

# Sistema de climatización por suelo radiante coalimentado por energías renovables

Rafael Jesús  
Valdivieso Sarabia  
Dept. de Tecnología  
Informática y  
Computación  
Univ. de Alicante  
03690 San Vicente del  
Raspeig  
[rvaldivieso@dtic.ua.es](mailto:rvaldivieso@dtic.ua.es)

Juan Manuel  
García Chamizo  
Dept. de Tecnología  
Informática y  
Computación  
Univ. de Alicante  
03690 San Vicente del  
Raspeig  
[juanma@dtic.ua.es](mailto:juanma@dtic.ua.es)

Francisco Javier  
Ferrández Pastor  
Dept. de Tecnología  
Informática y  
Computación  
Univ. de Alicante  
03690 San Vicente del  
Raspeig  
[fjferran@dtic.ua.es](mailto:fjferran@dtic.ua.es)

Francisco Flórez  
Revuelta  
Dept. de Tecnología  
Informática y  
Computación  
Univ. de Alicante  
03690 San Vicente del  
Raspeig  
[florez@dtic.ua.es](mailto:florez@dtic.ua.es)

## Resumen

Se presenta el sistema de climatización basado en suelo radiante coalimentado por fuentes de energía renovables, que es capaz de proporcionar calor o frío. Se ha modelado una instalación genérica, que ha sido particularizada e integrada en una vivienda-laboratorio de unos 54m<sup>2</sup>. El sistema está compuesto por placas termo-solares, calentador eléctrico, bomba de calor aire-agua, acumuladores, circuito de suelo radiante y fancoil. El sistema de control está basado en un autómata que integra sensores y actuadores de diversas tecnologías que permiten monitorizar el sistema, visualizar y gestionar la instalación de forma remota y realizar un control minimizando el gasto energético. El sistema de control es reactivo en tiempo real por lo que cada vez que sucede algún cambio en el entorno se desencadenan las acciones oportunas.

## 1. Introducción

Las viviendas cada vez requieren mayores aportes energéticos, para abastecer a la ingente cantidad de aparatos que requieren energía, ya sea en forma de electricidad o calor. Durante los últimos años se ha experimentado un notable aumento de la demanda energética a pesar de los esfuerzos por incrementar la eficiencia energética de dichos aparatos. El consumo energético en viviendas en España ha pasado de 76,1 kilogramos de petróleo equivalente por habitante en 1994 a 128,1 en 2006 [7].

La climatización tiene una gran repercusión sobre el consumo energético de las viviendas, ya que un gran porcentaje están dotadas de sistemas

de climatización. Un 70,3% de las viviendas en España en 2008 poseían sistemas de calefacción, y un 35,5% sistemas de aire acondicionado [8]. El consumo energético de los servicios de climatización está determinado por factores climatológicos, estructurales, tecnológicos y de uso.

España posee una climatología diversa, aunque con una característica común. Se dan diferencias considerables de temperatura entre invierno y verano, por lo que se requieren sistemas de calefacción o enfriamiento en función de la época para alcanzar una temperatura confortable en el hogar. La climatología está subordinada a la orientación, estructura y el aislamiento de la vivienda. La correcta elección de estos tres factores permite aumentar la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de forma pasiva, por lo que se reduce la necesidad de utilizar sistemas de climatización. Se pueden distinguir tres tipos de sistemas de climatización dependiendo de cómo alteren la temperatura: los que la aumentan, los que la disminuyen, y los capaces de realizar ambas acciones. Este último tipo presenta la ventaja de que una única máquina es capaz de enfriar o de calentar en función de las necesidades, por lo que se necesita menos espacio para la instalación y se reducen costes al tener una única instalación para los dos ciclos. Los sistemas de climatización por suelo radiante son capaces de calentar o enfriar en función de la temperatura del fluido que circula por los circuitos. Su uso se está extendiendo, ya que es el sistema que mejor sensación térmica proporciona. Su utilización en viviendas repercute en un mayor confort, que si se utilizaran sistemas clásicos de climatización [1]. El consumo energético de sistemas basados en suelo radiante va a estar determinado por la

utilización que hagan los usuarios: temperaturas de consigna, arranques, paradas,... El módulo de control será capaz de aumentar la eficiencia energética del sistema, reduciendo el consumo, sobre todo si está dotado de varias fuentes de energía, siendo algunas de ellas renovables.

Este trabajo presenta un sistema de control y monitorización de una instalación de suelo radiante, capaz de calentar o enfriar, utilizando de forma combinada mediante una bomba de calor aire-agua, placas termo-solares y acumuladores. Además es capaz de ofrecer agua caliente sanitaria utilizando el agua calentada por las placas, aunque si es necesario, se puede proporcionar un aporte extra mediante un calentador eléctrico. Este sistema se ha integrado en living-lab metalTIC [12], permitiendo la comunicación bidireccional entre la red de control de metalTIC y el sistema de clima.

La siguiente sección describe el sistema de climatización, lo modela, muestra el contexto en el que se ha integrado y lo particulariza para ese contexto. La tercera sección muestra la el sistema de control utilizado, la integración en metalTIC, y su interfaz gráfica. La cuarta sección muestra el algoritmo de control y por último se detallan las conclusiones y las líneas futuras.

