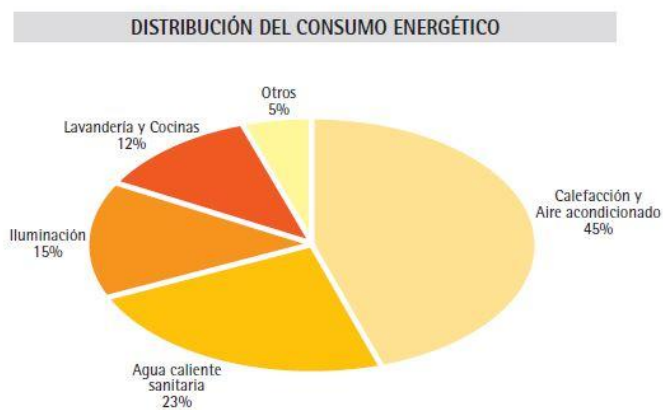


Figura 4. Consumo energético de un hotel tipo de la Comunidad Valenciana (*Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Establecimientos Hoteleros de la Comunidad Valenciana*. Valencia, AVEN, 2003).

3. REVISIÓN DE DOCUMENTOS SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS.

Se ha realizado una labor de revisión y recopilación de diversas fuentes como manuales, guías, y artículos de investigación sobre eficiencia energética en edificios, con el objetivo de obtener información para el posterior planteamiento y desarrollo del trabajo. En este apartado se resumen las ideas y datos más importantes. Puede consultarse toda la información recopilada de las diversas fuentes en el anexo 1 (pág. 2).

En primer lugar se presentan datos relacionados con la disminución de la demanda y la mejora del rendimiento en los sistemas de climatización (generación de energía térmica, regulación y distribución). Posteriormente otras técnicas para el ahorro de energía, como el uso de energías renovables. Por último, apartados sobre las incertidumbres que conllevan procesos como la estimación de la carga térmica de un edificio, el uso de días tipo para la estimación de la demanda anual y modelos de financiación para proyectos de rehabilitación de edificios.

3.1 Ahorro de energía en la demanda.

- Normativa actual:

En relación a la normativa nacional actual se encuentra el Real Decreto 564/2017, que modifica el Real Decreto 235/2013 sobre certificación energética de edificios, aportando las siguientes novedades:

o Edificios de consumo de energía casi nulo.

A partir del 31 de diciembre de 2020, los edificios nuevos deberán ser edificios de consumo de energía casi nulo. Si se trata de edificios públicos deberán serlo a partir del 31 de diciembre de 2018 (requisitos mínimos – CTE).

Los edificios de consumo de energía casi nulo (EECN) son construcciones autosuficientes o que necesitan niveles muy bajos de energía para alcanzar elevado confort interior. Para la obtención de EECN se recurre a técnicas y sistemas pasivos (arquitectura bioclimática). Se busca el máximo ahorro energético mediante la disminución de la demanda del edificio.

o Procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

Cambia el listado de los edificios que se excluyen del ámbito de aplicación del Real Decreto 235/2013 (artículo 2.2).

- Envoltente de los edificios.

La utilización de sistemas SATE (sistema compuesto de aislamiento exterior) en la fachada puede lograr una disminución del consumo de combustibles próxima al 30% (*Guía IDAE: SATE, 2012*). Estos sistemas se utilizan para el aislamiento térmico de edificios tanto en nueva construcción como en rehabilitación. Con ellos se reviste y aísla el exterior del edificio.

La renovación de los cerramientos por otros de alta eficiencia energética puede conllevar un ahorro de energía de hasta un 20% en espacios calefactados (*neZEH, Nearly Zero Energy Hotels*). Además se consigue aumentar el confort térmico en el interior de las viviendas.

- Enfriamiento gratuito (free-cooling).

El enfriamiento gratuito consiste en utilizar aire exterior para refrigerar un espacio cuando la temperatura de ese aire exterior es más baja que la que del aire de retorno que se extrae del interior al climatizar. Es útil para espacios que necesitan refrigeración durante todo el año, como restaurantes o salas de conferencias, espacios donde se acumula mucha gente. De esta forma, se reduce el consumo energético y a la vez mejora la calidad del aire interior. Se tienen dos métodos.

o Enfriamiento gratuito por aire.

En un caso de ejemplo situado en Madrid el sistema es capaz de suministrar el 37% de la potencia media requerida para la refrigeración (*Guía Técnica: Ahorro y recuperación de energía en sistemas de climatización, IDAE, 2012*).

o Enfriamiento gratuito por agua, batería adicional.

Se obtiene un ahorro de un 22% en el consumo de energía eléctrica (máquina frigorífica o bomba de calor) en un caso de ejemplo en un clima frío. Los resultados dependen en gran medida del tipo de utilización y la zona geográfica. Para una buena aplicación de este método se requiere climas fríos y una demanda importante de refrigeración. (*Guía Técnica: Ahorro y recuperación de energía en sistemas de climatización, IDAE, 2012*).

- Sistemas de recuperación de energía del aire de extracción.

Uso de intercambiadores de calor más o menos complejos, donde se puede intercambiar calor sensible o calor sensible y latente. Se utilizará el recuperador cuando sea necesario utilizar aire exterior y este posea unas características energéticas peores que el aire de retorno. (*Fundamentos de climatización, Atecyr*). Por normativa (RITE), en los sistemas de

climatización en los que el caudal de aire expulsado al exterior, por medios mecánicos, sea superior a $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, se recuperará la energía del aire expulsado.

3.2 Ahorro en la generación de energía térmica.

El uso de sistemas más eficientes en la generación de energía térmica tiene como consecuencia la mejora del rendimiento de la instalación y por tanto la reducción del consumo. Como elementos más destacables se tiene:

- Calderas de condensación.

Con el uso de una caldera de condensación en lugar de una convencional se pueden obtener rendimientos estacionales del más del 100% (sobre PCI) y podemos tener un ahorro potencial de energía de hasta entre un 25 - 35% en espacios calefactados (*neZEH, Nearly Zero Energy Hotels*).

- Máquinas frigoríficas y bombas de calor.

Las máquinas frigoríficas y las bombas de calor operan mediante el ciclo de compresión de vapor y consumen energía eléctrica. Son altamente recomendables para zonas con climas que no sean extremos, pero para otras localizaciones habría que estudiar más a fondo si su uso es la mejor elección. Se ha conseguido una mejora del COP de aproximadamente un 40% entre las bombas instaladas en los primeros años de la década de los 90 y las que se instalan actualmente en España (García Montes *et al.*, 2016).

3.3 Ahorro de energía en el control y modos de operación.

En este ámbito, lo más eficiente es establecer una zonificación de los distintos espacios del edificio, disponer de un control tan individualizado como sea posible y programar modos de funcionamiento según horarios y presencia de personas.

Una opción para el control de los diferentes sistemas de climatización de un edificio de forma centralizada y automática es la utilización de un BEMS (Building Energy Management System), “sistema de gestión de la energía del edificio”.

3.4 Ahorro de energía en la distribución.

La reducción del consumo de energía eléctrica en bombas y ventiladores viene dada por el tipo de control que haya en la instalación para regular el flujo de agua o aire. Uno de los sistemas más eficaces es la regulación por variación de frecuencia. Este sistema puede proporcionar un ahorro de hasta un 70% en sistemas “todo aire” (HVAC) (*neZEH, Nearly Zero Energy Hotels*).

3.5 Otras técnicas para el ahorro de energía en sistemas de climatización.

- Enfriamiento evaporativo.

Este método es un proceso natural que utiliza el agua como refrigerante. El aire no saturado se enfría al entrar en contacto con el agua, proporcionando el calor sensible que se convertirá en latente para que se produzca la evaporación de esta. Si el proceso ocurre en condiciones adiabáticas la temperatura seca del aire disminuye a medida que aumenta su humedad.

Estos equipos han experimentado mejoras técnicas en los últimos años. En un caso de estudio en Madrid, en una UTA que funciona los meses de verano (mayo, junio, julio, agosto y septiembre) 11 horas diarias se obtiene una reducción de emisiones de CO₂ de 1,4 kg por cada m³/h de aire circulando por la UTA. En climas secos como los que hay en las zonas del interior peninsular español, el enfriamiento evaporativo directo es una opción altamente eficiente y ecológica a considerar (*Guía Técnica: Ahorro y recuperación de energía en sistemas de climatización*, IDAE, 2012).

- Transferencia energética entre zonas del edificio.

En edificios con demandas de refrigeración anuales, con el uso sistemas “multisplit” existen unidades interiores funcionando en refrigeración, mientras que otras lo hacen en modo calefacción, lo que supone una transferencia de energía de unas zonas a otras del edificio.

Con la utilización de estos sistemas se consiguen reducciones en el consumo de energía de calefacción que pueden ser superiores al 20% de la demanda de temporada. (*Guía Técnica: Ahorro y recuperación de energía en sistemas de climatización*, IDAE, 2012).

- Uso de energías renovables.

La energía solar térmica es idónea para la producción de agua caliente. Se considera que el porcentaje de cobertura de ACS anual puede llegar a ser aproximadamente del 60% en algunos casos (*Guía Técnica: Ahorro y recuperación de energía en sistemas de climatización*, IDAE, 2012).

Resultados más destacables de un estudio teórico en establecimientos hoteleros sobre la implantación de tecnologías de energías renovables (Karagiorgas *et al.*, 2006).

- o Periodos de retorno de 1,7 años en Grecia para sistemas de energía solar térmica.

- Periodos de retorno de 6 años en España para sistemas de energía solar fotovoltaica.
- Periodos de retorno de entre 3,9 y 4,7 años en Grecia para sistemas geotérmicos con bomba de calor.

3.6 Incertidumbre en la simulación del comportamiento térmico de edificios.

En estos procesos intervienen gran variedad de parámetros, algunos de ellos con importantes incertidumbres. Estas incertidumbres pueden tener un gran impacto en los resultados. Es necesario utilizar distribuciones de probabilidad y análisis estadístico y realizar de esta manera una valoración cuantitativa de las mismas para poder justificar las soluciones adoptadas y actuar de la forma más racional posible.

En un caso de ejemplo de un edificio de oficinas, se ha obtenido un resultado de la carga punta de refrigeración casi un 50% mayor utilizando valores fijos (valores más desfavorables) en comparación a si se utilizan distribuciones de probabilidad en los datos de entrada inciertos. Esto hace evidente la gran diferencia que se puede obtener en los resultados dependiendo del tratamiento de los parámetros inciertos que intervienen (Domínguez-Muñoz *et al.*, 2009).

3.7 Uso de días tipo para la caracterización de la demanda anual.

En modelos de optimización con la alta variabilidad de la demanda se necesitan datos horarios para poder realizar un análisis preciso, lo que implica tiempos de computación muy largos. Para un cálculo simplificado se puede reducir los datos de la demanda de un año entero a unos pocos días representativos, días tipo, que reproduzcan de forma aproximada la demanda anual. La utilización de estos días tipo da lugar a unos resultados próximos a los obtenidos con los datos de todos los días del año (Ortiga *et al.*, 2011).

Algunos autores utilizan 3 días tipo: uno para representar la temporada de invierno, uno para la de verano y otro para entretiempo. También se suelen utilizar 12 días, uno para cada mes del año. Otros autores plantean utilizar entre 24 y 30 días para casos concretos como hoteles y hospitales. Pero no existen guías o directrices para seleccionar un número determinado de días tipo (Ortiga *et al.*, 2011).

Es muy importante también para caracterizar la demanda tener en cuenta la influencia de la ocupación del edificio y los días festivos o periodos de vacaciones (Domínguez-Muñoz *et al.*, 2011).

La elección de más días tipo no implica necesariamente unos mejores resultados. La precisión de la optimización no solo depende del número de días tipo, sino también de la habilidad de esos días de reproducir el año entero de la forma más precisa (Ortiga *et al.*, 2011).

3.8 Financiación de proyectos.

Podemos encontrar diferentes instrumentos de financiación complementarios o alternativos a la utilización de recursos propios o la banca para la realización de proyectos de EECN, ahorro energético, energías renovables, etc. Existen programas de ayudas o subvenciones de ámbito europeo o nacional. En el ámbito nacional, cabe destacar el programa PAREER-CRECE. Otra opción interesante es la financiación de este tipo de proyectos mediante un contrato de rendimiento energético, CRE (Energy Performance Contract, EPC).

4. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.

En este apartado, se va a describir el edificio que es objeto del estudio.

En primer lugar, su ubicación y características arquitectónicas. Posteriormente funcionamiento, zonas y horarios, ocupación, ventilación, transmitancias de los cerramientos y el sistema de climatización del que dispone.

Por último se muestra la estimación de la demanda térmica y el consumo anual tanto de calefacción como de refrigeración.

4.1 Emplazamiento.

El edificio se localiza en la ciudad de Jaca (Huesca) en el Paseo de la Constitución número 1, Aragón, España.

El clima de la ciudad es de tipo continental con matices de montaña, con inviernos largos y fríos y veranos cortos y suaves. Se corresponde con la zona climática E1 según el CTE (DB-HE Apéndice B Zonas climáticas).

4.2 Descripción arquitectónica.

El edificio fue construido en 1958 y forma parte del complejo hotelero “Gran Hotel de Jaca” (ver figura 5). Se trata de un bloque de 6 pisos de altura de forma semicircular. Alberga habitaciones del hotel, 10 por piso desde la planta baja a la quinta planta, y presenta un patrón regular en cuanto a la distribución interior y la fachada (ver figuras 6 y 7).

Año de construcción	1958	
Número de plantas	7	
Longitud del edificio (m)	37	
Anchura del edificio (m)	8	
Superficie (útil) por planta (m²)	sótano	199
	planta baja	270
	primera	270
	segunda	270
	tercera	270
	cuarta	270
	quinta	270
Superficie (útil) total (m²)	1817	
Superficie total a climatizar (m²)	1375	
Altura por planta (m)	3	
Altura total (m)	19,75	
Número de habitaciones	60	
Número de huéspedes	120	

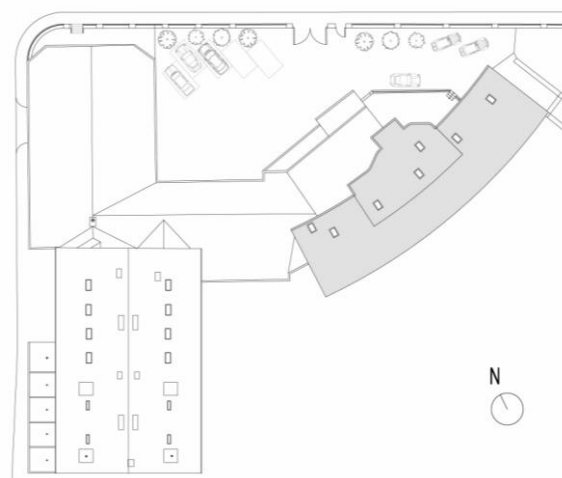
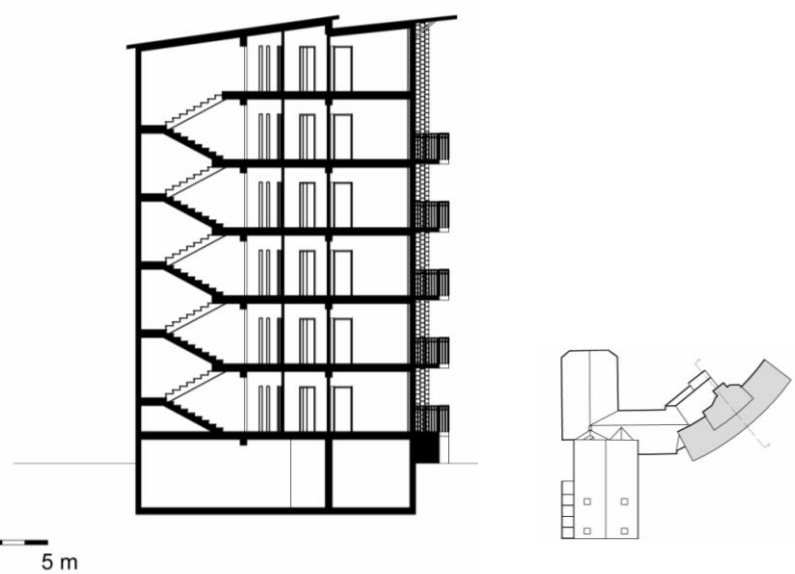
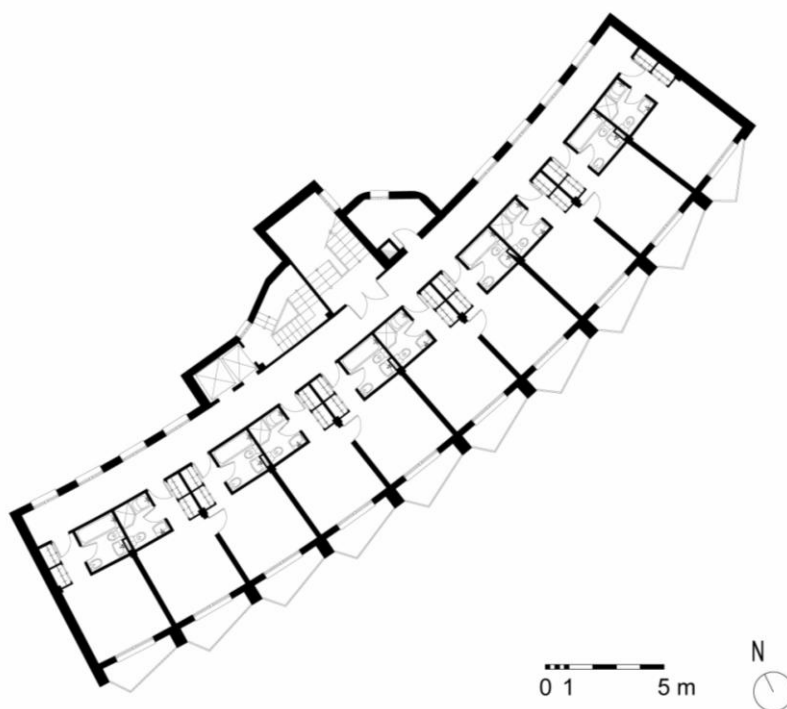


Tabla 1. Datos generales del edificio. Figura 5. Planta del complejo Gran Hotel de Jaca.

El acceso al edificio se encuentra en la fachada norte. La parte oeste está conectada a los otros edificios que forman parte del hotel. La fachada sur da a una zona verde dónde se encuentra la piscina. Al norte y al este del edificio aparecen sendas calles que delimitan el área del complejo.

Las escaleras, el ascensor y el corredor se sitúan en la parte norte dando acceso a las habitaciones. Cada habitación tiene su propio balcón, que da a la fachada sur, a excepción de las habitaciones del último piso. Todas las habitaciones disponen de un baño propio.

En la planta sótano se encuentran la lavandería, el cuarto de instalaciones, el trastero y dos almacenes.



Figuras 6 y 7. Planta tipo del edificio. Sección transversal.

Planta baja, 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª	
Habitaciones (m ²)	190,82
Corredor (m ²)	49,54
Cuarto de servicios (m ²)	5,3
Escaleras (m ²)	12,31
Ascensor (m ²)	3,45

Planta sótano	
Lavandería (m ²)	44,52
Corredor (m ²)	40,67
Cuarto de instalaciones (m ²)	18,96
Trastero (m ²)	44,19
Almacén 1 (m ²)	19,21
Almacén 2 (m ²)	19,9
Ascensor (m ²)	3,45
Escaleras de emergencia (m ²)	8,22

Tablas 2 y 3. Áreas.

4.3 Régimen de funcionamiento.

El hotel está en funcionamiento durante todo el año de manera continua.

4.4 Espacios habitables y no habitables del edificio.

Según el DB HE1-CTE, los espacios interiores de los edificios se dividen en espacios habitables y no habitables. En este caso se considera espacio no habitable el cuarto de instalaciones, el trastero, los almacenes, los cuartos de servicios y el ascensor. Dentro de las zonas habitables, espacios que deben estar climatizados, se tiene:

- **Zona de las habitaciones:** tiene un horario de uso fundamentalmente nocturno, y abarca las habitaciones de la planta baja y plantas superiores.
- **Zonas de paso:** tiene un horario de uso continuo durante todo el día.
- **Zona de la lavandería:** tiene un horario fundamentalmente diurno.

4.5 Ocupación.

La ocupación máxima del edificio será de 128 personas, teniendo en cuenta los huéspedes y el personal.

4.6 Caudales de ventilación.

El caudal de ventilación de los locales se establece en función de la calidad del aire interior. Conforme a lo establecido en el RITE, se aplica la norma UNE EN-13779 "Ventilación de los

edificios no residenciales. Requisitos de prestaciones de sistemas de ventilación y acondicionamiento de recintos”, para el cálculo del caudal de aire exterior de ventilación para cada espacio del edificio. Las categorías de aire interior de nuestro edificio (IDA) serán las siguientes (ver tabla 4):

IDA 2	IDA 3
Habitaciones	Lavandería
Corredor	

Tabla 4. Categorías del aire interior del edificio por locales.

Se empleará el método indirecto de caudal de aire exterior por persona, establecido en el RITE (IT 1.1.4.2.3), suponiendo una actividad metabólica de alrededor de 1,2 met con la mayor parte de las emisiones contaminantes producidas por personas.

Tendremos en cuenta que no existe ninguna zona habilitada para fumadores. Por lo tanto los caudales de aire exterior por persona según la categoría serán los siguientes (ver tabla 5):

Categoría de aire interior	m ³ /h persona
IDA 2	45
IDA 3	29

Tabla 5. Caudales de ventilación según la categoría del aire interior.

4.7 Transmitancias de los cerramientos.

La metodología utilizada y los cálculos de las transmitancias de los distintos elementos pueden consultarse en el anexo 2 (pág. 17).

Transmitancias, U (W/m ² K)	
Muro exterior	0,778
Muro interior hab-cor	1,201
Muro interior hab-hab	0,786
Forjado entre plantas	0,561
Cubierta	0,476
Muro exterior sub	0,346
Muro interior sub	0,570
Forjado sanitario	0,390
Huecos	4,804

Tabla 6. Resumen de las transmitancias de los cerramientos del edificio.

Comparación con los valores límite de la zona climática.

A continuación se van a comparar los valores obtenidos con los valores límite de las transmitancias térmicas de los cerramientos según la zona climática establecidos por el CTE

(DB-HE Sección 1). Como ya se ha comentado previamente, la zona climática dónde se sitúa el edificio es la E1.

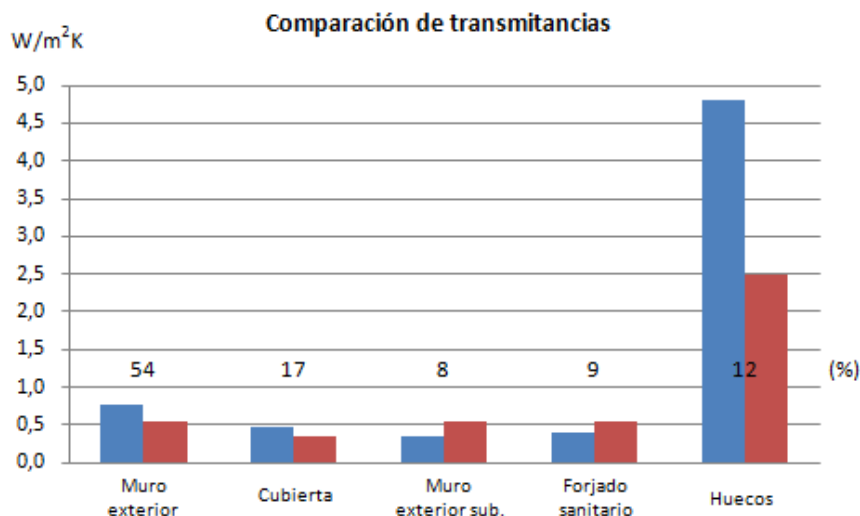


Figura 8. Comparación de transmitancias del edificio con los valores límites según la zona climática.

