



Informe sobre el modelo
de zonificación Airzone y
su comparación con un
sistema no zonificado



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

MODELO ZONIFICADO 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.

El objetivo de este estudio consiste en demostrar cómo la implementación de sistemas de control inteligentes en las instalaciones de climatización contribuye de manera eficaz a la eficiencia energética de un edificio. En particular, el estudio se centra en el sector residencial y en servicios de pequeña y mediana potencia, donde se utilizan con frecuencia sistemas todo-aire con máquinas inverter de expansión directa y una red de conducto de caudal constante. La Corporación Altra, a través de su división Airzone, propone evaluar la conveniencia de un sistema de este tipo, desde el punto de vista del confort de los ocupantes, demanda térmica y consumos eléctricos anual, con respecto a un sistema inverter convencional no zonificado.

2. Sistemas de control zonificado Airzone

En el sector residencial y de servicios de pequeña y mediana potencia se utilizan con frecuencia sistemas todo-aire con máquinas Inverter de expansión directa y una red de conducto de caudal constante. Este tipo de sistema se basa en el control de la temperatura de una única zona, de tal forma que esta temperatura se mantendrá dentro del intervalo de confort. En cuanto al resto de zonas, aun estando bien diseñada la red de conductos y elegida la potencia máxima del equipo, si no presentan un perfil de carga parecido al de la zona de control (uso, orientación, cargas térmicas, etc.), sus temperaturas pueden situarse fuera del rango del confort.

Alternativamente a éstos, los sistemas zonificados se basan en el control independiente de la temperatura de cada una de las zonas. Para ello se instala un termostato en cada estancia que permite conocer la demanda térmica en cada una de ellas y seleccionar una temperatura de consigna independiente según las preferencias del usuario. De esta manera, cuando una zona alcanza la temperatura de consigna, ésta envía una señal de control a la compuerta motorizada de la zona para que se cierre e interrumpa la impulsión del aire acondicionado. En la figura 1 se muestra un esquema de un sistema zonificado.



Figura 1. Esquema de un sistema zonificado.

Además de la zonificación térmica, el sistema de control de Airzone basa su funcionamiento en la **pasarela de comunicación**. Alcanzar un alto grado de confort y una reducción del consumo eléctrico requiere que la comunicación entre el sistema de zonas y el equipo de climatización sea adecuada. La pasarela de integración es el dispositivo que permite esta comunicación bidireccional entre la central de control y el equipo. Airzone dispone de convenios con los principales fabricantes que les ceden los protocolos de comunicación con sus máquinas, lo que permite tener información de parámetros relativos al funcionamiento de esta, y realizar acciones tales como:

- Encendido y apagado de la máquina.
- Cambio de modo de funcionamiento.

El modo de trabajo del equipo (refrigeración, calefacción o ventilación) será el que imponga el termostato maestro de la instalación. Aquellas zonas

que se encuentren en inversión térmica, es decir, con una demanda opuesta al modo de trabajo del equipo, se mantendrán cerradas.

- Control de la velocidad del ventilador de la unidad interior de la máquina.

Regulado por el algoritmo *Q-Adapt*, se adecúa el caudal impulsado por el ventilador de la unidad interior cambiando la velocidad de este de forma dinámica.

- Limitación de la temperatura de consigna de la zona.

Regulado por el algoritmo *Eco-Adapt*, que supervisa la temperatura de consigna en las distintas zonas y limita la temperatura máxima o mínima seleccionable según sea el modo calor o frío, respectivamente. El *Modo A* fija el rango de temperatura máxima en invierno es de 22°C y en verano de 24°C, el *Modo A+* en 21.5°C y 25°C y el *Modo A++* en 21°C y 26°C.

- Control de la temperatura de consigna de la máquina.

Regulado por el algoritmo *Efi-Adapt* (funcionalidad del *Eco-Adapt* para equipos aire-aire), controla de forma dinámica la temperatura de consigna del equipo en función de la temperatura de cada zona y la de retorno a la máquina, considerando el efecto de la inercia térmica de cada zona.

En la figura 2 se muestra un esquema gráfico de un sistema de conductos zonificado en un edificio, con la central de control y la pasarela de comunicaciones.

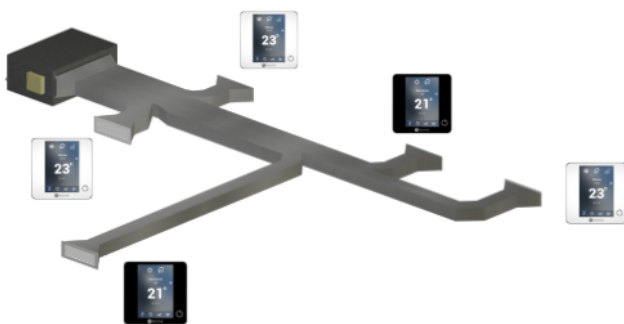


Figura 2. Esquema de control de un sistema zonificado

3. Implementación de los modelos en TRNSYS

El presente estudio se ha resuelto haciendo uso del programa TRNSYS [2], 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. Estos modelos se han obtenido a través de los ensayos experimentales de un equipo de expansión directa en una doble cámara climática. La idea es la de determinar el comportamiento del equipo dentro del rango de condiciones trabajo a las que se va a ver sometido en una instalación real. Así, conseguiremos un buen acoplamiento entre edificio y sistema (figura 3).

