

Modelo combinado fancoil de conductos-suelo radiante de airzone. Caso de estudio.

1. Introducción

La tendencia de los hábitos de vida de los países industrializados, en la que las personas pasan la mayor parte del tiempo en espacios cerrados, implica cambios significativos tanto en el consumo producido en el edificio, como en las exigencias de confort térmico, lumínico y calidad del aire interior, así como la forma de gestionar estos servicios. 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].

Por otra parte, la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo [4], relativa al uso de energía procedente de fuentes renovables, reconoce como energía renovable, la energía capturada por las bombas de calor, que es una máquina térmica capaz de transferir calor desde un foco frío a uno caliente. Actualmente, en los edificios residenciales de nueva construcción, está siendo la principal opción para cubrir las necesidades de ACS y climatización cumpliendo la contribución de energía renovable mínima que establece el RITE [5], sustituyendo así a los captadores solares térmicos y a los equipos de expansión directa. Instalaciones con radiadores, suelo radiante, fancoils o la combinación de estas unidades terminales son cada vez más comunes instaladas con la bomba de calor.

El objetivo de este estudio consiste en demostrar cómo la implementación de sistemas de control inteligentes en las instalaciones de climatización con equipos hidráulicos contribuye de manera eficaz 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 hidráulicos mediante el software TRNSYS [6]. El objetivo es evaluar el potencial del sistema de control que combina el funcionamiento de un suelo radiante y un fancoil de conductos zonificado, frente a un caso convencional de una configuración de fancoils individuales y suelo radiante. El caso de estudio es una vivienda unifamiliar situada en una planta intermedia de un edificio. Se lleva a cabo un análisis simulando en varias localidades para evaluar la influencia del clima en el ahorro de energía y el confort que se consigue con cada tipo de instalación y control.

2. Estrategias de control propuestas.

Se propone la comparación de dos estrategias de control en instalaciones hidráulicas donde se utiliza una bomba de calor aire-agua como unidad de producción y el suelo radiante y fancoil como unidades terminales.

1| Sistema convencional

La configuración más común en el sector residencial con sistemas hidráulicos es el uso de un fancoil individual en cada zona para refrigeración y del suelo radiante para calefacción (**FCind+SR**). En este caso no existe un control que combine ambas unidades al mismo tiempo. La temperatura de producción de agua caliente/fría se fija a 35°C para el suelo radiante y 7°C para los fancoils, ya que no existe pasarela de comunicación para gestionar la bomba de calor, aunque sí que se regula la velocidad del ventilador de cada fancoil en relación a la diferencia de temperaturas entre la zona y la consigna. Además, se instala un termostato en cada zona que permite zonificar térmicamente la vivienda. Es un sistema de control avanzado, que zonifica, pero que no permite la combinación simultánea de ambas unidades terminales. En la figura 1 se muestra el esquema de la configuración:

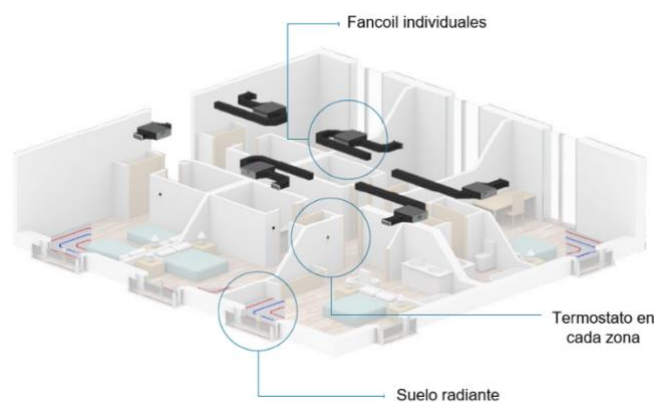


Figura 1. Estrategia de control de sistemas hidráulicos: Fancoil individuales (refrigeración) con suelo radiante (calefacción).