Como se observa en el gráfico (ver figura 8), a excepción del muro subterráneo y el forjado sanitario, todos los valores de las transmitancias superan los límites establecidos en el CTE. Los porcentajes que aparecen en el gráfico representan la superficie de cada tipo de cerramiento sobre la total de la envolvente, para poder apreciar la mayor o menor importancia de cada uno. Se hace evidente el insuficiente aislamiento térmico de la envolvente de que dispone el edificio, siendo un foco importante de pérdidas energéticas.

4.8 Sistema de climatización del edificio.

Para la producción de energía térmica se dispone de una máquina frigorífica de compresión de vapor accionada mediante motor eléctrico y de una caldera estándar de gasóleo.

Como unidades terminales se emplean fan-coils para refrigeración y radiadores para calefacción. Para tratar el aire de ventilación se utilizan varias climatizadoras o UTAs.

La calefacción tiene un funcionamiento continuo, de manera aproximada desde el 1 de octubre hasta el 31 de abril.

4.9 Estimación de demanda térmica.

La estimación de la demanda térmica se ha calculado siguiendo los procedimientos del "Capítulo 6. Cargas térmicas" del Libro *Fundamentos de Climatización* de Atecyr. Pueden consultarse más detalladamente en el anexo 3 (pág. 27).

Cargas máximas en verano.

Cargas de refrigeración		
5ª planta	Corredor	4,51
	Zona de habitaciones	10,33
4ª planta	Corredor	6,79
	Zona de habitaciones	12,62
3ª planta	Corredor	6,79
	Zona de habitaciones	12,62
2ª planta	Corredor	6,79
	Zona de habitaciones	12,62
1ª planta	Corredor	5,58
	Zona de habitaciones	12,51
planta baja	Corredor	5,64
	Zona de habitaciones	12,75
sótano	Corredor	1,78
	Lavandería	4,94
TOTAL (kW)		116
(W/m²) (sup. útil)		64
(W/m²) (sup. a climatizar)		85

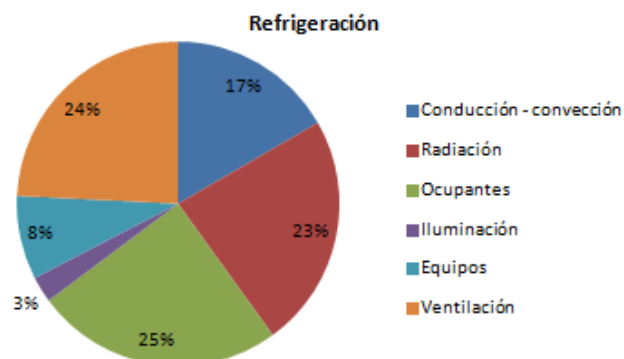


Tabla 7. Cargas térmicas de refrigeración. Figura 9. Porcentajes según tipo de carga.

Tal y como se puede ver en la tabla 7 y figura 9, se obtiene una carga máxima de refrigeración de 116kW. Las cargas más importantes son las provocadas por la ventilación y los ocupantes debido a la alta presencia de personas en el edificio (ocupación máxima). Las cargas por conducción-convección y radiación también presentan un porcentaje elevado por los altos valores de las transmitancias que presentan los cerramientos.

Cargas máximas en invierno.

Cargas de calefacción		
5ª planta	Corredor	6,67
	Zona de habitaciones	15,29
4ª planta	Corredor	8,20
	Zona de habitaciones	15,21
3ª planta	Corredor	8,20
	Zona de habitaciones	15,21
2ª planta	Corredor	8,20
	Zona de habitaciones	15,21
1ª planta	Corredor	7,22
	Zona de habitaciones	15,21
planta baja	Corredor	7,38
	Zona de habitaciones	15,66
sótano	Corredor	3,72
	Lavandería	3,97
TOTAL (kW)		145
(W/m²) (sup. útil)		80
(W/m²) (sup. a climatizar)		106

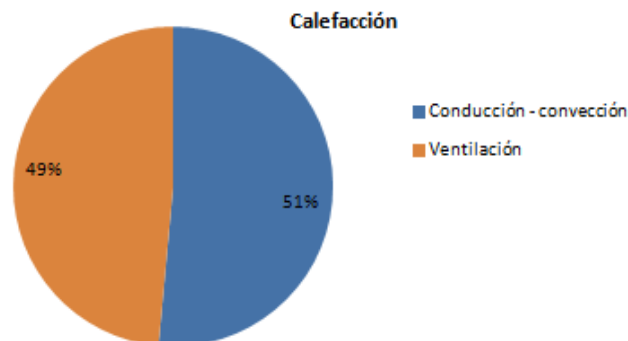


Tabla 8. Cargas térmicas de calefacción. Figura 10. Porcentajes según tipo de carga.

(Ver tabla 8 y figura 10). Se obtiene una carga máxima de calefacción de 145kW. Las cargas se reparten casi a partes iguales entre conducción-convección y ventilación. Las cargas positivas se desprecian para estar en la situación más desfavorable.

Ratios habituales "sector terciario" (W/m ²)	
Refrigeración	200
Calefacción	100

Tabla 9. Ratios habituales de refrigeración y calefacción para edificios del sector terciario (*Fundamentos de climatización, Atecyr*).

Se comparan los valores con ratios habituales para este tipo de edificios y vemos que estamos en órdenes de magnitud similares (ver tabla 9).

Conclusiones

Tenemos una carga de calefacción mayor que la de refrigeración debido a la climatología presente en la ubicación del edificio, con temperaturas frías en invierno y suaves en verano. Si se observan los resultados para ambas estaciones se deduce que las cargas más importantes

son las de ventilación y ocupantes, cargas variables dependientes de la presencia de personas en un espacio.

4.10 Factores que influyen en la demanda.

Se han evaluado diversos factores como las temperaturas interior y exterior, la ocupación y la incertidumbre en los valores para el cálculo de las transmitancias para ver su influencia en la demanda térmica del edificio. Con ello se pretende establecer un intervalo para los valores de las cargas térmicas y no considerar un único valor (poco realista). Los diferentes cálculos y razonamiento realizados pueden verse en el anexo 3 (pág. 36).

Debido a los resultados obtenidos se establece un rango de $\pm 10\%$ como incertidumbre del valor estimado de las cargas térmicas. Además, ese $+10\%$ actuaría como un margen de seguridad.

Cargas térmicas máximas: potencia necesaria.

Refrigeración = **$116 \pm 10\%$ kW**

Calefacción = **$145 \pm 10\%$ kW**

4.11 Estimación de la demanda anual.

Para realizar la estimación de la demanda térmica del edificio se ha utilizado el concepto de días tipo. Se han utilizado 3 días de cada mes para caracterizar la demanda anual.

Los días de un mes se clasifican según sus temperaturas (año 2016) en tres grupos: días de temperaturas altas, días de temperaturas medias y días de temperaturas bajas. Se selecciona un día representativo de cada uno de los grupos (días tipo) y se calcula la demanda en esos días. Finalmente se multiplican esas demandas por el número de días de cada "grupo" que haya en ese mes. De esta manera obtenemos una estimación aproximada de la demanda mensual y posteriormente la anual calculando la de unos pocos días. En el anexo 4 (pág. 40) se puede ver a modo de ejemplo el cálculo de un mes.

Demanda temporada de calefacción (kWh)	
Enero	62939
Febrero	52399
Marzo	52311
Abril	40918
Mayo	31614
Septiembre	20061
Octubre	27732
Noviembre	50802
Diciembre	62840
TOTAL (kWh)	401615

Demanda temporada de refrigeración (kWh)	
Junio	5735
Julio	16564
Agosto	11764
TOTAL (kWh)	34063

Tablas 10 y 11. Demandas de calefacción y refrigeración.

4.12 Consumo.

Por último se calcula el consumo anual (kWh de energía primaria consumida y kg de CO₂ generados). Se obtienen intervalos dentro de los cuales estarán los valores (valores máximo y mínimo según condiciones más y menos desfavorables).

Consumo en refrigeración

Conversión e.eléctrica a EP	2,403	kWh EP/kWh EF
Emisiones CO ₂ electricidad	0,357	kg CO ₂ /kWh e

	SEER	Energía consumida (kWh e)	Energía primaria consumida (kWh)	kg CO ₂
valor estimado	2,5	13259 ± 21%	31862 ± 21%	4734 ± 21%

Tablas 12 y 13. Coeficiente de paso y factor de emisiones de la electricidad. Consumo en refrigeración.

El valor del SEER de la enfriadora se ha estimado a partir de la información obtenida del documento *Parque de bombas de calor en España* del IDAE (García Montes *et al.*, 2016) teniendo en cuenta el año en que se instaló.

Consumo en calefacción

PCI gasóleo	10,28	kWh/l
Emisiones CO ₂ gasóleo	0,311	kg CO ₂ /kWh

	Rdto. (%)	Energía primaria consumida (kWh)	l gas	kg CO ₂
valor estimado	80	437425 ± 15%	42551 ± 15%	136039 ± 15%

Tablas 14 y 15. PCI y factor de emisiones del gasóleo. Consumo en calefacción.

El valor del rendimiento de la caldera se ha obtenido del documento *El gas en España, Informe anual 2015* de la Asociación Española del Gas teniendo en cuenta el año en que se instaló.

Consumo total

	Energía primaria consumida total (kWh)	kg CO ₂
valor estimado	469287 ± 16%	140773 ± 16%

Tabla 16. Consumo total.

5. LISTA DE POSIBLES MEDIDAS O MEJORAS PARA APLICAR Y EVALUAR.

Después de la recopilación de información sobre eficiencia energética y la descripción del caso de estudio se ha elaborado una lista con las posibles medidas o mejoras a aplicar por su potencial de ahorro de energía y las características del edificio.

- Rehabilitación de la envolvente con sistemas SATE.
El edificio no cuenta con un adecuado aislamiento térmico. Para solucionar esto se propone la utilización de sistemas SATE en la fachada ya que es un sistema adecuado para la rehabilitación, de fácil instalación y además aportaría una renovación estética exterior del edificio.
- Instalación de recuperadores de calor.
Instalar intercambiadores de calor para recuperar calor del aire de extracción cuando sea necesario. Además es obligatorio por normativa.
- Alternativas para la producción de energía térmica.
Estudio de alternativas para la producción de frío y calor. Los equipos actuales de que dispone el edificio son antiguos y no presentan unos altos rendimientos. Se pretende modernizar la instalación y mejorar la eficiencia.
- Zonificación
Las cargas térmicas más importantes del edificio están ligadas a la presencia de personas. Es lógico en primer lugar realizar una zonificación de los espacios para climatizar solo donde y cuando sea necesario.
- Uso de energías renovables
Instalación de captadores solares para el funcionamiento de una máquina de absorción para refrigeración o para la producción de ACS. Se pretende disminuir la dependencia del consumo de combustibles fósiles y reducir las emisiones. El uso de energías renovables aportaría también una buena publicidad al hotel.

6. MEDIDAS PARA LA DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA TÉRMICA.

En este apartado se van a estudiar diversas opciones para tratar de reducir la demanda térmica del edificio y de esta manera reducir el consumo del mismo.

6.1 Zonificación y modos de funcionamiento.

Tal como se ha visto en el apartado 4.8, las cargas térmicas más importantes son las de ventilación y las de ocupación, determinadas por la presencia de personas. Por ello, se hace evidente la importancia en primer lugar de realizar una zonificación de los espacios que permita evitar consumos innecesarios.

Se ha individualizado el funcionamiento del sistema de climatización por zonas según los horarios de uso de las mismas. De esta manera, se climatizan unas estancias u otras sin que sea necesaria la climatización de la totalidad del edificio, ya que esto último conlleva un gasto innecesario.

En la lavandería (horario de uso de 8 a 15h) y en el corredor del sótano estará activo de 7 de la mañana a 3 de la tarde. En el corredor de la planta baja y de las plantas superiores estará siempre en funcionamiento al igual que en las habitaciones, excepto las que estén desocupadas.

Además, se plantea un modo de funcionamiento “intermedio” o de “stand-by” para las habitaciones. Las habitaciones presentan un horario de uso principalmente nocturno, lo más habitual es que los huéspedes no estén en ellas gran parte de las horas diurnas. Por ello, cuando estén vacías se reducen dos grados su temperatura interior y se detiene la ventilación. Así se consigue ahorrar, pero se puede volver al modo normal de funcionamiento (condiciones de confort) rápidamente cuando vuelvan los huéspedes.

Con estas medidas obtenemos los siguientes resultados (ver tablas 17, 18 y 19).

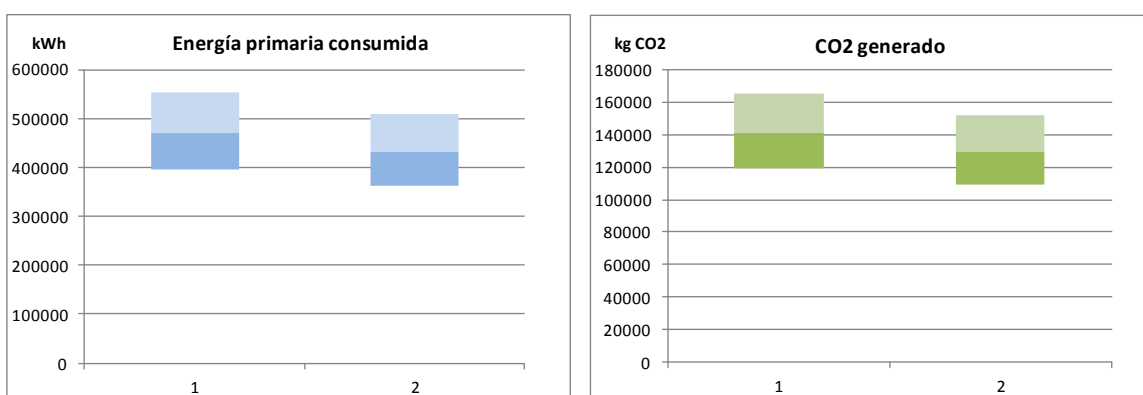
Demanda temporada de calefacción (kWh)	
Enero	58158
Febrero	48492
Marzo	48378
Abril	37667
Mayo	28983
Septiembre	18307
Octubre	25361
Noviembre	46843
Diciembre	58199
TOTAL (kWh)	370389

Demanda temporada de refrigeración (kWh)	
Junio	5199
Julio	14953
Agosto	10614
TOTAL (kWh)	30766

	Energía primaria consumida total (kWh)	kg CO ₂
valor estimado	432651 ± 16%	129880 ± 16

Tablas 17, 18 y 19. Demandas de calefacción y refrigeración zonificación y stand-by. Consumo.

Comparando con la situación inicial (ver figuras 11 y 12).



Figuras 11 y 12. Comparación del consumo de energía primaria y emisiones. 1- Actual 2- Zonificación y stand-by.

Con estas medidas se consigue reducir la demanda, y con ello disminuye el consumo y las emisiones un **8%** (valor estimado). Sin embargo, si observamos los gráficos los intervalos de valores posibles se solapan, por lo que no podemos afirmar con total seguridad que vayamos a obtener ese ahorro.

6.2 Rehabilitación de la envolvente del edificio.

Debido a que el edificio es bastante antiguo (1958) no presenta un adecuado aislamiento térmico, algo fundamental para tener un buen comportamiento energético. Por ello, se va a estudiar la implantación de sistemas SATE en la fachada para tratar de reducir las pérdidas (disminuir los valores de las transmitancias térmicas de los cerramientos) y como consecuencia la demanda energética del edificio.

Se denomina SATE a un sistema compuesto de aislamiento por el exterior que se utiliza para el aislamiento térmico de edificios. Estos sistemas se suministran como un conjunto (kit) (ver

figura 13). Se utilizan tanto en nueva construcción como en rehabilitación de edificios. Cuando está correctamente instalado permite eliminar la mayoría de los puentes térmicos del edificio. Puede consultarse más información sobre este sistema en el anexo 5 (pág. 44).

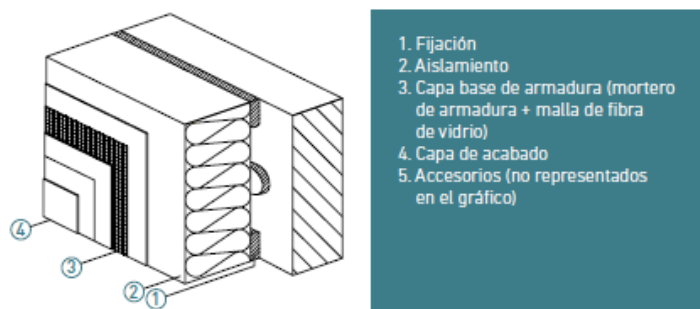


Figura 13. Esquema básico de un sistema SATE (Guía: Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los edificios. IDAE).

Además de la utilización de sistemas SATE en la fachada se va a evaluar también una mejora del aislamiento térmico de la cubierta y la sustitución de las ventanas por otras con mejores prestaciones para el aislamiento térmico.

Los nuevos valores de las transmitancias térmicas del edificio aparecen detallados en la tabla 20.

Transmitancias, U (W/m ² K)	v. previos	v. nuevos	Diferencia (%)
Muro exterior	0,778	0,370	52
Muro interior hab-cor	1,201	1,201	0
Muro interior hab-hab	0,786	0,786	0
Forjado entre plantas	0,561	0,561	0
Cubierta	0,476	0,350	26
Muro exterior sub	0,346	0,346	0
Muro interior sub	0,570	0,570	0
Forjado sanitario	0,390	0,390	0
Huecos	4,804	1,770	63

Tabla 20. Valores nuevos de las transmitancias tras la rehabilitación de la envolvente y comparación con los valores previos.

Se obtienen los siguientes resultados (ver tablas 21, 22 y 23).

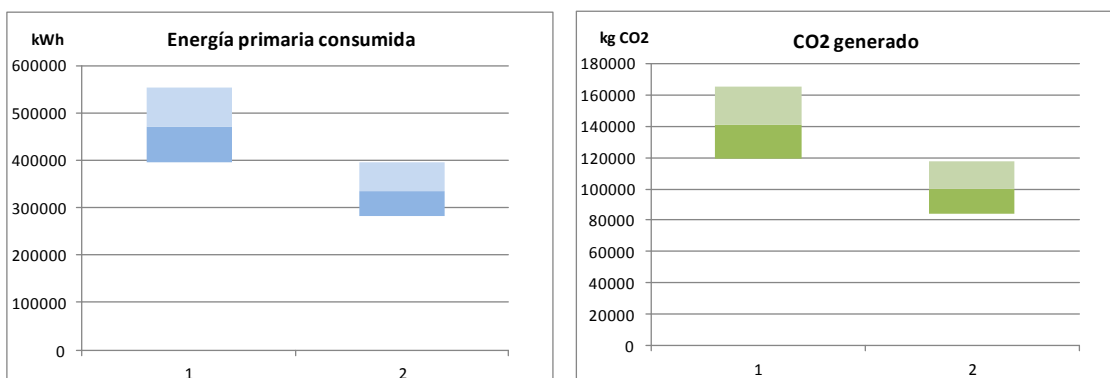
Demanda temporada de calefacción (kWh)	
Enero	44165
Febrero	36783
Marzo	36948
Abril	29101
Mayo	22514
Septiembre	14364
Octubre	19834
Noviembre	35787
Diciembre	44074
TOTAL (kWh)	283571

Demanda temporada de refrigeración (kWh)	
Junio	4875
Julio	13622
Agosto	9785
TOTAL (kWh)	28282

	Energía primaria consumida total (kWh)	kg CO ₂
valor estimado	334822 ± 16%	99832 ± 16

Tablas 21, 22 y 23. Demandas de calefacción y refrigeración tras la rehabilitación de la envolvente. Consumo.

Comparando con la situación inicial (ver figuras 13 y 14).



Figuras 13 y 14. Comparación del consumo de energía primaria y emisiones. 1- Actual 2- Rehabilitación de la envolvente.

Se consigue reducir la demanda y disminuye el consumo y las emisiones un **29%**. En este caso la totalidad de los valores posibles sí que está por debajo del intervalo de la situación inicial. Por lo tanto podemos asegurar que se conseguirá un ahorro en mayor o menor medida. A parte del ahorro generado, como se ha comentado previamente, con esta medida se consigue también una mejora y una renovación estética del exterior del hotel.

6.3 Instalación de recuperadores de calor.

Se ha evaluado también la instalación de recuperadores de calor para la recuperación de energía térmica del aire de extracción.

Los recuperadores utilizados son intercambiadores de calor de la marca Sodeca, el modelo VENUS150ac para la lavandería, y los modelos RECUP60 y RECUP30 para la zona de habitaciones y los corredores respectivamente. Todos ellos son recuperadores solo de energía térmica sensible.

La documentación técnica de los recuperadores y el resto de cálculos necesarios pueden consultarse en el anexo 6 (pág. 47).

Se obtienen los siguientes resultados (ver tablas 24, 25, 26, 27 y 28).

	Refrigeración
Sin recuperador (kW)	116
Con recuperador (kW)	107
Ahorro (kW)	9
Ahorro (%)	8

	Calefacción
Sin recuperador (kW)	145
Con recuperador (kW)	112
Ahorro (kW)	33
Ahorro (%)	23

Tablas 24 y 25. Reducción de cargas térmicas con el recuperador.

Las cargas máximas (potencia a instalar) se reducen en un **8%** en refrigeración y en un **23%** en calefacción.

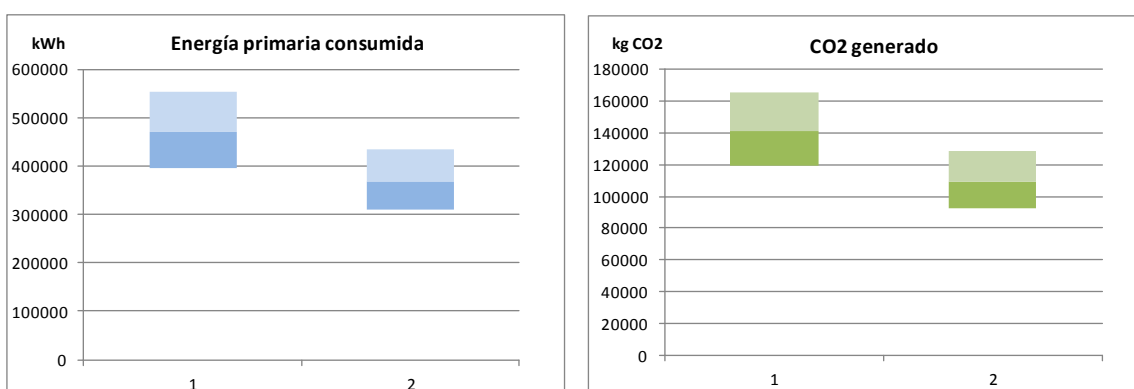
Demanda temporada de calefacción (kWh)	
Enero	48402
Febrero	40255
Marzo	40288
Abril	31589
Mayo	24469
Septiembre	15609
Octubre	21538
Noviembre	39088
Diciembre	48419
TOTAL (kWh)	309657

Demanda temporada de refrigeración (kWh)	
Junio	5428
Julio	15501
Agosto	11037
TOTAL (kWh)	31966

	Energía primaria consumida total (kWh)	kg CO ₂
valor estimado	366873 ± 16%	109241 ±16%

Tablas 26, 27 y 28. Demandas de calefacción y refrigeración tras la instalación de los recuperadores de calor. Consumo.

