



Análisis de los sistemas de control en climatización con radiadores

Introducción

Actualmente, la sociedad se enfrenta a problemas relacionados con el sector de la energía debido a la escasez de recursos y la necesidad de limitar las emisiones de gases de efecto invernadero para mitigar los efectos del cambio climático. La Directiva 2012/27/UE [1] calcula que el 40% del consumo final de energía se produce en los edificios, y que aproximadamente el 50% es atribuible a los sistemas de refrigeración y calefacción. Recientemente, a través de la Comisión RepowerEU [2], la Unión Europea ha admitido que es urgente una transición rápida hacia otro modelo energético para Europa que diversifique el suministro de gas y que permita eliminar progresivamente la dependencia de los combustibles de este territorio antes de 2030. Una de las medidas es duplicar el ritmo anual de instalaciones de bombas de calor (10 millones instaladas en los próximos cinco años) [3]. De hecho, la nueva Directiva de Eficiencia Energética en Edificios (EPBD) acaba de acordar que los sistemas de calefacción basados en combustibles fósiles sean eliminados de la Unión Europea en el 2040 [4]. Teniendo en cuenta que, en el actual parque de viviendas en Europa el nivel de aislamiento es bajo y es habitual un sistema de calefacción basado en radiadores de alta temperatura con producción mediante caldera, es necesario analizar la viabilidad técnico-económica de la introducción de la bomba de calor en un abanico de escenarios diferentes (nivel de aislamiento, tipo de clima, etc.), donde el sistema de control va a jugar un papel fundamental para conseguir la mayor eficiencia y garantizar el confort térmico de los usuarios.

En España, el parque de edificios consumo en la actualidad el 30% de la energía final y existe un porcentaje importante de viviendas que no está dotado de instalación de calefacción, lo que supone un importante potencial de ahorro y de incorporación de tecnologías eficientes. Para ello, el Programa de Rehabilitación Energética de Edificios en municipios de reto demográfico (PREE 5000) [5], financiado por la Unión Europea (NextGenerationEU) propone dar un impulso a la sostenibilidad de la edificación con actuaciones en las que destaca, entre otras, la sustitución de instalaciones de generación térmica con combustibles de origen fósil (por ejemplo calderas) por generación térmica basada en fuentes renovables, donde entra la bomba de calor, así como la incorporación de tecnologías de regulación y control, aspecto fundamental en el presente estudio.

El objetivo de este documento es analizar la influencia de los sistemas de control inteligentes en las instalaciones de calefacción con equipos hidrónicos y su contribución a la eficiencia energética de un edificio. Para ello se presenta el modelado de las estrategias de control multizona propuestas por la compañía Airzone para sistemas hidrónicos mediante el software TRNSYS18 [6]. El objetivo es evaluar el potencial del sistema de control de la temperatura independiente en cada zona de un edificio residencial en una instalación con bomba de calor y radiadores de alta temperatura. Los resultados se van a comparar con diferentes casos, siendo el caso convencional más habitual el formado por una caldera gas y radiadores de alta temperatura. El estudio analiza la influencia del tipo de envolvente térmica del edificio, diferentes escenarios de control y la zona climática. Los resultados comparan los resultados del ahorro de energía, confort térmico y viabilidad económica.

Descripción de los escenarios de climatización y control

Se propone la comparación de un sistema de climatización basado en radiadores de alta temperatura como unidad terminal y se comparan dos casos de sistemas de producción: caldera y bomba de calor. Además, se presentan diferentes casos de estrategias de control.

1| Sistema convencional: caldera de gas y radiadores de alta temperatura (CALD)

Es la instalación más habitual en viviendas antiguas. La producción de agua caliente es a temperatura constante y no existe control en los radiadores. La caldera de gas convencional suministra agua caliente con una producción fija a 70°C a los radiadores emplazados en cada zona de la vivienda. Se considera que la instalación está equilibrada en la puesta en marcha con válvulas manuales, pero no existe ningún tipo de control de la válvula que regula la entrada del caudal de agua a los radiadores (Figura 1).

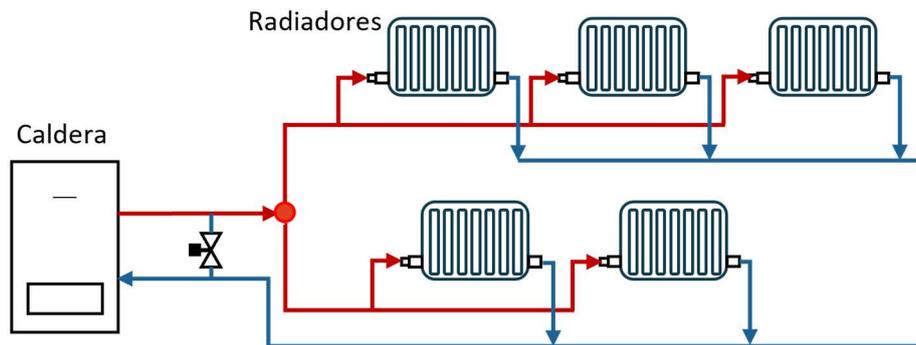


Figura 1. Sistema convencional: caldera de gas y radiadores de alta temperatura sin control.

