

Jose Ignacio Villarino ^a Alberto Villarino ^b

a) Ingeniero Industrial; C/Doctor Castelo 6, Valdemoro (Madrid), Spain; jvillarino@unolab.es
b) Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno, Universidad de Salamanca, Escuela Politécnica Superior de Ávila, Hornos Caleros, 50, 05003 Ávila, Spain; avillarino@usal.es

1. INTRODUCCIÓN

La disminución de la demanda energética en los edificios es uno de los retos planteados dentro de la política energética en la Unión Europea. Muchas tecnologías de origen renovable han sido desarrolladas con el objetivo de disminuir la demanda energética, así como las emisiones de CO₂ a la atmósfera. En España, los sistemas HVAC son responsables del 51,5 % del consumo energético en los edificios, seguidos del agua caliente sanitaria (19,5%), equipos (19,4%) y el 9,6% correspondiente a la iluminación. En el caso de edificios comerciales el porcentaje de distribución es de: HVAC (58,4%), ACS (3,6%), iluminación (21,1%) y un 16,9 % en el caso de equipos.

Este proyecto presenta un análisis termo-económico de un sistema HVAC, basado en una bomba de calor geotérmica y suelo radiante en un edificio de oficinas, mediante el desarrollo de un modelo numérico de simulación en *EnergyPlus*, que permite analizar la instalación desde el punto de vista energético, medioambiental y económico.

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DESARROLLADO

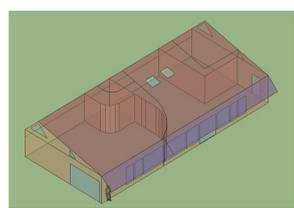
La instalación consta de 190 m² para uso de oficinas, situada en Becerril de la Sierra (Madrid) y monitorizada de forma continua a través de una red de sensores. Consta de una calificación energética 'A' y está compuesta por: una bomba de calor geotérmica, ventilación mecánica controlada y suelo radiante como elemento emisor, todo ello soportado por un pozo geotérmico a doble circuito de 100 m de profundidad.



Vista interior edificio



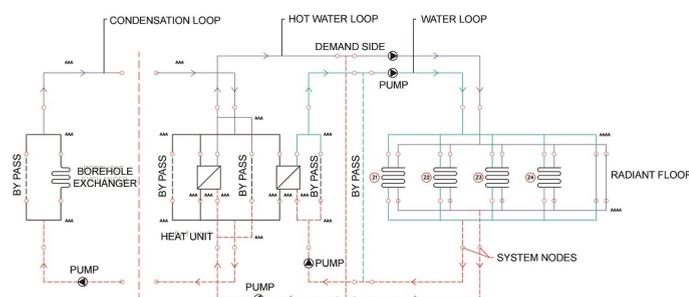
Ventilación mecánica controlada



Vista isométrica transparente

Caracterización geométrica y energética de la instalación con *OpenStudio* y *Sketch Up*.

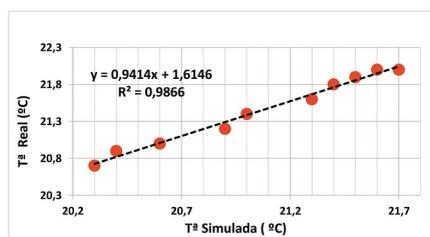
Modelo desarrollado con *EnergyPlus* (sistema y motor de simulación)



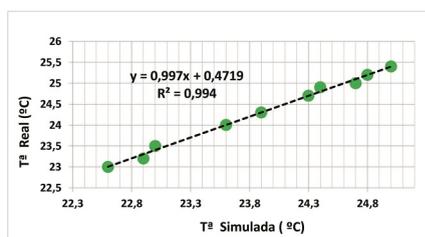
Los resultados globales obtenidos de la demanda térmica del edificio, muestran unos valores en modo calefacción de 10.062 kWh/año y 1.980 kWh/año en modo refrigeración. Las emisiones de CO₂ son de 0,986 Kgs y el consumo eléctrico anual con la bomba de calor geotérmica, los elementos auxiliares y el consumo interno es de 2.979 kWh/año.