El suelo radiante, que actúa sólo en modo de calefacción, ha sido evaluado según dos opciones de regulación.

- Suelo radiante zonificado (**SR Zon**). El agua se impulsa a cada zona sólo si ésta está en demanda térmica. Así, el consumo energético de la bomba de calor está condicionado a la cantidad de agua que se calienta según el número de zonas en demanda, con la temperatura de consigna del agua fijada en 35°C. La válvula de cada suelo radiante se abre en función de la variación de la temperatura ambiente respecto a la consigna. Se aplica un perfil ocupacional residencial típico. Esta estrategia evita el sobrecalentamiento en la zona y en la superficie del suelo, pero tiene el inconveniente de la inercia térmica del suelo que implica el retraso en alcanzar las condiciones de confort por el proceso de calentamiento del suelo.
- Suelo radiante 24 horas encendido (**SR 24h**). La bomba de calor impulsa durante todo el día el agua caliente a cada suelo radiante con la temperatura de impulsión fijada en 35°C. Todas las zonas están acondicionadas durante todo el día. Esta estrategia es muy favorable para evitar retrasos y situaciones de disconfort en las zonas, pero el consumo energético puede verse comprometido con respecto al control anterior

2| Control combinado suelo radiante con fancoil de conductos zonificado (COMB)

La empresa ALTRA propone un control que combine el uso eficiente de las dos unidades terminales, bajo la premisa de garantizar el confort térmico en la zona y con una gestión con el sistema de producción que optimice el consumo de energía de la instalación, tal y como se describe en la Figura 2.

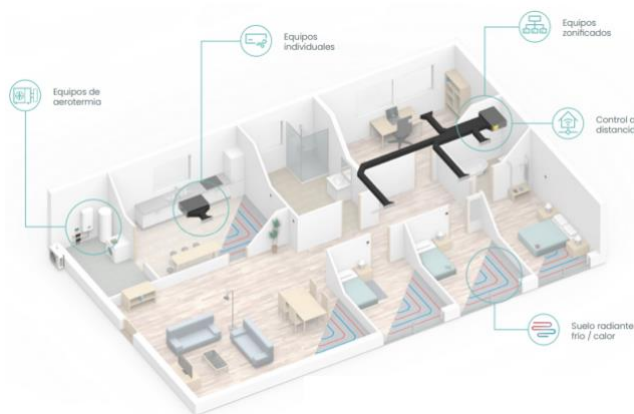


Figura 2. Esquema de un sistema de control zonificado para un fancoil de conductos con suelo radiante y bomba de calor.

La estrategia de control combinada tiene las ventajas de ambas unidades terminales. En la Figura 3 se muestra el funcionamiento del sistema en modo calefacción según los modos de control propuestos: solo suelo radiante, solo fancoil o ambos sistemas a la vez.

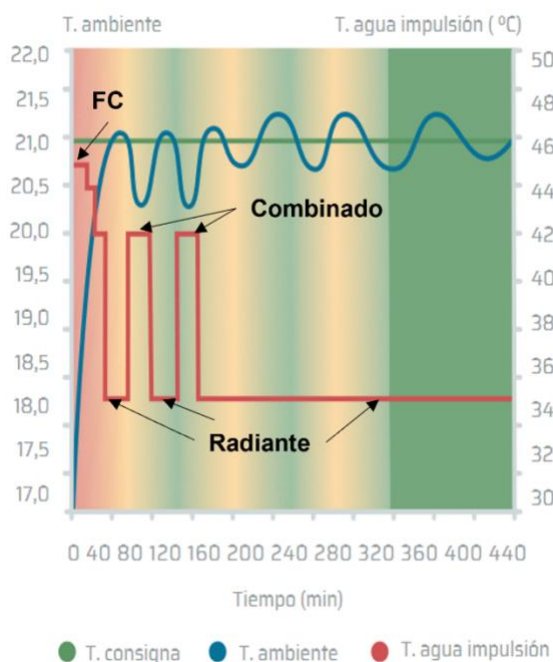


Figura 3. Control combinado de suelo radiante y fancoil en modo calefacción.