## **2. Descripción del sistema de climatización basado en suelo radiante**

Existen diversas investigaciones sobre climatización utilizando conductos bajo el pavimento de la vivienda. Los conductos pueden transportar varias sustancias, que serán las que permitan aumentar o disminuir la temperatura de la vivienda. Normalmente, estas instalaciones suelen utilizar agua, aunque se pueden encontrar trabajos que en vez de utilizar agua, utiliza electricidad [11] e incluso aire caliente [2] para calentar el pavimento. [6] presenta una instalación por suelo radiante que es alimentada por una placa fotovoltaica/térmica. Se utiliza agua para refrigerar la placa fotovoltaica y éste agua se transporta al suelo radiante. El problema de este tipo de instalaciones es que no son concebidas de forma completa, por lo que algunos aspectos no se tienen en cuenta. Una muestra de ello es que solamente permiten aumentar la temperatura y por lo tanto no permiten refrigerar.

Los sistemas de climatización basados en suelo radiante por agua suelen utilizar bombas de calor

aire-agua, acumuladores, calentadores de agua eléctricos, etc... El funcionamiento del sistema de climatización está basado en dos ciclos. El ciclo de invierno el sistema obtiene agua caliente que se bombea al suelo radiante, para calentar la vivienda. Durante el ciclo de verano se enfría agua para bombearla por los conductos del suelo radiante para disminuir la temperatura del hogar. Complementariamente durante ambos ciclos es necesario calentar agua para uso sanitario

Los sistemas de climatización requieren grandes cantidades de energía, ya que el sistema debe estar en funcionamiento constantemente. La introducción de fuentes de energía renovables, está determinada por el contexto de implantación, pudiendo emplear energía solar térmica, y geotérmica, para reducir el coste económico y preservar el medio ambiente.

### **2.1. Modelado del sistema de climatización por suelo radiante**

De forma general el sistema de climatización por suelo radiante, SCSR, se puede modelar mediante una tupla, tal y como muestra la ecuación 1. Esta tupla está formada por los siguientes elementos.

AC, conjunto finito de acumuladores que pueden almacenar agua caliente. FR, conjunto finito de fuentes de energía renovables, que permiten calentar o enfriar agua preservando el medio ambiente y sin coste económico adicionales. FNR, conjunto finito de fuentes de energía no renovables, que permiten calentar o enfriar agua de forma no sostenible y que presenta costes económicos directamente proporcionales a la utilización. CSR, conjunto finito de aparatos capaces de modificar la temperatura ambiente de la vivienda a climatizar. CD, conjunto finito de canalizaciones de distribución de agua, que permiten transportar agua o aire desde unos elementos a otros. BC, conjunto finito de bombas de circulación de agua, que hacen fluir el agua a través de cada una de las canalizaciones de distribución de agua. IC, conjunto finito de intercambiadores de calor, que permite transmitir el calor de un circuito a otro. Es útil ya que evita realizar mezcla de agua, aunque supone una pequeña pérdida de calor.

$$\text{SCSR} = \langle \text{AC, FR, FNR, CSR, CD, BC, IC} \rangle \quad (1)$$

A su vez, cada acumulador,  $AC_i$ , se caracteriza por la capacidad de almacenar agua,  $cap$ , por la capacidad de aislamiento térmico del exterior, y por la temperatura a la que se encuentra el agua de su interior,  $ti$ . La tripleta se muestra en la ecuación 2.

$$AC_i = \langle cap, ais, ti \rangle \quad (2)$$

Cada una de las fuentes de energía renovables,  $FR_i$ , se ha modelado mediante una dupla que se muestra en la ecuación 3. El primer componente,  $lit$ , es la cantidad en litros que es capaz de calentar en una hora y el segundo,  $ngc$ , representa el número de grados centígrados que es capaz de aumentar o de disminuir en una hora a lit.

$$FR_i = \langle lit, ngc \rangle \quad (3)$$

Por su parte, cada una de las fuentes no renovables,  $FNR_i$ , se caracteriza por los parámetros definidos para  $FR_i$  a los que se les añade el coste económico de aumentar o disminuir un grado centígrado, 1 litro de agua en una hora,  $cu$ ; y un factor de contaminación,  $fc$ , definido en el intervalo real  $[0, 1]$  que representa la contaminación producida en el entorno durante su uso. Si  $fc$  tiene el valor 0, indica que no contamina el medio ambiente. En cambio si tiene un valor cercano a 1 muestra que contamina severamente el medio ambiente. Se muestra en la ecuación 4.

$$FNR_i = \langle lit, ngc, cu, fc \rangle \quad (4)$$

Cada uno de los aparatos capaces de proporcionar calor o frío a la vivienda,  $CSR_i$ , se define mediante los siguientes parámetros. Temperatura de consigne de la estancia,  $tc$ . El fluido,  $fl$ , que requiere para alterar la temperatura ambiente. Volumen de fluido necesario,  $vol$ . Esto se muestra en la ecuación 5.