2| Sistema renovado, pero sin control: bomba de calor de alta temperatura (BDC)

La medida para la renovación del sistema de climatización que se incentiva a los usuarios es el cambio de caldera por bomba de calor, dejando los radiadores como unidades terminales. En este caso, se utilizan bombas de calor de alta temperatura, donde la temperatura de producción de agua caliente de la bomba de calor se regula para mantener una consigna de 70°C, en función de la curva de calefacción que el equipo incorpora y que modifica la consigna en función de la temperatura exterior y la temperatura interior, tal y como se muestra en la Figura 2.

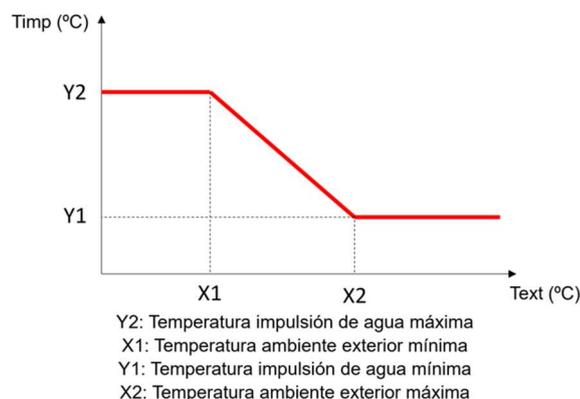


Figura 2. Curva de comportamiento de la bomba de calor. Determinación de la temperatura de impulsión en función de la temperatura exterior.

El rango de temperatura exterior depende de la zona climática donde se instale el equipo mientras que para la temperatura de impulsión el intervalo está condicionado para no generar disconfort térmico por corrientes de aire o baja eficiencia de las redes de distribución. Por ejemplo, en este caso se han establecido una temperatura mínima y máxima exterior entre 0 y 15°C en las 3 ciudades analizadas, y una temperatura mínima y máxima de impulsión entre 60 y 80°C, para que la temperatura de impulsión promedio esté en torno a 70°C.

El sistema de control de las unidades terminales se denomina sistema no zonificado, ya que se trata de un control ON/OFF en la bomba de circulación de agua en función de la temperatura medida por el termostato situado en una zona de la vivienda (Figura 3).

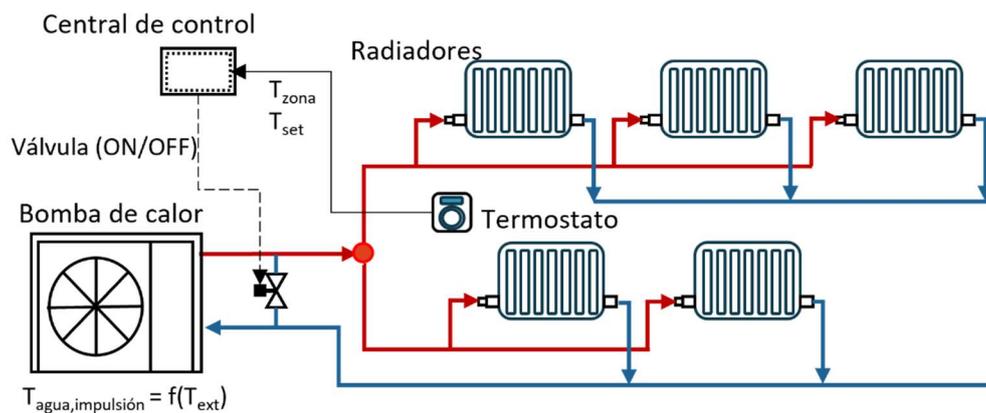


Figura 3. Sistema renovado: bomba de calor y radiadores de alta temperatura con control no zonificado

La figura 4 muestra cómo se activa la bomba siempre que la diferencia de temperatura entre la temperatura medida por la sonda del cabezal del radiador (T_z) y la temperatura de consigna establecida (T_{set}) sea de 0.5°C.

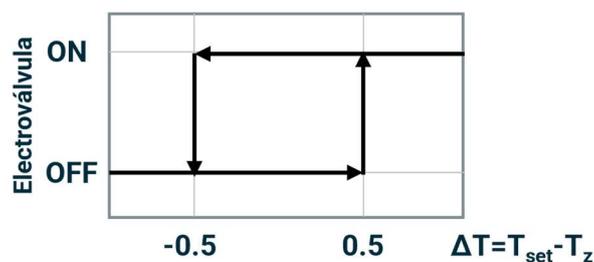


Figura 4. Control on/off de la válvula en función de la diferencia de temperaturas entre la consigna y la temperatura de la zona maestra.