Se describe el ejemplo de la figura 4 en el caso de calefacción. Cuando la temperatura de la zona (T_{ambiente}) está lejos de la temperatura de consigna (T_{consigna}), solo se activa el fancoil para lograr un rápido aumento de la temperatura del aire, y se fija la temperatura de producción de la bomba de calor en 45°C . Conforme T_{ambiente} va subiendo, también se activa el sistema de calefacción por suelo radiante para aumentar la temperatura de la superficie del suelo lo más rápido posible. En este período, ambos sistemas hacen que T_{ambiente} se acerque a la consigna con la regulación de la velocidad del ventilador y disminuyendo la temperatura de producción. Cuando se alcanza el nivel inferior de la histéresis de la consigna, solo se mantiene activo el sistema de calefacción por suelo radiante y la temperatura de producción se fija en 35°C . A partir de este momento, la temperatura se mantiene con la inercia térmica del suelo y solo se vuelve a activar el fancoil cuando la temperatura vuelve a salir de la histéresis de confort.

3. Implementación de los modelos en TRNSYS

El presente estudio se ha resuelto haciendo uso del programa TRNSYS, 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 (Figura 4).

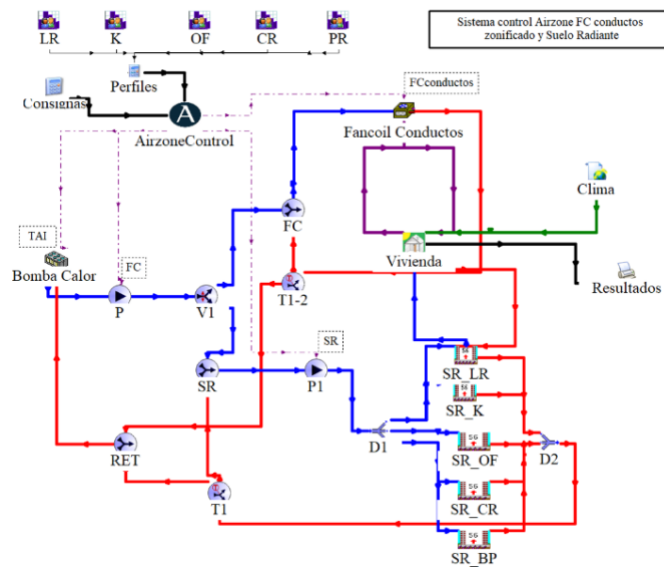


Figura 4. Montaje simplificado del sistema de control combinado en Trnsys.

El control combinado actuará sobre los siguientes elementos de la instalación:

- Bomba de calor: temperatura de consigna en la producción de agua caliente y bomba circuladora (todo o nada).
- Válvula de dos vías que dirige el caudal hacia el circuito de fancoils o suelo radiante.
- Electroválvulas del cuadro de colectores de impulsión del circuito de fancoils.
- Velocidad del ventilador del fancoil (tres velocidades).
- Bomba circuladora del circuito de suelo radiante (todo o nada).
- Electroválvulas del cuadro de colectores de impulsión del circuito de suelo radiante.

El modelo de bomba de calor 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.

4. Resultados. Caso de estudio

Los resultados del estudio analizan la conveniencia del sistema de control hidráulicos de Airzone, con respecto a la configuración de fancoils individuales y suelo radiante propuesta, 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

La vivienda simulada en las localidades de Madrid, Valencia y Barcelona, se muestra en la figura 5.