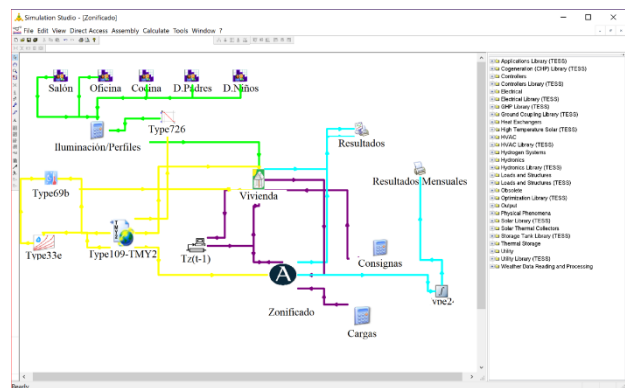


Figura 3. Montaje del sistema zonificado en Trnsys.

En el modelado de un equipo Inverter de expansión directa, para caracterizar el comportamiento del equipo, hay que tener en cuenta que el modo de funcionamiento, el rendimiento del equipo y el consumo eléctrico requerido es diferente en función de las condiciones de operación. Con este objetivo, se ha experimentado una unidad de este tipo y se han obtenido las diferentes curvas de comportamiento características con los coeficientes correspondientes.

Un equipo Inverter es capaz de regular su régimen de trabajo para ajustar la producción de energía térmica a la demanda.

Se define el factor de carga parcial (PLR) como la relación entre la carga sensible demandada y la

máxima que el equipo es capaz de proporcionar en las mismas condiciones de trabajo:

$$PLR = \frac{Q_{demanda}}{Q_{sens,max}}$$

La figura 4 representa los 3 regímenes de trabajo de un equipo inverter con la evolución del rendimiento del equipo en función del factor de carga parcial.

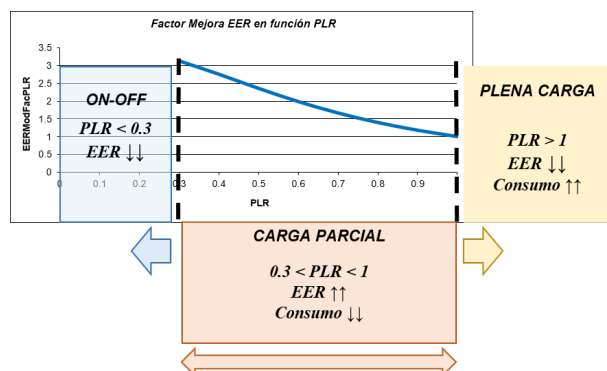


Figura 4. Esquema de los distintos regímenes de trabajo de un equipo Inverter.

Los regímenes de trabajo son los siguientes:

- Para valores de PLR inferiores a 0.3, como el flujo másico de refrigerante no puede hacerse arbitrariamente pequeño, existe una velocidad mínima para la cual el equipo deja de funcionar como un sistema Inverter, para convertirse en un todo-nada.
- Con PLR entre 0.3 y 1, el equipo trabaja a carga parcial y se obtienen valores de EER elevados.
- Con PLR mayores que la unidad, el equipo trabaja a plena carga y se produce una disminución importante del rendimiento.

4. Resultados. Caso de estudio

El objetivo del presente estudio es el de comparar la conveniencia de un sistema Inverter zonificado con las distintas configuraciones de control propuestas por Airzone, con un sistema Inverter no zonificado. Los criterios de comparación que se utilizan son el consumo eléctrico anual y el grado de confort aportado por cada uno de ellos. Así, el presente apartado se dividirá en dos partes, por un lado, se

comprueba los niveles de confort aportados, y por otro lado se estudia el consumo eléctrico anual asociado a los mismos.

Caso de estudio

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

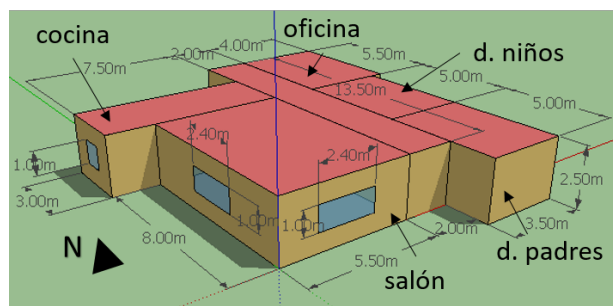


Figura 5. Planta de la vivienda. Representación en 3D con mediciones.