3| Sistema renovado con control zonificado Aizone: bomba de calor de alta temperatura y radiadores (AIRZ)

En este caso, la temperatura de producción de la bomba de calor se impone tal y como se ha descrito en el caso anterior (Figura 2), para tener en cuenta las condiciones exteriores.

Por otro lado, la importancia y necesidad de incorporar sistemas de control de climatización es cada vez mayor como elemento diferencial para la mejora de la eficiencia en los edificios. La normativa ISO52120 [7] regula el uso de sistemas de control de climatización en edificios y, en particular, establece la obligatoriedad de la zonificación térmica, es decir, el control

individual de las temperaturas en cada zona del edificio, como una acción fundamental para asegurar el confort térmico y la eficiencia en la instalación.

Para el control de las unidades terminales, se dispone de un control en cada una de las válvulas situadas a la entrada de cada radiador para abrir o cerrar el paso del agua al mismo en función de la diferencia de temperatura entre la temperatura de consigna de la zona y la temperatura medida por el termostato instalado en la zona, que comunica a la central de control el estado térmico de la misma. El hecho de instalar un termostato permite evitar el problema de la sonda de temperatura situada en el cabezal del radiador, cuya lectura de la temperatura del aire de la zona se ve influenciada por la cercanía al radiador, provocando un mal funcionamiento del sistema. De esta forma, se realiza un control independiente de la temperatura en cada zona con el objetivo de asegurar el confort individual y de adaptar el consumo de la bomba de calor a las necesidades térmicas de cada zona (Figura 5).

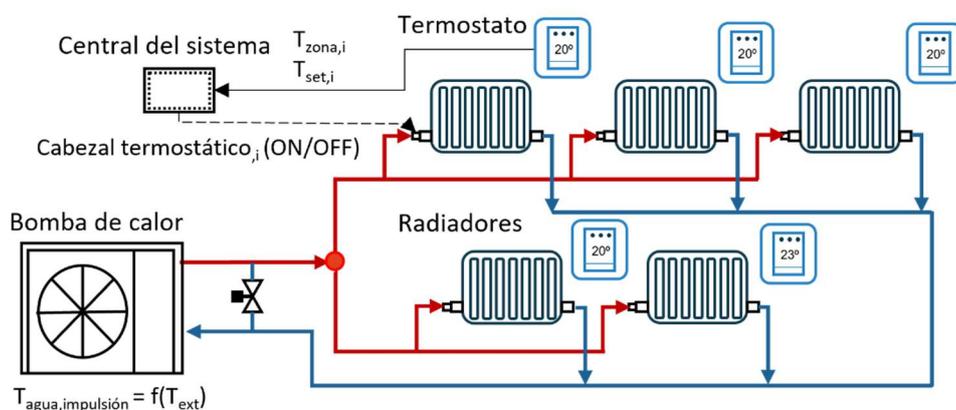


Figura 5. Sistema renovado: bomba de calor y radiadores de alta temperatura con control zonificado

Se describe la instalación de los elementos de control de forma más detallada. En la figura 6 se muestra un esquema de los diferentes elementos de control de la instalación.

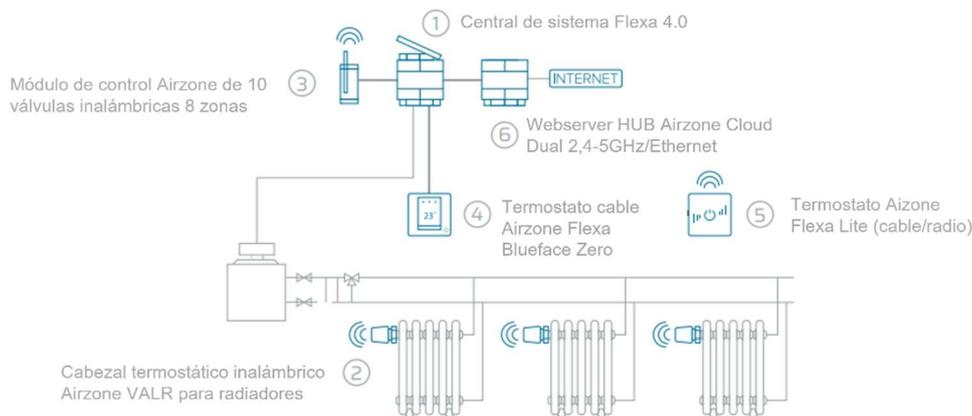


Figura 6. Esquema de un sistema de control zonificado con radiadores y bomba de calor.

El sistema Flexa 4.0 realiza un control por zonas para radiadores. Los cabezales termostáticos inalámbricos Airzone controlan la cantidad de calor emitida por el radiador en cada una de las zonas de la vivienda, garantizando la regulación de la temperatura de confort determinada por el usuario. El Webservice permite al usuario mantener una interacción con

el sistema de climatización para establecer sus requisitos de confort a través de la aplicación del sistema.