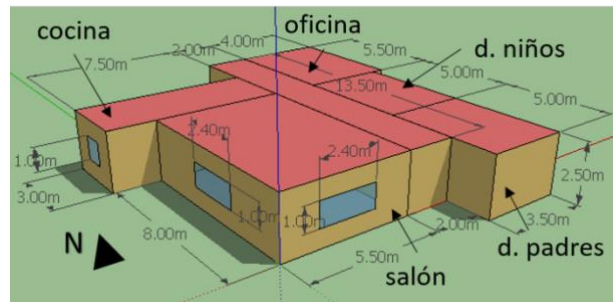


Figura 5. Planta de la vivienda. Representación en 3D con mediciones.

La vivienda presenta cinco zonas climatizadas (Salón, cocina, oficina, dormitorio padres y dormitorio niños), con una superficie de 121 m², y el resto se considerará una única zona no acondicionada. 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 6).

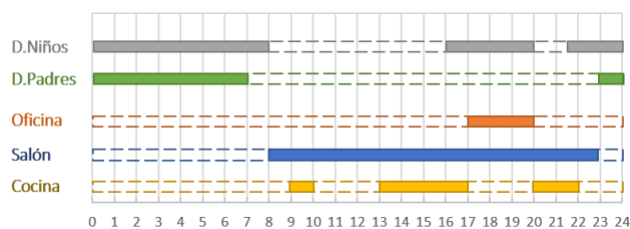


Figura 6. Perfil de ocupación de la vivienda.

Además, se han considerado las propiedades térmicas de los cerramientos y huecos característicos según la zona climática acorde a los requisitos establecidos en el CTE, tal y como se muestra en la tabla 1.

Ciudad	Pared Exterior	Techo/Suelo	Ventana
Madrid	0.41	0.65	1.8
Barcelona	0.49	0.70	2.1
Valencia	0.56	0.75	2.3

Tabla 1. Coeficiente global de transferencia de calor límite (Ulim, en W/m²K), según el CTE, para cada ciudad.

Cálculo de cargas. Dimensionado de los equipos

El dimensionado del equipo se realiza teniendo en cuenta que el rango de confort del usuario se establecerá entre 22 y 24°C.

En un sistema zonificado, la red de distribución de aire dispone de compuertas motorizadas que permiten ajustar el aporte térmico del sistema a la demanda de cada zona por separado. De esta forma, el equipo debe dimensionarse teniendo en cuenta la máxima carga sensible simultánea de las zonas, es decir, para cada paso de tiempo, se suman las cargas de todas zonas y el equipo se dimensiona a partir del máximo anual para refrigeración y calefacción. Esto puede suponer que en el dimensionamiento del equipo de producción se pueda seleccionar en algunos casos un equipo de menor potencia. La reducción de potencia para aerotermia con Airzone en diferentes zonas climáticas de España se puede consultar con más detalle en el informe publicado en la web de Airzone [7].

Por otro lado, según la norma prEN 15377 [8] la ecuación para obtener el flujo de calor disipado por un suelo radiante frío es:

$$q_{ref} = 7 \cdot (|T_{suelo} - T_{operativa}|)$$

, donde q_{ref} es el flujo de calor de refrigeración que es capaz de aportar el suelo radiante (W/m²), T_{suelo} es la temperatura media del suelo (°C) y $T_{operativa}$ es la temperatura nominal operativa interior (°C). Teniendo en cuenta que el RITE determina que las temperaturas operativas interiores deben ser de 23-25°C en verano, y que la temperatura del suelo está limitada por el riesgo de condensación, se puede determinar la potencia máxima aportada desde el suelo radiante es de $q_{máx,ref} = 42$ W/m².

El sistema combinado, tal y como se ha descrito, prioriza el funcionamiento del suelo radiante como elemento principal de climatización, y el fancoil entra en funcionamiento cuando es necesario, es decir, cuando el suelo no es capaz de combatir toda la carga sensible o cuando hay que combatir la carga latente de la zona. Esto posibilita el dimensionamiento de un fancoil con menor potencia, ya que se usa como complemento del suelo radiante. La principal ventaja es que el caudal de aire de impulsión a cada zona es menor, lo que supone numerosas ventajas en diferentes aspectos:

- Consumo eléctrico del ventilador más bajo.
- Menor nivel de ruido en las zonas.
- Rejillas de impulsión más pequeñas, lo que supone conductos de aire más bajos y una mejor integración arquitectónica.
- Evitar llevar tuberías de agua a cada habitación por el falso techo, lo que supone un menor mantenimiento de la instalación.