$$CSR_i = \langle tc, fl, vol \rangle \quad (5)$$

Seguidamente, se definen a cada una de las canalizaciones de distribución de agua,  $CD_i$ , cómo la tupla que se muestra en la ecuación 6. El primer componente caracteriza la longitud de la

canalización,  $lon$ . El segundo la sección,  $sec$ , de la canalización. El tercero,  $or$ , hace referencia al elemento que aporta el fluido a la canalización.  $or$  puede pertenecer a alguno de los conjuntos:  $FN$ ,  $FNR$ ,  $AC$ ,  $CSR$  o  $IC$ . El último,  $des$ , hace referencia al elemento que va a recibir el agua que transporta, que puede pertenecer a alguno de los conjuntos:  $FN$ ,  $FNR$ ,  $AC$ ,  $CSR$  o  $IC$ .

$$CD_i = \langle lon, sec, or, des \rangle \quad (6)$$

Se define a cada uno de los elementos de las bombas de circulación de agua,  $BC_i$ , que están caracterizadas por el caudal de agua,  $cau$ , que es capaz de desplazar, y por la presión de salida,  $pres$ , que tendrá el agua.

$$BC_i = \langle cau, pres \rangle \quad (7)$$

Finalmente se declara a cada uno de los elementos de los intercambiadores de calor,  $IC$ , por un porcentaje que indica la pérdida de calor que se produce durante el intercambio.

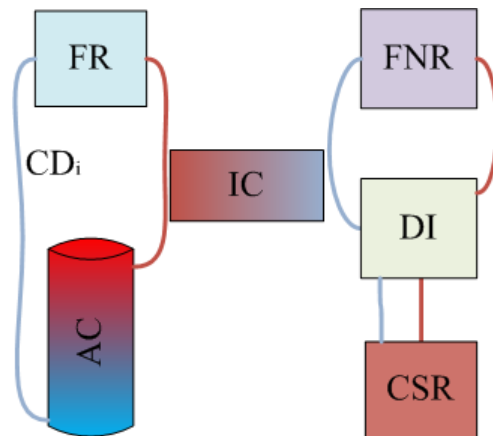


Figura 1. Organización de los elementos que modelan una instalación genérica de suelo radiante

La figura 1 muestra la estructura de los componentes que modelan instalaciones de climatización por suelo radiante. El agua cuya temperatura es alterada por  $FR$  es almacenada directamente en los acumuladores,  $AC$ , que podrá ser utilizada para agua caliente sanitaria o para alimentar el circuito de suelo radiante en el ciclo

de invierno. El intercambio del calor almacenado en AC al circuito de suelo radiante, DI se realiza a través de un intercambiador de calor, IC, que calienta el agua que se almacena en el depósito de inercia. Posteriormente, el agua es transportada del depósito de inercia el agua a los componentes de climatización, CSR. En el caso de que el agua no esté a la temperatura adecuada, será necesario utilizar los componentes FNR, para que proporcionen un suplemento de energía en el caso de que FN no sean capaces de abastecer las necesidades de CSR. Por último se produce el retorno del agua, hacia los DI y desde aquí se recircula el agua hacia FR, volviendo a empezar un nuevo ciclo.

## 2.2. Descripción del contexto de implantación

Una vez que se ha descrito el modelo de sistemas de climatización basado en suelo radiante es conveniente definir el escenario donde se ha instalado y puesto en marcha. El sistema de climatización se ha instalado en una vivienda-laboratorio de unos 54 metros cuadrados. Esta vivienda está concebida para ser un laboratorio donde probar y aplicar productos relacionados con las tecnologías de la información, las comunicaciones y el control, TICC, a las viviendas teniendo en cuenta criterios de inclusión de personas en situación de dependencia.

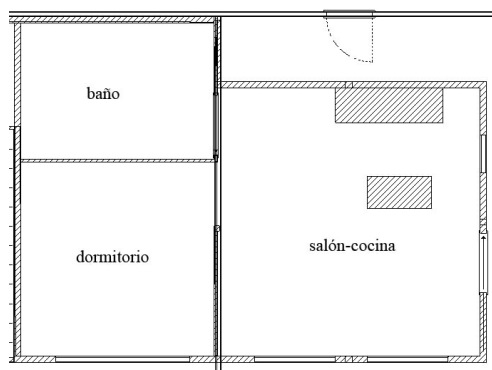


Figura 2. Distribución de estancias de la vivienda de implantación

La vivienda-laboratorio se encuentra ubicada dentro de una nave propiedad de la federación de empresarios del metal de Alicante. Dicha nave se encuentra en la provincia de Alicante, cercana al

mar, por lo que en invierno la temperatura externa no es muy baja y durante el verano es moderada. Al encontrarse dentro de una nave, cuyo techo es muy alto, en invierno hace frío y en verano no hace mucho calor.

La vivienda se encuentra dividida en tres estancias: un salón-cocina, un dormitorio y un baño. La distribución de se puede ver en la figura 2. La puerta principal da acceso al salón-cocina. Desde el salón-cocina se puede acceder al dormitorio, que no dispone de puerta, y al baño que sí dispone de una puerta corredera.