Como se puede comprobar, 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.

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 23 (T_{inf}) y 24°C (T_{sup}).

En un sistema no zonificado, la red de distribución no dispone de ningún elemento que nos permita tratar por separado las necesidades de cada zona. Así, para asegurar la posibilidad de cubrir la carga punta en todas ellas, la potencia nominal del equipo debe tomarse igual o superior a la suma de cargas sensibles puntas de las zonas, aun no siendo simultáneas.

Por el contrario, 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 las zonas y el equipo se dimensiona a partir del máximo anual para refrigeración y calefacción.

En la tabla 1 se dimensiona el equipo a partir de las cargas puntas y simultáneas

SISTEMA		NO ZONIFICADO	ZONIFICADO
CIUDAD	CARGAS(W)	PUNTAS	SIMULTÁNEAS
Madrid	Q _{REF}	7646	6129
	Q _{CAL}	-7793	-7883
Barcelona	Q _{REF}	6891	5505
	Q _{CAL}	-6022	-5929
Valencia	Q _{REF}	6872	5322
	Q _{CAL}	-5554	-5545
EQUIPO		PUHZ-RP125	PUHZ-RP100GA

Tabla 1. Dimensionamiento del equipo.

De esta forma, para la vivienda seleccionada, se deduce que la elección de un sistema zonificado implica la reducción de potencia del equipo seleccionado. Si eligiéramos un modelo superior, el equipo quedaría sobredimensionado y no aprovecharíamos al máximo, el régimen Inverter del mismo. Como es conocido, el flujo másico de refrigerante no puede hacerse arbitrariamente pequeño, existe una velocidad mínima para la cual el equipo deja de funcionar como un sistema inverter para convertirse en un todo-nada. Esta medida de reducción de potencia del equipo, pretende evitar este tipo de situaciones.

Resultados. Confort térmico

Evaluación del confort térmico

Los resultados de confort se centran exclusivamente en la comparación de la temperatura de la zona según el sistema sea zonificado o no zonificado.

El control de la temperatura de la zona en un sistema no zonificado depende de la demanda del salón, que es la zona maestra donde se encuentra el termostato de la máquina, y se regula en función de la consigna de temperatura establecida en esta zona, mientras que el comportamiento térmico del resto de zonas depende de las condiciones determinadas (cargas internas, ganancia solar, etc.) en ese instante de tiempo. A diferencia del sistema zonificado en el que la velocidad del ventilador se elige mediante el algoritmo Q-Adapt, en un sistema no zonificado la velocidad del ventilador va variando en función de la diferencia de temperatura entre la consigna de la zona maestra y la temperatura de esa zona. En la gráfica de la figura 6 se muestra un ejemplo para un ventilador de 3 velocidades.

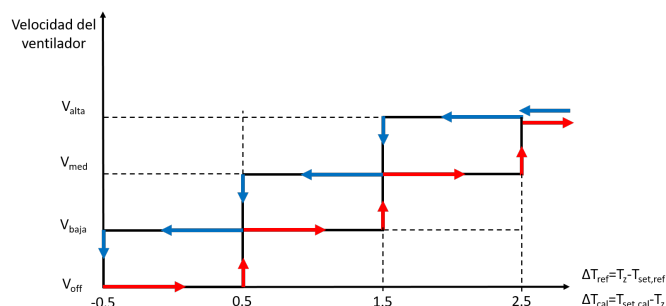


Figura 6. Selección de la velocidad del ventilador para un sistema no zonificado.

A diferencia del sistema no zonificado, con un sistema zonificado el usuario es el que decide la consigna de temperatura que desea en cada una de las zonas, y si el modo de operación es de calefacción o de refrigeración. Sobre la temperatura de consigna, el sistema establece una banda de confort de $\pm 0.5^\circ\text{C}$, de manera que una zona se encuentra en confort cuando su temperatura se encuentre en el intervalo definido por ésta. Este comportamiento se establece para evitar que los actuadores estén modificando su posición constantemente ante variaciones ligeras de temperatura. En la figura 7 se representa el típico

comportamiento de la temperatura de la zona con el control zonificado, en modo calefacción y modo refrigeración.