Teniendo en cuenta este sistema de control combinado, la tabla 2 muestra las cargas simultáneas de cada ciudad, así como la bomba de calor y el fancoil de conductos seleccionado (según un modelo de fabricante [9]).

EQUIPO	Madrid	Barcelona	Valencia
Carga calefacción (W)	6849	5567	4827
Carga sensible refrigeración (W)	4471	4512	4354
Carga total refrigeración (W)	5215	7267	6242
Bomba de calor	EBLQ07CV3	EBLQ07CV3	EBLQ07CV3
FC conductos	FWM06D	FWM08D	FWM06D

Tabla 2. Dimensionamiento de la bomba de calor y el fancoil de conductos.

En el caso que en refrigeración el suelo radiante no actuase, el fancoil de conductos tendría que combatir toda la carga de las zonas y se requeriría, por ejemplo, en Barcelona un modelo de FWM10D. La bomba de calor seleccionada tiene suficiente capacidad para satisfacer los requisitos del suelo radiante y el fancoil de conductos en las condiciones más desfavorables del año.

Por otro lado, el caso de estudio con el que se compara de fancoils individuales y suelo radiante sí que se considera que está zonificado por disponer de un termostato por zona, por lo que el dimensionado en ambos casos de la bomba de calor se hace a partir de las cargas simultáneas (Tabla 2). Sin embargo, al no disponer de un control que combine ambas unidades terminales, el dimensionamiento de éstas debe hacerse para que se combata la carga punta de cada una de las zonas. En la tabla 3, se muestran los fancoils individuales seleccionados para cada ciudad (según un modelo de fabricante [9]) y las cargas punta de cada una de las zonas (Q (W)).

Zona	Madrid		Barcelona		Valencia	
	Q(W)	FC	Q(W)	FC	Q(W)	FC
SAL	1849	FWT02	2508	FWT04	2521	FWT04
COC	2483	FWT04	3003	FWT05	2059	FWT03
OFI	1590	FWT02	1870	FWT02	2272	FWT04
DNIN	1006	FWT02	1256	FWT02	1722	FWT02
DPAD	1122	FWT02	1695	FWT02	1252	FWT02

Tabla 3. Dimensionamiento de los fancoils individuales.

Resultados. Confort térmico

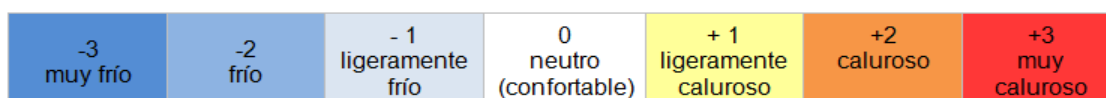
Evaluación del confort térmico

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 ENE 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:



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 4.

CATEGORÍA	PPD (%)	PMV
A	< 6	-0.2 < PMV < 0.2
B	< 10	-0.5 < PMV < 0.5
C	< 15	-0.7 < PMV < 0.7

Tabla 4. Categorías del ambiente térmico según el PPD y el PMV.

A día de hoy, 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 8 muestra una comparativa del porcentaje de horas que confort en las tres ciudades, para calefacción y refrigeración, respectivamente. Para el caso de calefacción, se tienen en cuenta los dos sistemas de control del suelo radiante convencional.



Figura 8. Comparativa entre sistemas para comparar las categorías de confort

De forma general, en modo refrigeración tanto el sistema combinado como los fancoils individuales consiguen niveles de confort similares. Esto es debido a que cada fancoil es capaz de mantener la temperatura de consigna en cada zona de forma individual. Sin embargo, en modo calefacción sí que existen mayores diferencias.