Implementación de los modelos en TRNSYS

El presente estudio se ha resuelto haciendo uso del programa TRNSYS18, referencia en investigación de instalaciones termoenergéticas. Sobre esta plataforma de cálculo, se han implementado los modelos matemáticos de todos los sistemas de climatización definidos en el apartado anterior. El sistema de control descrito en el apartado 2 se ha modelado mediante ecuaciones matemáticas en un modelo propio que permite la interacción con el edificio y el resto de los elementos del entorno de la simulación (Figura 7).

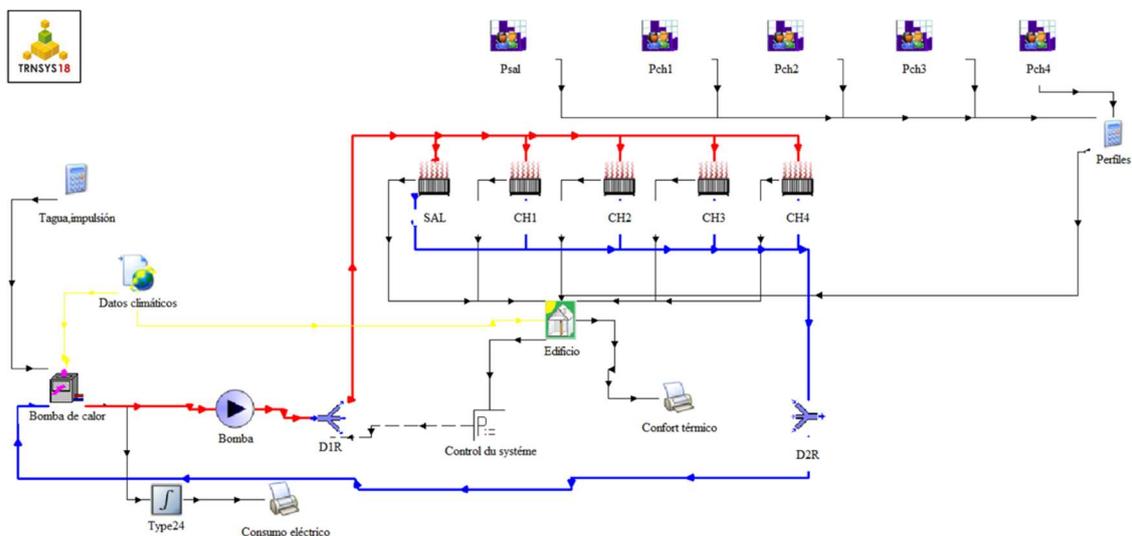


Figura 7. Montaje simplificado del sistema de control en Trnsys.

Cabe destacar el modelo de bomba de calor, que se ha desarrollado se basa en las curvas de funcionamiento típicas obtenidas de catálogos de fabricantes. Además, el modelo permite incorporar la modificación de la eficiencia de la máquina (COP) debido a la fracción de carga.

Resultados. Caso de estudio

Los resultados del estudio analizan la conveniencia del sistema de control hidráulicos de Airzone desde el punto de vista del confort térmico y consumo de energía. Además, se realiza un estudio económico para evaluar la viabilidad técnico-económica.

Caso de estudio

Se trata de una vivienda unifamiliar con una superficie total de 120 m² que presenta 5 zonas climatizadas: Salón-Cocina (SAL), Habitación 1 (CH1) en planta baja, y los dormitorios Habitación 2 (CH2), Habitación 3 (CH3) y Habitación 4 (CH4) en planta alta (Figura 8).

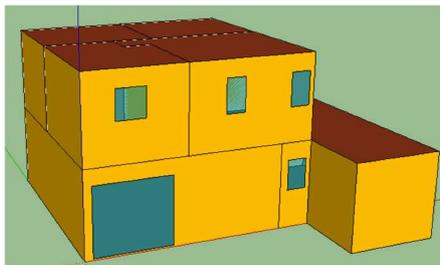


Figura 8. Representación en 3D de la vivienda.

La vivienda se ha simulado para 3 ciudades características españolas: Madrid, Zaragoza y Bilbao, en orden de severidad climática en invierno. Las temperaturas mínimas y máximas en los meses de invierno de cada una de ellas se representan en la Tabla 1 [8].

		ENE	FEB	MAR	ABR	OCT	NOV	DIC
Temperatura mínima (°C)	Madrid	1	1	4	6	9	4	1
	Zaragoza	3	4	6	9	11	7	4
	Bilbao	5	5	7	8	12	9	6
Temperatura máxima (°C)	Madrid	10	12	16	18	20	14	11
	Zaragoza	11	13	17	20	21	15	11
	Bilbao	12	12	14	16	21	15	11

Tabla 1. Temperaturas máximas y mínimas medias mensuales en los meses de calefacción.

Se han considerado 3 casos de aislamiento para la vivienda que representan diferentes escenarios de carga térmica: un aislamiento elevado típico de nuevas edificaciones definido por las normativas actuales (AIS3), un edificio con aislamiento medio (AIS2) y un edificio con aislamiento bajo, típico de las viviendas más antiguas (AIS1). Las propiedades de las envolventes de los edificios se definen a partir del coeficiente global de transferencia de calor de cada elemento constructivo (U), tal y como se describen en la Tabla 2.