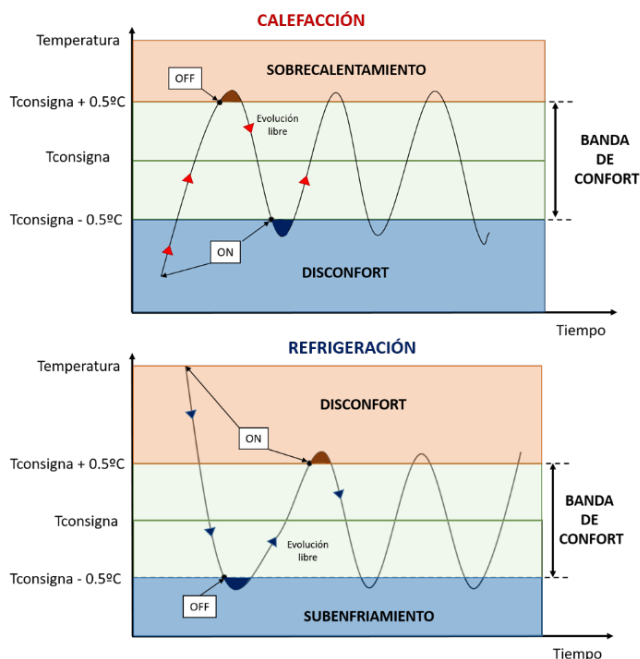


Figura 7. Evaluación del confort térmico en un sistema zonificado.

Desviación respecto a la consigna

A continuación, se va a realizar un estudio del confort en la vivienda teniendo en cuenta cuánto se desvía la temperatura con respecto a la consigna de confort establecida. Para evaluar la desviación respecto a la consigna se definen los siguientes parámetros:

- CF (confort). Se establece una banda de confort de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ respecto a la consigna y cuando la temperatura de la zona esté dentro de esta banda se considera que está en confort térmico.
- NC (no confort). La temperatura de la zona está por encima de la banda de confort en refrigeración, o por debajo en calefacción. En ambos casos el equipo no es capaz de satisfacer la demanda y la zona está en disconfort térmico.
- SB (subenfriamiento o sobrecalentamiento). Cuando el equipo aporta más potencia de la requerida, la temperatura de la zona sobrepasa la banda de confort y se produce un subenfriamiento

en refrigeración y un sobrecalentamiento en calefacción.

En primer lugar, en la figura 8 se muestra el porcentaje de horas de confort para la zona de Salón, durante los meses de refrigeración, en el sistema zonificado.

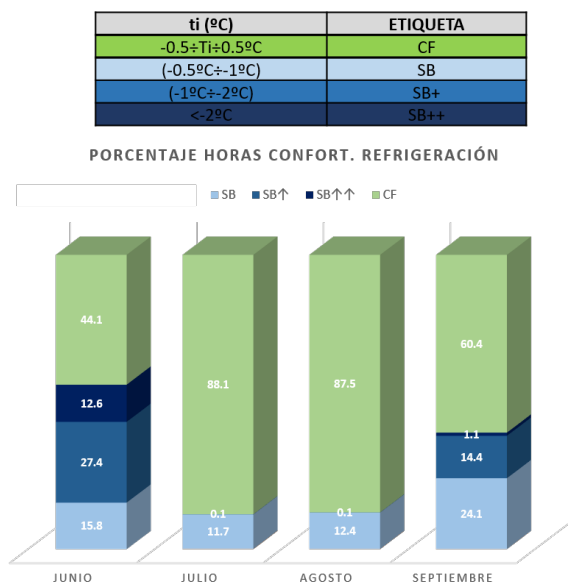


Figura 8. Porcentaje de horas de confort, en modo refrigeración, para la zona salón.

Los porcentajes de confort con una variación de 0.5°C con respecto a la consigna (CF) representan más del 87% del tiempo en los meses de julio y agosto. Si se amplía el rango a 1°C (NC y SB), se llegaría en estos meses a casi el 100% de confort y en torno a un 75-80% en los meses de junio y septiembre. En estos meses, al ser meses menos calurosos, la demanda de refrigeración es más baja y se producen más instantes en los que la potencia del equipo es mayor que la que demanda la zona, con posibilidad de subenfriamiento de la zona, aunque en instantes puntuales.

Para poder realizar la comparación del sistema zonificado y no zonificado, se va a comparar para el modo de refrigeración y de calefacción, el porcentaje de horas en los que ambos sistemas se encuentran en una banda de confort de $\pm 1^\circ\text{C}$, y en tres ciudades diferentes: Madrid, Barcelona y Valencia (figuras 9 y 10).

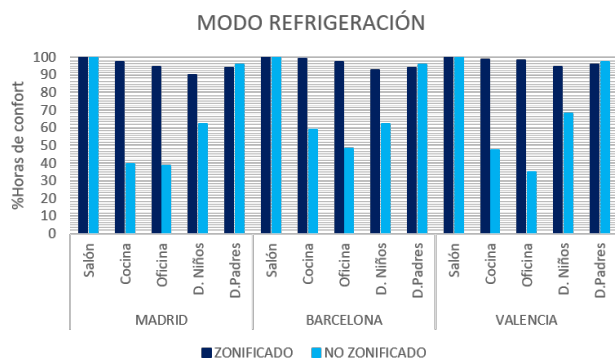


Figura 9. Comparación del porcentaje de horas de confort en modo refrigeración.

