



# Estudio de control para **sistemas hidrónicos** de calefacción



# **Estudio de control para sistemas hidrónicos de calefacción (Resumen ejecutivo)**

**Málaga, Febrero de 2017**

## Contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ALGORÍTMOS DE CONTROL AIRZONE .....	3
3. ESTUDIO GEUMA .....	6
3.1. Controles analizados .....	6
3.2. Caso de estudio .....	6
3.3. Modelo TRNSYS .....	7
3.4. Resultados.....	8
4. CONCLUSIONES .....	8
5. REFERENCIAS .....	9

## 1. INTRODUCCIÓN

Cada vez es más frecuente la apuesta en el sector residencial por una solución integral para satisfacer las demandas térmicas (refrigeración, calefacción y agua caliente sanitaria) con un único equipo de generación (véase el esquema de la Figura 1).

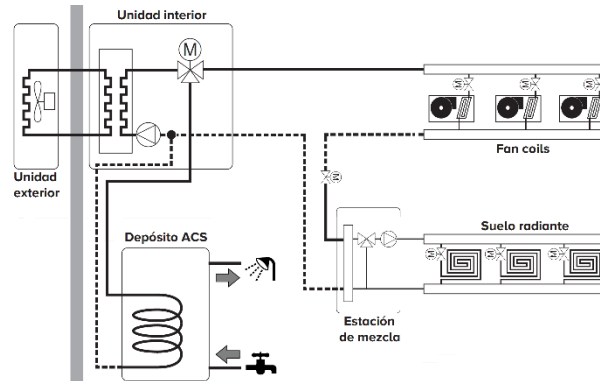


Figura 1. Bomba de calor aire-agua (esquema de conexión de una instalación mixta: suelo radiante + fan coils).

Airzone, en su afán de mejora constante, ha desarrollado un sistema de control para los equipos hidrónicos tipo bomba de calor, gestionando de forma eficiente la producción en función de la demanda térmica y los emisores térmicos empleados. Con esta premisa se plantean tres estrategias de control diferentes.

- Control exclusivo de suelo radiante.
- Control exclusivo de fan coil.
- Control combinado de suelo radiante y fan coil.

En los siguientes apartados se explica con detalle cada una de estas estrategias. Además, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en un estudio realizado por el Grupo de Energética de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Málaga (GEUMA). En este estudio realizado con TRNSYS [1] se comparan las estrategias de control Airzone con los controles tradicionales para suelo radiante y fan coil.

## 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ALGORÍTMOS DE CONTROL AIRZONE

① Gestión activa de la temperatura del agua de impulsión. En las bombas de calor aire-agua el fluido caloportador es el agua, por ello es esencial la gestión de la temperatura de producción de la misma. Como puede observarse en la Figura 2, una temperatura de producción baja aumenta considerablemente el rendimiento de un equipo. Del mismo modo una reducción de la temperatura del agua impulsada supone menores pérdidas térmicas en la distribución de la energía desde el sistema de producción hasta las unidades terminales.

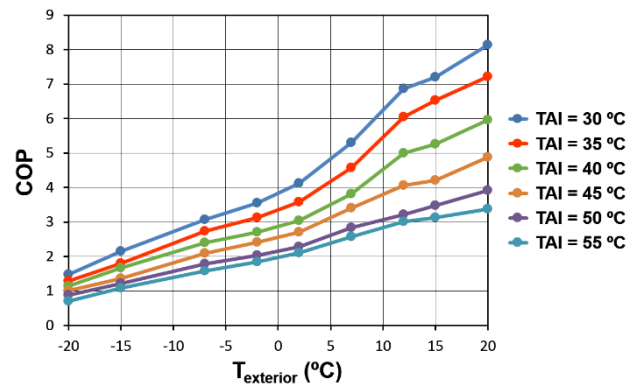


Figura 2. COP en función de la temperatura exterior y de la temperatura de producción del agua [2].

La pasarela de comunicaciones Airzone permite seleccionar de forma dinámica la temperatura de producción del agua. De este modo, se consigue el máximo aprovechamiento de las características de los elementos emisores disponibles, seleccionando la combinación más eficiente y confortable en cada situación concreta.

- Suelo radiante: permite una temperatura del agua de producción más eficiente y un mayor nivel de confort.

Al producirse el intercambio de calor principalmente por radiación, la temperatura ambiente confortable, comparada con emisores convectivos, puede ser aproximadamente 2 °C menos exigente.

La norma ISO 7730 [3] limita las temperaturas superficiales que puede alcanzar el suelo radiante. En calefacción no debe sobrepasar 29 °C en zonas de permanencia, 33 °C en baños y 35 °C en zonas periféricas, mientras que en refrigeración no se debe descender de 19 °C.