3. VALIDACIÓN DEL MODELO

El análisis estadístico realizado mediante el método de los coeficientes determinados (R²), entre los valores reales y simulados para los diferentes periodos de calefacción y refrigeración, presenta valores de R² de 0.9866 y 0.994 respectivamente, lo cual determina el elevado grado de aproximación entre el comportamiento real y simulado, lo que nos permite validar el modelo.



R² modo calefacción

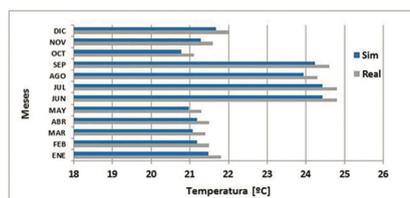


R² modo refrigeración

4. RESULTADOS

Condiciones de confort

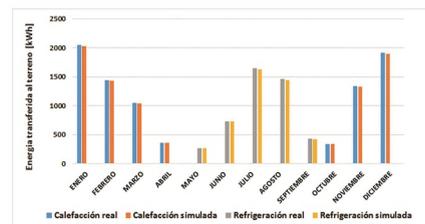
En la gráfica adjunta, se observa como la temperatura de confort establecida en 22° y 25°C para los periodos de calefacción y refrigeración respectivamente, se alcanza en todos los periodos a lo largo del periodo anual de simulación. El sistema es capaz de representar de forma muy aproximada, con una desviación del 2%, la evolución de la temperatura del aire interior real frente a la simulada.



Temperatura media mensual Real/Simulada

Energía transferida al terreno:

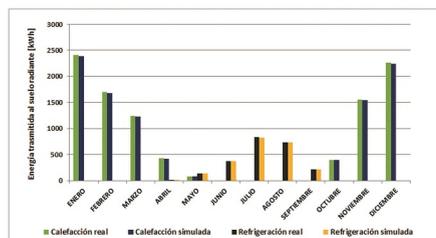
En la gráfica adjunta se puede comprobar como la energía transferida es mayor en aquellos periodos en los que la diferencia entre la temperatura interior para satisfacer la demanda y la del terreno es mayor.



Energía mensual transferida al terreno

Energía transferida al suelo radiante:

Se puede comprobar como el intercambio térmico en modo calefacción es mayor que en modo refrigeración, debido a la mayor demanda en este modo de funcionamiento.



Energía mensual transferida al suelo radiante

COP del sistema Real/Simulado:

En cuanto al rendimiento del sistema, podemos comprobar en la tabla adjunta como los valores reales y simulados mantienen la misma paridad que en cuanto al resto de variables analizadas. Los valores ilustrados permiten confirmar el elevado grado de rendimiento de la instalación, con COP estacional superior a 3.5 y ERR superiores a 5. Adicionalmente se muestra el valor de emisiones de la instalación real, que representa un buen impacto medioambiental por sus bajos valores de CO₂.

	COP real	COP simulado	EER real	EER simulado
Sistema HVAC	3.86	3.80	5.29	5.18

COP & EER real/simulado

HVAC	CO ₂ (Kgs)	COP _{Estacional}	ERR _{Estacional}
Calefacción	26.94	3.86	
Refrigeración	7.74		5.29

COP & ERR sistema real

5. CONCLUSIONES

1. El sistema diseñado y basado en una bomba de calor geotérmica y suelo radiante es capaz de satisfacer las necesidades de calefacción y refrigeración dentro del sistema HVAC.
2. El modelo desarrollado y validado reproduce de forma muy aproximada las condiciones de funcionamiento del sistema desarrollado. El modelo puede ser utilizado para instalaciones semejantes bajo diferentes condiciones de funcionamiento.
3. Los resultados obtenidos permiten analizar la viabilidad térmica, económica y medioambiental de este tipo de instalaciones y en ello comprobar el óptimo posicionamiento de la energía geotérmica.