Comparando con la situación inicial (ver figuras 15 y 16).



Figuras 15 y 16. Comparación del consumo de energía primaria y emisiones. 1- Actual 2- Recuperador de calor.

Con el uso de los recuperadores de calor se disminuye el consumo y las emisiones un **22%**. En este caso tampoco se puede afirmar que se conseguiría siempre ese ahorro, porque se solapan ciertos valores de los intervalos, pero en la mayoría de los casos sí que se lograría reducir el consumo en un mayor o menor porcentaje.

7. MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.

En este apartado se han estudiado varias alternativas con el objetivo de obtener un mejor rendimiento de la instalación y de esta forma reducir el consumo y las emisiones.

7.1 Generación de energía térmica para refrigeración.

Como alternativas al sistema actual se plantea el uso de una bomba de calor aire-agua y el uso de una máquina de absorción alimentada por captadores solares.

Bomba de calor.

Se ha seleccionado una bomba de calor aire-agua AQUACIAT LD ILD 600A. La documentación técnica puede consultarse en el anexo 7 (pág. 51).

Se obtienen los siguientes resultados (ver tabla 29).

	SEER	Energía consumida (kWh e)	Energía primaria consumida (kWh)	kg CO ₂
valor estimado	3,7	9282 ± 23%	22304 ± 23%	3314 ± 23%

Tabla 29. Consumo en refrigeración con la nueva bomba de calor.

El valor del SEER es proporcionado por el fabricante (calculado de acuerdo con la norma UNE-EN 14825,2016).

Máquina de absorción + colectores solares.

Se ha seleccionado una máquina de absorción de doble efecto 2G series de la marca Thermax. Para cubrir la demanda calorífica de la máquina de absorción se utilizarán captadores solares (integración de energías renovables, energía solar térmica) y una caldera auxiliar en el caso de que los captadores no sean suficientes en todo momento.

Se utilizarán captadores solares de tubos de vacío de la marca Viessmann modelo VITOSOL 200-T. En cuanto a la caldera, se trataría de una caldera de condensación de gas natural.

Los datos técnicos de la máquina de absorción y de los captadores, y los cálculos realizados para determinar la energía proporcionada por los captadores pueden consultarse en el anexo 9 (pág. 54).

Utilizando 30 captadores solares, que ocuparían una tercera parte del área del tejado aproximadamente, se obtienen los siguientes resultados (ver tablas 30, 31, 32, 33 y 34).

Rendimiento de la máquina de absorción = 1,4

	Demanda ref (kWh)	Consumo refrigeración (kWh)	Consumo refrigeración (MJ)
Junio	5735	4096	14747
Julio	16564	11832	42594
Agosto	11764	8403	30250

Tabla 30. Consumo en refrigeración con la máquina de absorción.

	E solar útil (MJ)	Consumo refrigeración (MJ)	Cobertura (%)
Junio	12666	14747	86
Julio	16155	42594	38
Agosto	15236	30250	50

Tabla 31. Cobertura proporcionada por la energía solar.

	Rdto. (%)	Energía primaria consumida (kWh)	Nm ³ gas	kg CO ₂
valor estimado	105	10967 ± 29%	1014 ± 29%	2764 ± 29%

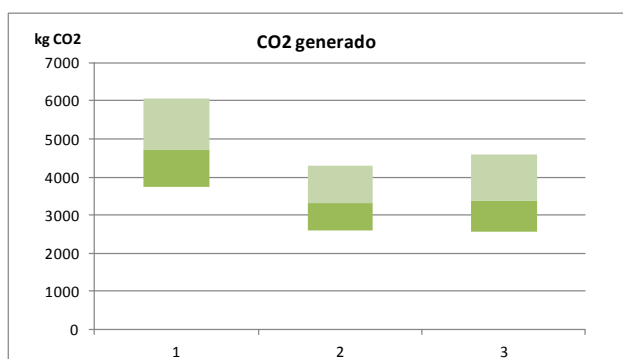
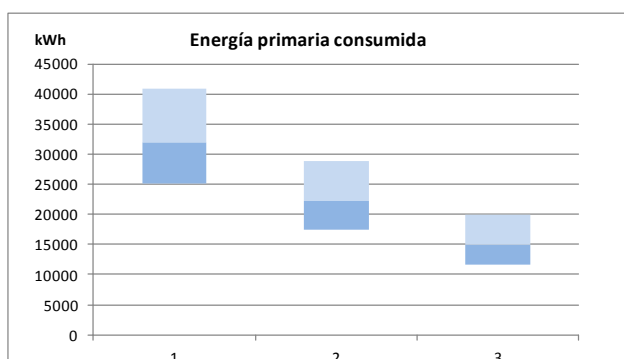
	Energía consumida (kWh e)	Energía primaria consumida (kWh)	kg CO ₂
valor estimado	1703 ± 10%	4093 ± 10%	608 ± 10%

	Energía primaria total consumida (kWh)	kg CO ₂
valor estimado	15059 ± 25%	3372 ± 38%

Tablas 32, 33 y 34. Consumo de la caldera auxiliar. Consumo de la bomba de la máquina de absorción (aprox. 5% de la capacidad frigorífica. Consumo total.

Si se seleccionara esta opción, hay que tener en cuenta que sería necesario instalar un acumulador de energía térmica y torres de refrigeración a parte de la máquina de absorción y los captadores solares, lo que podría suponer una inversión inicial muy elevada.

Si comparamos las dos alternativas con el sistema actual (ver figuras 17 y 18).



Figuras 17 y 18. Comparación del consumo de energía primaria y emisiones. 1-Actual 2-Bomba de calor 3-Máquina de absorción + captadores solares.

Se observa que la mejor opción es la utilización de la máquina de absorción y los captadores solares. Las emisiones de CO₂ generadas serían similares a la bomba de calor pero el consumo de energía primaria sería menor. Se conseguiría reducir el consumo de energía primaria un **50%** y las emisiones un **30%** aproximadamente respecto a la situación actual.

Sin embargo, la opción de la máquina de absorción y captadores solares es inviable debido a que en la cubierta del edificio no es posible instalar la máquina de absorción y las torres de refrigeración. Se ha querido estudiar esta opción de todas formas para conocer las aplicaciones y el potencial de esta tecnología y aprender sobre la metodología y los cálculos a seguir para aplicarla a un caso de estudio concreto.

7.2 Generación de energía térmica para calefacción.

Como alternativas al sistema actual se plantea el uso de una caldera de condensación de gas natural y el uso de una bomba de calor aire-agua.

Caldera de condensación.

Se ha seleccionado una caldera de condensación a gas Vitocrossal 300 modelo CT3B de Viessmann.

Se obtienen los siguientes resultados (ver tablas 35 y 36).

PCI gas natural	38937	kJ/Nm ³
Emisiones CO ₂ gas natural	0,252	kg CO ₂ /kWh

	Rdto. (%)	Energía primaria consumida (kWh)	Nm ³ gas	kg CO ₂
valor estimado	105	333276 ± 14%	30814 ± 14%	83986 ± 14%

Tablas 35 y 36. PCI y factor de emisiones gas natural. Consumo en calefacción con la caldera de condensación.

Rendimiento proporcionado por el fabricante.

Bomba de calor.

Se ha seleccionado una bomba de calor aire-agua AQUACIAT LD ILD 450A. La documentación técnica puede consultarse en el anexo 7 (pág. 51). La bomba funcionaría hasta los 6 °C, a partir de temperaturas más bajas (bajos rendimientos, problemas de funcionamiento, escarcha) se pondría en funcionamiento una caldera auxiliar. El cálculo del SPF (Seasonal Performance Factor, rdto. estacional) se muestra en el anexo 8 (pág. 52).

Si se seleccionara esta opción, habría que modificar los radiadores o utilizar los fan-coils como unidades terminales debido a la temperatura más baja del agua que se obtendría con la bomba de calor. Para el uso de los fan-coils se comprobaría si se puede usar la batería de refrigeración o habría que añadir una para calefacción.

Se obtienen los siguientes resultados (ver tablas 37, 38 y 39).

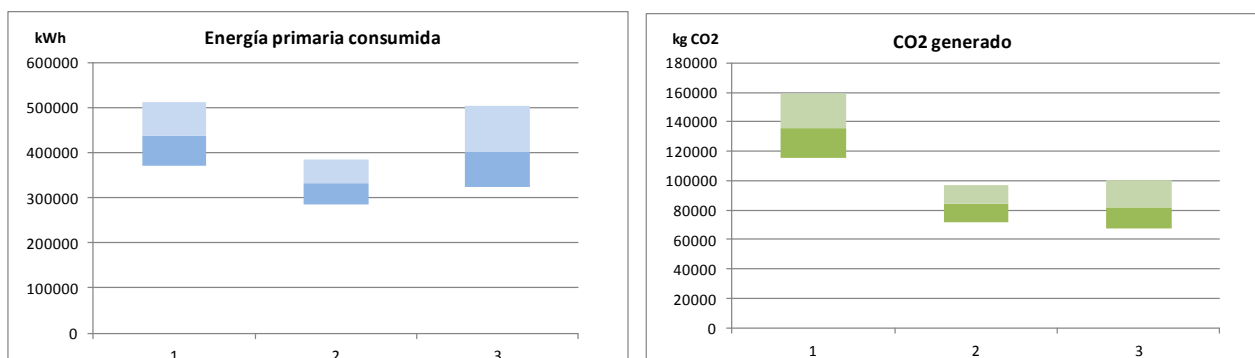
	SPF	Energía consumida (kWh e)	Energía primaria consumida (kWh)	kg CO ₂
valor estimado	1,6	76644 ± 27%	184176 ± 27%	27362 ± 27%

	Rdto. (%)	Energía primaria consumida (kWh)	Nm ³ gas	kg CO ₂
valor estimado	105	216011 ± 14%	19972 ± 14%	54435 ± 14%

	Energía primaria consumida total (kWh)	kg CO ₂
valor estimado	400187 ± 20%	81797 ± 20%

Tablas 37, 38 y 39. Consumo de la bomba de calor. Consumo de la caldera auxiliar. Consumo total en calefacción.

Si comparamos las dos alternativas con el sistema actual (ver figuras 19 y 20).



Figuras 19 y 20. Comparación del consumo de energía primaria y emisiones.
1-Actual 2-Caldera de condensación 3-Bomba de calor.

Se observa que la mejor opción es la utilización de la caldera de condensación. Generaría unas emisiones similares a la bomba de calor pero esta última consume más energía primaria y tiene un mayor intervalo de valores posibles (mayor incertidumbre del resultado). Se disminuiría el consumo actual un **24%** y las emisiones de CO₂ un **38%**.

8. EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS DE FORMA CONJUNTA.

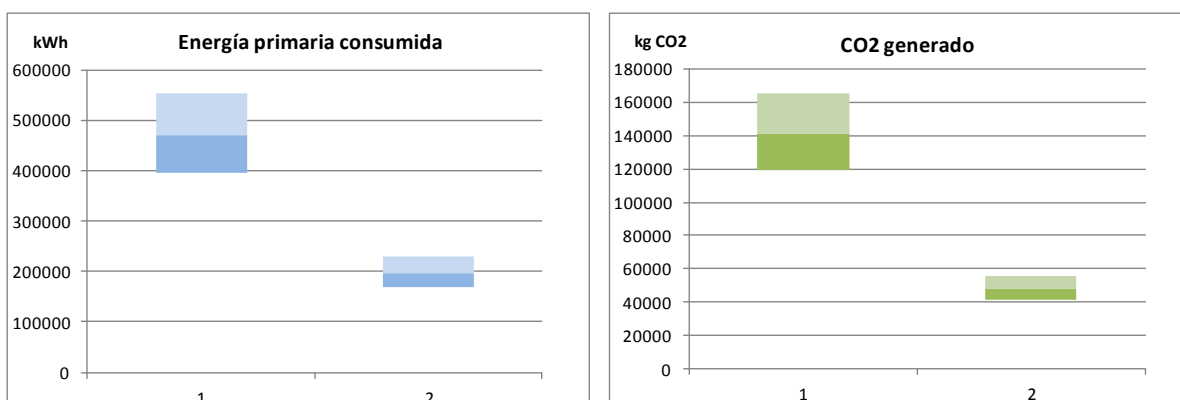
Por último se ha estimado el consumo tras una posible rehabilitación del edificio para comparar con la situación actual, y ver el margen de mejora. Para ello, se aplican las distintas medidas del apartado 6 y se ha seleccionado la caldera de condensación para la producción de calor y una máquina frigorífica de compresión de vapor nueva para la producción de frío.

La máquina frigorífica seleccionada es la AQUACIAT LD ILD 600A, un modelo similar a la bomba de calor del apartado 7.1 (rdto. y potencia). La documentación técnica de la máquina puede consultarse en el anexo 7 (pág. 51).

Se obtienen los siguientes resultados (ver tabla 40 y figuras 21 y 22).

	Energía primaria consumida total (kWh)	kg CO ₂
valor estimado	197750 ± 15%	47984 ± 15%

Tablas 40. Consumo total tras la rehabilitación.



Figuras 21 y 22. Comparación del consumo de energía primaria y emisiones. 1-Actual 2-Rehabilitación.

Se obtiene un ahorro muy importante. Se reduce el consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂ casi en un **60%** (valor estimado).

Se ha calculado también la calificación energética del edificio en ambos casos para ver la mejoría. Para ello se han seguido las indicaciones de los documentos *Calificación de la eficiencia energética de los edificios* y *Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios* del Ministerio de Industria, Energía y Turismo - IDAE. Los cálculos necesarios pueden verse en el anexo 11 (pág. 58).



Figura 23. Calificación energética del edificio: Situación actual y tras la rehabilitación.

Se observa (ver figura 23) que el edificio pasa de una calificación C a una A tras la rehabilitación.

9. CONCLUSIONES.

Por último, se han extraído las siguientes conclusiones del desarrollo y de los resultados obtenidos en los distintos apartados del trabajo:

- Tanto por la normativa actual, como por la situación energética y el impacto ambiental asociado (contaminación, cambio climático) en los edificios se debe mostrar ya hoy en día una dirección clara hacia la obtención de EECN, tanto de nueva construcción como rehabilitación de los existentes. Es algo fundamental para la búsqueda de la mayor eficiencia y ahorro energético en el sector.
- Del análisis y la descripción del edificio, se extrae que uno de los puntos más desfavorables es su envolvente, el inadecuado aislamiento térmico que presenta, debido a su antigüedad. También destacar que las cargas térmicas más importantes que presenta están ligadas a la presencia de personas, algo lógico viendo la tipología de uso del edificio.
- Se ha conseguido reducir la demanda térmica del edificio con todas las medidas aplicadas para ese objetivo y se ha obtenido un ahorro del consumo y de las emisiones en mayor o menor grado. De ellas, la que mejores resultados ha dado ha sido la renovación de la envolvente térmica (sistema SATE y renovación de los cerramientos, ahorro estimado 29%), seguida por la instalación de recuperadores de calor (ahorro estimado 22%) y por último la zonificación (ahorro estimado 8%).
- En cuanto al rendimiento de la instalación, se ha visto que existen otras alternativas para la producción de energía térmica más eficientes. Sería por tanto, recomendable la sustitución o renovación de los equipos actuales de que dispone el edificio que se podrían considerar obsoletos.
- Con la aplicación de todas las medidas de forma simultánea, se consigue una gran disminución del consumo de energía primaria y de las emisiones de CO₂ generadas (ahorro estimado 60%). Estos resultados hacen evidente el gran margen de mejora que tiene el edificio y lo adecuado que podría ser una renovación o rehabilitación del mismo. A su vez la gran importancia que tendría esa rehabilitación de edificios antiguos para el consumo energético de todo el sector.

- El presente trabajo podría considerarse como un primer estudio o anteproyecto de un proyecto más detallado, más extenso (cálculos más precisos, uso de software específicos, estimación de costes y periodos de amortización de la inversión...) llevado a cabo en colaboración con el hotel para la rehabilitación del edificio.
- Para la realización del trabajo se han empleado aproximadamente 5 meses y medio. Las partes del mismo que más me ha costado hacer han sido la revisión de documentos y los cálculos de la estimación de la demanda térmica y el consumo de los distintos casos. He conseguido familiarizarme y utilizar la normativa española y conocer fuentes oficiales (IDAE, MINETAD) que me han resultado muy útiles y que apenas conocía. Por último, decir que considero que sería una labor complementaria muy apropiada desde un punto de vista profesional la realización del mismo trabajo (los apartados oportunos) pero utilizando esta vez software específicos para los diferentes cálculos y poder comparar los resultados obtenidos en ambos casos.

10. BIBLIOGRAFÍA.

- AEMET, *Agencia Estatal de Meteorología*. <http://www.aemet.es/es/portada>
- BORROY TOMÁS, David, *Proyecto de climatización de un hotel en Zaragoza*, TFG, Universidad de Zaragoza, 2014.
- «Climatización eficiente en Complejos hoteleros», *Clima Eficiencia. Revista profesional de eficiencia energética y nuevas tecnologías*, 35 (2017). Accesible en: <http://fevymar.com/cont/publis/boletines/2213.pdf>
- *Código Técnico de la Edificación (CTE)*.
- *Datosclima.es, Base de datos meteorológica*.
<https://datosclima.es/Aemet2013/DescargaDatos.html>
- DE WIT, Sten, Godfried AUGENBROE, «Analysis of uncertainty in building design evaluations and its implications», *Energy and Buildings*, 34 (2002), 951-958.
- DOMÍNGUEZ-MUÑOZ, Fernando, José M. CEJUDO LÓPEZ, Antonio CARRILLO-ANDRÉS, *Cálculo bajo incertidumbre de la carga punta de refrigeración de un edificio*, E.T.S. INGENIEROS INDUSTRIALES, Grupo de Energética, Universidad de Málaga, 2009.
- DOMÍNGUEZ-MUÑOZ, Fernando, José M. CEJUDO LÓPEZ, Antonio CARRILLO-ANDRÉS, Manuel GALLARDO-SALAZAR, «Selection of typical demand days for CHP optimization», *Energy and Buildings*, 43 (2011), 3036-3043.
- *DTIE 7.03 Entrada de datos a los programas LIDER y CALENER VyP*, Atecyr.
- *DTIE 8.01 Recuperación de energía en sistemas de climatización*, Atecyr.
- *DTIE 9.02 Relación entre el edificio y el sistema de climatización*, Atecyr.
- *El gas en España, Informe anual 2015*, Sedigas, Asociación Española del Gas.
- *Eurostat*,
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Consumption_of_energy

- *Evaluación del potencial de climatización con energía solar térmica en edificios, Estudio técnico PER 2011-2020.* IDAE.
- FERRANTE, Anarita, Apuntes de la asignatura *Sustainable Building Design* de la Universidad de Bolonia (curso 2016-2017).
- *Fundamentos de climatización. Para instaladores e ingenieros recién titulados.* Madrid, Atecyr, Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración.
- GARCÍA MONTES, Jesús Pedro, Claudio MIGUEZ GÓMEZ, Francisco MONEDERO GÓMEZ, Ignacio RICO ARROYO, *Parque de bombas de calor en España. Síntesis del estudio,* ESTUDIOS 001, Madrid, IDAE, 2016.
- *Guía IDAE: Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envoltura Térmica de los edificios.* Madrid, IDAE, 2012.
- *Guía Técnica: Ahorro y recuperación de energía en instalaciones de climatización.* Madrid, IDAE, 2012.
- HOPFE, Christina J., Jan L. M. HENSEN, «Uncertainty analysis in building performance simulation for design support», *Energy and Buildings*, 43 (2011), 2798-2805.
- IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, <http://www.idae.es/>
- *Instalaciones de energía solar térmica, Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura,* PET-REV 2009. Madrid, IDAE.
- KARAGIORGAS, Michaelis, Theocharis TSOUTSOS, Vassiliki DROSOU, Stéphane POUFFARY, Tulio PAGANO, Germán LÓPEZ LARA, José Manuel MELIM MENDES, «HOTRES: renewable energies in the hotels. An extensive technical tool for the hotel industry», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10 (2006), 198-224.
- MARZO LIMERES, Rubén, *Proyecto de climatización de un albergue juvenil,* TFG, Universidad de Zaragoza, 2011.
- *neZEH, Nearly Zero Energy Hotels,*
http://www.nezeh.eu/assets/media/PDF/Training_SME_hotels_EN/mobile/html5forpc.html

- *Norma UNE-EN 14825*, 2016.
- OLIVEIRA VELOSO, Ana Carolina de, Roberta Vieira GONÇALVES DE SOUZA, Ricardo Nicolau NASSAR KOURY, «Research of design features that influence energy consumption in office buildings in Belo Horizonte, Brazil», *Energy Procedia*, 111 (2017), 101-110.
- ORTIGA, J., J. C. BRUNO, A. CORONAS, «Selection of typical days for the characterisation of energy demand in cogeneration and trigeneration optimisation models for buildings», ScienceDirect ELSERVIER, 2011.
- PALLARÉS, Javier, Sergio ESPATOLERO, Luis Ignacio Díez, Inmaculada ARAUZO, *Casos prácticos de Tecnología Energética*, Zaragoza, Pressas Universitarias de Zaragoza, 2009.
- PALOMO DEL BARRIO, Elena, Gilles GUYON, «Theoretical basis for empirical model validation using parameters space analysis tools», *Energy and Buildings*, 35 (2003), 985-996.
- *Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios*, Madrid, IDAE, 2014.
- *Proyecto Sech-Spahousesec: Análisis del consumo energético del sector residencial en España, Informe final*, IDAE, Secretaría general Departamento de Planificación y Estudios, 2011.
- RAMOS FERNÁNDEZ, Ana, «Evolución de los factores que determinan el consumo energético residencial», *Economics for energy*, 2013, accesible en: <http://economicsforenergy.blogspot.com.es>
- *Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE)*.
- TURÉGANO, J. A., J. FREIXO, *Datos climáticos de Aragón: Condiciones exteriores de cálculo de instalaciones de calefacción y climatización*, ATECYR – ARAGÓN, Grupo de Trabajo Condiciones Climáticas, Zaragoza, Diputación General de Aragón, Departamento de Industria, Comercio y Turismo, 1994.

Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN HOTEL EN JACA

ANEXOS

Daniel Laplana Marín

649687@unizar.es

Grado en Ingeniería Mecánica - EINA

ÍNDICE

1. REVISIÓN DE DOCUMENTOS SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS.....	2
1.1 Ahorro de energía en la demanda.....	2
1.2 Ahorro en la generación de energía térmica.	8
1.3 Ahorro de energía en el control y modos de operación.....	9
1.4 Ahorro de energía en la distribución.....	10
1.5 Otras técnicas para el ahorro de energía en sistemas de climatización.....	11
1.6 Impacto ambiental.	13
1.7 Incertidumbre en la simulación del comportamiento de edificios.	14
1.8 Uso de días tipo para la caracterización de la demanda anual.....	14
1.9 Financiación de proyectos.	15
2. TRANSMITANCIAS DE LOS CERRAMIENTOS.....	17
2.1 Cerramientos opacos.....	17
2.2 Cerramientos huecos.....	23
3. CARGAS TÉRMICAS.....	27
3.1 Condiciones exteriores.	27
3.2 Condiciones interiores.....	29
3.3 Metodología de cálculo de cargas.....	29
3.4 Cálculo de cargas térmicas.....	34
3.5 Factores que influyen en la demanda.	36
4. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ANUAL. DÍAS TIPO.	40
5. SISTEMAS SATE.	44
6. RECUPERADORES DE CALOR.....	47
7. BOMBA DE CALOR y MÁQUINA FRIGORÍFICA. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA.	51
8. BOMBA DE CALOR. CÁLCULO DEL SPF (seasonal performance factor).....	52
9. MÁQUINA DE ABSORCIÓN.....	54
10. FACTORES DE EMISIÓN Y COEFICIENTES DE PASO.....	57
11. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA.	58

1. REVISIÓN DE DOCUMENTOS SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS.

En este anexo se recoge la información recopilada en la labor de revisión y documentación sobre eficiencia energética en edificios. A partir de esta información se han extraído los datos e ideas más importantes que aparecen en el apartado de la memoria del trabajo.

1.1 Ahorro de energía en la demanda.

- Normativa. Edificios de consumo de energía casi nulo.

En cuanto a la actual normativa sobre certificación de la eficiencia energética de los edificios en España, encontramos el Real Decreto 235/2013, que obliga a los compradores o usuarios de los edificios a poseer un certificado de eficiencia energética de los mismos. De esta forma, es posible comparar varios inmuebles o locales en cuanto a su eficiencia energética mediante un criterio objetivo.

Posteriormente, este decreto ha sido modificado por el Real Decreto 564/2017 con las siguientes novedades:

- o Edificios de consumo de energía casi nulo.
A partir del 31 de diciembre de 2020, los edificios nuevos serán edificios de consumo de energía casi nulo, definidos en la disposición adicional cuarta del Real Decreto 56/2016. Los edificios nuevos que vayan a estar ocupados y sean de titularidad pública, serán edificios de consumo de energía casi nulo a partir del 31 de diciembre de 2018. Los requisitos mínimos que deben satisfacer esos edificios serán los que en cada momento se determinen en el Código Técnico de la Edificación.
- o Procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
Se modifica el artículo 2.2 de forma que cambia el listado de los edificios que se excluyen del ámbito de aplicación del Real Decreto 235/2013.

Los edificios de consumo de energía casi nulo (EECN) son construcciones autosuficientes o que necesitan niveles muy bajos de energía para alcanzar elevado confort interior (ver figura 1). Se busca el máximo ahorro energético mediante la disminución de la demanda del edificio. Para la obtención de EECN se recurre a técnicas y sistemas pasivos (arquitectura bioclimática): forma del edificio, orientación y distribución interior, alto

aislamiento térmico, hermeticidad, eliminación o reducción de los puentes térmicos y el uso de energías renovables.



Figura 1. EECN (*neZEH* (*neZEH*, *Nearly Zero Energy Hotels*)).

Ventajas de los EECN en hoteles:

- Aumentan: beneficios, competitividad, sostenibilidad, valor de marca (buena publicidad).
- Reducen: costes, consumo energético, emisiones de CO₂, el impacto del turismo en el cambio climático.

Actualmente, Europa se encamina con rapidez hacia la estandarización de los EECN. En varias ciudades como Bruselas o Frankfurt es ya normativo que las nuevas construcciones cumplan con las exigencias del estándar Passivhaus (estándar de construcción nacido en Alemania destinado a la consecución de edificios que ahorran energía: EECN). Sin embargo, la situación de España en edificación energéticamente eficiente es francamente mala, menos del 1% de los edificios de nueva construcción que se han erigido desde 2009 cumple con estas condiciones.

- Envoltente de los edificios.

En relación a la mejora de la envoltente de los edificios, cabe destacar el denominado sistema SATE, un sistema compuesto de aislamiento por el exterior que se utiliza para el aislamiento térmico de edificios. Se utilizan tanto en nueva construcción como en rehabilitación de edificios. Con un sistema SATE se reviste y aísla el exterior del edificio adaptándose a las geometrías del mismo sin discontinuidad. Por tanto cuando está correctamente instalado permite resolver la mayoría de los puentes térmicos del edificio.

La utilización de estos sistemas en la fachada puede lograr una disminución del consumo de combustibles próxima al 30% (*Guía IDAE: SATE, 2012*).

A su vez, la renovación de los vidrios y marcos de los cerramientos representa una de las acciones más eficaces para la mejora de la eficiencia energética del edificio y además consigue aumentar el confort térmico en el interior de las viviendas. La mejora del aislamiento en las ventanas podría conllevar un ahorro de energía de hasta un 20% en espacios calefactados (*neZEH, Nearly Zero Energy Hotels*).

- Enfriamiento gratuito (free-cooling).

El objetivo de un sistema de enfriamiento gratuito es reducir la energía necesaria para la adecuación higrotérmica del aire impulsado por los sistemas de acondicionamiento cuando se necesita frío. Existen dos métodos, utilizar directamente el aire exterior, o bien utilizar el aire exterior para enfriar agua en una torre de refrigeración o batería en el exterior y utilizar esa agua para enfriar el aire que se impulsará al interior de los locales. Reduce el consumo energético y a la vez mejora la calidad del aire interior.

Normativa según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE):

IT 1.2.4.5.1 Enfriamiento gratuito por aire exterior:

1 Los subsistemas de climatización del tipo todo aire, de potencia térmica nominal mayor que 70 kW en régimen de refrigeración, dispondrán de un subsistema de enfriamiento gratuito por aire exterior.

○ Enfriamiento gratuito por aire.

En un caso de ejemplo situado en Madrid con un sistema de enfriamiento gratuito con control por temperatura seca se obtiene que el sistema es capaz de suministrar el 37% de la potencia media requerida para la refrigeración, estando activo el 63% del tiempo de la temporada de verano (*Guía Técnica: Ahorro y recuperación de energía en sistemas de climatización, IDAE, 2012*). En zonas húmedas se consigue un mayor porcentaje de ahorro de energía utilizando un sistema de enfriamiento gratuito con control por entalpía pura, mientras que en zonas secas los resultados son mejores con control por temperatura seca.

○ Enfriamiento gratuito por agua, batería adicional.

Su aplicación requiere una demanda de refrigeración constante y climas fríos. En el cálculo de un caso de ejemplo se obtiene un ahorro de un 22% en el consumo de

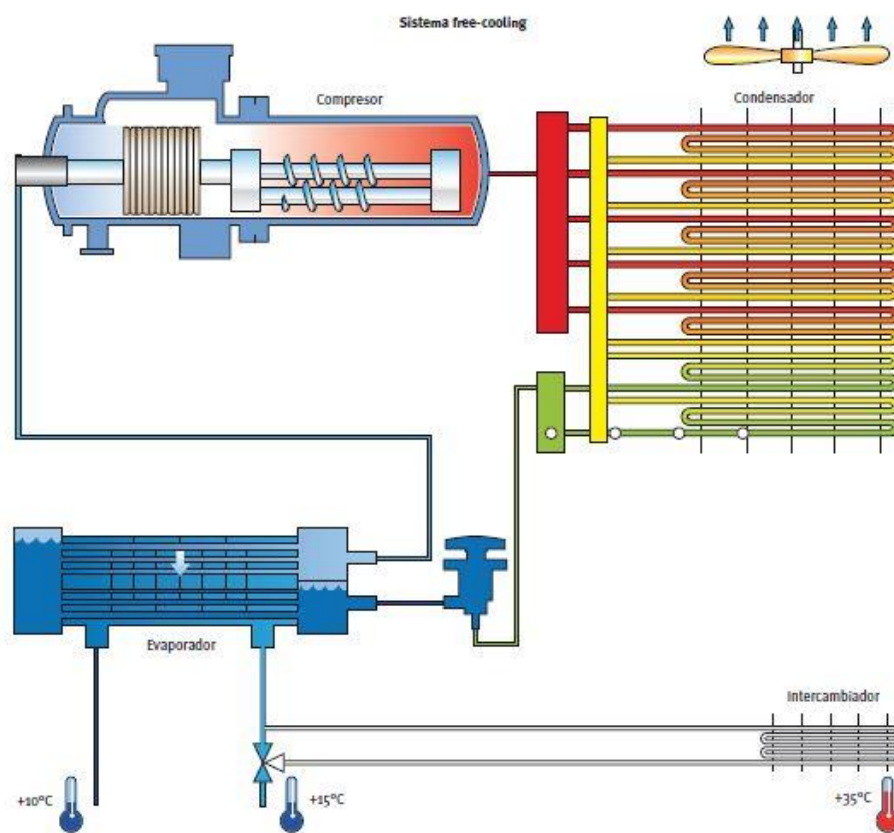
energía eléctrica (máquina frigorífica o bomba de calor). Los resultados dependen en gran medida del tipo de utilización y la zona geográfica, por lo tanto deberían realizarse cada vez que sea necesario con los datos adecuados (*Guía Técnica: Ahorro y recuperación de energía en sistemas de climatización, IDAE, 2012*).

Modos de funcionamiento (figuras 3, 4 y 5).

Modo frío

El sistema actúa como una enfriadora convencional, el agua no pasa por la batería de free-cooling dado que el sistema entiende que no aportaría ningún ahorro energético.

Este modo se produce cuando la temperatura de retorno es inferior a la temperatura exterior.

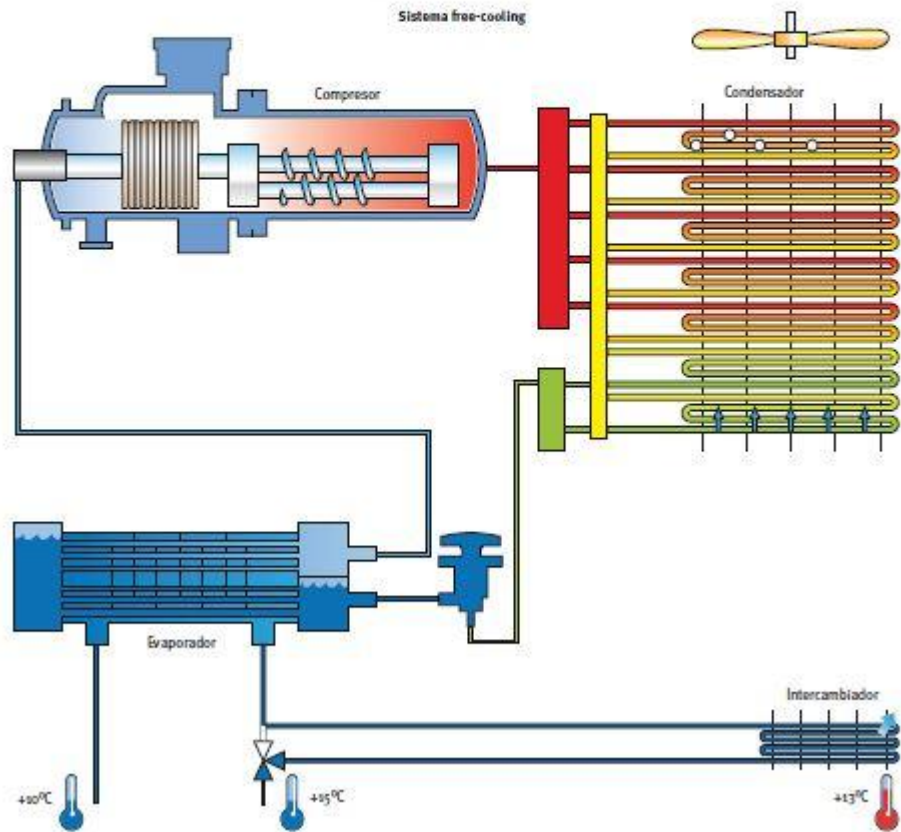


Modo frío + free-cooling

El sistema actúa como una enfriadora convencional con un preenfriamiento del agua antes de la entrada al evaporador, el agua pasa por la batería de free-cooling dado que el sistema entiende que en este caso aporta un ahorro energético.

Este modo se produce cuando la temperatura de retorno es superior a la temperatura exterior, pero la temperatura exterior no es suficientemente baja como para cubrir la carga frigorífica al 100%.

Durante este proceso pueden modular los ventiladores exteriores, la válvula de 3 vías y el control de capacidad del compresor para cubrir con exactitud la demanda y con el máximo ahorro energético.

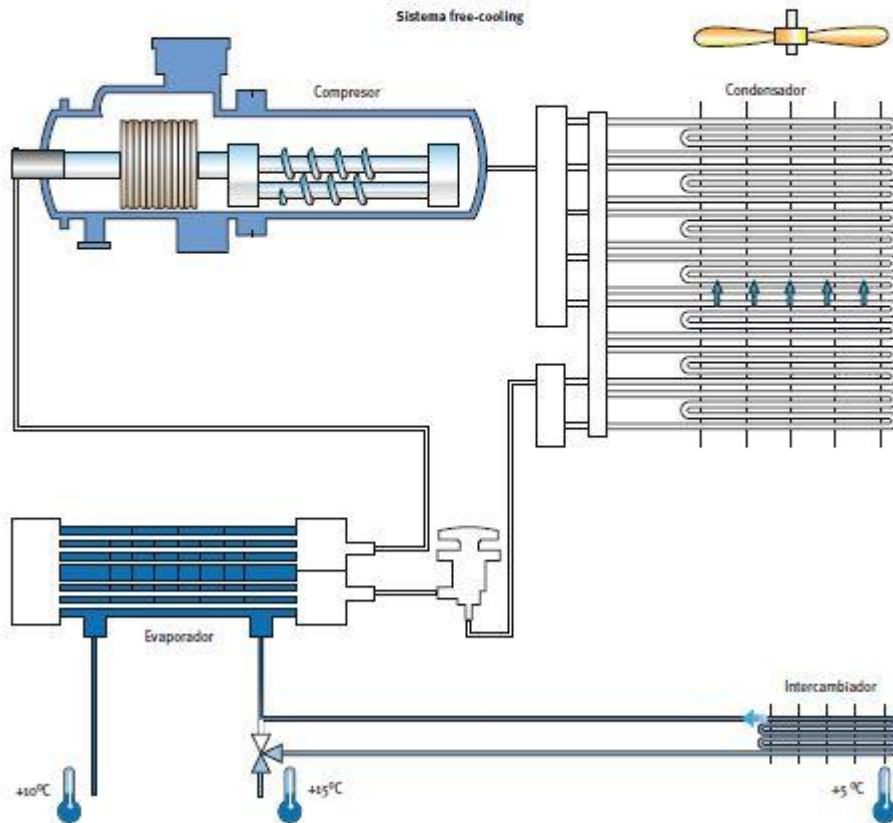


Modo free-cooling

El sistema actúa como un aerotermo, el agua no pasa por el evaporador y solo pasa por la batería de free-cooling, es el momento de máximo ahorro energético dado que los compresores están parados.

Este modo se produce cuando la temperatura de retorno es superior a la temperatura exterior y la temperatura exterior es suficientemente baja como para cubrir la carga frigorífica al 100%.

Durante este proceso pueden modular tanto los ventiladores exteriores como la válvula de 3 vías para cubrir con exactitud la demanda y con el máximo ahorro energético.



Figuras 2, 3 y 4. Modos de funcionamiento enfriamiento gratuito por agua.

- Sistemas de recuperación de energía del aire de extracción.
Dispositivos que permiten la reutilización del calor residual del sistema. En general son intercambiadores de calor más o menos complejos, donde se puede intercambiar calor sensible o calor sensible y latente. Algunos de los más utilizados son: intercambiador de placas, rotativo o de dos baterías con bomba. Se utilizará el recuperador cuando sea necesario utilizar aire exterior y este posea unas características energéticas peores que el aire de retorno. Permiten mantener una adecuada calidad del aire interior sin penalizar energéticamente los sistemas de adecuación higrotérmica del aire impulsado a los locales (*Fundamentos de climatización*, Atecyr).

El RITE, en su Instrucción Técnica 1.2.4.5.2 establece que:

1 En los sistemas de climatización de los edificios en los que el caudal de aire expulsado al exterior, por medios mecánicos, sea superior a $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, se recuperará la energía del aire expulsado.

2 Sobre el lado del aire de extracción se instalará un aparato de enfriamiento adiabático (evaporativo).

3 Las eficiencias mínimas en calor sensible sobre el aire exterior (%) y las pérdidas de presión máximas (Pa) en función del caudal de aire exterior (m^3/s) y de las horas anuales de funcionamiento del sistema deben ser como mínimo las indicadas en la tabla (ver figura 6).

Horas anuales de funcionamiento	Caudal de aire exterior (m^3/s)									
	>0,5...1,5		>1,5...3,0		>3,0...6,0		>6,0...12		>12	
	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa
≤ 2000	40	100	44	120	47	140	55	160	60	180
2000 a 4000	44	140	47	160	52	180	58	200	64	220
4000 a 6000	47	160	50	180	55	200	64	220	70	240
> 6000	50	180	55	200	60	220	70	240	75	260

Figura 5. Eficiencias mínimas en calor sensible sobre el aire exterior (%) y pérdidas de presión máximas (Pa) de los intercambiadores de calor en función del caudal de aire exterior (m^3/s) y de las horas anuales de funcionamiento del sistema (RITE).

1.2 Ahorro en la generación de energía térmica.

El uso de sistemas más eficientes en la generación de energía térmica tiene como consecuencia la mejora del rendimiento de la instalación y por tanto la reducción del consumo.

- Calderas de condensación.

En las calderas de condensación se recupera parte de la energía de la combustión procedente del calor latente del vapor de agua contenido en los humos. Se pueden obtener rendimientos estacionales del más del 100% (sobre PCI). Podemos tener un ahorro potencial de energía de hasta entre un 25 - 35% en espacios calefactados (*neZEH*, *Nearly Zero Energy Hotels*).

- Máquinas frigoríficas y bombas de calor.

Las máquinas frigoríficas y las bombas de calor operan bajo esquemas iguales, mediante el ciclo de compresión de vapor, y consumen energía eléctrica. Las bombas de calor son altamente recomendables para zonas con climas que no sean extremos, pero para otras localizaciones habría que estudiar más a fondo si su uso es la mejor elección, ya que los

rendimientos son variables con las condiciones térmicas ambientales en las que se desarrolla el ciclo.

Con los años, se ha producido una mejora del COP, coeficiente de prestación (Coefficient of performance), de un 39% entre las bombas instaladas en los primeros años de la década de los 90 y las que se instalan actualmente en España. El COP medio del parque de bombas de calor en España se sitúa entre 3 y 4 (García Montes *et al.*, 2016).

- Cogeneración y trigeneración.

Generación conjunta de energía eléctrica y energía térmica útil a partir de un combustible. El aprovechamiento de la energía térmica es lo que hace posible un rendimiento global elevado y un ahorro de energía primaria. El término trigeneración se utiliza para referirse a instalaciones que producen simultáneamente electricidad y energía térmica para calefacción y refrigeración, esta última mediante una máquina de absorción. Otro sistema posible, utilizando una planta de cogeneración, es la utilización de la energía térmica residual para proporcionar calefacción en invierno mediante un sistema centralizado de generación y posterior distribución, y en verano utilizar la energía térmica residual con una máquina de absorción para la refrigeración. Lo que se denomina Calefacción y Refrigeración de Distrito, DHC (District Heating and Cooling) (*Fundamentos de climatización, Atecyr*).

1.3 Ahorro de energía en el control y modos de operación.

Lo más conveniente es establecer una zonificación de los distintos espacios del edificio y disponer de un control tan individualizado como sea posible. Se debe dotar a locales con intermitencia de uso como comedores, salones de actos, etc. de un sistema distinto o subsistema que pueda dejarse inactivo durante las horas en que no debe dar servicio. A la vez, programar modos de funcionamiento según horarios y presencia de personas (“control inteligente”, diferentes modos de operación: habitación ocupada, ausente o desocupada).

Una opción para el control de los diferentes sistemas de climatización de un edificio de forma centralizada y automática es la utilización de un BEMS (Building Energy Management System), “sistema de gestión de la energía del edificio” (ver figura 7). Se trata de un sistema compuesto hardware + software que controla todos los sistemas del edificio (calefacción, refrigeración, ventilación, luz, sistema antiincendios y agua caliente) y cuyos objetivos son:

- Proveer un clima interior agradable y saludable.

- Garantizar la seguridad de los usuarios.
- Reducir los costes de mantenimiento y operación.
- Proveer datos sobre usos y consumo.
- Aportar un sistema centralizado y automático de alarma.
- Asegurar el funcionamiento del edificio.



Figura 6. “Esquema” de un BEMS (neZEH, Nearly Zero Energy Hotels).

Ventajas de la utilización de un sistema BEMS:

- Incremento de la eficiencia energética.
- Mejora condiciones ambientales.
- Mejora de los procedimientos de emergencia.
- Mejora de las funciones y la gestión del edificio.

(neZEH, Nearly Zero Energy Hotels).

1.4 Ahorro de energía en la distribución.

Existen dos aspectos esenciales a tener en cuenta para reducir el consumo en distribución: Minimizar el consumo de los sistemas de impulsión / retorno y minimizar las pérdidas energéticas por aislamiento.

La reducción del consumo de energía eléctrica en bombas y ventiladores viene dada por el tipo de control que haya en la instalación para regular el flujo de agua o aire. Uno de los sistemas más eficaces es la regulación por variación de frecuencia. Supone un aumento en el gasto de inversión pero será amortizado con el ahorro energético que se obtiene en operación.

Variando la frecuencia de la alimentación del motor se modifica la velocidad del mismo y la curva de la bomba ajustándose a las nuevas condiciones de operación y reduciendo el consumo energético (no se introducen pérdidas de carga adicionales) (*Fundamentos de climatización*, Atecyr). Este sistema puede proporcionar un ahorro de hasta un 70% en sistemas “todo aire” (HVAC) (*neZEH, Nearly Zero Energy Hotels*).

1.5 Otras técnicas para el ahorro de energía en sistemas de climatización.

- Enfriamiento evaporativo.

El enfriamiento evaporativo es un proceso de transferencia de calor y masa basado en la conversión del calor sensible en latente. El aire no saturado se enfría, proporcionando el calor sensible que se convertirá en latente para que se produzca la evaporación del agua. Si el proceso ocurre en condiciones adiabáticas la temperatura seca del aire disminuye a medida que su calor sensible se transforma en latente aumentando su humedad.

Es una tecnología altamente eficaz y económica para el ahorro de energía además de ser limpia y segura. Las temperaturas más bajas de enfriamiento de agua aseguran un funcionamiento óptimo del proceso y reducen el consumo de energía.

Estos equipos han experimentado mejoras técnicas en los últimos como el uso de motores de alta eficacia con convertidores de frecuencia que permiten la regulación y el control del funcionamiento del equipo de manera que la necesidad de energía se ajusta exactamente a las necesidades de consumo y mantenimiento.

Un estudio comparativo realizado por el ICAEN (Instituto Català de Energía) concluye que la evolución de las curvas de rendimiento energético indican que, en cualquier potencia, los sistemas de condensación energéticamente más eficientes son los húmedos, seguidos de los híbridos y a gran distancia de los secos (para un consumo dado, las torres de refrigeración disipan aproximadamente cuatro veces más calor que los sistemas secos y el doble que los híbridos) («Climatización eficiente en Complejos hoteleros», junio 2017).