## 2.3. Particularización del modelo

Definido el modelo de instalaciones de climatización por suelo radiante y la vivienda de implantación, se va a particularizar el modelo de implantación descrito en el apartado anterior.

Modelo	Elementos particularizados
FR	{placas térmicas }
FNR	{calentador eléctrico, bomba aire-agua }
AC	{Ac. circuito viv, depósito inerc. }
CD	{tub1, tub2, ... ,tub10 }
BC	{ bombaACSolar, bombaICDI, bombaColector, bombaCalor, bombaFanCoil }
CSR	Circuito vivienda, fancoil

Tabla 1. Particularización de elementos del modelo en aparatos de la instalación real

La tabla 1 recoge la correspondencia entre los elementos definidos en el modelo general y los componentes que forman parte de la instalación real.

El sistema de climatización está dotado de un único circuito de suelo radiante para toda la vivienda, debido a la reducida superficie y al diseño de la vivienda es recomendable definir una zona térmica común a todas las estancias de la vivienda, de esta forma, todas las estancias se encuentran a la misma temperatura. CSR se ha particularizado en el circuito de suelo radiante que se denomina *circuito vivienda*, SL, y en un fancoil, SP. El fancoil permite climatizar la vivienda de forma inmediata, ya que desde que se arranca el suelo radiante hasta que se percibe pueden pasar unas horas, por lo que el fancoil acelera este proceso.

En cuanto a las fuentes de energía renovables, FR, se han instalado: *placas solares-térmicas*, ST, que captan la radiación del sol y la emplean en calentar agua. La elección de la energía solar térmica se ha hecho en base a la latitud de provincia donde está ubicada, ya que goza de un gran número de horas de sol. Las placas solares son utilizadas durante los dos ciclos para obtener agua caliente sanitaria, y durante el ciclo de invierno para calentar la agua destinada bien al suelo radiante o al fancoil.

De forma complementaria se ha instalado un depósito que simula la geotermia. El sistema de geotermia aprovecha el salto térmico entre la temperatura constante del interior de la tierra y la del exterior. Está emulado mediante un depósito. El depósito de emulación de geotermia mantiene el agua a temperatura constante, tal y como sucede en los depósitos de agua ubicados dentro de la tierra. La geotermia se ha emulado debido a que en la ubicación de la instalación no es posible realizar un pozo para extraer agua. Se ha utilizado para hacer pruebas sobre el uso combinado de este tipo de fuente renovable. El aporte que proporciona no es suficiente como para justificar su uso en este contexto, por lo que está destinado a la realización de pruebas de diversa índole.

Las fuentes de energía no renovables, FNR, se concretan en un *calentador eléctrico*, CE, y una *bomba aire-agua*, AiAg. El calentador eléctrico, CE, calienta el agua proveniente del acumulador AC siempre y cuando no haya alcanzado la temperatura adecuada. La bomba de calor aire-agua, AiAg, permite extraer calor del aire para calentar agua o extraer calor del agua para calentar aire, obteniendo agua fría. De forma general, las fuentes no renovables suplirán a las renovables cuando éstas no sean capaces por sí solas.

Los acumuladores que se van a utilizar son dos: *acumulador circuito vivienda*, AC, y el *depósito de inercia*, DI. El acumulador del circuito de la vivienda almacena agua calentada por cualquiera de los elementos FR, en este caso las placas solares térmicas. El agua se almacena a la temperatura alrededor de los 35°. El depósito de inercia almacena agua a la temperatura que requiere el circuito de suelo radiante asociado, en este caso solamente existe un circuito. Su uso es opcional aunque recomendable, ya que aumenta el tiempo que transcurre entre el arranque y detención de las bombas lo que repercute

prolongar su vida útil y además permite reducir el consumo energético.

Se han utilizado 5 bombas, BC, para hacer circular el agua: *bombaACSolar*, *bombaICDI*, *bombaColector*, *bombaCalor*, *bombaFanCoil*. La *bombaACSolar*, hace circular el agua entre las placas solares térmicas y el acumulador, AC. La *bombaICDI* hace circular la bomba entre el intercambiador de calor y el depósito de inercia. Esta bomba se encarga de transmitir el calor obtenido de forma gratuita al depósito de inercia. La *bombaColector* hace circular el agua desde el depósito de inercia hacia el circuito de suelo radiante. La *bombaCalor* hace circular el agua desde la bomba aire-agua hacia el depósito de inercia. La *bombaFanCoil* desplaza el agua que se encuentra en el circuito entre el depósito de inercia y el fancoil.

Se han utilizado diversos canales de distribución, CD, concretamente unos 10 canales distintos, teniendo en cuenta el retorno del agua, para el comienzo del nuevo ciclo.

#### 2.4. Estructura del sistema de climatización

La conexión de los componentes se puede realizar de varias formas. La correcta elección del conexionado repercute de forma directa sobre el rendimiento y el coste del uso de la instalación.