Superficie	AIS1	AIS2	AIS3
Pared exterior	1.14	0.56	0.18
Pared interior	0.88	0.60	0.215
Techo	0.88	0.60	1
Suelo	0.40	0.24	0.26
Tejado	1.10	0.60	0.22
Ventana	5.68	2.90	1.3

Tabla 2. Características térmicas de los cerramientos de la vivienda (U en W/m²K).

Puesto que en un sistema zonificado no se combate la carga térmica de las zonas en las que no hay ocupación, es importante determinar el perfil de uso de cada estancia. (Figura 9).

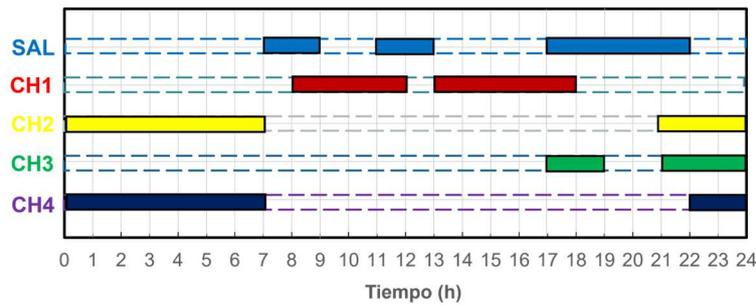


Figura 9. Perfil de ocupación de la vivienda.

Se considera que en las horas donde no hay ocupación, los radiadores siguen operando, pero con consignas de temperatura más bajas para evitar una excesiva carga de calefacción. La consigna de las zonas en calefacción es de 20°C y 18°C en los periodos donde no hay ocupación en las zonas. De esta forma, se ha dimensionado los equipos a partir de las cargas térmicas de las zonas para asegurar que el sistema es capaz de asegurar las condiciones de confort durante la época de calefacción.

Los equipos de producción seleccionados son una caldera de gas convencional y la línea de modelos Altherma HT (High Temperature) del fabricante Daikin [9] adecuados para su uso con radiadores de alta temperatura.

Resultados.

Los resultados obtenidos de las simulaciones van a comparar los 3 escenarios de climatización y control descritos en el apartado 2 (CALD, BDC y AIRZ), realizando una comparativa como se describe a continuación:

- 1| CALD-AIRZ. La rehabilitación de una vivienda sustituye la caldera por una bomba de calor de alta temperatura y se instala el sistema de control de Airzone. En este caso se analiza para las 3 ciudades, aunque la caldera sólo se contempla en las viviendas con niveles de aislamiento bajo (AIS1) y medio (AIS2), ya que para el nivel de aislamiento de nuevas viviendas (AIS3) se considera que no se instalan nuevas calderas.
- 2| BDC-AIRZ. Se compara la instalación de una bomba de calor con sistema de control de Airzone y con respecto al caso de una bomba de calor no zonificado. Este caso se evalúa para las 3 ciudades de estudio y los 3 niveles de aislamiento de vivienda.

Confort térmico

Los resultados de confort no se centran exclusivamente en la comparación de la temperatura de la zona, sino que se propone la evaluación del confort según la norma UNE EN ISO 7730: 2006 [10].

Parámetros de confort: PMV y PPD

En unas condiciones estándar de confort asociadas al factor de ropa, la tasa metabólica y la velocidad relativa del aire se realiza una comparación de los parámetros PPD y PMV de un sistema zonificado y un sistema no zonificado.

El PMV (predicted mean vote) es un índice que refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto de una escala de sensación térmica de 7 niveles al ser sometidos a diferentes ambientes térmicos, basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano (Figura 10).

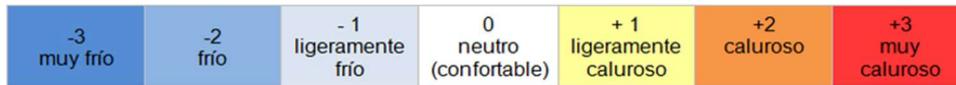


Figura 10. Escala de PMV

El cálculo del PMV permite estimar la sensación térmica del cuerpo humano en su conjunto a partir de la estimación o medición de los parámetros que condicionan el equilibrio térmico global del cuerpo: tasa metabólica del sujeto, aislamiento de la ropa, temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad relativa del aire y humedad del aire.

El índice PPD (predicted percentage dissatisfied) suministra información acerca de la incomodidad o insatisfacción térmica, mediante la predicción cuantitativa del porcentaje de personas que, probablemente, sentirán demasiado calor o demasiado frío en un ambiente determinado. El PPD puede obtenerse a partir del PMV.

Conforme a la norma UNE ENE ISO 7730: 2006, los valores recomendados para proporcionar bienestar térmico global al 90% de los usuarios son los que se muestran en la Tabla 3.