Los resultados demuestran que en las tres ciudades el sistema no zonificado es capaz de mantener el confort en la zona del salón pero el porcentaje de horas de confort disminuye sobre todo en cocina, oficina y dormitorio de los niños de forma considerable. Por otro lado, el sistema zonificado es capaz de asegurarlo en todas las zonas de forma independiente. Sólo en la oficina y en los dormitorios no se llega a obtener un 95% de confort en ambos modos. Esto se debe a la gran inercia térmica que debe vencer por el número de horas inactivas.

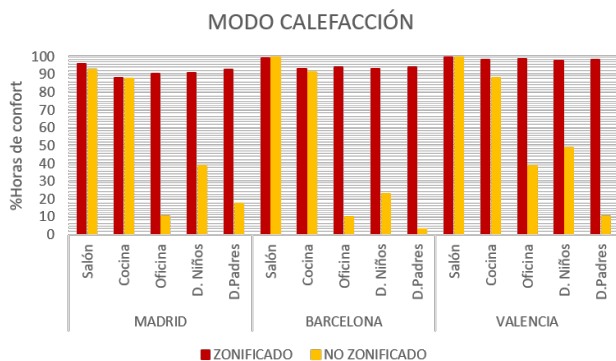


Figura 10. Comparación del porcentaje de horas de confort en modo calefacción.

Las conclusiones para el modo calefacción (figura 10) son similares a las del caso anterior, aunque se observan mayores diferencias de confort en el caso del sistema no zonificado para las todas las zonas excepto para la zona maestra, que sí es capaz de mantener un porcentaje de confort similar al del sistema zonificado.

Etiqueta de confort térmico

Para tener en cuenta esta consideración sobre el confort, se define la llamada Escala de Confort. De manera similar a la calificación energética, esta escala consiste en una designación alfabética en el intervalo [A,G], donde A es la calificación más favorable y G la más desfavorable, en función del valor de IC obtenido en la zona o edificio. La escala final obtenida se muestra en la figura 11.

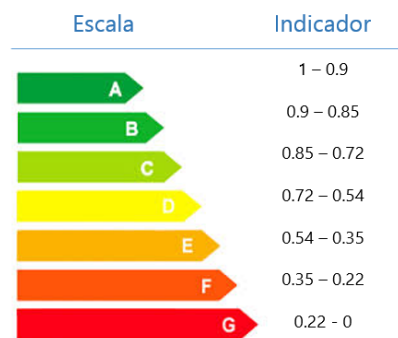


Figura 11. Escala de confort en función del indicador de confort (IC).

A continuación, se muestra la comparativa de confort en cada una de las zonas del edificio, para el modo de refrigeración, basado en la escala de confort, en la ciudad de Madrid.

En primer lugar, la figura 12 muestra los resultados de la etiqueta de confort para la zona del Salón. En la comparación, para cada mes se compara el sistema zonificado (ZON) y un sistema no zonificado (NOZ).

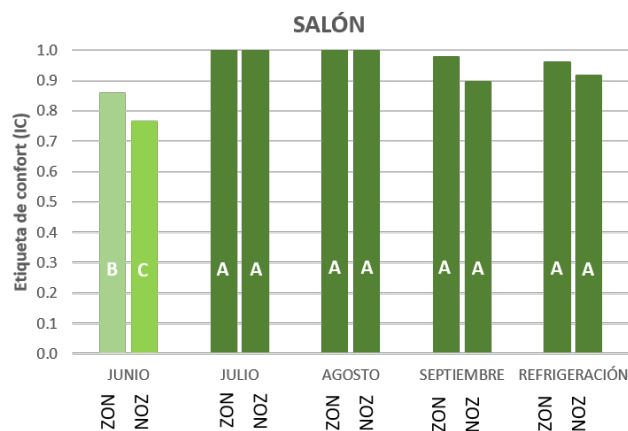


Figura 12. Comparación de la etiqueta de confort para el salón, en modo refrigeración.

Se observa que las diferencias de la etiqueta energética entre el sistema zonificado y el no zonificado para la zona del salón son muy pequeñas, ya que en el sistema no zonificado el termostato maestro está en el salón y el sistema es capaz de mantener sin problemas el confort en esta zona. Sin embargo, a continuación se representa la comparación para el resto de zonas del edificio (figura 13).