- Con respecto al modo de suelo radiante zonificado, éste tiene un alto nivel de disconfort en los periodos de tiempo en los que se activan las zonas debido a la inercia térmica del suelo, que tarda un periodo importante de tiempo en coger la temperatura necesaria para satisfacer las necesidades de la zona. Los porcentajes de disconfort son del 20-48%. El modo combinado, con la activación del fancoil en la etapa de aire, evita estos periodos asegurando el confort.
- Con respecto al suelo que está 24 horas en funcionamiento, éste no tiene el problema de la inercia térmica por lo que los niveles de disconfort se justifican por los sobrecalentamientos que se producen en las horas en las que la demanda de calefacción es más baja, sobre todo en zonas con una alta ocupación como el salón o el dormitorio de los niños. Esto ocurre en climas con inviernos menos severos (Barcelona y Valencia), con un porcentaje en torno al 20%.

Los resultados de confort del modo combinado oscilan entre 85 y 94% lo que demuestra el correcto funcionamiento de ambas terminales para asegurar el confort en cada una de las zonas.

Resultados. Consumo de energía.

Tras la evaluación del confort térmico del edificio, el siguiente paso consiste en la comparación del consumo eléctrico de ambos sistemas. El objetivo es demostrar que la estrategia de control del sistema combinado es más eficiente desde el punto de vista del consumo de energía por las siguientes razones:

- El sistema combinado hace que el número de horas en las que el suelo radiante está activo es muy alto, lo que mejora las prestaciones de la bomba de calor ya que se trabaja con temperaturas de producción más favorables.
- La capacidad de gestionar la producción de la bomba de calor con la pasarela de comunicación permite que la bomba de calor funcione en condiciones de operación más favorables, por lo que opera con un mejor rendimiento.
- El consumo de los ventiladores de un sistema de fancoil de conductos con el sistema de control zonificado es más favorable que un sistema de fancoil individuales. En primer lugar, es un solo ventilador frente a los 5 de los fancoils individuales. En segundo lugar, porque la carga que tiene que combatir es mucho menor debido a la actuación constante del suelo radiante.

Todas estas premisas van a ser evaluadas con la simulación energética de la vivienda. En la figura 9 se muestran los resultados obtenidos para la comparación de estos sistemas para las distintas ciudades estudiadas.

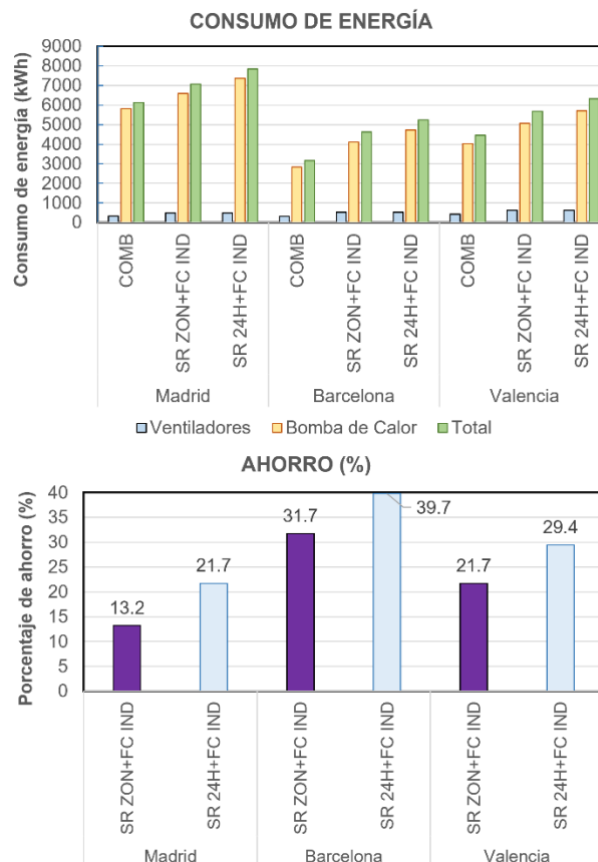


Figura 9. Comparativa de consumo eléctrico.