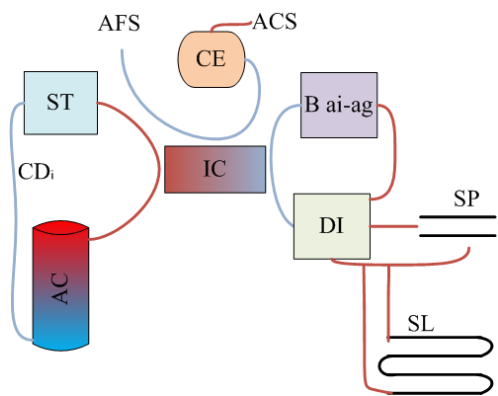


Figura 3. Esquema simplificado de conexión entre componentes

La estructura del sistema se puede observar en la figura 3, donde se muestra el esquema simplificado de conexiones entre los componentes definidos en el apartado anterior. La placa termo-

solar aumenta la temperatura del agua y la envía al acumulador AC. El agua caliente sanitaria, ACS, utiliza el agua almacenada en AC. La temperatura del agua en AC suele rondar unos 35 °C, por lo que no está suficientemente caliente para uso sanitario, ya que el calor generado en ST se envía al circuito de suelo radiante. Por lo tanto es necesario calentar el agua proveniente del AC mediante el calentador eléctrico, CE. Idealmente la transmisión del calor se realizaría mediante un intercambiador de calor, pero de forma práctica se ha conectado de forma directa el CE al AC, para minimizar pérdidas de calor.

De la misma forma, el agua caliente proveniente de las placas pasa por el intercambiador de calor, IC para calentar el agua del depósito de inercia, si está activada la bomba ICDI. La bomba aire-agua está conectada directamente con el depósito de inercia, DI, tanto para extraer agua cómo para hacer el retorno. A su vez, DI se encuentra conectado con SP, en el caso de querer calentar o enfriar la vivienda utilizando aire. Esto se suele utilizar porque el suelo radiante necesita estar en marcha algunas horas para ser efectivo. En cambio el fancoil tiene un efecto inmediato, por lo que mientras el suelo radiante alcanza la temperatura adecuada, el fancoil puede suplir esa carencia temporal. Seguidamente, el acumulador AC se encuentra conectado con el depósito de inercia, DI, a través de un intercambiador de calor, IC. El retorno de SL va a parar al depósito de inercia y así el ciclo comienza de nuevo.

Cada fuente de energía renovable es recomendable que tenga asociado un acumulador y un intercambiador de calor, así la instalación estará segmentada. Se pueden dar situaciones que unos circuitos tengan asignada una temperatura de consigna más alta que otros, por lo que si tenemos acumuladores y depósitos de inercia independientes, cada uno de ellos estará a la temperatura adecuada a su correspondiente temperatura de consigna. Segmentando la instalación se consigue un consumo racional de energía al calentar o enfriar solamente el volumen de agua contenido en su correspondiente acumulador.

### 3. Descripción del sistema de control

El sistema de control está centralizado en un autómata al cual le llegan los datos de los sensores

que se encuentran repartidos tanto por la vivienda cómo por los componentes que forman el sistema. El autómata está conectado a su vez a una pantalla táctil que muestra el estado y permite interactuar con la instalación. Los elementos de adquisición de datos se pueden clasificar en función de su ubicación, tal y como muestra la figura 4. Los *Internos* son los que se encuentran dentro de la vivienda y monitorizan la temperatura y humedad. Los *Exteriores* se encuentran en el exterior de la vivienda y monitorizan la temperatura, y humedad relativa del exterior. *Componentes*, son los que se encuentran en los acumuladores, tuberías, bombas, etc... Si clasificamos los sensores en función de las tecnologías aparecen: PT-100, que son sondas estándar de temperatura; ENOCEAN[10], que hace referencia a interruptores, sensores de temperatura y humedad inalámbricos autoalimentados; y KNX[14], que hace referencia a sensores de temperatura y humedad basados en el protocolo de control de domótico KNX.

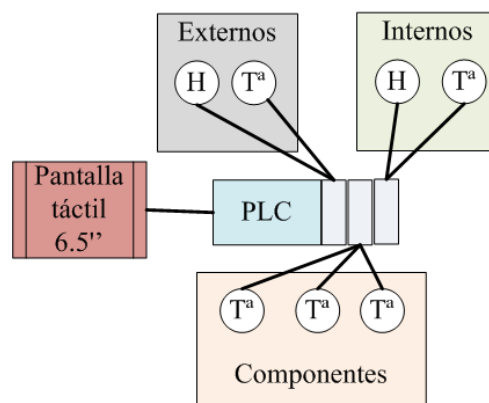


Figura 4. Vista del sistema de control desde la perspectiva de la ubicación de los sensores

La pantalla, que permite visualizar y controlar la instalación de clima, está dotada con un computador que tiene instalado el sistema operativo Windows CE®, y sobre él, un servidor web. Este servidor web permite que las visualizaciones utilizadas de forma local en la pantalla puedan ser accedidas a través de internet, utilizando un navegador web que soporte applets Java. Es posible acceder al sistema de visualización y control de clima desde el exterior

de la vivienda utilizando un teléfono móvil o un ordenador conectado a Internet.