CLASSE	PPD (%)	PMV
A	<6	-0,2 < PMV < 0,2
B	<10	-0,5 < PMV < 0,5
C	<15	-0,7 < PMV < 0,7

Tabla 3. Categorías del ambiente térmico según el PPD y el PMV.

Actualmente, las exigencias de confort en edificios son elevadas y se intenta conseguir que la categoría alcanzada sea la B, especialmente en edificios de eficientes y sostenibles que obtienen certificaciones de tipo BREEAM o LEED [11]. La figura 11 muestra una comparativa del porcentaje de horas en las que se cumplen las condiciones de confort, tanto en la zona maestra donde se encuentra instalado el termostato (Salón), como para el resto de las zonas térmicas de la vivienda (Zonas). Se comparan los resultados de los 3 casos de estudio: caldera (CAL), bomba de calor no zonificado (BDC) y bomba de calor con sistema de control Airzone (AIRZ ) , para las 3 ciudades de estudio y, en cada una, se incluyen los 3 aislamientos de la vivienda propuestos (AIS1, AIS2, AIS3).



Figura 11. Comparativa entre sistemas para comparar las categorías de confort

De forma general, se observa cómo, en todos los casos, los porcentajes de confort obtenidos en el Salón son más favorables que en el resto de las zonas de la vivienda. Además, en los casos con bomba de calor (BDC y AIRZ) donde existe control, se obtienen porcentajes mayores que en el caso de la caldera (CAL). Como ejemplo, se observa que la caldera obtiene porcentajes de confort en torno al 50-80% en el salón, mientras que en los casos de control con bomba de calor los porcentajes aumentan con una media entre el 85-95%.

En relación con el control del confort en el resto de las zonas de la vivienda, cabe destacar cómo el control zonificado de Airzone (AIRZ) obtiene resultados notablemente más favorables en el resto de las zonas con respecto al caso no zonificado (BDC) y caldera (CAL). Esto es debido a la regulación de las válvulas de cada radiador en función de la regulación individual de las temperaturas en cada zona de la vivienda, que asegura el confort térmico. Los porcentajes de confort con el control zonificado van desde el 88-97% para el resto de las zonas, mientras que en el no zonificado el porcentaje medio varía del 55-70% y, para el caso de la caldera, disminuye al 35-50% debido a que no existe ningún tipo de control. En los casos BDC y CAL, sin control del resto de zonas, los resultados muestran valores de PMV superiores al 1.5-2, lo que supone un sobrecalentamiento en la vivienda innecesario lo que llevará a un mayor consumo de energía tal y como se analiza en el siguiente apartado.

Consumo de energía y estudio medioambiental

Consumo de energía eléctrica de la bomba de calor

Tras la evaluación del confort térmico del edificio, el siguiente paso consiste en la comparación del consumo de energía y el estudio medioambiental. El objetivo es demostrar que la estrategia de control del sistema zonificado es más eficiente desde el punto de vista del consumo de energía por la capacidad de satisfacer de forma efectiva las necesidades

térmicas de cada una de las zonas, lo que repercute en un mejor rendimiento del sistema de producción.

En primer lugar, se va a realizar una comparativa del caso BDC-AIRZ, donde se analiza el consumo de energía eléctrica de la bomba de calor en las 3 ciudades y para los 3 niveles de aislamiento de la vivienda (Figura 12). El objetivo es evaluar a nivel de ahorro de energía (indicado en porcentaje en la figura) la influencia del sistema de control zonificado.

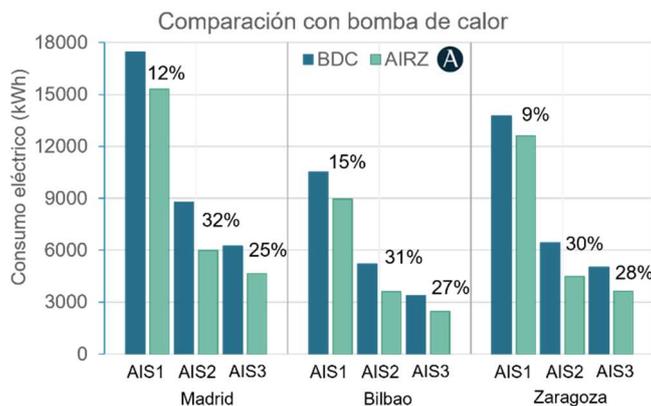


Figura 12. Comparativa de consumo eléctrico para los casos de bomba de calor.

En todos los casos comparados se puede observar cómo el consumo de energía eléctrica de una instalación con bomba de calor y el sistema de control zonificado de Airzone supone un ahorro de energía con respecto al caso no zonificado, donde el sistema se controla a partir de la temperatura medida en el salón. Los ahorros van del 9 al 32%, según el tipo de clima y el nivel de aislamiento de la vivienda. En todos los casos se observa cómo en las viviendas con nivel de mayor aislamiento el consumo de energía es menor. También se observa que, en Madrid, la ciudad más fría, se tiene un mayor consumo de energía.