En todos los casos el consumo de climatización es más bajo en un sistema combinado. La razón es sencilla, por ejemplo, en refrigeración, el caso de fancoil individual en cada zona hace que la bomba de calor trabaje en condiciones más desfavorables, con una producción de agua fría a 7°C, mientras que el sistema combinado favorece que el suelo refrescante actúe un gran porcentaje de horas de verano con una producción de agua fría a 18°C, con la consiguiente mejora del rendimiento en la operación de la bomba de calor. Esto ocurre entre un 80-90% durante los meses de verano. Además, el consumo de ventiladores en el caso de fancoil individual es más del doble que en el caso del fancoil de conductos, por tener un fancoil por zona frente al fancoil de conductos. Para el caso de calefacción, el suelo radiante solo trabaja a temperaturas de producción de 35°C respecto al combinado, en el que entra el fancoil en funcionamiento y la temperatura se cambia a 42-45°C. Sin embargo, el ahorro del consumo de energía es favorable en todos los casos, con ahorros desde el 13 al 40%.

5. Estudio económico. Amortización del sistema de control Airzone.

El análisis económico se basa en la comparación de la inversión inicial de equipo de producción, unidades terminales, elementos de difusión y sistemas 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. En la tabla 5 se muestran los costes de los equipos obtenidos de los catálogos de fabricantes, para el sistema convencional (CONV) y el sistema combinado (se ha obviado la instalación de suelo radiante, ya que es la misma en ambos casos):

Ciudad	Madrid		Barcelona		Valencia	
Costes (€)	CONV	A	CONV	A	CONV	A
Aerotermia	6159	6159	6159	6159	6159	6159
Uds. Interiores	1802	662	1986	810	1861	662
Control FC ind.	202	-	202	-	202	-
Control SR	917	-	917	-	917	-
Control Airzone	-	2195	-	2195	-	2195
Difusión	-	611	-	611	-	611
Total	9080	9627	9264	9775	9139	9627

Tabla 5. Costes iniciales de los sistemas.

En la tabla se muestra que el coste inicial del sistema combinado de Airzone es superior al sistema de fancoils individuales con suelo radiante en las tres ciudades, debido al coste de los elementos del sistema de control y los elementos de difusión. Finalmente, en la tabla 6 se incluyen los costes iniciales y los costes de operación, calculados a partir de los consumos anuales obtenidos en la figura 9 y el coste del kWh, que se ha estimado en 0.24 €/kWh [12].

Costes		Madrid	Barcelona	Valencia
Inicial (€)	A	9627	9775	9627
	CONV	9080	9264	9139
Operación (€)	A	1473	758	1070
	FCIND+SRZON	1697	1110	1367
Amortización (años)		2.4	1.5	1.6
Operación (€)	FCIND+SR24H	1882	1259	1517
Amortización (años)		1.3	1	1.1

Tabla 6. Costes totales de los sistemas.

Como se puede observar, el ahorro que supone los costes de operación a lo largo de un año típico permite amortizar el sistema de control en un periodo de tiempo muy bajo. Si se compara con respecto al caso FCIND+SRZON: 2.4 años en Madrid, 1.5 en Barcelona y 1.6 en Valencia, mientras que si el suelo radiante actúa durante todo el periodo de calefacción en el caso FCIND+SR24H el periodo de amortización es de 1.3 años en Madrid, 1 en Barcelona y 1.1 en Valencia.

6. Conclusiones

El presente estudio analiza con detalle el comportamiento del sistema de control de sistemas hidráulicos con Aerotermia de Airzone, aplicado a un sistema combinado de fancoil de conductos zonificado con suelo radiante y se compara con un sistema de fancoil individuales con suelo radiante.