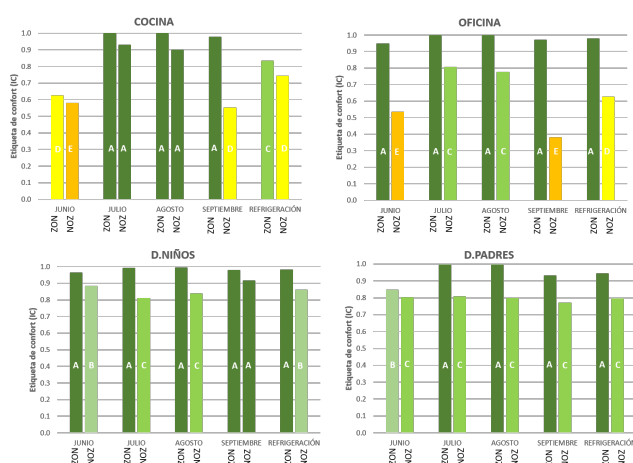


Figura 13. Comparación de la etiqueta de confort para el resto de zonas del edificio, en modo refrigeración.

Los resultados ponen de manifiesto diferencias notables de confort entre ambos sistemas. En el sistema no zonificado, en ninguna zona se consigue una etiqueta global de tipo A, mientras que en el zonificado se consiguen en todas las zonas excepto en la cocina, donde en el mes de junio la etiqueta energética es más baja por acumulación de horas con subenfriamiento en la zona. Finalmente, la figura 14 pondera el confort global del edificio.

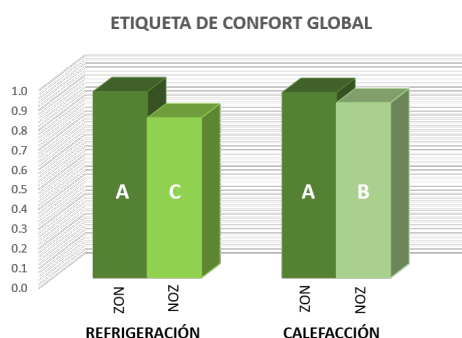


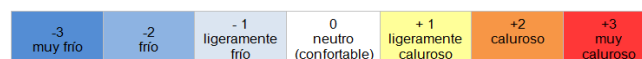
Figura 14. Comparación de la etiqueta de confort global del edificio.

La etiqueta global del edificio para un sistema zonificado es A, tanto en modo calefacción como refrigeración, mientras que el sistema no zonificado alcanza un B en calefacción y un C en refrigeración.

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 [3] 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 EN ISO 7730: 2006, los valores recomendados para proporcionar bienestar térmico global al 90% de los trabajadores comprenden un valor de PPD < 10%

En primer lugar, la figura 15 muestra la comparación del parámetro PPD, destacando la categoría de confort obtenida.

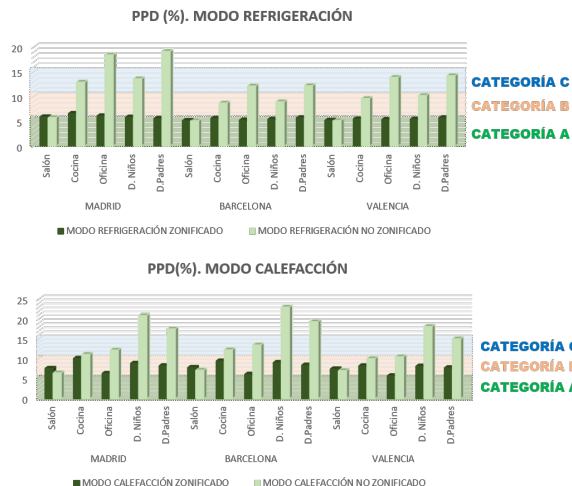


Figura 15. Comparativa del PPD.

Los resultados del PMV se muestran en la tabla 2, en la que se ha establecido unos códigos de colores que permiten una comparación más inmediata de los resultados.

		PMV			
		MODO REFRIGERACIÓN		MODO CALEFACCIÓN	
		ZONIFICADO	NO ZONIFICADO	ZONIFICADO	NO ZONIFICADO
MADRID	Salón	-0.2	-0.2	0.3	0.2
	Cocina	-0.1	-0.6	0.5	0.5
	Oficina	-0.2	-0.8	0.1	0.6
	D. Niños	-0.1	-0.6	0.4	0.9
	D. Padres	0.0	-0.8	0.3	0.8
BARCELONA	Salón	0.0	-0.1	0.4	0.3
	Cocina	0.1	-0.4	0.4	0.6
	Oficina	0.0	-0.6	0.1	0.6
	D. Niños	0.1	-0.3	0.4	0.9
	D. Padres	0.1	-0.6	0.4	0.8
VALENCIA	Salón	0.0	-0.1	0.3	0.3
	Cocina	0.1	-0.5	0.4	0.5
	Oficina	-0.1	-0.6	0.1	0.5
	D. Niños	0.1	-0.4	0.4	0.8
	D. Padres	0.2	-0.6	0.3	0.7

Tabla 2. Comparativa del PMV

En un sistema zonificado se cumplen las exigencias de confort que exigen una categoría mínima de B con un PPD en torno al 5% y un PMV por debajo de 0.5, en cada una de las zonas de la vivienda para las tres ciudades analizadas., mientras que el sistema sin zonificar es capaz de obtener buenos resultados en la zona del Salón pero el resto de zonas se produce un importante subenfriamiento de las zonas en modo refrigeración y sobrecalentamiento en modo calefacción.