Emisiones de CO₂

Para realizar una comparativa con el caso de la caldera, se ha optado por realizar un análisis comparativo de las emisiones de CO₂ que suponen los 3 casos de estudio, ya que la caldera tiene un consumo energía final de gas natural y no es comparable directamente con el consumo eléctrico de la bomba de calor. Para el cálculo de las emisiones de CO₂ se ha tenido en cuenta los coeficientes de conversión de energía final a emisiones de CO₂ dados según el informe “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” realizado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, y el Ministerio de Fomento [12]. Estos coeficientes son 0.357 kgCO₂/kWh_e para la bomba de calor y 0.252 kgCO₂/kWh_e para la caldera de gas.

La figura 13 muestra el estudio medioambiental con la comparación de las emisiones de CO₂ de las 3 instalaciones de climatización propuestas (CALD, BDC y AIRZ), en las 3 ciudades y con los 3 niveles de aislamiento de la vivienda. Además, se indica el porcentaje de ahorro en emisiones de CO₂ de lo que supone la instalación de bomba de calor primero en el caso del control no zonificado con respecto a la caldera y, segundo, el porcentaje de ahorro con la bomba de calor y el sistema de control de Airzone (AIRZ) respecto a la caldera. Por otro lado, el incremento del porcentaje de ahorro al instalar un sistema de control

zonificado aumenta en todos los casos consiguiendo ahorros importantes de emisiones de CO₂ del 25 al 65% respecto al caso de la caldera para niveles de aislamiento AIS1 y AIS2, respectivamente.

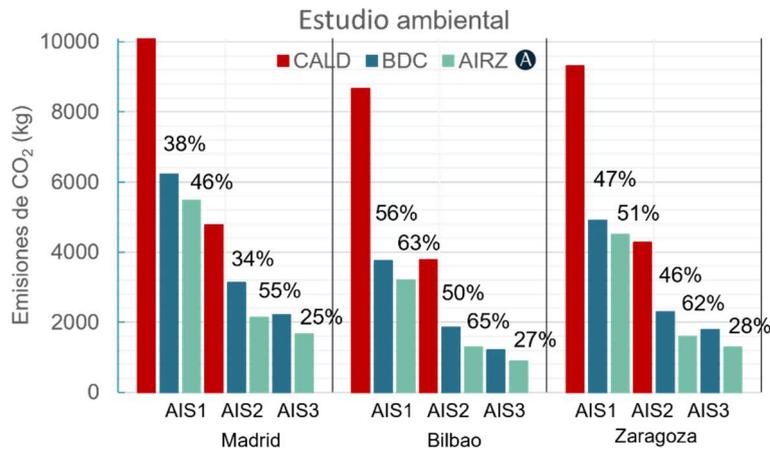


Figura 13. Estudio medioambiental. Comparativa de las emisiones de CO₂

Estudio económico. Amortización del sistema de control Airzone.

El análisis económico se basa en la comparación de la inversión inicial de equipo de producción y el sistema de control y de los costes operativos del consumo del sistema de climatización obtenido en la simulación. A partir de estos datos, se calcula el tiempo necesario para la amortización del sistema de control Airzone. El análisis se realiza para los casos: CALD-AIRZ (la sustitución de la caldera por la bomba de calor con control zonificado de Airzone) y BDC-AIRZ (comparación del caso de bomba de calor con sistema de control no zonificado frente al control zonificado de Airzone). En la Tabla 4 se muestran los costes de los equipos obtenidos de los catálogos de fabricantes, para el sistema convencional y el sistema zonificado de Airzone.

Costes (€)	Convencional	Airzone
Bomba de calor [9]	8100	8100
Control convencional	200	
Control Airzone	-	1448
Central AZCE8CB1DIN Flexa 4.0	-	136
Módulo AZCE8CM1VALR de válvulas inalámbricas VALR	-	95
Termostato BlueZero	-	183
4 Termostatos Lite	-	572
5 Cabezales termostáticos inalámbricos VALR	-	275
Webserver Hub Airzone Cloud Dual 2.4-5G – Ethernet	-	187
Total	8300	9647

Tabla 4. Costes iniciales de los sistemas.

En la Tabla 4 se muestra que el coste inicial del sistema zonificado de Airzone es superior al sistema de convencional debido al coste de los elementos del sistema de control. Sin embargo, tal y como se muestra en la Tabla 5, los años de amortización de retorno de la inversión para los distintos casos de estudio están entre 2 y 6 años, periodos muy razonables considerados económicamente viables, a lo que se añade la mejora del confort térmico analizada anteriormente y que no se cuantifica en términos económicos. Los costes de operación se han calculado para los casos comparativos con la bomba de calor (BDC-AIRZ) a partir de los consumos anuales de electricidad de la bomba de calor obtenidos en la Figura 12 y el coste del kWh eléctrico para la bomba de calor, que se ha estimado en 0.23 €/kWh como promedio en los últimos meses debido a las grandes fluctuaciones de este valor [13]. Por otro lado, para el caso comparativo con la caldera (CALD-AIRZ), se ha utilizado un valor de 0.0841 €/kWh como valor representativo del coste del gas natural en España [14].