En un caso de estudio en Madrid, en una unidad de tratamiento de aire (UTA) que funciona los meses de verano (mayo, junio, julio, agosto y septiembre) 11 horas de funcionamiento diarias se obtiene una reducción de emisiones de CO₂ de 1,4 kg por cada m³/h de aire circulando por la UTA. En climas secos como los que hay en las zonas del interior peninsular español, el enfriamiento evaporativo directo es una opción altamente

eficiente y ecológica a considerar (*Guía Técnica: Ahorro y recuperación de energía en sistemas de climatización*, IDAE, 2012).

- Aprovechamiento del calor intercambiado en los ciclos frigoríficos:
 - Aprovechamiento del calor de condensación generado en el ciclo frigorífico.
El objetivo de estos sistemas de recuperación es la utilización del calor acumulado por el refrigerante en el ciclo frigorífico, que se disipa en el condensador del equipo, para la producción de agua caliente destinada a diferentes usos: calefacción, ACS, procesos industriales, calentamiento de piscinas...
 - Sistema de recuperación parcial.
Generación de agua caliente mediante la recuperación del calor en la salida del compresor (descarga de gases calientes). La ventaja es que permite la generación de agua caliente a mayor temperatura, requerida en determinadas aplicaciones.

- Transferencia energética entre zonas del edificio.
Existen sistemas de climatización de ciclo de compresión de vapor formados por una o varias unidades exteriores conectadas a varias unidades interiores (sistema multisplit). Las unidades interiores pueden operar de forma autónoma (refrigeración o calefacción) con independencia del resto de unidades. En edificios con demandas de refrigeración anuales, para una misma unidad exterior existen unidades interiores funcionando en refrigeración, mientras que otras lo hacen en modo calefacción, lo que supone una transferencia de energía de unas zonas a otras del edificio. Esto se traduce en un aumento del rendimiento del sistema ya que se aprovecha calor captado en el evaporador y cedido en el condensador simultáneamente.

Con la utilización de estos sistemas se consiguen reducciones en el consumo de energía de calefacción que pueden ser superiores al 20% de la demanda de temporada. A su vez, se consiguen ahorros en las emisiones de CO₂ en el mismo porcentaje (*Guía Técnica: Ahorro y recuperación de energía en sistemas de climatización*, IDAE, 2012).

- Uso de energías renovables.
Es muy recomendable el uso y la integración de las energías renovables en los sistemas de climatización para disminuir la alta dependencia energética de los combustibles fósiles, de

elevado coste económico e impacto ambiental. Además proporcionan “buena publicidad” a un establecimiento hotelero y permiten el desarrollo de tecnologías propias del país.

En edificios, la integración de sistemas de energías renovables más importantes se encuentra en: Sistemas solares fotovoltaicos (producción de energía eléctrica), sistemas solares térmicos activos y pasivos (producción de calor para ACS, calefacción, calentamiento de piscinas y refrigeración solar), biomasa (alternativa al consumo de gas y de otros combustibles sólidos) y sistemas geotérmicos (aprovechamiento de la energía del subsuelo mediante una bomba de calor).

La energía solar térmica es idónea para la producción de agua caliente. Se considera que el porcentaje de cobertura de ACS anual puede llegar a ser aproximadamente del 60% en algunos casos (*Guía Técnica: Ahorro y recuperación de energía en sistemas de climatización*, IDAE, 2012).

Hace unos años se realizó un estudio teórico en establecimientos hoteleros de diversas regiones del sur de Europa (Ática, Grecia; Alpes Marítimos, Francia; Andalucía, España; Madeira, Portugal y Sicilia, Italia) de la implantación de tecnologías de energías renovables (elegidas por los propios establecimientos) para ver la viabilidad técnica y económica de estos sistemas y el cálculo de los años que tardarían en recuperar la inversión con el ahorro energético que generarían. Como resultados más destacables:

- Periodos de retorno de 1,7 años en Grecia para sistemas de energía solar térmica.
- Periodos de retorno de 6 años en España para sistemas de energía solar fotovoltaica.
- Periodos de retorno de entre 3,9 y 4,7 años en Grecia para sistemas geotérmicos con bomba de calor.

(Karagiorgas *et al.*, 2006).

1.6 Impacto ambiental.

Se debe valorar las diferentes alternativas no solo desde el punto de vista económico (consumo) sino que hay que tener en cuenta el aspecto ecológico y el impacto ambiental de nuestro sistema de climatización. Aspectos como la elección del refrigerante, la eficiencia, el consumo, la generación de emisiones contaminantes y el impacto sonoro y estético deben ser tenidos muy en cuenta a la hora de diseñar o renovar una instalación.

1.7 Incertidumbre en la simulación del comportamiento de edificios.

Existen diversos métodos para llevar a cabo el cálculo de la carga punta que puede demandar un edificio. Sin embargo, los datos de entrada con los que se alimentan estos modelos suelen estar afectados por grandes incertidumbres, por lo que es posible obtener resultados muy diferentes según las hipótesis asumidas o el valor de las entradas. Si se describen las entradas inciertas como variables aleatorias y se propaga su incertidumbre a través del modelo podemos obtener la distribución de probabilidad de la carga punta, a partir de la cual puede justificarse con mayor claridad la adopción de un valor particular. Además, es posible realizar un análisis de sensibilidad para identificar los factores que tienen mayor influencia sobre la carga punta.

En un caso de ejemplo de un edificio de oficinas, se ha obtenido un resultado de la carga punta de 102, 85 W/m² (para una frecuencia acumulada del 100%) utilizando distribuciones de probabilidad en los datos de entrada inciertos. De otro modo, utilizando valores fijos (valores más desfavorables) se obtiene una carga de 155,85 W/m². Se observa una gran diferencia en los resultados (un 50%) (Domínguez-Muñoz *et al.*, 2009).

Un mayor reto para las herramientas de simulación es como tratar con dificultades como la gran variedad de parámetros y complejidad de factores (no lineales, incertidumbre). Identificando estas incertidumbres debidas a fenómenos físicos, de diseño y de escenario, que son altamente influyentes, se pueden obtener resultados prácticos y útiles para la toma de decisiones (Hopfe *et al.*, 2011).

Por lo tanto, se hace evidente que en este tipo de procesos y cálculos intervienen gran variedad de parámetros, alta complejidad y grandes incertidumbres. Estas incertidumbres pueden tener un gran impacto en los resultados. Es necesario utilizar distribuciones de probabilidad y análisis estadístico y realizar de esta manera una valoración cuantitativa de las mismas para poder justificar las soluciones adoptadas y actuar de la forma más racional posible.

1.8 Uso de días tipo para la caracterización de la demanda anual.

Modelos de optimización son comúnmente usados para analizar y seleccionar la configuración óptima en sistemas de cogeneración y trigeneración. Debido a la alta variabilidad de la demanda en el sector terciario y residencial (fuertes variaciones diarias y estacionales debido a su dependencia con el clima y la ocupación) se necesitan datos horarios de demanda para

poder realizar un análisis preciso, pero un alto número de horas lleva a tiempos de computación muy largos (gran cantidad de parámetros y soluciones posibles). Para solucionar este problema, la solución más común es reducir los datos de la demanda de un año entero a unos pocos días representativos, días tipo, que reproduzcan adecuadamente la demanda anual (Ortiga *et al.*, 2011).

Algunos autores utilizan 3 días tipo: uno para representar la temporada de invierno, uno para la de verano y otro para entretiempo. También se suelen utilizar 12 días, uno para cada mes del año. Otros autores plantean utilizar entre 24 y 30 días para casos concretos como hoteles y hospitales. Pero no existen guías o directrices para seleccionar un número determinado de días tipo (Ortiga *et al.*, 2011).

Es muy importante también para caracterizar la demanda tener en cuenta la influencia de la ocupación del edificio y los días festivos o periodos de vacaciones (Domínguez-Muñoz *et al.*, 2011).

La elección de más días tipo no implica necesariamente unos mejores resultados. La precisión de la optimización no solo depende del número de días tipo, sino también de la habilidad de esos días de reproducir el año entero de la forma más precisa. La utilización de estos días tipo en la optimización da lugar a unos resultados muy similares a la llevada a cabo con los datos de la demanda del año entero (Ortiga *et al.*, 2011).

1.9 Financiación de proyectos.

Hoy en día podemos encontrar diferentes instrumentos de financiación complementarios o alternativos a la utilización de recursos propios o la banca (préstamos bancarios) para la realización de proyectos de EECN, ahorro energético, energías renovables, etc.

Podemos disponer de instrumentos de financiación como programas de ayudas o subvenciones de ámbito europeo o nacional. En el ámbito nacional, cabe destacar el programa PAREER-CRECE (Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Existentes) para la subvención y financiación de actuaciones en edificios existentes para favorecer el ahorro energético, la mejora de la eficiencia energética, el aprovechamiento de energías renovables y la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (ver figura 7).



Figura 7. Logotipo programa PAREER CRECE (IDAE).

Otra opción interesante es la financiación de este tipo de proyectos mediante un contrato de rendimiento energético, CRE (Energy Performance Contract, EPC). Con este tipo de contrato, “la empresa de servicios energéticos” garantiza los ahorros producidos por el proyecto y asume el riesgo técnico y económico (es ella la que realiza la inversión). De esta forma, la empresa recibe el pago por sus servicios de una parte proporcional de los ahorros generados (si no hay ahorro, no hay pago) y por lo general tiene la obligación de pagar los déficit de ahorro durante la duración del contrato. Durante el período contractual, la ESE es la que gestiona todo el proyecto y al finalizar la instalación se revierte al propietario.

2. TRANSMITANCIAS DE LOS CERRAMIENTOS.

Se detalla la composición y los materiales de los que está compuesto cada elemento y el cálculo de las transmitancias térmicas de los cerramientos.

2.1 Cerramientos opacos.

El cálculo de la transmitancia térmica U (W/m^2K) para los cerramientos opacos viene dado por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Donde R_T es la resistencia térmica total del elemento constructivo (m^2K/W).

La resistencia térmica total de un elemento de construcción compuesto por varias capas se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R_T = R_{si} + R_{se} + \sum R_i$$

Siendo

- R_{si} : Resistencia térmica superficial del aire interior (m^2K/W).
- R_{se} : Resistencia térmica superficial del aire exterior (m^2K/W).

R_{si} y R_{se} serán obtenidos del CTE en función de:

- Posición del cerramiento, ya sea horizontal o vertical.
 - Sentido del flujo de calor, ya sea en dirección horizontal, ascendente o descendente.
- $\sum R_i$: Sumatorio de la resistencia térmica de todos los componentes del elemento constructivo (m^2K/W).

La resistencia térmica de un componente del elemento constructivo se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Siendo

- e : Espesor de la capa de componente constructivo (m).
- λ : Conductividad del componente constructivo según la norma UNE EN ISO 10 456:2001, o tomada de Documentos Reconocidos.

Muro exterior.

Los diferentes componentes del cerramiento se muestran en la tabla 1. Se ha obtenido un valor de transmitancia térmica de $0,778 \text{ W/m}^2\text{K}$.

MURO EXTERIOR				
Capa	Material	Espesor, L (m)	Conductividad, λ (W/mK)	Resistencia térmica, R ($\text{m}^2\text{K/W}$)
Aire exterior				0,040
Capa 1	Enlucido de yeso	0,030	0,300	0,100
Capa 2	Fáb.BH aligerado macizo	0,300	0,316	0,949
Capa 3	Enlucido de yeso	0,020	0,300	0,067
Aire interior				0,130
Total		0,350		1,286
Transmitancia, U ($\text{W/m}^2\text{K}$)		0,778		

Tabla 1. Componentes y transmitancia térmica muro exterior.

Cubierta.

Los diferentes componentes del cerramiento se muestran en la tabla 2. Se ha obtenido un valor de transmitancia térmica de $0,476 \text{ W/m}^2\text{K}$.

CUBIERTA				
Capa	Material	Espesor, L (m)	Conductividad, λ (W/mK)	Resistencia térmica, R ($\text{m}^2\text{K/W}$)
Aire exterior				0,040
Capa 1	Pizarra	0,040	2,200	0,018
Capa 2	Lámina impermeable	0,040	0,150	0,267
Capa 3	Aislante termoacústico EPS	0,050	0,038	1,316
Capa 4	FU entrevigado cerámico	0,250	0,893	0,280
Capa 5	Yeso	0,020	0,250	0,080
Aire interior				0,100
Total		0,400		2,101
Transmitancia, U ($\text{W/m}^2\text{K}$)		0,476		

Tabla 2. Componentes y transmitancia térmica cubierta.

Particiones interiores.

Se incluyen en este apartado cualquier elemento constructivo del edificio que divide su interior en recintos independientes (verticales u horizontales), es decir los muros interiores y los suelos (forjados) entre plantas.

Muro interior.

Se diferencian dos tipologías de muros interiores: los que separan las diferentes habitaciones y los que separan estas del corredor. Los diferentes componentes de ambas tipologías se muestran en las tablas 3 y 4. Se ha obtenido un valor de transmitancia térmica de 0,786 W/m²K y 1,201 W/m²K respectivamente.

MURO INTERIOR Entre habitaciones				
Capa	Material	Espesor, L (m)	Conductividad, λ (W/mK)	Resistencia térmica, R (m ² K/W)
Aire interior				0,130
Capa 1	Enlucido de yeso	0,020	0,300	0,067
Capa 2	Bloque hueco de ladrillo	0,160	0,182	0,879
Capa 3	Enlucido de yeso	0,020	0,300	0,067
Aire interior				0,130
Total		0,200		1,272
Transmitancia, U (W/m²K)		0,786		

MURO INTERIOR Habitaciones - Corredor				
Capa	Material	Espesor, L (m)	Conductividad, λ (W/mK)	Resistencia térmica, R (m ² K/W)
Aire interior				0,130
Capa 1	Enlucido de yeso	0,020	0,300	0,067
Capa 2	Bloque hueco de ladrillo	0,080	0,182	0,440
Capa 3	Enlucido de yeso	0,020	0,300	0,067
Aire interior				0,130
Total		0,120		0,833
Transmitancia, U (W/m²K)		1,201		

Tablas 3 y 4. Componentes y transmitancia térmica muros interiores.

Forjado entre plantas.

Los diferentes componentes del cerramiento se muestran en la tabla 5. Se ha obtenido un valor de transmitancia térmica de 0,561 W/m²K.

FORJADO ENTRE PLANTAS				
Capa	Material	Espesor, L (m)	Conductividad, λ (W/mK)	Resistencia térmica, R (m^2K/W)
Aire interior				0,100
Capa 1	Pavimento (Gneis)	0,020	3,500	0,006
Capa 2	Aislante termoacústico EPS	0,050	0,038	1,316
Capa 3	FU entrevigado cerámico	0,250	0,893	0,280
Capa 4	Yeso	0,020	0,250	0,080
Aire interior				0,100
Total		0,340		1,782
Transmitancia, U (W/m^2K)		0,561		

Tabla 5. Componentes y transmitancia térmica forjado entre plantas.

Elementos en contacto con el terreno.

Forjado sanitario.

Los diferentes componentes del cerramiento se muestran en la tabla 6. Se ha obtenido un valor de transmitancia térmica de $0,39 W/m^2K$.

FORJADO SANITARIO				
Capa	Material	Espesor, L (m)	Conductividad, λ (W/mK)	Resistencia térmica, R (m^2K/W)
Aire interior				0,100
Capa 1	Gres	0,020	1,800	0,011
Capa 2	Lámina impermeable	0,040	0,150	0,267
Capa 3	Solera hormigón armado	0,200	2,300	0,087
Capa 4	Encachado de piedra caliza	0,200	1,700	0,118
Total		0,460		0,482
Transmitancia, U (W/m^2K)		0,390		

Tabla 6. Componentes y transmitancia térmica forjado sanitario.

B'	4,54
área	199,12
perímetro	87,80

B'	0,5 m < z ≤ 1,0 m				1,0 m < z ≤ 2,0 m				2,0 m < z ≤ 3,0 m				z > 3,0 m			
	Rf (m² K/W)				Rf (m² K/W)				Rf (m² K/W)				Rf (m² K/W)			
	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50
1	1,51	1,07	0,84	0,69	1,14	0,88	0,72	0,61	0,78	0,65	0,56	0,49	0,59	0,51	0,46	0,41
2	1,09	0,82	0,67	0,57	0,87	0,70	0,59	0,51	0,63	0,54	0,47	0,42	0,50	0,44	0,40	0,36
3	0,87	0,68	0,57	0,49	0,71	0,59	0,50	0,44	0,53	0,47	0,41	0,37	0,43	0,39	0,35	0,32
4	0,74	0,59	0,49	0,43	0,61	0,51	0,44	0,39	0,47	0,41	0,37	0,34	0,39	0,35	0,32	0,29
5	0,64	0,52	0,44	0,39	0,54	0,45	0,40	0,36	0,42	0,37	0,34	0,31	0,35	0,32	0,29	0,27
6	0,57	0,46	0,40	0,35	0,48	0,41	0,36	0,33	0,38	0,34	0,31	0,28	0,32	0,29	0,27	0,25
7	0,52	0,42	0,37	0,33	0,44	0,38	0,33	0,30	0,35	0,31	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,24
8	0,47	0,39	0,34	0,30	0,40	0,35	0,31	0,28	0,33	0,29	0,27	0,25	0,28	0,26	0,24	0,22
9	0,43	0,36	0,32	0,28	0,37	0,32	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,23	0,26	0,24	0,22	0,21
10	0,40	0,34	0,30	0,27	0,35	0,30	0,27	0,25	0,29	0,26	0,24	0,22	0,25	0,23	0,21	0,20
12	0,36	0,30	0,27	0,24	0,31	0,27	0,24	0,22	0,26	0,23	0,21	0,20	0,22	0,21	0,19	0,18
14	0,32	0,27	0,24	0,22	0,28	0,25	0,22	0,20	0,23	0,21	0,20	0,18	0,20	0,19	0,18	0,17
16	0,29	0,25	0,22	0,20	0,25	0,23	0,20	0,19	0,21	0,20	0,18	0,17	0,19	0,17	0,16	0,16
18	0,26	0,23	0,20	0,19	0,23	0,21	0,19	0,18	0,20	0,18	0,17	0,16	0,17	0,16	0,15	0,15
≥20	0,24	0,21	0,19	0,17	0,22	0,19	0,18	0,16	0,18	0,17	0,16	0,15	0,16	0,15	0,14	0,14

Tablas 7 y 8. Cálculo de la transmitancia térmica para solera según el APARTADO 2.1.2.1 CASO 2 del DA DB HE1-CTE.

Muro exterior subterráneo.

Los diferentes componentes del cerramiento se muestran en la tabla 9. Se ha obtenido un valor de transmitancia térmica de 0,346 W/m²K.

MURO EXTERIOR Subterráneo				
Capa	Material	Espesor, L (m)	Conductividad, λ (W/mK)	Resistencia térmica, R (m²K/W)
Capa 1	Enlucido de yeso	0,030	0,300	0,100
Capa 2	Aislante termoacústico EPS	0,050	0,038	1,316
Capa 3	Muro de hormigón armado	0,380	2,500	0,152
Capa 4	Lámina impermeable	0,040	0,150	0,267
Total		0,500		1,834
Transmitancia, U (W/m²K)		0,346		

Tabla 9. Componentes y transmitancia térmica muro exterior subterráneo.

Rm (m² K/W)	Profundidad z de la parte enterrada del muro (m)					
	0,5	1	2	3	4	≥ 6
0,00	3,05	2,20	1,48	1,15	0,95	0,71
0,10	2,29	1,74	1,22	0,97	0,81	0,62
0,20	1,84	1,45	1,06	0,85	0,72	0,56
0,30	1,55	1,25	0,93	0,78	0,65	0,51
0,40	1,33	1,10	0,84	0,69	0,60	0,47
0,50	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44
0,60	1,05	0,90	0,71	0,59	0,52	0,42
0,70	0,95	0,82	0,66	0,56	0,49	0,39
0,80	0,87	0,76	0,61	0,52	0,46	0,38
0,90	0,80	0,70	0,58	0,49	0,44	0,36
1,00	0,74	0,65	0,54	0,47	0,42	0,34
1,10	0,69	0,61	0,51	0,45	0,40	0,33
1,20	0,64	0,58	0,49	0,42	0,38	0,32
1,30	0,60	0,55	0,46	0,41	0,36	0,30
1,40	0,57	0,52	0,44	0,39	0,35	0,29
1,50	0,54	0,49	0,42	0,37	0,34	0,28
1,60	0,51	0,47	0,40	0,36	0,32	0,28
1,70	0,49	0,45	0,39	0,35	0,31	0,27
1,80	0,46	0,43	0,37	0,33	0,30	0,26
1,90	0,44	0,41	0,36	0,32	0,29	0,25
2,00	0,42	0,39	0,35	0,31	0,28	0,24

Tabla 10. Cálculo de la transmitancia térmica para muro enterrado según el APARTADO 2.1.2.2 del DA DB HE1-CTE.

Muro interior subterráneo.

Los diferentes componentes del cerramiento se muestran en la tabla 11. Se ha obtenido un valor de transmitancia térmica de 0,57 W/m²K.

MURO INTERIOR Subterráneo				
Capa	Material	Espesor, L (m)	Conductividad, λ (W/mK)	Resistencia térmica, R (m²K/W)
Aire interior				0,130
Capa 1	Enlucido de yeso	0,030	0,300	0,100
Capa 2	Fáb.BH aligerado macizo	0,200	0,316	0,633
Capa 3	Mortero de cemento	0,020	0,700	0,029
Capa 4	Fáb.BH aligerado macizo	0,200	0,316	0,633
Capa 5	Enlucido de yeso	0,030	0,300	0,100
Aire interior				0,130
Total		0,480		1,754
Transmitancia, U (W/m²K)		0,570		

Tabla 11. Componentes y transmitancia térmica muro interior subterráneo.

Resumen.

Transmitancias, U (W/m ² K)	
Muro exterior	0,778
Muro interior hab-cor	1,201
Muro interior hab-hab	0,786
Forjado entre plantas	0,561
Cubierta	0,476
Muro exterior sub	0,346
Muro interior sub	0,570
Forjado sanitario	0,390

Tabla 12. Resumen transmitancias cerramientos opacos.

2.2 Cerramientos huecos.

Encontramos aberturas (ventanas y puertas) de diferentes dimensiones en las fachadas norte y sur. Están compuestas de un vidrio simple 20 mm de espesor y marcos de madera blancos.

Para el cálculo de la transmitancia térmica de los huecos del edificio se utiliza la siguiente expresión:

$$U_H = (1 - FM) \cdot U_V + FM \cdot U_M$$

Siendo

- U_V : Transmitancia térmica de la parte semitransparente.
- U_M : Transmitancia térmica del marco.
- FM : Fracción del hueco ocupada por el marco (para marcos de madera = 0,15).

A continuación se muestran los resultados obtenidos (ver tabla 13).