Resultados. Consumo de energía.

Tras la evaluación del confort térmico del edificio, el siguiente paso consiste en la comparación del consumo eléctrico de un sistema de climatización zonificado y no zonificado. Gracias a las estrategias de control y a la gestión de la instalación de clima que realiza el sistema Airzone, conseguimos un ahorro en el consumo energético y por tanto una reducción de emisiones de carbono. En la figura 16 se muestran los resultados obtenidos para la comparación de estos sistemas para las distintas ciudades estudiadas.

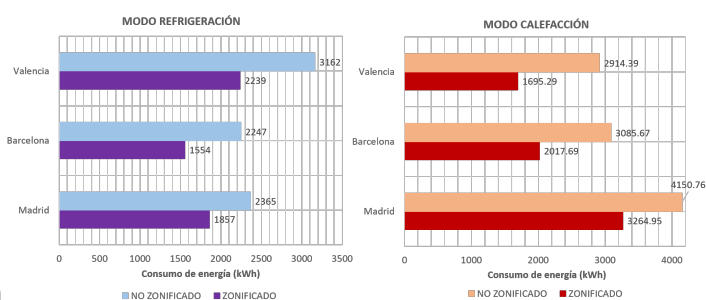


Figura 16. Comparativa de consumo eléctrico en modo refrigeración y calefacción.

En todos los casos el consumo de climatización es más bajo en un sistema zonificado que en un sistema no zonificado. Las razones se han ido explicando detalladamente en este informe: la reducción de la potencia térmica del sistema de climatización, la posibilidad de regular la velocidad del ventilador y la adaptación de la temperatura de consigna de la máquina mediante el algoritmo Eco-Adapt son algunas de las ventajas del sistema zonificado para reducir el consumo de energía en el edificio. Las diferencias de consumo se ven reflejadas claramente en los ahorros obtenidos en cada uno de los casos, que se exponen en la figura 17.

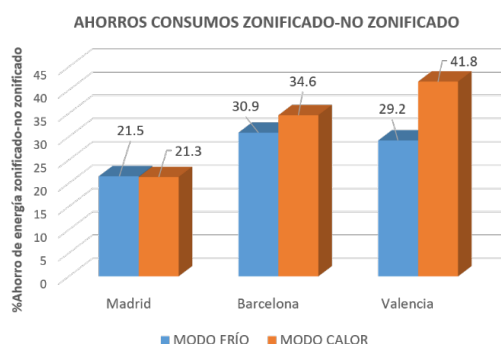


Figura 17. Porcentaje de ahorro de energía en modo calefacción y refrigeración.

En las tres ciudades analizadas existen importantes ahorros en climatización. Destaca el porcentaje de ahorro en la ciudad de Valencia, que llega hasta el 29% en refrigeración y 42% en calefacción, aproximadamente. En Madrid, el ahorro en climatización ronda el 20%, mientras que en Barcelona se encuentran en torno al 30-35%.

Finalmente, se va a evaluar el potencial de ahorro de energía del algoritmo Eco-Adapt para las tres ciudades de análisis. En la figura 18 se expresan estos resultados de manera gráfica, de esta forma se pueden comprobar los distintos pasos de mejora de la eficiencia energética que muestran los sistemas inverter zonificados estudiados.

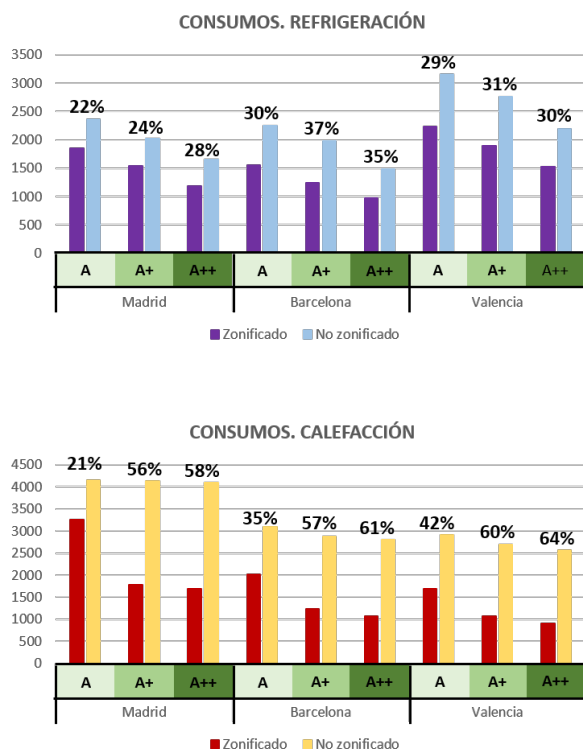


Figura 18. Comparativa del consumo de energía en función del Eco-Adapt.