Las conclusiones del estudio describen las principales ventajas obtenidas en las diferentes comparativas realizadas en materia de confort térmico y consumo de energía eléctrica. Las conclusiones se definen a continuación:

- 1) En términos de confort térmico, aunque los dos sistemas obtienen resultados satisfactorios, el sistema de control combinado de Airzone permite el uso eficiente de las dos unidades terminales a la vez, según sea calefacción o refrigeración, dando prioridad al suelo radiante y permitiendo la acción del fancoil en los momentos que sea necesario. Este funcionamiento asegura mejores porcentajes de confort, por el control más preciso de la temperatura del aire de la zona.

- 2] El sistema de control combinado permite que un fancoil de conductos pueda ser implementado con las garantías que supone el tener un fancoil individual en cada una de las zonas del edificio, en términos de confort en cada una de las zonas y con una mejora en el coste de inversión inicial y en el coste de operación. Esto es debido a que un fancoil de conductos es más barato que 5 fancoils individuales y el consumo del ventilador a lo largo del año es menos que la mitad de la suma de los consumos eléctricos de los ventiladores de cada una de las zonas.
- 3] El suelo radiante combate la carga sensible de refrigeración que es capaz para evitar condensaciones y el fancoil entra en funcionamiento cuando el suelo no es capaz de combatir toda la carga sensible o cuando hay que combatir la carga latente de la zona. Esto posibilita el dimensionamiento de un fancoil con menor potencia, lo que supone numerosas ventajas frente a los fancoils individuales en refrigeración, como un menor nivel de ruido en las zonas, mejor integración arquitectónica por tener rejillas más pequeñas o evitar instalaciones de agua en los falsos techos de la vivienda.
- 4] En términos de consumo de energía, el sistema combinado de Airzone obtiene ahorros importantes en calefacción y refrigeración. El ahorro de energía varía según las condiciones climáticas y el tipo de control de suelo radiante convencional. En general, se obtienen ahorros que van de 13-40%. Esto es debido a que el sistema combinado favorece que el suelo radiante actúe un gran porcentaje de horas, (80-90% de las horas) con una producción de agua fría a 18°C en verano y 35°C, mientras que, por ejemplo, los fancoils individuales en verano tienen una producción fija de 7°C, lo que supone un funcionamiento de la bomba de calor con rendimientos más favorables y una disminución considerable del consumo de energía eléctrica.
- 5] El estudio económico revela que, aunque el coste inicial del sistema combinado es superior al sistema de fancoils individuales, el ahorro que suponen los costes de operación a lo largo de un año de operación típico permite amortizar el sistema de control en un periodo de tiempo muy bajo: 1.5 años en Madrid, 1 en Valencia y 0.9 en Barcelona con respecto al caso FCIND+SRZON y de 1.3 años en Madrid, 1 en Barcelona y 1.1 en Valencia con respecto al caso FCIND+SR24H.

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] Comisión Europea. Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al uso de energía procedente de fuentes renovables. Diario Oficial de las Comunidades Europeas (2012), L 315/1.

- [5] Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- [6] TRNSYS <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>. (Acceso 23.07.21).
- [7] Reducción de potencia instalada en Aerotermia con Airzone <https://www.airzone.es/pro/documentacion/reduccion-la-potencia-instalada-aerotermia/>
- [8] UNE-EN 15377. Sistemas de calefacción en los edificios. Diseño de sistemas empotrados de calefacción y refrigeración por agua. Octubre 2008.
- [9] Tarifa Daikin 2022. Precios de venta recomendados. Septiembre 2021.
- [10] Norma EN ISO-7730:2006. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.
- [11] BRE, BREEAM offices 2008 assessor manual, BREEAM. Watford: BRE Global Ltd.; 2010.
- [12] Red eléctrica española. https://www.esios.ree.es/es/analisis/1001?compare_indicators=1013,1014,1015&st_art_date=01-11-2021.