Tipo	Área (m ²)	Acristalamiento	Material marco	Umarco (W/m ² K)	Uvidrio (W/m ² K)	FM	Uhueco (W/m ² K)
V1	1,89	vidrio simple 20 mm	madera	2,2	5,263	0,15	4,804
V2	3,78	vidrio simple 20 mm	madera	2,2	5,263	0,15	4,804
V3	1,54	vidrio simple 20 mm	madera	2,2	5,263	0,15	4,804
P1	1,44	madera	madera	2,2	2,200	1	2,200
P2	3,4	vidrio simple 20 mm	madera	2,2	5,263	0,15	4,804
P3	2,2	madera	madera	2,2	2,200	1	2,200

Tabla 13. Transmitancias térmicas huecos.

Tipo de persiana	Tipo de acristalamiento			
	Simple	Doble	Triple	Doble bajo emisivo
Persiana enrollable de aluminio	0,59	0,74	0,81	0,84
Persiana enrollable de plástico sin relleno aislante	0,52	0,68	0,76	0,8
Persiana enrollable de plástico con relleno aislante	0,48	0,64	0,72	0,77
Persiana enrollable de madera	0,52	0,68	0,76	0,8
Persianas de madera de 25 a 30 mm de espesor	0,44	0,6	0,69	0,74

Tabla 14. Reducción de la transmitancia térmica dependiendo de los accesorios de los huecos.
 Norma CEN prEN 10077 – 1. Valor multiplicativo $f_{u,acc}$ (*Fundamentos de climatización, Atecyr*).

Factor solar modificado

El factor solar modificado en el hueco FH se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$F_H = (1 - F_M) \cdot g_L + F_M \cdot 0,04 \cdot U_M \cdot \alpha$$

Siendo

- F_M : Fracción del hueco ocupada por el marco, que es 0,15.
- g_L : Factor solar de la parte semitransparente del hueco = 0,85 W/m²K.
- U_M : Transmitancia térmica del marco del hueco o lucernario, con un valor de 2,2 W/m²K.
- α : Absortividad del marco. Obtenida de la tabla 11 del DA DB HE1 – CTE (tabla 15), en función de su color, que en el proyecto es blanco con un tono medio, por lo que la absortividad tendrá un valor de 0,3.

Tabla 11 Absortividad del marco para radiación solar α

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	-
Negro	-	0,96	-

12 de 19

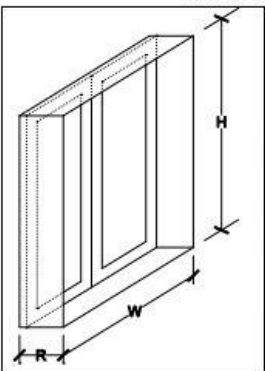
Tabla 15. Absortividad del marco (*Tabla 11 del DA DB HE1-CTE*).

Tipo	Material marco	Umarco (W/m ² K)	FM	α	Uhueco (W/m ² K)	g (W/m ² K)	FH
V1	madera	2,2	0,15	0,3	4,804	0,85	0,726
V2	madera	2,2	0,15	0,3	4,804	0,85	0,726
V3	madera	2,2	0,15	0,3	4,804	0,85	0,726

Tabla 16. Factor solar.

Para el cálculo posterior de las cargas térmicas es necesario también el factor de sombra de los huecos, Fs. Se obtiene de la tabla 13 del DA DB HE1 - CTE (tabla 17) ya que nuestro obstáculo de fachada para las ventanas del edificio sólo es el retranqueo.

Tabla 13 Factor de sombra para obstáculos de fachada: Retranqueo



		0,05 < RW ≤ 0,1	0,1 < RW ≤ 0,2	0,2 < RW ≤ 0,5	RW > 0,5
S	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,82	0,74	0,62	0,39
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,76	0,67	0,56	0,35
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,56	0,51	0,39	0,27
	RH > 0,5	0,35	0,32	0,27	0,17
SE/SO	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,86	0,81	0,72	0,51
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,79	0,74	0,66	0,47
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,59	0,56	0,47	0,36
	RH > 0,5	0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,91	0,87	0,81	0,65
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,86	0,82	0,76	0,61
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,71	0,68	0,61	0,51
	RH > 0,5	0,53	0,51	0,48	0,39

Tabla 17. Factor de sombra (Tabla 13 del DA DB HE1-CTE).

Para calcular el factor de sombra, primero calcularemos los valores de RW Y RH para los tipos de cerramientos que tenemos en el proyecto, teniendo un retranqueo de 20 cm (ver tablas 18, 19, 20 y 21).

Retranqueo (m)	Tipo	Dimensiones (m)	R/W	R/H
0,2	V1	1,4x1,35	0,14	0,15
0,2	V2	1,8x2,1	0,11	0,10
0,2	V3	1,4x1,1	0,14	0,18

Tabla 18. Cálculo de R/W y R/H.

V1	FS
S	0,67
SE	0,74
E	0,82
SO	0,74
O	0,82
RESTO	1

V2	FS
S	0,74
SE	0,81
E	0,87
SO	0,81
O	0,87
RESTO	1

V3	FS
S	0,67
SE	0,74
E	0,82
SO	0,74
O	0,82
RESTO	1

Tablas 19, 20 y 21. Factor de sombra para las diferentes orientaciones y tipologías de ventana.

3. CARGAS TÉRMICAS.

3.1 Condiciones exteriores.

Para el cálculo de las cargas térmicas se requiere el establecimiento de las condiciones interiores y exteriores de proyecto. Las condiciones exteriores dependen de la zona climática en que se encuentre el edificio y las interiores se fijarán para garantizar el confort del usuario con el mínimo consumo energético posible.

Las condiciones exteriores han sido obtenidas del Libro *Fundamentos de climatización*, de Atecyr". Los datos proporcionados para la ciudad de Huesca son los siguientes (ver tabla 22).

Provincia		Condiciones proyecto calefacción				
		TS_99,6 (°C)	TS_99 (°C)	OMDC (°C)	Hum.C (%)	OMA (°C)
Huesca	Huesca Monflorite	-4,3	-2,5	9,3	86,3	39,3

Condiciones proyecto refrigeración					
Tmedia (°C)	TS_0,4 (°C)	THC_04 (°C)	TS_1 (°C)	THC_1 (°C)	OMDR (°C)
13,8	35	22,2	33,4	21,5	16,1

Tabla 22. Condiciones exteriores de proyecto (*Fundamentos de climatización*, Atecyr).

Siendo

- Ts_99,6: Temperatura seca (°C) con un nivel percentil del 99,6%. Se define temperatura de proyecto con un nivel percentil X% como la temperatura que es sobrepasada un X% de las horas anuales en una localidad.
- Ts_99: Temperatura seca (°C) con un nivel percentil del 99%.
- OMDC: Oscilación media diaria (°C) de los días en los que alguna de sus horas está dentro del nivel percentil del 99%.
- Hum.C: Humedad relativa media coincidente (%).
- OMA: Oscilación máxima anual de temperatura seca (°C). Se define como la diferencia de la temperatura seca con un nivel percentil del 0,4% respecto a la temperatura seca con un 99,6%.
- T.media: Temperatura seca media anual (°C).

- $T_{s_0,4}$: Temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 0,4%.
- $THC_{0,4}$: Temperatura húmeda coincidente (°C) en el mismo instante en que se tiene una temperatura seca con el nivel percentil 0,4%.
- T_{s_1} : Temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 1%.
- THC_{1} : Temperatura húmeda coincidente (°C) en el mismo instante en que se tiene una temperatura seca con el nivel percentil 1%.
- OMDR: Oscilación media diaria (°C) de los días en los que alguna de sus horas está dentro del nivel percentil del 1%.

Las cargas térmicas se calcularán para el día y hora más desfavorable:

- Verano: Julio, 15:00h, despejado.
- Invierno: Enero, nublado.

Sobre los datos de referencia tomados se llevarán a cabo las correcciones pertinentes, según el Libro *Fundamentos de Climatización* de Atecyr.

Temperatura seca.

Para estimar la temperatura seca en Jaca se usarán las siguientes correcciones:

- Temperatura seca en invierno.

$$T_{s,} = T_{s_99\%} + \Delta T_{s,} + \Delta T_{s,}$$

La temperatura seca de proyecto en invierno en Jaca con un nivel percentil del 99,6% será:

$$T_{s_99\%} = -2,5; \Delta T_{s,} = 2; \Delta T_{s,} = -2,55; T_{s,} = -3,05^{\circ}C$$

- Temperatura seca en verano.

$$T_{s,} = T_{s_1\%} + \Delta T_{s,} + \Delta T_{s,} + \Delta T_{s, \text{hora}} + \Delta T_{s, \text{mes}}$$

La temperatura seca de proyecto en verano en Jaca con un nivel percentil del 1% será:

$$T_{s_1\%} = 33,4; \Delta T_{s,} = 2; \Delta T_{s,} = -2,55; \Delta T_{s, \text{hora}} = \Delta T_{s, \text{mes}} = 0; T_{s, \text{proyecto}} = 32,85^{\circ}C$$

Temperatura húmeda.

En refrigeración los valores de proyecto son temperatura seca y temperatura húmeda coincidente.

La temperatura húmeda de proyecto en la hora y mes fijados en el caso de refrigeración es:

$$T_{h,} = T_{HC_1\%} - \Delta T_{h,hora} - \Delta T_{h,mes}$$

$$T_{HC_1\%} = 21,5; \Delta T_{h,hora} = \Delta T_{h,mes} = 0; T_{h,proyecto} = 21,5$$

Humedad relativa.

En calefacción los valores de proyecto son temperatura seca y humedad relativa. Respecto a este último parámetro no se especifica ninguna corrección por lo que su valor será:

$$Hum.C = 86,3\%$$

3.2 Condiciones interiores.

Según el RITE en una de sus últimas actualizaciones (RD 1826 11-12-2009), los valores de temperatura operativa y de humedad relativa interiores deben estar comprendidos entre los siguientes límites (ver tabla 23).

	Temperatura operativa (°C)	Humedad relativa (%)
Verano	≥26	30...70
Invierno	≤21	30...70

Tabla 23. Condiciones interiores de proyecto (RITE).

Se han seleccionado unas temperaturas interiores de 26°C para verano y de 21°C para invierno y una humedad relativa del 50% para ambos casos.

3.3 Metodología de cálculo de cargas.

A continuación se detalla el método seguido para el cálculo de las cargas térmicas que afectan al edificio siguiendo los procedimientos del “Capítulo 6. Cargas térmicas” del Libro *Fundamentos de Climatización* de Atecyr.

Para el cálculo de las cargas térmicas de calefacción se han despreciado las cargas interiores y las de radiación para situarnos en la situación más desfavorable. Además se han despreciado también las cargas latentes.

Cargas exteriores.

- Cargas por transmisión.

La transferencia de calor por las superficies del edificio en contacto con el exterior o con locales no climatizados, ya sean cerramientos opacos o semitransparentes, constituirá una carga sensible y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_{carga} = U \cdot A \cdot \Delta T_{carga}$$

Siendo

- Q_{carga} : Calor intercambiado por transmisión (W).
- U : Coeficiente global de transmisión de calor de la superficie.
- A : Área de la superficie (m²).
- ΔT_{carga} : Incremento de temperaturas (°C o K) ("Fundamentos de Climatización de Atecyr", Tablas 6.14, 6.15).

Para el cálculo de cargas por transmisión en cerramientos semitransparentes en contacto con el exterior se utilizará la siguiente expresión:

$$Q_{carga,hueco,cond} = A_H \cdot U_H \cdot f_{U,acc} \cdot (T_{s,ext} - T_{s,int})$$

Siendo

- $f_{U,acc}$: valor multiplicativo reductor de transmitancia dependiendo de los accesorios de los huecos ("Fundamentos de Climatización de Atecyr", Tabla 6.18).

Para el cálculo de las cargas por transmisión en cerramientos que están en contacto con espacios no climatizados se ha tomado como temperatura práctica una temperatura intermedia entre la del local y la exterior, según la siguiente expresión:

$$Q_{carga,trans} = U \cdot A \cdot \left(\frac{T_{ext} + T_{int}}{2} - T_{int} \right)$$

Y para el cálculo de muros y suelos enterrados se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = L_s \cdot (T_{s,ext,media} - T_{s,int,media}) + L_{pe} \cdot (T_{s,ext,mes} - T_{s,int,media})$$

Siendo

- $T_{s,ext,media}$: Temperatura media interior anual (°C). En general se asume 22,5°C.
- $T_{s,int,media}$: Temperatura media exterior anual (°C).

- $T_{s,,mes}$: Temperatura media exterior de ese mes (°C).
- L_s : Coeficiente de acoplamiento térmico en régimen estacionario (W/K). Calculado a partir de las ecuaciones 6.31 y 6.33 del libro "Fundamentos de Climatización de Atecyr".
- L_{pe} : Coeficiente de acoplamiento térmico periódico exterior (W/K). Calculado a partir de las ecuaciones 6.32 y 6.34 del libro "Fundamentos de Climatización de Atecyr".

Para el cálculo de los puentes térmicos se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_{puente} = L_{puente} \cdot U \cdot (T_{s,ext} - T_{s,int})$$

Siendo

- U : Coeficiente de transferencia de calor lineal del puente térmico. Sin aislamiento en los encuentros $U=0,4$ W/mK.
 - L_{puente} : Longitud del puente térmico (m).
- Cargas por radiación.

Las cargas sensibles por radiación a través de las superficies acristaladas para cada orientación se calcularán según la siguiente expresión:

$$Q_{carga,} = AH \cdot FH \cdot (F_s \cdot Q_{carga,Norte} + (1 - F_s) \cdot Q_{carga,Orient})$$

Siendo

- $Q_{carga,}$: Calor intercambiado por radiación (kW).
- AH : Área de la superficie acristalada (m²).
- F_s : Factor de sombra.
- FH : Factor solar modificado del acristalamiento.
- $Q_{carga, Norte}$: Se obtiene de las tablas 6.21 y 6.22 del libro *Fundamentos de Climatización* de Atecyr.
- $Q_{carga, Orient}$: Se obtiene de las tablas 6.21 y 6.22 del libro *Fundamentos de Climatización* de Atecyr.

- Cargas por ventilación.

En los locales es necesario renovar o reponer el aire sucio o contaminado por aire limpio exterior para mantener las condiciones de calidad del aire. Este aire exterior se encuentra en condiciones diferentes que el aire interior por lo que habrá que tratarlo en las climatizadoras, lo que supondrá una carga sensible y latente.

El libro *Fundamentos de Climatización* de Atecyr nos proporciona las siguientes ecuaciones aproximadas para el cálculo de la carga sensible y latente de ventilación:

$$Q_{vent,s} \cong 1200 V_{vent} (T_{s,vent} - T_{s,int})$$

$$Q_{vent,l} \cong 3002400 V_{vent} (W_{vent} - W_{int})$$

Siendo

- V_{vent} : Caudal de aire de ventilación (m^3/s).
- $T_{s,vent}$: Temperatura seca del aire de ventilación ($^{\circ}C$).
- $T_{s,int}$: Temperatura seca del aire interior ($^{\circ}C$).
- W_{vent} : Humedad específica del aire de ventilación ($^{\circ}C$).
- W_{int} : Humedad específica del aire interior ($^{\circ}C$).

Las condiciones del aire de ventilación son las exteriores.

Cargas interiores.

- Cargas por ocupantes.

La cantidad de calor cedido por el cuerpo humano genera un aporte de ganancia latente y sensible. El cálculo estimativo de estas cargas se realiza mediante las siguientes ecuaciones.

$$Q_{carga,lat} = N \cdot G_{lat}$$

$$Q_{carga,sens} = N \cdot G_{sens}$$

Siendo

- N : Número de ocupantes en el local.
- G : Valores de ganancia latente y sensible. Obtenidos de las tabla 6.32 del libro *Fundamentos de Climatización de Atecyr*.

- Cargas por iluminación.

La iluminación genera energía térmica que produce una carga sensible en los locales.

Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{carga,sens,ilum} = f_{sim} \cdot P_{ilum}$$

Siendo

- $Q_{c,,}$: Calor intercambiado debido a la iluminación (kW).
- f_{sim} : Factor de simultaneidad considerado, ya que la máxima carga se producirá en momentos de máxima radiación solar cuando la iluminación es prescindible.
- P_{ilum} : Potencia de iluminación (W).

Para el cálculo de la potencia de iluminación se utilizan ratios (tabla 6.35, *Fundamentos de Climatización* de Atecyr) debido a que no se conoce la iluminación existente.

- Cargas por equipamiento.

Los equipos o máquinas eléctricas instaladas disipan parte de su potencia consumida en forma de calor constituyendo una carga. Esta puede ser sensible o sensible y latente.

Se toman valores de la tabla 6.36 del libro *Fundamentos de Climatización* de Atecyr.

- Cargas debidas a la propia instalación.

Debido al funcionamiento de equipos y máquinas de la propia instalación de climatización se produce una carga sensible. Éste es un valor que debemos estimar "a priori". Por lo tanto se supone:

$$Q_{sens,p,inst} = 0,06 \sum_{cargas} Q_{sens}$$

- Carga de mayoración.

Se incluirá una carga de mayoración sensible y latente que nos garantice un margen extra de seguridad. Se deberá aumentar el cálculo total en un 4%.

3.4 Cálculo de cargas térmicas.

Los locales a climatizar del edificio son: las habitaciones y el corredor de las diferentes plantas y la lavandería y el corredor del sótano.

A continuación se muestra la ficha de cargas térmica de refrigeración y calefacción de una habitación (ver tablas 24 y 25). Para el resto de habitaciones y de espacios se ha realizado de forma similar.

Cargas de refrigeración

Recinto	Habitación 1 (P5 esquina)	Área (m²)	18,54						
Condiciones de proyecto									
Internas		Externas							
Temperatura seca (°C)	26	Temperatura exterior (°C)	32,85						
Humedad relativa (%)	50	Temperatura húmeda (°C)	21,5						
Cargas de REFRIGERACIÓN a las 15 horas el día 1 de julio.									
Transmisión de calor conducción-convección:									
$\Delta T_{\text{omd}} (^{\circ}\text{C}) = -2,4; \Delta T_{\text{ext}} (^{\circ}\text{C}) = 3,65; \Delta T_{\text{int}} (^{\circ}\text{C}) = -1$									
Cerram. est. opacos	Sup. (m2)	U (W/m² °C)	Orientación	Δt carga (°C)			Δt occor (°C)		
Fachada exterior	15,26	0,778	O	3,1			3,35		
Fachada exterior	7,7	0,778	S	3,4			3,65		
Cubierta	18,54	0,476	N 30°	6,8			7,05		
Cerram. est. Semitr	Sup. (m2)	UH,V (W/m² °C)	UH,M (W/m² °C)	FM (%)	Uhueco	fUacc	Δts, est-int (°C)		
V3	1,54	5,263	2,2	0,15	4,804	0,52	6,85		
Cerram. con otros locales	Sup. (m2)	U (W/m² °C)		T local adj (°C)		Δt carga (°C)			
Suelo en contac. con el terreno	Sup. (m2)	Perímetro (m)	Cond.	Ls	Δts, est-int me (°C)		Lps	Δts, est-int me (°C)	
Puentes térmicos	L (m)		U' (W/m °C)			Δts, est-int (°C)			
Forjado, esquinas, ventana	30,7		0,4			6,85			
Transmisión de calor por radiación:									
Huecos exteriores	Sup. (m2)	Orientación	fFace	F. sombra	FSh	Q orient es	Q orient ss		
V3	1,54	S	0,05	0,67	0,73	209	235		
Occupantes	Nº personas		G lat (W/per)		G sens (W/per)				
Sentado reposo	2		31		71				
Iluminación	Sup. (m2)	I sin	Ratio (W/m²)		Potencia (W)				
Fluorescente	18,54	0,3	5		92,7				
Equipos	Número de equipos		Ratio (W/equipo)						
Televisión	1		100						
Ventilación	Nº personas	IDA	m³/h per		m³/s				
	2	2	45		0,025				
Carga total							75	206	
							137	867	
							1004		
Cargas de la propia instalación							6% carga sensible		
							137	919	
Mayoración de cargas							4% cargas		
							5	37	
							143	956	
POTENCIA TÉRMICA TOTAL (W)							1059		

Tabla 24. Cálculo de cargas térmicas de refrigeración de una habitación.

Cargas de calefacción

Recinto	Habitación 1 (P5 esquina)		Área (m²)	18,54				
Condiciones de proyecto								
Internas			Externas					
Temperatura seca (°C)	21		Temperatura exterior (°C)		-3,05			
Humedad relativa (%)	50		Humedad relativa (%)		86,3			
Cargas de calefacción								Carga sensible
Transmisión de calor conducción-convección:								
Cerram. ext. opacos	Sup. (m2)	U (W/m² °C)	Orientación		Δt carga (°C)			
Fachada exterior	15,26	0,778	O		-24,05			
Fachada exterior	7,7	0,778	S		-24,05			
Cubierta	18,54	0,476	N 30°		-24,05			
Cerram. ext. Semitr	Sup. (m2)	UH,Y (W/m² °C)	UH,M (W/m² °C)	FM (%)	Uhueco (W/m2K)	fUacc	Δts, ext-int (°C)	
V3	1,54	5,263	2,2	0,15	4,804	0,52	-24,05	
Cerram. con otros locales	Sup. (m2)	U (W/m² °C)	T local adj (°C)		Δt carga (°C)			
Suelo en contac. con el terreno	Sup. (m2)	Perímetro (m)	Cond.	Ls	Δts, ext-int me (°C)	Lps	Δts, ext m-ext me (°C)	
Puentes térmicos	L (m)		U' (W/m °C)		Δts, ext-int (°C)			
Forjados, esquinas, ventanas	30,7		0,4		-24,05			
Ventilación								
Nº personas	IDA	m³/h per		m³/s				
2	2	45		0,025				
Carga total								-1811
Mayoración de cargas								4% cargas
								-72
								-1883
POTENCIA TÉRMICA TOTAL (W)								-1883

Tabla 25. Cálculo de cargas térmicas de calefacción de una habitación.

3.5 Factores que influyen en la demanda.

Se han evaluado diversos factores que pueden influir en la demanda térmica del edificio así como posibles incertidumbres en datos utilizados para el cálculo para ver la influencia de estos en el resultado y poder establecer un rango de valores “más realistas”.

Variación de la demanda con la temperatura interior.

Verano	
Temperatura interior	Refrigeración (kW)
27	111
26	116
25	122
24	127
23	132

Invierno	
Temperatura interior	Calefacción (kW)
20	139
21	145
22	151
23	157

Tablas 26 y 27. Variación de la demanda térmica con la temperatura interior del edificio.

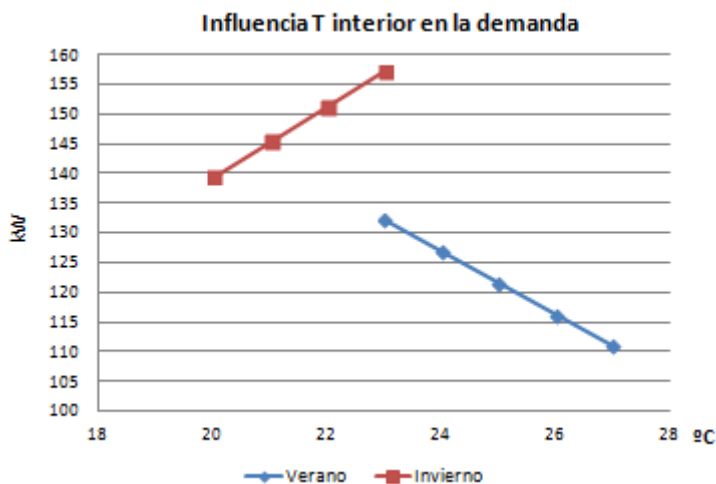


Figura 8. Variación de la demanda térmica con la Temperatura interior del edificio.