La norma UNE 1264 [3] establece la máxima emisión térmica teórica de un suelo radiante para calefacción y refrigeración, según las expresiones (1) y (2), respectivamente.

$$q \left( \frac{W}{m^2} \right) = 8,92 (T_{\text{superficie suelo}} - T_{\text{ambiente}})^{1,1} \quad (1)$$

$$q \left( \frac{W}{m^2} \right) = 7 (T_{\text{superficie suelo}} - T_{\text{ambiente}}) \quad (2)$$

Por tanto, suponiendo para calefacción una temperatura superficial en el suelo de 29 °C y una temperatura ambiente de 21 °C, el límite teórico del suelo radiante es de 87,86 W/m². Del mismo modo en modo refrigeración si suponemos una temperatura superficial de 19 °C y una temperatura ambiente de 26 °C, el límite teórico del suelo es de 49 W/m². A continuación se expone cómo se actúa cuando se tiene configurada una zona con la etapa radiante.

El control propuesto por Airzone actúa en función de la temperatura ambiente (véase la Figura 3). Mientras la temperatura ambiente está lejos de la consigna establecida ( $T_{\text{ambiente}} < T_{\text{histéresis}}$ ) se mantiene la electroválvula abierta ( $T_{\text{histéresis}} = T_{\text{consigna}} - \text{Histéresis}$  con Histéresis  $\in [1, 2, \dots, 5]$ ). Sin embargo, para evitar sobrepasar la temperatura de

consigna establecida en la zona, cuando la temperatura ambiente se aproxima a la consigna deseada ( $T_{\text{ambiente}} \geq T_{\text{histéresis}}$ ) se realiza un control PWM sobre la electroválvula, considerando así la inercia térmica de este tipo de emisor.

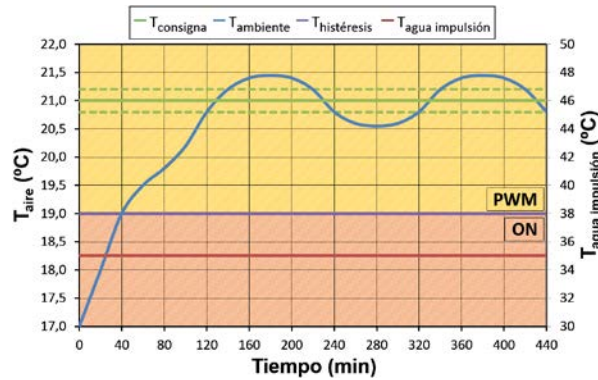


Figura 3. Control Airzone para suelo radiante.

- Fan coil: presenta una rápida respuesta térmica.

La pasarela de comunicaciones de Airzone permite imponer distintas temperaturas de producción en función del nivel de demanda (véase la Figura 4).

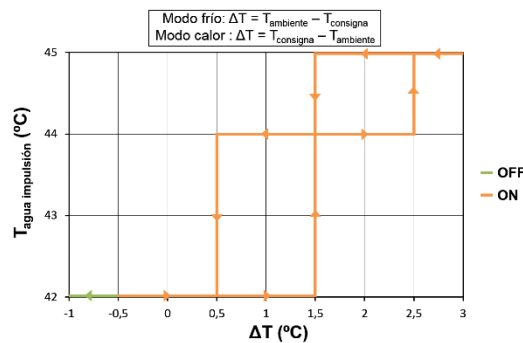


Figura 4. Control Airzone para fan coil.

- Fan coil + Suelo radiante: Aúna las ventajas de ambos emisores. En el control combinado se distinguen tres regiones de funcionamiento (véase la Figura 5).

Cuando la temperatura ambiente está muy lejos de la consigna establecida, se activan únicamente los fan coils. El objetivo es que la temperatura ambiente se aproxime rápidamente a la consigna establecida.

Una vez la temperatura ambiente está próxima a la de confort, se activa además el suelo radiante, que junto con los fan coils permiten alcanzar la temperatura de confort. A medida que evoluciona la temperatura ambiente se reduce la temperatura de producción del agua y se baja la velocidad de los fan coils.

Finalmente, cuando el suelo radiante es capaz de mantener la temperatura de confort, se desactivan los fan coils. La temperatura de producción del agua se adecúa al funcionamiento con suelo radiante, lo que maximiza la eficiencia y el confort.

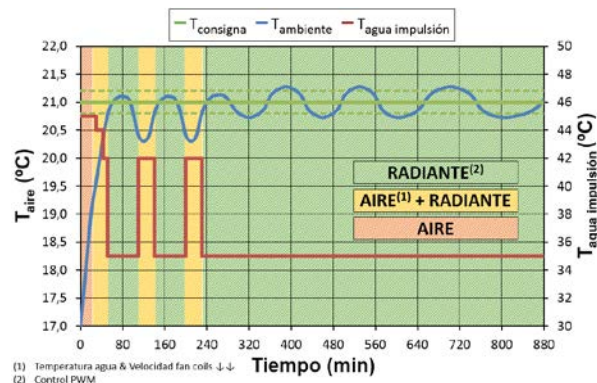


Figura 5. Control Airzone combinado (suelo radiante + fan coil).