La pantalla necesita recoger los datos de los sensores conectados al autómata para mostrarlos por pantalla. Por otro lado la pantalla va a permitir al usuario modificar la temperatura de consigna de la vivienda. Cada vez que se modifique la temperatura de consigna, la pantalla táctil enviará la nueva temperatura al PLC, para que actúe en consecuencia para alcanzar esta nueva temperatura. La comunicación bidireccional se ha conseguido utilizando el protocolo Beckhoff TwinCAT ADS, ya que ambos lo soportan. En el caso de querer comunicar autómatas de distintos fabricantes que no soporten ADS, es posible utilizar el protocolo OPC [13] que está soportado por la mayoría de autómatas programables del mercado.

### 3.1. Integración en el sistema de control domótico de la vivienda

El sistema de clima ha sido diseñado para poder ser integrado en la red de control de la vivienda. El núcleo de la red de control está constituido por un autómata programable, el cual controla los sistemas de iluminación, seguridad, persianas, alarmas, etc... La comunicación entre este autómata y el que gestiona la climatización se ha realizado a través del protocolo ADS, y de igual forma se podría utilizar el protocolo OPC.

El usuario puede modificar la temperatura de consigna desde la pantalla táctil asociada al sistema de clima, desde la red de control de la vivienda, a través de pantalla táctil, TV, voz, etc..., o desde el exterior de la vivienda a través de un navegador web. Por tanto, el autómata de clima necesita conectarse al autómata de la red de control para acceder a los datos de los sensores integrados en la vivienda y a los cambios de temperatura de consigna que se hayan realizado desde la red de control de la vivienda.

### 3.2. Descripción del interfaz gráfico del sistema de control

La instalación de clima está compuesta por multitud de componentes cuyo funcionamiento puede ser monitorizado y/o modificado. Por lo que no es recomendable que cualquier persona pueda realizar cambios críticos. Por ello se han

definido dos perfiles de usuario que pueden acceder a la instalación en función de la información mostrada.

El primer perfil, denominado *habitante*, se corresponde con las personas que residen en la vivienda donde va a ser instalado el sistema de clima. El segundo, llamado *profesional*, se corresponde con las personas encargadas de desarrollar e instalar el sistema de clima.

El perfil *habitante*, tiene restringido el acceso a las variables críticas, que no es necesario modificar durante el funcionamiento normal de la instalación. Por lo tanto el habitante únicamente puede ver la temperatura y la humedad en la vivienda, en el exterior, y la temperatura del agua que recorre el suelo radiante. Además se le permite modificar la temperatura de consigna de la vivienda, el uso del fancoil y el cambio de ciclo de verano a invierno.



Figura 5. Visualización adaptada a los requerimientos de los responsables de la instalación

El perfil *profesional* tiene acceso abierto a todo el sistema, ya que ha de ser capaz de ver el estado de las variables críticas y de modificar algunas de ellas, para adaptar el funcionamiento de la instalación a las características propias tanto de la vivienda, cómo de las preferencias de los habitantes. El profesional tiene acceso a ver las temperaturas y humedades de las sondas, y a modificar la el comportamiento tanto de la bomba aire-agua cómo del calentador eléctrico y el fancoil.

La diferenciación de perfiles se realiza mediante distintas visualizaciones, de forma que se realiza una visualización para el perfil *habitante* y otra para el perfil *profesional*. La selección del perfil se realiza en la visualización

de inicio, donde aparecen dos botones, uno para los habitantes y otro para los profesionales, tal y como muestra la imagen 5.

El perfil profesional requiere que se introduzca una contraseña para evitar que cualquier persona pueda acceder a datos críticos y pueda, por tanto, modificar el comportamiento.

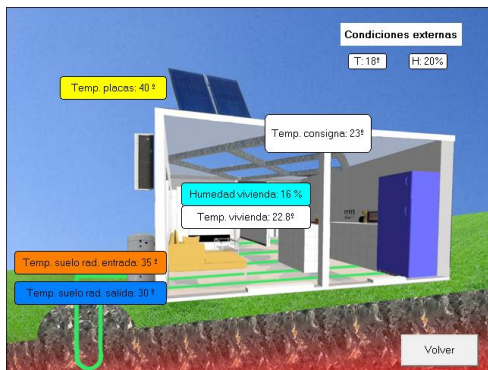


Figura 6. Visualización para los habitantes de la vivienda

Cada visualización responde a distintos requerimientos. La visualización de los habitantes, que se muestra en la figura 6, es gráficamente atractiva, vistosa y fácil de usar. En ella se puede observar la temperatura y humedad del interior de la vivienda y externas, la temperatura de consigna de la vivienda, la temperatura del agua que entra y sale del circuito de suelo radiante y la temperatura que alcanza el agua de las placas.