Con la aplicación del algoritmo Eco-Adapt se consigue una disminución del consumo de energía según si se aumenta la temperatura de consigna en modo refrigeración o se disminuye en modo calefacción. Los ahorros son del 56-64% en calefacción y del 24-37%

en refrigeración, en las diferentes ciudades analizadas.

5. Conclusiones

El presente estudio pretende analizar con detalle el comportamiento del sistema de control de climatización de Airzone basado en la zonificación térmica y compararlo con un sistema no zonificado. El documento se estructura en diferentes apartados en los que se describe el sistema de zonificación y los algoritmos de control, explica el modelado del equipo con las curvas de comportamiento a carga parcial obtenidas experimentalmente y la implementación del modelo del equipo de expansión directa con el control de Airzone en el software Trnsys, que será el entorno de simulación del estudio.

Las conclusiones finales del estudio describen las principales ventajas obtenidas en las diferentes comparativas realizadas entre un sistema zonificado y un sistema sin zonificar en materia de confort térmico, consumo de energía eléctrica y energía térmica. Las conclusiones se definen a continuación:

1. La prescripción de un sistema inverter con zonificación integrada frente a un inverter no zonificado, implica una **reducción de la energía térmica** que se combate, y por tanto la posibilidad de seleccionar un equipo de menor potencia térmica., lo que ha permitido sustituir el modelo PUHZ-RP125 de Mitsubishi, por el modelo PUHZ-RP100GA de Mitsubishi, en consecuencia, un sistema inverter con zonificación integrada consigue reducir el coste inicial de la inversión en el equipo de climatización.
 2. El sistema zonificado monitoriza la temperatura de cada una de las zonas del edificio y permite al usuario establecer sus preferencias de confort en ellas. Se ha demostrado, frente a un sistema no zonificado, que el porcentaje de horas en las que las zonas están en **confort térmico** es mucho más elevado en un sistema zonificado.
- ✓ En un primer análisis en la zona del Salón, el sistema zonificado demuestra que los **porcentajes de confort con una variación de 0.5°C con respecto a la consigna** representan más del 87% del tiempo en los meses de julio y agosto y si se amplía el rango a 1°C se llegaría en

estos meses a casi el 100% de confort y en torno a un 75-80% en los meses de junio y septiembre.

- ✓ Además, se realiza la comparativa con **una banda de confort de $\pm 1^{\circ}\text{C}$** en Madrid, Barcelona y Valencia. Los resultados demuestran que en las tres ciudades el sistema no zonificado es capaz de mantener el confort en la zona del salón pero el porcentaje de horas de confort disminuye de forma considerable sobre todo en cocina, oficina y dormitorio de los niños. Por otro lado, el sistema zonificado es capaz de asegurarlo en todas las zonas de forma independiente.
- ✓ Se introduce el concepto de **etiqueta de confort**, utilizada para realizar una evaluación del confort térmico penalizando, en un periodo de tiempo determinado, el grado de confort cuando la temperatura esté más alejada de la consigna establecida. La etiqueta global del edificio para un sistema zonificado es A, tanto en modo calefacción como refrigeración, mientras que el sistema no zonificado alcanza un B en calefacción y un C en refrigeración.
- ✓ Finalmente para completar el estudio de confort, se calculan **los parámetros PPD y PMV**. En un sistema zonificado se cumplen las exigencias de confort que exigen una categoría mínima de B con un PPD en torno al 5% y un PMV por debajo de 0.5, en cada una de las zonas de la vivienda para las tres ciudades analizadas., mientras que el sistema sin zonificar es capaz de obtener buenos resultados en la zona del Salón pero el resto de zonas se produce un importante subenfriamiento de las zonas en modo refrigeración y sobrecalentamiento en modo calefacción.

3. En la comparación del consumo eléctrico entre un sistema de climatización zonificado y no zonificado se ha demostrado importantes **ahorros de energía**.
- ✓ En las tres ciudades analizadas existen importantes ahorros en climatización. Destaca el porcentaje de ahorro en la ciudad de Valencia, que llega hasta el 29% en refrigeración y 42% en calefacción, aproximadamente. En Madrid, el ahorro en climatización ronda el 20%, mientras que en Barcelona se encuentran en torno al 30-35%.
 - ✓ El resultado más importante que se extrae de la aplicación del algoritmo Eco-Adapt es la disminución del consumo de energía según si se aumenta la temperatura de consigna en modo refrigeración o se disminuye en modo calefacción. Ahorro del 56-64% en calefacción y del 24-37% en refrigeración, en las diferentes ciudades analizadas.

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] TRNSYS <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>. (Acceso 02.01.18).
- [3] 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.