Aislamiento	AIS1		AIS2		AIS3
Ciudad/Caso	CALD-AIRZ	BDC-AIRZ	CALD-AIRZ	Ciudad/Caso	CALD-AIRZ
Madrid	3.1	2.5	5.1	2.0	3.4
Bilbao	2.3	3.4	5.1	3.4	6.0
Zaragoza	2.9	4.7	4.8	2.8	3.9

Tabla 5. Años de amortización según los casos de estudio.

Como se puede observar, el ahorro es mayor a medida que la severidad climática es más extrema, donde se consiguen menores tiempos de retorno. Cabe destacar que el 50% de los casos estudiados el periodo de amortización está en torno a los 3-3.5 años. Por otro lado, es importante resaltar que la influencia del tipo de vivienda, aunque influye, no es determinante y que la inversión es rentable para viviendas con diferentes niveles de aislamiento.

Conclusiones

El presente estudio analiza con detalle el comportamiento del sistema de control zonificado de radiadores con bomba de calor de Airzone como alternativa más idónea en una rehabilitación del sistema de climatización de una vivienda residencial. Esta solución se compara con dos sistemas diferentes: una caldera de gas natural en una instalación sin control de los radiadores, y una bomba de calor con un sistema no zonificado, controlado por la monitorización de la temperatura en una estancia de la vivienda.

Las conclusiones del estudio describen las principales ventajas obtenidas en las diferentes comparativas realizadas en materia de confort térmico, consumo de energía eléctrica, emisiones de CO₂ y análisis económico que permite evaluar el tiempo de amortización del sistema de control. Las conclusiones se definen a continuación:

1. El sistema de control zonificado controla de forma independiente la temperatura de cada una de las zonas de una vivienda, lo que asegura un porcentaje de horas de confort medio entre el 88-97% con valores de bienestar térmico muy favorable a los usuarios del edificio. Este sistema se compara con respecto al caso de un sistema convencional donde existe un solo termostato en una zona maestra para regular el funcionamiento del sistema y que provoca sobrecalentamiento en el resto de las zonas, con porcentajes que

disminuyen al 55-70% en el caso de la bomba de calor y del 35-50% en el caso de la caldera.

2. Se evalúa la influencia del sistema de control zonificado para el caso de la bomba de calor en términos de consumo de energía eléctrica. Los ahorros van del 9 al 32%, según el tipo de clima y el nivel de aislamiento de la vivienda.
3. En relación con el estudio medioambiental, el incremento del porcentaje de ahorro de emisiones de CO₂ es mayor al instalar un sistema de control zonificado, y se acentúa para niveles de aislamiento más elevados, así como para los climas más fríos.
4. Aunque inicialmente hay que realizar una inversión inicial en el sistema de control, se observa a través del estudio económico que los tiempos de amortización están entre 2 y 6 años, periodos muy razonables, considerados económicamente viables. El ahorro es mayor a medida que la severidad climática es más extrema, donde se consiguen menores tiempos de retorno. Cabe destacar que el 50% de los casos estudiados el periodo de amortización está en torno a los 3-3.5 años.

Referencias

- [1] Comisión Europea. Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética. Diario Oficial de las Comunidades Europeas (2012), L 315/1.
- [2] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS REPowerEU: Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy. Strasbourg 8.03.2022.
- [3] IEA (2022), The Future of Heat Pumps, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>, License: CC BY 4.0
- [4] European Commission, "Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast)." 2023. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L1791>
- [5] Real Decreto 1178/2023, de 27 de diciembre. PREE 5000. Rehabilitación energética de edificios en municipios de reto demográfico. Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Unión Europea – Next GenerationEU.
<https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-la-rehabilitacion-de-edificios/programa-pree-5000-rehabilitacion>
- [6] TRNSYS <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>. (Acceso 28.12.23).
- [7] EN 52120-1 Energy Performance of Buildings - Contribution of Building Automation, Controls and Building Management - Part 1: General Framework and Procedures
- [8] <https://es.weatherspark.com>
- [9] Catálogo Calefacción Daikin 2022.
https://www.daikin.be/fr_be/installateurs/support-technique/brochures.html

- [10] UNE-EN 15377. Sistemas de calefacción en los edificios. Diseño de sistemas empotrados de calefacción y refrigeración por agua. Octubre 2008.
- [11] BRE, BREEAM offices 2008 assessor manual, BREEAM. Watford: BRE Global Ltd.; 2010.
- [12] 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. Resolución conjunta de los Ministerios de Industria, Energía y Turismo, y Ministerio de Fomento. 14 de enero de 2016.
- [13] <https://www.preciogas.com/suministro-gas/tarifas-gas/precio-kwh>
- [14] <https://esios.ree.es/es/pvpc>