Verano: (ver tabla 26 y figura 8) por cada grado que disminuye la Tint aumenta un **4,5%** la demanda de refrigeración.

Invierno: (ver tabla 27 y figura 9) por cada grado que aumenta la Tint aumenta un **4%** la demanda de calefacción.

Variación de la demanda con la temperatura exterior.

Verano	
Temperatura exterior	Refrigeración (kW)
37	138
35	128
33	116
31	106
29	96

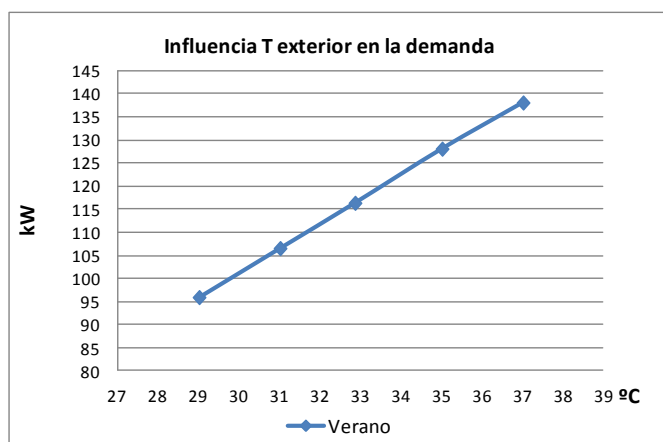


Tabla 28 y Figura 9. Variación de la demanda térmica de refrigeración con la Temperatura exterior.

Verano: (ver tabla 28 y figura 9) por cada 2 grados que aumenta la Text aumenta un **9%** la demanda de refrigeración. Este es un dato muy a tener en cuenta debido a la tendencia climática actual. Cada año las temperaturas son más altas y tenemos veranos más calurosos.

Invierno	
Temperatura exterior	Calefacción (kW)
-5	157
-4	151
-3	145
-2	139
-1	133

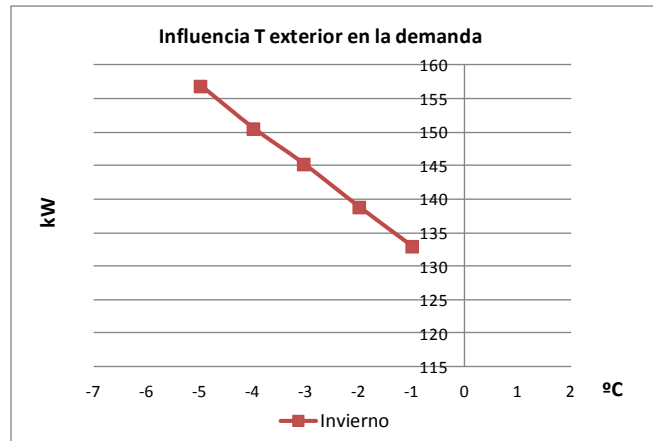


Tabla 29 y Figura 10. Variación de la demanda térmica de calefacción con la Temperatura exterior.

Invierno: (ver tabla 29 y figura 10) por cada grado que disminuye la T_{ext} aumenta un **5%** la demanda de calefacción.

Variación de la demanda con la ocupación del edificio.

Se ha calculado la demanda térmica máxima para una ocupación del 100, 75 y 50% para ver la importancia de este factor en los resultados. Se prevé que la máxima ocupación (100% o cercana a este porcentaje) se dé en los meses de invierno coincidiendo con la temporada de esquí.

También se ha realizado el cálculo considerando la posibilidad que en un porcentaje de las habitaciones del edificio puedan alojarse 3 personas en vez de 2.

	Ocupantes	
	Refrigeración (kW)	Calefacción (kW)
hab. 2		
100%	116	145
75%	98	122
50%	80	99
hab. 3		
100%	130	153
75%	109	129
50%	89	106

Tabla 30. Variación de la demanda térmica según la ocupación del edificio.

Se obtienen unas diferencias entre la ocupación “estándar” y con la mitad de las habitaciones siendo de 3 personas de un **11%** para refrigeración y de un **5%** para calefacción (ver tabla 30).

Incertidumbre en los valores de las transmitancias térmicas de los cerramientos.

Es posible que haya cierta incertidumbre en los datos utilizados para el cálculo de las transmitancias del edificio (conductividad térmica de los materiales) que puede afectar al cálculo de la demanda térmica. Tomando de ejemplo los datos utilizados en el artículo *Cálculo bajo incertidumbre de la carga punta de refrigeración de un edificio* (Domínguez-Muñoz et al., 2009) (tablas 31 y 32) se han realizado los siguientes cálculos.

Conductividad térmica del poliuretano (W/mK)

Caso base	0,024	Diferencia (%)
Mínimo	0,0206	14
Máximo	0,0349	45

Coefficiente de transferencia ventana de vidrio doble (W/m²K)

Caso base	3	Diferencia (%)
Mínimo	2,77	8
Máximo	4,93	64

Tablas 31 y 32. Valores de entrada utilizados en el artículo *“Cálculo bajo incertidumbre de la carga punta de refrigeración de un edificio”* (Carrillo, 2009).

Aplicamos por tanto una reducción del 10% y un aumento del 50% en nuestros valores de conductividad térmica para calcular los valores “extremos” de las transmitancias térmicas.

Con esos valores extremos de las transmitancias se obtienen los siguientes resultados (ver tablas 33 y 34).

Refrigeración (kW)	
Valor	116
Valor mín. transmitancia	115
Valor máx. transmitancia	122

Calefacción (kW)	
Valor	145
Valor mín. transmitancia	140
Valor máx. transmitancia	165

Tablas 33 y 34. Variación de la demanda térmica según la incertidumbre en el valor de las transmitancias térmicas de los cerramientos.

Las cargas térmicas podrían aumentar hasta casi un **15%** para la calefacción.

4. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ANUAL. DÍAS TIPO.

Ejemplo de cálculo de la demanda de un mes: Enero.

Resumen de Valores de Temperatura máxima y mínima a lo largo del Periodo seleccionado:

CARACTERISTICA / VALOR	(Temperatura °C)	FECHA
Temperatura Máxima más alta Registrada:	17.9	24-01-2016
Temperatura Máxima más baja Registrada:	2.4	06-01-2016
Temperatura Mínima más alta Registrada:	7.4	08-01-2016
Temperatura Mínima más baja Registrada:	-5.5	17-01-2016
Mayor diferencia de temperaturas en un mismo día (Tmax-Tmin):	14.2	24-01-2016
Mayor ascenso de temperaturas Máximas en 24 h:	6.4	entre06-01-2016 y 07-01-2016
Mayor ascenso de temperaturas Mínimas en 24 h:	7.1	entre07-01-2016 y 08-01-2016
Mayor descenso de Temperaturas máximas en 24h:	8.6	entre25-01-2016 y 26-01-2016
Mayor descenso de Temperaturas mínimas en 24 h:	3.6	entre11-01-2016 y 12-01-2016

VALORES PARA LA ESTACION METEOROLÓGICA: Jaca

FECHA	T. Máxima	T. Mínima
01-01-2016	9.7	0.2
02-01-2016	6.8	-1.1
03-01-2016	4.1	-1.2
04-01-2016	5.4	2.3
05-01-2016	4.3	0.0
06-01-2016	2.4	-0.5
07-01-2016	8.8	0.3
08-01-2016	10.1	7.4
09-01-2016	11.3	5.4
10-01-2016	9.4	5.6
11-01-2016	8.4	3.7

FECHA	T. Máxima	T. Mínima
12-01-2016	6.0	0.1
13-01-2016	5.3	-2.7
14-01-2016	5.4	0.7
15-01-2016	5.6	-1.4
16-01-2016	4.2	-3.7
17-01-2016	5.3	-5.5
18-01-2016	3.7	0.2
19-01-2016	5.5	-0.2
20-01-2016	7.6	-1.6
21-01-2016	9.4	-2.2

FECHA	T. Máxima	T. Mínima
22-01-2016	8.1	0.0
23-01-2016	14.1	4.0
24-01-2016	17.9	3.7
25-01-2016	15.9	5.2
26-01-2016	7.3	2.7
27-01-2016	13.0	-0.1
28-01-2016	7.8	-0.1
29-01-2016	8.1	2.8
30-01-2016	8.8	0.9
31-01-2016	8.3	0.9

T máx. media mes (°C)	8
T mín. media mes (°C)	0,8

Tablas 35 y 36. Temperaturas del mes de enero 2016 (AEMET). Temperaturas máxima y mínima medias del mes de enero 2016.

	Frecuencia (días)
Día temperaturas altas	6
Día temperaturas medias	15
Día temperaturas bajas	10

	Día	T máx. (°C)	Hora del día	T mín. (°C)	Hora del día
Día tipo temperaturas altas	24	17,9	14	3,7	8
Día tipo temperaturas medias	22	8,1	16	0	5
Día tipo temperaturas bajas	17	5,3	13	-5,5	7

Tablas 37 y 38. Frecuencia de días según temperaturas del mes de enero. Días tipo seleccionados del mes de enero.

Se evalúa la demanda del día según la temperatura exterior horaria (evolución de la demanda en día tipo, ver tabla 39).

Para el cálculo de la demanda se tiene en cuenta también la ocupación del hotel. Se establecen unos porcentajes para cada nivel de ocupación según días festivos, fines de semana, temporada de esquí... que haya en ese mes (ver tabla 40). Estos porcentajes se utilizan para hacer una media de la demanda del día que estamos calculando según la posible ocupación.

Ocupación	días al mes	%
100%	10	32
75%	5	16
50%	16	52

Tabla 40. Porcentajes de ocupación.

Para simplificar los fenómenos exteriores de intercambio de energía en el cálculo de la demanda de refrigeración (cargas de refrigeración) se utiliza el concepto de Temperatura sol-aire ($T_{sol-aire}$). Se trata de una variable para determinar la ganancia total de calor a través de las superficies exteriores (ver tabla 41).

$$T_{sol-aire} = T_o + \frac{(a \cdot I)}{h_o}$$

Temperatura exterior	To (K)	-
Absortividad	α	0,6 (muros claros)
Radiación total	IT (W/m ²)	-
Coefficiente de convección	ho (W/m ² K)	25

Tabla 41. Parámetros para el cálculo de la temperatura sol-aire.

$$Q = U_c A (T_{sol-aire} - T_i)$$

Finalmente se obtiene la demanda del mes, y posteriormente la anual (ver tablas 42 y 43).

	Demanda día (kWh)	Frecuencia (días)	Demanda (kWh)
Día temperaturas altas	1252	6	7513
Día temperaturas medias	2022	15	30329
Día temperaturas bajas	2510	10	25097
	Demanda mensual (kWh)		62939

Tablas 42 y 43. Frecuencias de ocupación para el mes de enero. Demanda total mes de enero.

Se ha calculado la demanda mensual utilizando también los parámetros climatológicos que definen los climas de referencia del CTE. El clima de referencia define las solicitaciones exteriores de cálculo para un año tipo a través de una serie de parámetros (temperatura,

humedad, radiación solar...), representativos de una zona climática. Se han obtenido resultados prácticamente idénticos.

5. SISTEMAS SATE.

Se denomina SATE a un sistema compuesto de aislamiento por el exterior que se utiliza para el aislamiento térmico de edificios. Estos sistemas se suministran como un conjunto (kit). Se utilizan tanto en nueva construcción como en rehabilitación de edificios.

Los sistemas SATE se pueden clasificar en función del tipo de fijación, material aislante utilizado, por aplicación y por tipos de acabado.

A nivel europeo se está trabajando en la elaboración de una norma armonizada que especificará los requisitos de los sistemas SATE e incorporará en un futuro la obligatoriedad del marcado CE de los mismos.

Con un sistema SATE se reviste y aísla el exterior del edificio adaptándose a las geometrías del mismo, incluso las más complejas, sin discontinuidad (ver figura 11). Por tanto cuando está correctamente concebido e instalado permite resolver la mayoría de los puentes térmicos del edificio.

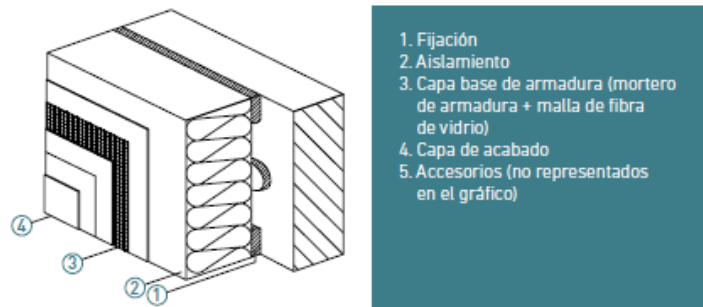
Estos sistemas incorporan un aislamiento con un espesor óptimo y aseguran drásticas reducciones de la energía disipada al exterior. Se estima que la inversión realizada para la instalación del sistema se amortiza, de media, en los cinco años siguientes.

Las principales ventajas de mejora de la eficiencia energética de la envolvente a través de la rehabilitación de la fachada mediante un sistema SATE pueden ser, entre otras:

- Reduce la factura energética de cada usuario.
- Mejora el confort térmico, a igualdad de consumo y bienestar para el usuario.
- Ayuda a la reducción de emisiones de CO₂, contribuyendo a la reducción del efecto invernadero y a la conservación del medio ambiente.
- Permite a los usuarios seguir viviendo en sus viviendas durante la incorporación de un sistema SATE en sus fachadas.
- Se reducen los puentes térmicos en la fachada, las posibles condensaciones no deseadas y aquellas patologías ligadas a las mismas.
- Se revaloriza económicamente el inmueble, mucho más que la simple restitución de la fachada.
- La rehabilitación no reduce el espacio habitable interior de las viviendas.
- Pueden alcanzarse mejoras en el comportamiento acústico.

- Se reduce el riesgo de condensaciones intersticiales, ya que los sistemas SATE correctamente instalados son impermeables al agua y permeables al vapor de agua.
- Mantiene la envoltura exterior y la estructura del edificio en condiciones termo-higrométricas estables contribuyendo al mantenimiento de los materiales de construcción a lo largo del tiempo.
- Excluye la necesidad de eliminar el enfoscado viejo, excepto cuando existan riesgos de desprendimiento.
- La rehabilitación puede ser aprovechada para recuperar la uniformidad estética de las fachadas de un bloque de edificios o barrios enteros.
- Ayuda al cumplimiento del Código Técnico de la Edificación en edificios existentes siempre que se incorpore un espesor adecuado de aislamiento en la fachada.
- La rehabilitación perdura con el tiempo, teniendo una vida útil de más de 20 años, pudiendo considerarse un argumento positivo en caso de alquiler o venta.

(Guía IDAE: SATE, 2012)



Esquema del sistema SATE

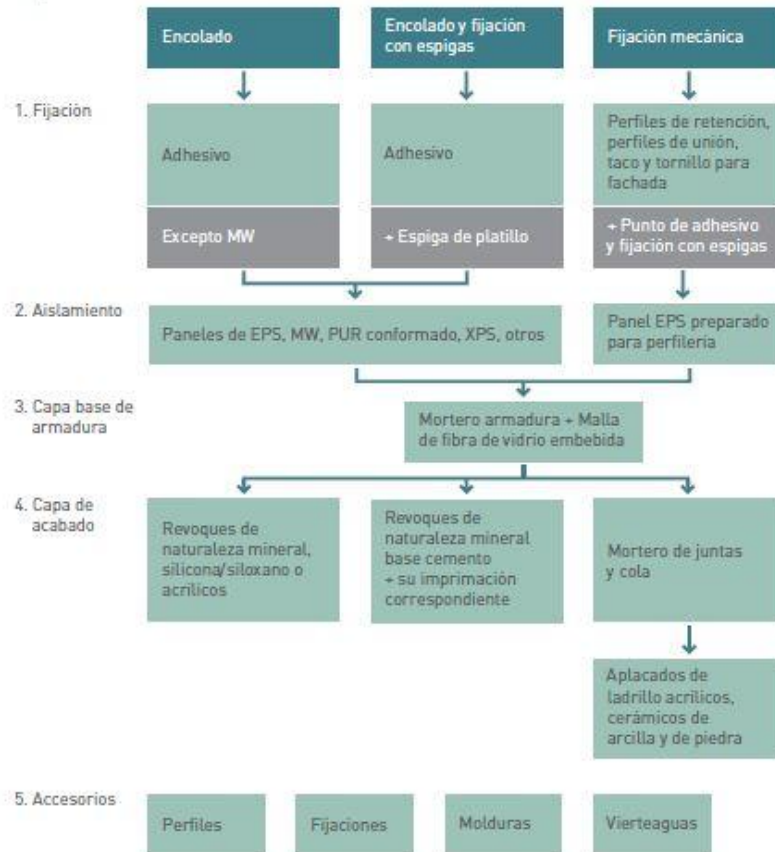


Figura 11. Esquema básico de un sistema SATE. Guía: Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los edificios. IDAE.

6. RECUPERADORES DE CALOR.

Documentación técnica.

VENUS



Control Versión EC

Recuperadores de calor de alta eficiencia para instalaciones residenciales

Recuperadores de calor de altas prestaciones para instalación en el interior de edificios residenciales. Presentan un bajo consumo eléctrico y una eficiencia de recuperación de calor de hasta el 93%. Instalación para falso techo o vertical

Acabado:

- Cuerpo en polipropileno expandido de bajo peso y bajas emisiones acústicas.
- Bajo perfil para instalación en falso techo.
- Bocas de 180 mm (modelos 150 y 300) y 250 mm (modelos 500 y 700).

Características de todas las versiones:

- Intercambiador de calor a contraflujo.
- Capacidad de ajuste del caudal según señal de control externa.
- Purga de condensados con sifón incorporado.
- Acceso a filtros y purga de condensados desde parte superior e inferior.

Características adicionales de la versión EC:

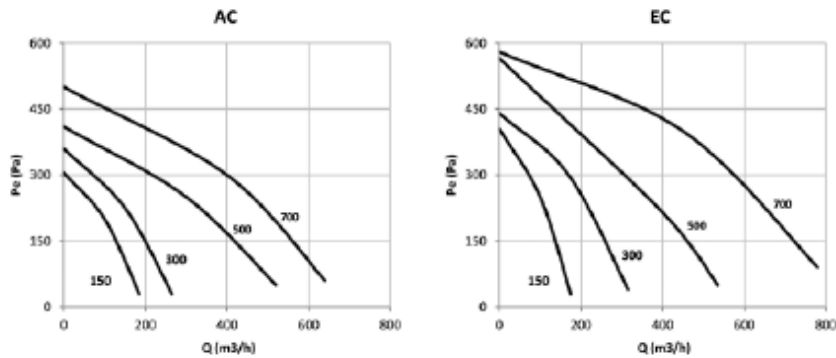
- Funcionamiento compatible 50/60 Hz.
- Filtros de aportación de eficacia F7.
- Ventiladores EC de alta eficiencia.
- Panel de control remoto digital incluido.
- Protección anticongelación y free cooling.
- Control multizona mediante la posibilidad de conexión de sensores de CO2, PIR (presencia) y HR (humedad relativa). Señal tipo TODO / NADA.

Versión	AC	EC
Tipo motor	AC	EC (alta eficiencia)
Panel de control	Selector manual CP-SM-V-4 (accesorio no incluido)	Digital (incluido)
Cable del panel de control	4 hilos a 230V (no incluido)	4 hilos PTPM-RJ12 10m incluido / Máximo 30m
Nº velocidades de los ventiladores	3	3
Eficacia filtros Aportación / Extracción	F5 / G4	F7 / G4
Geestión de alarmas	SI	SI
Control de caudal según control externo	SI	SI
Ajuste preciso de cada ventilador	-	SI
Control de compuertas de cierre	-	SI (compuertas no suministradas)
Conexiones a 5 sensores opcionales	-	Tipos: CO2 / PIR / HR
Alimentación de sensores	-	15V DC
Control externo para forzar caudal máximo	-	SI
Free cooling mediante paro de 1 ventilador	-	SI (con ajuste del temporizador)
Protección anticongelación	-	SI
Alarma de cambio de filtros ajustable	-	SI

Características técnicas

Modelo	Caudal máximo (m ³ /h)	Potencia total (w)	Eficiencia de recuperación (%)	Intensidad máx. Admisible 220-240V (A)	Nivel sonoro irradiado a 3m dB(A)	Peso (Kg)
VENUS-150-AC	185	105	93	2 x 0,23	37,3	17,4
VENUS-150-EC	175	65	93	2 x 0,14	37,7	17,2
VENUS-300-AC	265	145	93	2 x 0,32	38,9	19,5
VENUS-300-EC	315	170	93	2 x 0,37	43,5	19,3
VENUS-500-AC	515	230	93	2 x 0,5	47,1	35
VENUS-500-EC	535	220	93	2 x 0,48	45,8	35,5
VENUS-700-AC	650	270	93	2 x 0,59	42,9	40
VENUS-700-EC	785	430	93	2 x 0,93	53,6	40,7

Curvas características



RECUP

Recuperadores de calor configurables, con placas de flujo cruzado, para instalación horizontal (H) o vertical (V)



RECUP-H



RECUP-V

Características:

- Intercambiador de placas de aluminio con rendimientos entre 52%-55%.
- Posibilidad de configuración entre diferentes posiciones de bocas.
- Filtros incorporados. Calidad G4, F6 y F6+F8. Otras combinaciones bajo pedido.
- Caja en acero galvanizado con aislamiento acústico integrado.

Construcción:

- Estructura construida en chapa de acero galvanizado.
- Bocas de entrada y salida con junta estanca.
- Bocas intercambiables.

- Puertas de acceso para facilitar el mantenimiento y la limpieza.

Versiones:

- Horizontal (H) o Vertical (V).
- Ambiental: Renovación de aire, sin aportación de calefacción (S).

Bajo demanda:

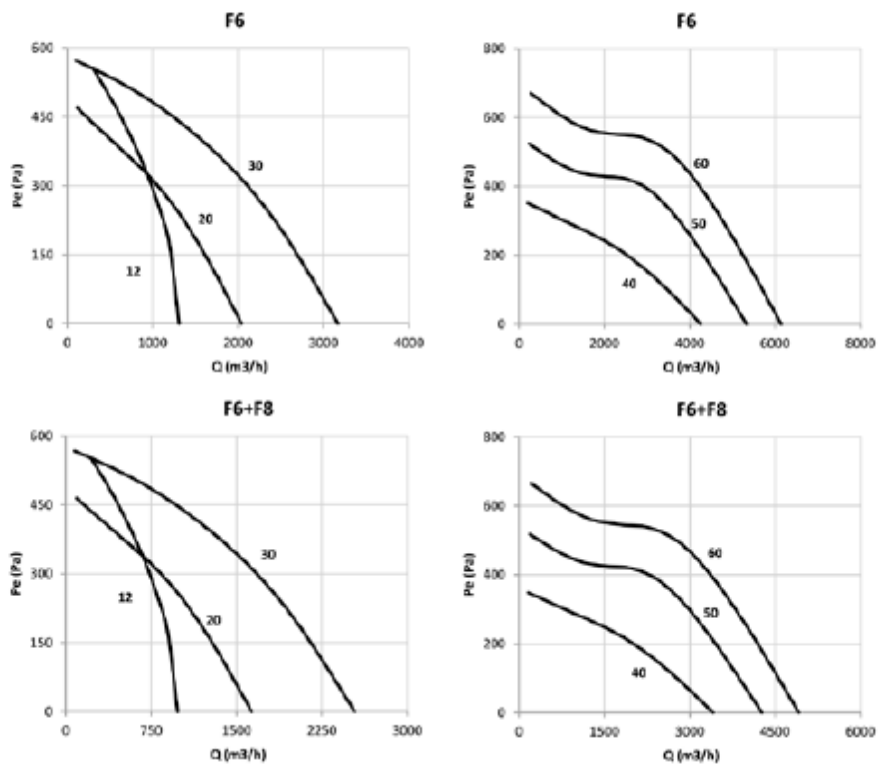
- Eléctrica: Con aportación de calefacción mediante baterías eléctricas (EB).
- Batería de agua: Con aportación de calefacción mediante baterías de agua (WB).
- Bajo demanda: Módulo Adiabático.



Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia motor (W)	Caudal máximo F6 (m³/h)	Eficiencia térmica (%)	NPS irradiado dB(A)	Filtro EN 779	Peso (Kg)
RECUP-12-H	1425	1x230	2x2,00	2x450	1300	52	53	G4, F6, F6+FB	67
RECUP-20-H	1350	1x230	2x2,00	2x450	2050	52	48	G4, F6, F6+FB	86
RECUP-20-V	1350	1x230	2x2,00	2x450	2050	52	48	G4, F6, F6+FB	86
RECUP-30-H	1250	1x230	2x5,40	2x800	3150	54	52	G4, F6, F6+FB	112
RECUP-30-V	1250	1x230	2x5,40	2x800	3150	54	52	G4, F6, F6+FB	112
RECUP-40-H	900	3x400	2x3,80	2x1100	4250	55	46	G4, F6, F6+FB	167
RECUP-40-V	900	3x400	2x3,80	2x1100	4250	55	46	G4, F6, F6+FB	167
RECUP-50-H	1280	3x400	2x3,50	2x1500	5350	53	54	G4, F6, F6+FB	182
RECUP-50-V	1280	3x400	2x3,50	2x1500	5350	53	54	G4, F6, F6+FB	182
RECUP-60-H	1450	3x400	2x4,83	2x2200	6150	50	56	G4, F6, F6+FB	205
RECUP-60-V	1450	3x400	2x4,83	2x2200	6150	50	56	G4, F6, F6+FB	205

Curvas características



A continuación se muestran los cálculos realizados para los recuperadores de calor (ver tablas 44, 45, 46, 47 y 48).

Caudales de ventilación (m3/h persona)	
Habitaciones	45
Corredor	45
Lavandería	29

Caudales de ventilación (m3/h)		
5ª planta	Corredor	450
	Zona de habitaciones	900
4ª planta	Corredor	450
	Zona de habitaciones	900
3ª planta	Corredor	450
	Zona de habitaciones	900
2ª planta	Corredor	450
	Zona de habitaciones	900
1ª planta	Corredor	450
	Zona de habitaciones	900
planta baja	Corredor	450
	Zona de habitaciones	900
sótano	Corredor	116
	Lavandería	116

Caudal total de ventilación	m ³ /h	m ³ /s
Habitaciones	5400	1,50
Corredores	2816	0,78
Lavandería	116	0,03

	Caudal (m3/h)	Caudal máx. (m3/h)	Efic. Térmica (%)	P. Presión (Pa)	RITE	
					Efic. Térmica (%)	P. Presión (Pa)
Habitaciones	5400	6150	50	140	50	180
Corredor	2816	3150	54	125	50	180
Lavandería	116	185	93	100	-	-

Tablas 44, 45, 46 y 47. Caudales de ventilación por persona en cada estancia. Caudales de ventilación en cada estancia. Caudales totales. Caudales máximos, rendimientos y pérdidas de presión de los intercambiadores de calor.

Te, temp.exterior
 TL, temp.local
 Ts, temp.salida rec.

$$\varepsilon = \frac{T_e - T_s}{T_e - T_L}$$

	Calefacción	Refrigeración
Te (°C)	-3,05	32,85
TL (°C)	21	26
Ts, hab (°C)	9,0	29,4
Ts, corr (°C)	9,9	29,2
Ts, lav (°C)	19,3	26,5

Tabla 48. Temperaturas a la salida del recuperador de calor para Text de proyecto.

7. BOMBA DE CALOR y MÁQUINA FRIGORÍFICA. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA.

AQUACIAT LD ILD

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - BOMBA DE CALOR REVERSIBLE

AQUACIAT ILD			150A	180A	200A	240A	260A	300A	302A	360A	390A	450A	520A	600A	
Refrigeración															
Unidad estándar	C1	Capacidad nominal	kW	38	43	50	59	64	74	78	86	96	113	132	149
Rendimientos a carga total*	C1	EER	kWKW	2.84	2.7	2.65	2.77	2.7	2.58	2.79	2.7	2.7	2.69	2.77	2.58
	C2	Capacidad nominal	kW	48	54	63	71	79	93	97	108	118	143	163	187
Eficiencia estacional*	C2	EER	kWKW	3.28	3.16	3.09	3.12	3.08	2.97	3.19	3.14	3.1	3.1	3.17	2.92
	C1	ESEER	kWKW	3.80	3.77	3.81	3.61	3.61	3.57	3.84	3.77	3.88	4.04	3.75	3.67
Calefacción															
Unidad estándar	H1	Capacidad nominal	kW	42	47	53	61	70	78	80	93	101	117	138	158
Rendimientos a carga total*	H1	COP	kWKW	3.08	3.05	3.03	3.03	3.06	2.87	3.08	3.02	3.09	3.06	3.07	2.97
	H2	Capacidad nominal	kW	43	47	55	63	71	80	83	95	103	121	141	162
Eficiencia estacional**	H2	COP	kWKW	3.72	3.72	3.76	3.73	3.72	3.47	3.74	3.74	3.77	3.73	3.73	3.59
	H2	SCOP	kWKW	3.07	3.1	3.21	3.07	3.1	2.96	3.14	3.17	3.23	3.23	3.14	3.13
Valores integrados Part Load	H2	ηs heat	%	120	121	125	120	121	115	123	124	126	126	123	122
	H2	Prated	kW	33.0	37	42	51	57	65	66	76	83	97	113	131
Valores integrados Part Load	IPLV	kWKW	4.57	4.54	4.51	4.21	4.18	4.29	4.58	4.40	4.46	4.90	4.33	4.39	

* De acuerdo con la norma EN14511-3:2013.

** De acuerdo con la norma EN14825:2013, clima medio.

- C1 Condiciones del modo refrigeración: temperatura de entrada/salida en el intercambiador de agua: 12 °C/7 °C, temperatura del aire exterior: 35 °C, factor de suciedad del evaporador: 0 m² KW.
- C2 Condiciones del modo refrigeración: temperatura de entrada/salida en el intercambiador de agua: 23 °C/18 °C, temperatura del aire exterior: 35 °C, factor de suciedad del evaporador: 0 m² KW.
- H1 Condiciones del modo calefacción: temperatura de entrada/salida en el intercambiador de agua: 40 °C/45 °C, temperatura del aire exterior ts/th: 7/6 °C, factor de suciedad del evaporador: 0 m² KW.
- H2 Condiciones del modo calefacción: temperatura de entrada/salida en el intercambiador de agua: 30 °C/35 °C, temperatura del aire exterior ts/th: 7/6 °C, factor de suciedad del evaporador: 0 m² KW.

IPLV Cálculos acordes con los rendimientos estándar (de conformidad con AHRI 550-590).

- (1) En dB ref=10-12 W, ponderación (A). Valor de emisión de ruido declarado disociado de acuerdo con la ISO 4871 con una incertidumbre de +/-3 dB(A). Medición según la norma ISO 9614-1 y certificada por EUROVENT.
- (2) En dB ref 20 µPa, ponderación (A). Valor de emisión de ruido declarado disociado de acuerdo con la ISO 4871 con una incertidumbre de +/-3 dB(A). Valor calculado a partir de la potencia sonora Lw(A).
- (3) Pesos orientativos. Consulte la placa de características de la unidad.



Valores certificados Eurovent

AQUACIAT LD ILD

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - SOLO FRÍO

AQUACIAT LD			150A	180A	200A	240A	260A	300A	360A	390A	450A	520A	600A	
Refrigeración														
Unidad estándar	C1	Capacidad nominal	kW	40	44	51	58	67	79	87	97	114	135	156
Rendimientos a carga total*	C1	EER	kWKW	2.87	2.76	2.67	2.66	2.72	2.70	2.73	2.73	2.67	2.70	2.65
	C2	Capacidad nominal	kW	53	59	69	81	85	98	114	126	151	171	194
Eficiencia estacional*	C2	EER	kWKW	3.44	3.32	3.12	3.31	2.97	3.06	3.18	3.09	3.10	2.99	3.01
	C1	ESEER	kWKW	3.75	3.88	3.95	3.80	3.62	3.67	3.91	3.94	3.83	3.68	3.87
Valores integrados Part Load	IPLV	kWKW	4.54	4.71	4.81	4.58	4.26	4.39	4.55	4.53	4.55	4.29	4.64	

* De acuerdo con la norma EN14511-3:2013.

- C1 Condiciones del modo refrigeración: temperatura de entrada/salida en el intercambiador de agua: 12 °C/7 °C, temperatura del aire exterior: 35 °C, factor de suciedad del evaporador: 0 m² KW.
- C2 Condiciones del modo refrigeración: temperatura de entrada/salida en el intercambiador de agua: 23 °C/18 °C, temperatura del aire exterior: 35 °C, factor de suciedad del evaporador: 0 m² KW.

IPLV Cálculos acordes con los rendimientos estándar (de conformidad con AHRI 550-590).

- (1) en dB ref=10-12 W, ponderación (A). Valor de emisión de ruido declarado disociado de acuerdo con la ISO 4871 (con una incertidumbre de +/-3 dB(A)). Medición según la norma ISO 9614-1.
- (2) en dB ref 20µPa, ponderación (A). Valor de emisión de ruido declarado disociado de acuerdo con la ISO 4871 (con una incertidumbre de +/-3 dB(A)). Como información, calculada a partir de la potencia sonora Lw(A).
- (3) Los valores son solo orientativos. Consulte la placa de características de la unidad.
- (4) En la entrega, el preinflado estándar de los vasos no necesariamente es el valor óptimo para la instalación. Para permitir una libre variación del volumen de agua, la presión de inflado debe adaptarse a una presión cercana a la correspondiente a la altura estática de la instalación. Llene la instalación de agua (purgando el aire) a una presión que supere la del vaso en 10 a 20 kPa.



Valores certificados Eurovent

Tabla 49. Datos técnicos bomba de calor y enfriadora (CIAT).

8. BOMBA DE CALOR. CÁLCULO DEL SPF (seasonal performance factor).

El cálculo del SPF de la bomba de calor se ha realizado siguiendo la metodología descrita en el documento *Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios* del IDAE.

$$\text{SPF} = \text{COP}_{\text{nominal}} \times \text{FP} \times \text{FC}$$

El factor de ponderación tiene en cuenta las diferentes zonas climáticas de España que marca el CTE (ver tabla 50).

El factor de corrección tiene en cuenta la diferencia entre la temperatura de distribución o uso y la temperatura para la cual se ha obtenido el COP en el ensayo (ver tabla 51).

Tabla 4.1: Factor de ponderación (FP) para sistemas de Calefacción y/o ACS con bombas de caloren función de las fuentes energéticas, según la zona climática.

Fuente Energética de la bomba de calor	Factor de Ponderación (FP)				
	A	B	C	D	E
Energía Aerotérmica. Equipos centralizados	0,87	0,80	0,80	0,75	0,75
Energía Aerotérmica. Equipos individuales tipo split	0,66	0,68	0,68	0,64	0,64
Energía Hidrotérmica.	0,99	0,96	0,92	0,86	0,80
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores horizontales	1,05	1,01	0,97	0,90	0,85
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores verticales	1,24	1,23	1,18	1,11	1,03
Energía Geotérmica de circuito abierto	1,31	1,30	1,23	1,17	1,09

Tabla 4.2: Factores de corrección (FC) en función de las temperaturas de condensación, según la temperatura de ensayo del COP.

Tº de condensación (°C)	Factor de Corrección (FC)					
	FC (COP a 35°C)	FC (COP a 40°C)	FC (COP a 45°C)	FC (COP a 50°C)	FC (COP a 55°C)	FC (COP a 60°C)
35	1,00	--	--	--	--	--
40	0,87	1,00	--	--	--	--
45	0,77	0,89	1,00	--	--	--
50	0,68	0,78	0,88	1,00	--	--
55	0,61	0,70	0,79	0,90	1,00	--
60	0,55	0,63	0,71	0,81	0,90	1,00

El valor del COP nominal de la bomba de calor será el obtenido de su ensayo, según la norma que les afecte (UNE-EN 14511: 2012, UNE-EN 15316: 2010, UNE-EN 16147, etc.) y obtenido para las condiciones de temperatura que correspondan a la zona climática en la que se instale y según la aplicación a la que abastezca.

COPnominal	FP	FC	SPF
3,06	0,75	0,70	1,6

Tablas 50, 51 y 52. Factor de ponderación y Factor de corrección (Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios). Cálculo del SPF.

9. MÁQUINA DE ABSORCIÓN.

Una máquina de absorción se encarga de enfriar agua sin apenas gasto de energía eléctrica, mediante el ciclo termodinámico de absorción. Estos equipos son rentables si se dispone de una energía residual como agua caliente proveniente de una caldera o de placas solares. El consumo y las emisiones de CO₂ dependerán del sistema que se utilice para producir ese calor.

Se han seleccionado captadores solares de tubos de vacío. La superficie de absorción, con recubrimiento de titanio, se integra en una serie de tubos de vacío dispuestos en paralelo y conectados a un colector común. Estos eliminan la cámara de aire entre el absorbedor y la cubierta transparente, reduciendo las pérdidas y alcanzando mayores rendimientos que otras tipologías de colectores solares.

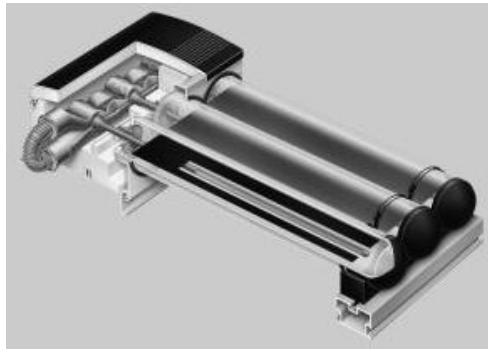


Figura 12. Captadores solares de tubos de vacío (Viessmann).

Datos técnicos:

Máquina de absorción

Operating Range

- > **Capacities:** From 50 to 2500USRT (175 to 8800kW)
- > **Chilled water temperature:** Up to 1°C (34°F) and -2°C (28.5 °F) with brine
- > **Hot Water temperature:** From 150°C to 180°C (302°F to 356°F)
- > **COP:** 1.4 - 1.45

Captadores solares

Datos técnicos				
Modelo SP2A		1,26 m ²	1,51 m ²	3,03 m ²
Número de tubos		10	12	24
Superficie bruta (dato necesario a la hora de solicitar subvenciones)	m ²	1,98	2,36	4,62
Superficie de absorción	m ²	1,26	1,51	3,03
Superficie de apertura	m ²	1,33	1,60	3,19
Distancia entre colectores	mm	—	88,5	88,5
Dimensiones				
Anchura a	mm	885	1053	2061
Altura b	mm	2241	2241	2241
Profundidad c	mm	150	150	150
Los siguientes valores hacen referencia a la superficie de absorción:				
- Rendimiento óptico	%	78,5	80,1	80,1
- Coeficiente de pérdida de calor k ₁	W/(m ² · K)	1,522	1,443	1,103
- Coeficiente de pérdida de calor k ₂	W/(m ² · K ²)	0,007	0,002	0,007
Los siguientes valores hacen referencia a la superficie bruta:				
- Rendimiento óptico	%	50,0	51,3	52,5
- Coeficiente de pérdida de calor k ₁	W/(m ² · K)	0,969	0,923	0,723
- Coeficiente de pérdida de calor k ₂	W/(m ² · K ²)	0,005	0,001	0,005
Capacidad térmica	kJ/(m ² · K)	6,08	5,97	5,73
Peso	kg	33	39	79
Volumen de fluido (medio portador de calor)	Litros	0,75	0,87	1,55
Presión de servicio adm.	bar/MPa	6/0,6	6/0,6	6/0,6
Temperatura máx. de inactividad	°C	264	264	264
Capacidad de producción de vapor	W/m ²	100	100	100
Conexión	Ø en mm	22	22	22

Figura 13 y 53. Datos técnicos máquina de absorción (Thermax). Datos técnicos colectores solares (Viessmann).

Cálculos:

Para la estimación de la cobertura solar se ha seguido la metodología del libro *Casos prácticos de Tecnología Energética* (Pallares et al., 2009) (ver tablas 54 a 61).

$$V = 0,94 \cdot H \cdot P_{pol} \cdot k_{inclin} \cdot k_{orient} \cdot k_{sombra}$$

Radiación media diaria sobre el captador (MJ/m ² día)	V	-
Factor de reducción de la radiación global		0,94
Radiación media diaria sobre sup. Hor (MJ/m ² día)	H	-
Factor corrección cond. Atmosféricas	P pol	1
Factor de corrección inclinación colectores	k inclin	-
Factor de corrección orientación colectores	k orient	1
Factor de corrección sombra sobre colectores	k sombra	0,9

	H (MJ/m ² día)	k inclin	V (MJ/m ² día)
Junio	22,1	1	19
Julio	23,1	1,02	20
Agosto	20,9	1,1	19

Tablas 54 y 55. Parámetros para el cálculo de la radiación. Cálculo de la radiación media diaria.

$$G = 10^6 \cdot V \cdot \frac{1}{h_{sol} \cdot 3600}$$

Irradiación (W/m ²)	G
Horas de sol útiles al día	h sol

	V (MJ/m ² día)	h sol	G (W/m ²)
Junio	19	9,5	547
Julio	20	9,5	583
Agosto	19	9,5	569

Tablas 56 y 57. Parámetros para el cálculo de la irradiación. Cálculo de la irradiación.

$$\eta = \eta_0 - a_1 k_1 \frac{(T_m - T_a)}{G} - k_2 \left(\frac{(T_m - T_a)}{G} \right)^2$$

Factores de corrección, pérdidas	a1,b1	0,97
Eficiencia óptica del captador	η0	0,801
Coef. Global lineal pérdidas (W/m ² K)	k1	1,103
Coef. Global cuadrático pérdidas (W/m ² K ²)	k2	0,007
Temp. media del fluido trab. Absorbedor (°C)	Tm	160
Temp. ambiente (°C)	Ta	-

	G (W/m ²)	Ta (°C)	η
Junio	547	22	0,30
Julio	583	25	0,34
Agosto	569	25	0,33

Tablas 58 y 59. Parámetros para el cálculo del rendimiento del colector. Cálculo del rendimiento.

$$E_{\text{útil}} = V \cdot \eta \cdot (1 - P_{\text{inst}})$$

Energía útil por m ² de captador (MJ/m ² día)	E útil	-
Rendimiento	η	-
Pérdidas	P inst	0,15

	V (MJ/m ² día)	η	E útil (MJ/m ² día)
Junio	19	0,30	5
Julio	20	0,34	6
Agosto	19	0,33	5

Tablas 60 y 61. Parámetros para el cálculo de la energía útil. Cálculo de la energía útil generada.

10. FACTORES DE EMISIÓN Y COEFICIENTES DE PASO.

Los factores de emisión y coeficientes de paso utilizados se han obtenido del documento *Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España* del IDAE reconocido por el RITE (ver tablas 62 y 63).

Los factores de emisiones de CO₂ se muestran en la siguiente tabla:

Factores de emisiones de CO ₂			
	Fuente	Valores aprobados	Valores previos (****)
		kg CO ₂ /kWh E. final	kg CO ₂ /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,357	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,331	0,649
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,833	0,981
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,932	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,776	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,721	
Gasóleo calefacción	(***)	0,311	0,287
GLP	(***)	0,254	0,244
Gas natural	(***)	0,252	0,204
Carbón	(***)	0,472	0,347
Biomasa no densificada	(***)	0,018	neutro
Biomasa densificada (pelets)	(***)	0,018	neutro

Los valores obtenidos para cada fuente de energía se muestran en el siguiente cuadro:

Factores de conversión de energía final a primaria					
	Fuente	Valores aprobados			Valores previos (****)
		kWh E.primaria renovable /kWh E. final	kWh E.primaria no renovable /kWh E. final	kWh E.primaria total /kWh E. final	kWh E.primaria /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,396	2,007	2,403	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,414	1,954	2,368	2,61
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,075	2,937	3,011	3,35
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,082	2,968	3,049	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,070	2,924	2,994	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,072	2,718	2,790	
Gasóleo calefacción	(***)	0,003	1,179	1,182	1,08
GLP	(***)	0,003	1,201	1,204	1,08
Gas natural	(***)	0,005	1,190	1,195	1,01
Carbón	(***)	0,002	1,082	1,084	1,00
Biomasa no densificada	(***)	1,003	0,034	1,037	
Biomasa densificada (pelets)	(***)	1,028	0,085	1,113	

Tablas 62 y 63. Factores de emisión y Coeficientes de paso (Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España).

11. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA.

Para la clasificación de la eficiencia energética del edificio se ha seguido el procedimiento descrito en el documento *Calificación de la eficiencia energética de los edificios* del Ministerio de Industria, Energía y Turismo - IDAE para un edificio de uso no residencial (ver figura 14).

2.5. Escala de calificación para edificios de otros usos

Los edificios destinados usos distintos al residencial privado (vivienda) se clasificarán, para cada uno de los indicadores de eficiencia energética, dentro de una escala de siete letras, que va desde la letra A (edificio más eficiente) a la letra G (edificio menos eficiente), de acuerdo con la [Tabla 2](#).

Tabla 2: Calificación energética e índices para edificios de uso distinto al residencial privado (vivienda)

Calificación	Índice	
A		$C < 0,40$
B	0,40	$C < 0,65$
C	0,65	$C < 1,00$
D	1,00	$C < 1,30$
E	1,30	$C < 1,60$
F	1,60	$C < 2,00$
G	2,00	C

El índice de calificación C de este tipo de edificios es el cociente entre valor del indicador para el edificio a certificar y el valor del indicador para el edificio de referencia.

Figura 14. Calificación energética de edificios no residenciales (“Calificación de la eficiencia energética de los edificios”, Ministerio de Industria, Energía y Turismo – IDAE).

Las características del edificio de referencia se describen en el documento *Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios* del Ministerio de Industria, Energía y Turismo - IDAE.

Se ha utilizado como indicador el consumo de energía primaria (ver tablas 64 y 65).

Energía primaria consumida no renovable - Actual	
lo act (kWh/m ² año)	675
lo ref (kWh/m ² año)	785
C	0,86
Calificación energética	C

Energía primaria consumida no renovable – Rehab.	
lo rehab (kWh/m ² año)	284
lo ref (kWh/m ² año)	785
C	0,36
Calificación energética	A

Tablas 64 y 65. Cálculo de la calificación energética. Edificio actual. Tras la rehabilitación.