- ② Control automático de la velocidad de los fan coils. Evita las corrientes de aire molestas.
- ③ Regulación de las electroválvulas de suelo radiante. Evita sobrepasar la temperatura ambiente de consigna deseada.
- ④ Supervisión de la humedad relativa. Evita condensaciones al funcionar el suelo radiante refrescante.

### 3. ESTUDIO GEUMA

#### 3.1. Controles analizados

En este trabajo se han contemplado un total de 6 algoritmos de control (véase la Tabla I) en modo calefacción. Los dos primeros son controles tradicionales para suelo radiante y fan coil, respectivamente. Mientras que los demás son estrategias de control propias de Airzone.

Nº Control	Unidad terminal		Descripción
	Suelo radiante	Fan coil	
1	×		Control no zonificado de suelo radiante (un solo punto de control). Temperatura de producción constante.
2		×	Control no zonificado de fan coil (un solo punto de control). Temperatura de producción y velocidad del fan coil constantes.
3	×		Control Airzone para suelo radiante.
4		×	Control Airzone para fan coil individual (uno en cada zona).
5		×	Control Airzone para fan coil de conductos.
6	×	×	Control Airzone combinado (suelo radiante + fan coil).

Tabla I. Descripción general de las estrategias de control analizadas en el estudio del GEUMA.

#### 3.2. Caso de estudio

El caso de estudio es una vivienda unifamiliar situada en una planta intermedia de un bloque de viviendas. Está compuesta por cinco espacios considerados como zonas térmicas independientes (salón, cocina, oficina, dormitorio de los niños y dormitorio principal). El pasillo y el cuarto de baño de la vivienda se consideran como una única zona no climatizada.



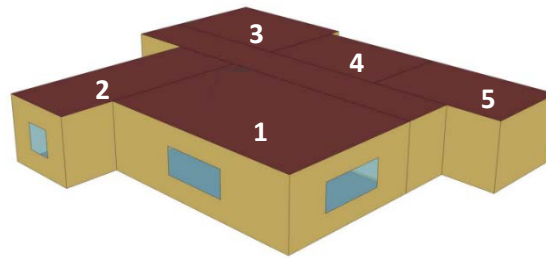


Figura 6. Vista tridimensional de la vivienda estudiada.  
(1-Salón, 2-Cocina, 3-Oficina, 4-Dorm. Niños y 5-Dorm. Principal).

Se lleva a cabo un análisis de sensibilidad simulando varias localidades (Barcelona, Madrid, Málaga y Valladolid) para evaluar la influencia del clima en el ahorro de energía y el confort que se consigue con cada control estudiado. Los ficheros climáticos para cada una de las localidades estudiadas se obtienen de la base de datos de EnergyPlus [5]. Además se estudia el comportamiento a carga parcial de la unidad de producción térmica, analizando la influencia de distintas curvas de modificación del rendimiento del equipo (COP) en función de la fracción de carga (PLR). Las distintas curvas de corrección se muestran en la Figura 7.

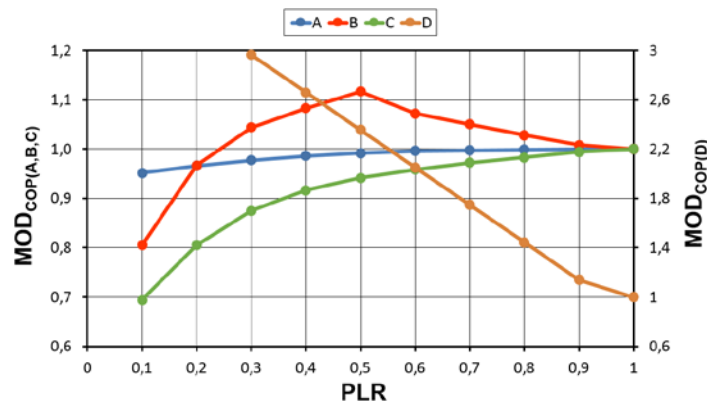


Figura 7. Modificadores del rendimiento (COP) en función de la fracción de carga parcial (PLR).

Las curvas A, B y C se han obtenido de [6], mientras que la curva D ha sido tomada del estudio titulado *"Informe sobre el modelo de zonificación Airzone y su comparación con un sistema no zonificado"*. En este estudio colaborativo entre Airzone y el GEUMA se realizaron ensayos experimentales en una doble cámara climática con un equipo RZQ-B de Daikin.