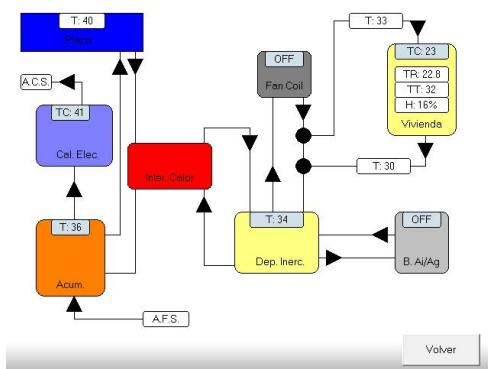


Figura 7. Visualización adaptada a los requerimientos de los responsables de la instalación

La visualización profesional, no requiere invertir tantos esfuerzos en la parte gráfica. Se

muestran muchos datos en una pantalla de 6.5", por lo que hay que prestar especial atención para que todos los datos puedan ser representados en una única visualización. Tal y como se puede observar en la figura 7. La visualización profesional muestra un diagrama simplificado de conexiones entre los componentes que intervienen en la instalación de clima. De esta forma se puede seguir el recorrido que recorre el agua, a través de los distintos componentes. El diagrama también muestra temperaturas y humedades en algunos puntos estratégicos de la instalación, que permiten ver el estado general del sistema en un simple vistazo.

#### 4. Control del sistema de climatización

El control de la multitud de componentes que integran el sistema de climatización es una tarea compleja. Un control eficaz y racional permite reducir de forma considerable la factura eléctrica, en cambio si el control no optimiza las fuentes renovables, y minimiza el uso de las convencionales la factura eléctrica podría dispararse, haciendo que su uso sea prohibitivo.

El objetivo del sistema de control es poder climatizar la vivienda minimizando el consumo energético y por tanto el económico. Se utilizan siempre que sean posibles los componentes que basados en fuentes de energía renovables. Se pretende, por tanto, utilizar lo menos posible a los componentes que hacen uso de fuentes de energía convencionales, como la bomba de calor aire-agua y el calentador eléctrico. De esta forma, únicamente estos componente serán utilizados cuando los basados en fuentes renovables no sean capaces de satisfacer la demanda. Alcanzar el objetivo no depende únicamente del algoritmo de control utilizado, sino que también dependerá de parámetros físicos de la instalación, principalmente de cómo se hayan interconectado los componentes entre sí y de los hábitos de uso de los habitantes

Existen diversos trabajos relacionados con el control de climatización por suelo radiante. [3] simula un algoritmo de control predictivo generalizado sobre un sistema de suelo radiante. [5] simula el control de una instalación HVAC mediante algoritmia evolutiva. Estos sistemas de control avanzados, no tienen en cuenta las ventajas de utilizar fuentes de energía renovables, por lo que pueden no resultar óptimos en



contextos donde se utilicen fuentes de energía renovables. Actualmente el control de sistemas de suelo radiante basados en renovables se está realizando de forma artesanal, introduciendo sensores y actuadores en algunas zonas de los circuitos y realizando una programación ad-hoc para cada uno de ellos. Alcanzar los objetivos en sistemas de ésta índole requiere o bien una gran experiencia en, o bien ensayo y error. Este tipo de control distribuido, donde no existe ningún elemento central que permita realizar un control centralizado, requiere grandes habilidades por parte del instalador, ya que realizar cambios sobre la instalación implica desplazarse a la ubicación física de los componentes para modificarlos y luego observar el funcionamiento del resto de componentes uno a uno.

Se ha desarrollado e implantado un sistema de control basado en autómatas programables, para evitar los problemas derivados de los sistemas distribuidos. De esta forma todos los sensores y actuadores están conectados al autómata y en él se ha realizado tanto la programación del control como la interfaz gráfica de usuario que ha permitido implementar un SCADA [4] de la instalación de clima para visualizarla y modificar su comportamiento desde los distintos perfiles de usuario. El uso de autómatas programables supone dos ventajas frente a los distribuidos. La primera de ellas es que existe un algoritmo de control, el cual es capaz de modificar el comportamiento de los componentes en función de las circunstancias, siempre y cuando esté correctamente programado. La segunda es la posibilidad de crear un SCADA, que permita depurar fácil y remotamente la instalación, pudiendo incluso modificar el algoritmo de control de forma remota.

El algoritmo de control prioriza a cada uno de los componentes en función del coste de la energía requerida para su funcionamiento y de su eficiencia energética. De forma que los que utilizan fuentes de energía renovables, FR, son los que tienen prioridad y los que utilizan no renovables, FNR, tienen menos prioridad.

El sistema de control se ha implementado como un sistema reactivo basado en reglas que utiliza mediciones de humedades y temperaturas en tiempo real para cotejarlas con valores de referencia, desencadenando, por tanto, las acciones a ejecutar. Por ejemplo, durante el ciclo de verano el suelo radiante a baja temperatura suelen producir condensaciones. Este problema es

solventado por la siguiente regla: Si durante el ciclo de verano la humedad interna de la vivienda, sube por encima del valor de referencia, previamente calculado, hay que conectar el fancoil en modo deshumidificador, para evitar la condensación de agua.