### 3.3. Modelo TRNSYS

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 mediante la ecuación (3):

$$COP = MOD_{COP}(PLR) \cdot COP_{PLR=1} \quad (3)$$

Donde  $MOD_{COP}(PLR)$  se obtiene de las curvas recogidas en la Figura 7.

Por otra parte, el modelo de fan coil consiste en un modelo de batería de agua con efectividad constante para cada una de las velocidades del ventilador, la cual se obtiene a partir de los valores que aparecen en los catálogos de fabricante.

Por último, en la simulación del suelo radiante se usa el componente type705 disponible en TRNSYS 16 que se fundamenta en el método de volúmenes finitos. En el modelo, la base aislante del suelo y el zócalo perimetral aislante se asumen ideales, por lo que los laterales y la parte inferior del suelo serán superficies adiabáticas.

### 3.4. Resultados

En las simulaciones para los algoritmos de control que utilizan como emisor el suelo radiante (controles nº 1, 3 y 6) se ha establecido una temperatura de consigna ambiente de 21 °C, mientras que para los algoritmos de control que utilizan como emisor el fan coil (controles nº 2, 4 y 5) se han establecido consignas de 21 °C y 23 °C. El motivo es que en los controles de emisores convectivos con una consigna de 21 °C, no se alcanzan los criterios de confort (porcentaje de personas insatisfechas (PPD) menor de un 10 %). Este índice se calcula según la ecuación (4):

$$PPD (\%) = 100 - 95 \cdot e^{-0.3353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2} \quad (4)$$

Donde *PMV* es el voto medio estimado que presenta valores comprendidos entre -3 (muy frío) y 3 (muy caluroso), y es función de factores como la actividad metabólica, la vestimenta, la temperatura seca del aire, la temperatura media radiante, la velocidad del aire y la humedad.

En la Tabla II se muestran los ahorros energéticos alcanzados con cada estrategia de control, tomando como referencia la nº 2 (control no zonificado de conductos).

		Localidad															
		Barcelona				Madrid				Málaga				Valladolid			
	Curva PLR	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Nº control	1	37.3	35.7	38.2	15.7	35.5	33.4	36.6	9.6	45.6	44.5	46.1	34.3	36.0	34.6	36.8	18.1
	3	39.8	40.9	38.7	36.9	39.4	40.1	38.0	44.7	47.3	48.1	46.4	51.4	40.1	41.2	37.9	51.5
	4	20.9	23.8	15.7	37.6	24.8	27.6	20.8	50.3	21.5	21.7	14.4	44.9	24.3	27.7	19.6	54.4
	5	27.2	29.3	21.2	51.5	28.0	29.9	23.9	50.3	25.6	26.2	19.8	45.6	28.9	27.0	25.3	51.9
	6	31.2	30.8	29.7	28.9	28.9	28.9	28.3	25.2	40.5	40.8	40.1	36.9	27.3	27.9	26.1	29.6

Tabla II. Ahorros de energía (%) de los controles analizados comparados con el control nº 2.

## 4. CONCLUSIONES

Las diferentes estrategias de control desarrolladas por Airzone han sido evaluadas mediante simulaciones utilizando el programa TRNSYS.

Se comprueba que la estrategia de control con la que se obtiene un mayor ahorro de energía es la zonificada para sólo suelo radiante (control nº 3). Sin embargo, durante las primeras horas de funcionamiento, debido a la baja temperatura superficial del suelo, se tiene una situación de disconfort.

El sistema combinado de suelo radiante y fan coil propuesto por Airzone (control nº 6) suple la carencia del alto tiempo característico del sistema de sólo suelo radiante. Además, garantiza el confort térmico de los usuarios para cualquier tipo de clima y ofrece un ahorro de energía

comprendido entre el 25 % y el 41 %, en función del clima y el comportamiento a carga parcial de la unidad de producción térmica.

## 5. REFERENCIAS

- [1] TRNSYS 17. <http://www.trnsys.com>.
- [2] Daikin Altherma LT. <http://www.daikin.es/products/index.jsp?id=ERLQ-CV3>.
- [3] UNE-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.
- [4] UNE-EN 1264:2012. Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies.
- [5] Ficheros climáticos EnergyPlus: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- [6] K. C. Edwards and A. C. Finn. Generalized water flow rate control strategy for optimal part load operation of ground source heat pump system. *Applied Energy*, vol. 150, pp. 50 - 60, 2015.



**AIRZONE CLIMA S.L.**

Parque Tecnológico de Andalucía  
C/Marie Curie, 21 · 29590 Campanillas  
Málaga (España)

**[www.airzone.es](http://www.airzone.es)**