<i>Temperatura de referencia</i>	<i>Ubicación</i>
Tª ambiente	Dentro de la vivienda
Tª consigna	Es determinada por el usuario en la pantalla
Tª envío solar	Placas solares-térmicas
Tª impulsión	Entrada del circuito del suelo radiante
Tª expulsión	Salida del circuito de suelo radiante
Tª exterior	Exterior de la vivienda
Tª retorno bomba aire-agua	Entrada de agua a la bomba aire-agua
Tª retorno solar	Entrada de agua de la placa solar
Hª interior	Interior de la vivienda
Hª exterior	Exterior vivienda

Tabla 2. Ubicación de los sensores utilizados en el sistema de control

La tabla 2 recoge el conjunto de sondas de temperaturas y humedad utilizadas en el sistema de reglas y su ubicación. Las principales desventajas de estas heurísticas es determinar los valores de referencia adecuados para alcanzar el objetivo. Así al sobrepasar los valores de referencia será cuando se desencadenen las acciones pertinentes. Los valores de referencia son obtenidos de forma empírica y suelen ser válidos para la mayoría de instalaciones, aunque normalmente se ajustan los valores en función de las características propias de la vivienda.

El sistema de control tiene restricciones sobre las temperaturas de consigna. El usuario final puede modificar la temperatura de consigna a su antojo, por lo que podría poner temperaturas desproporcionadamente elevadas en invierno y bajas en verano. Esta situación puede ocasionar grandes costes económicos. La solución aportada por [9] es establecer la temperatura en los edificios de uso no residencial (excepto hospitales y otros casos especiales) a 26 grados como mínimo en verano y a 21 grados como máximo en

invierno. Análogamente, se ha establecido una temperatura de consigna mínima en verano de 23 grados y máxima en invierno de 24 grados. Si el usuario sobrepasa ese límite, el sistema de control solicita una contraseña para indicar de forma explícita que se quiere sobrepasar el límite.

## 5. Conclusiones

Se ha desarrollado un sistema de climatización por suelo radiante alimentado parcialmente por fuentes de energía renovables, que optimizan el uso energético, minimizando el coste económico mediante un sistema de control reactivo que desencadena acciones cada vez que sucede algún cambio. Para ello se ha particularizado el modelo general de instalaciones de suelo radiante para el clima de Alicante, en una instalación que utiliza placas termo-solares, con el objetivo de ahorrar costes derivados del uso. Se ha integrado en la red de control de la vivienda-laboratorio metalTIC, lo que ha permitido realizar pruebas con geotermia, resultando que el aporte no es rentable en este contexto. Se ha mostrado la interfaz del sistema, así como las heurísticas utilizadas en el algoritmo de control.

El trabajo subsiguiente a esta investigación está orientado a añadir nuevos componentes que utilicen energías renovables, cómo puede ser la generación de frío a partir de energía solar. Paralelamente, se ha previsto implementar un sistema de control predictivo, que haga uso de predicciones climatológicas y de los datos recogidos en este proyecto, para que pueda anticiparse en situaciones conocidas.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias al convenio de colaboración, INSTALACIONES RIBERA 2-09, con la empresa Instalaciones Ribera S.L. que ha sido financiado por el Instituto de la Mediana y Pequeña Industria Valenciana.

## Referencias

[1] Athienitis, A. K. and Chen, Y. The effect of solar radiation on dynamic thermal performance of floor heating systems. *Solar Energy*. Vol 69, Issue 3, 2000, pp 229-237

- [2] Bozkır, O., Canbazolu, S. Unsteady thermal performance analysis of a room with serial and parallel duct radiant floor heating system using hot airflow. *Energy and Buildings* Volume 36, Issue 6, Pages 579-586, 2004
- [3] Chen, T.Y. Application of adaptive predictive control to a floor heating system with a large thermal lag. *Energy and Buildings* Volume 34, Issue 1, Pages 45-51, January 2002.
- [4] Daneels, A., W. Salter, W. What is SCADA? *International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems*, 1999.
- [5] Fong, K.F., Hanby, V.I. and Chow, T.T. HVAC system optimization for energy management by evolutionary programming. *Energy and Buildings*, Volume 38, Issue 3, Pages 220-231, 2006
- [6] Fraisse, G., Menezo, C., Johannes, K. Energy performance of water hybrid PV/T collectors applied to combisystems of Direct Solar Floor type. *Solar Energy* Volume 81, Issue 11, Pages 1426-1438, 2007
- [7] Instituto Nacional de Estadística de España. *Desarrollo sostenible. Cap. 2 Consumo y producción sostenible*. 2008
- [8] Instituto Nacional de Estadística de España. *Encuesta Hogares y Medio Ambiente* 2008.
- [9] Instituto para la diversificación y ahorro de energía. *Plan de Ahorro de Energía 2008-2011*. 2008
- [10] Körber, H., Wattar, H., Scholl, G., Heller, W. Embedding a Microchip PIC18F452 based commercial platform into TinyOS. *Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN'05)*, 2005
- [11] Lin, K. Zhang, Y., Xu, X., Di, X. Yang, R., Qin, P. Modeling and simulation of under-floor electric heating system with shape-stabilized PCM plates. *Building and Environment*, Vol.39, Is.12, Pp.1427-1434 2004
- [12] Metaltic-hogar digital. [www.metaltic.org](http://www.metaltic.org) último acceso el: 04/05/2010
- [13] OPC Task Force, *OLE for Process Control: Overview*, OPC Foundation, Oct. 1998.
- [14] Praus, F, Kastner, W., Neugschwandtner, G. A versatile networked embedded platform for KNX/EIB. *KNX Scientific Conference* 2006