

CREACIÓN DE CASOS DE ESTUDIO PARA LA GESTIÓN ENERGÉTICA DE SISTEMAS HVAC EN EDIFICIOS BASADOS EN TRNSYS

Adrián Cardona¹
acardona@us.es

Daniel Limón¹
dlim@us.es

Juan F. Coronel²
jfc@us.es

Luis Pérez-Lombard²
lpl@us.es

1. Depto. Ingeniería de Sistemas y Automática. Esc. Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.
2. Depto. Ingeniería Energética. Esc. Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla

Resumen

El desarrollo de sistemas de control para la gestión eficiente de sistemas de climatización es una tarea compleja que requiere el uso de modelos dinámicos que permitan emular de forma realista la evolución térmica del edificio.

El objetivo de este documento es presentar una metodología para construir casos de estudio de sistemas de climatización realistas orientados al desarrollo de sistemas de control edificios usando TRNSYS. Además se describen los bloques funcionales de TRNSYS necesarios para modelar una instalación realista. Los modelos desarrollados permiten que los sistemas de control se puedan implementar en Matlab, lo que facilita el prototipado del controlador. Esto se valida con un caso de estudio basado en el control de un edificio de prueba.

Palabras clave: TRNSYS, Matlab, HVAC, Modelo Edificio.

1 INTRODUCCIÓN

En estos últimos años, la investigación en el campo de la gestión eficiente de sistemas HVAC ha experimentado un gran avance, en parte, gracias al desarrollo de entornos de simulación. Los programas de simulación energética como TRNSYS, EnergyPlus [1], OpenModelica [2] o Dymola [3] permiten construir y simular modelos térmicos de edificios y su sistema de climatización teniendo en cuenta los efectos termodinámicos y de dinámicas de fluidos implicados.

En este trabajo se va a trabajar con TRNSYS, que es un paquete de simulación, desarrollado por la universidad de Wisconsin-Madison (EE.UU) y que incorpora una interfaz gráfica para la creación sencilla de modelos, cuyo objetivo es determinar el comportamiento transitorio de sistemas energéticos y

sistemas de climatización. Es particularmente adecuado para la simulación energética de edificios considerando aspectos realistas como por ejemplo el acoplamiento por flujos de aire [4].

Las razones principales por las que se ha optado por TRNSYS frente a otras soluciones existentes se fundamentan en:

- Gran extensibilidad con programas externos
- Existencia de una librería que hace referencia a elementos reales de un sistema HVAC.
- Capacidad para la creación de entornos reales de una manera sencilla.
- Posibilidad de usar librerías DLL externas que representen componentes propios creados por el usuario.
- Posibilidad de inclusión de mal funcionamiento del equipo, personas, caudales de aire puntuales debido a aperturas de puertas, etc.

Además de estos aspectos que nos permite TRNSYS, los otros simuladores considerados presentan algunas carencias que motivaron que se descartasen. El entorno de EnergyPlus facilita ver el desempeño de la instalación de climatización con mucho detalle, pero no da la misma calidad de información del edificio a climatizar. Por otro lado, OpenModelica, es un software libre muy adecuado para hacer prototipado de sistemas dinámicos de climatización, pero su eficiencia se ve afectada por el tamaño del sistema climatización a simular, lo que compromete su uso para instalaciones realistas.

TRNSYS permite también de una forma fácil, configurar modelos de sistemas de climatización por parte del usuario gracias a los asistentes que incorpora y además posee una gran capacidad de extensión con programas externos (Excel, Matlab o EES).

Por todo lo anteriormente expuesto, en este trabajo se propone utilizar el TRNSYS como simulador adecuado para el desarrollo de casos de estudio de

climatización realistas orientados al desarrollo de sistema de gestión eficiente.

A la hora de diseñar estos sistemas de gestión de climatización, la eficiencia [5] de la operación es un índice muy importante a tener en cuenta, pero existen otros aspectos más complejos, como el confort que se deben también considerar para lograr una gestión adecuada de la instalación. En el confort influyen variables más complejas de modelar como son, entre otras, la humedad, el caudal de aire en las salas, así como de consideraciones personales de los usuarios, como la sensación térmica. Estos últimos aspectos dependen de factores tan subjetivos como por ejemplo, la ropa utilizada por las personas (que depende de las estaciones del año), el metabolismo de cada persona o incluso el tipo de trabajo que realizan.

En este artículo no se aborda la simulación de valores de confort, pero TRNSYS es también especialmente adecuado para ello. No obstante, en el caso de estudio que se desarrolla en este documento no se observan estas variables de confort, quedando esto para un trabajo futuro.

2 ESTRUCTURA DEL CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio que se va a considerar en este trabajo consta de un modelo del edificio formado por locales que se deben climatizar, y el sistema HVAC propiamente dicho encargado de aportar o sustraer el calor necesario a los locales. Como se muestra en la Figura 1, el sistema HVAC suministra a cada local del modelo de Edificio un caudal de aire **airflow** a la temperatura **Tair**, humedad relativa **RHair**. Las características del aire impulsado por el HVAC dependerán del aire de recirculación que viene del edificio, del factor de carga de las máquinas de climatización y de las condiciones ambientales. En el modelo, éstas se extraen de bases de datos meteorológicos.

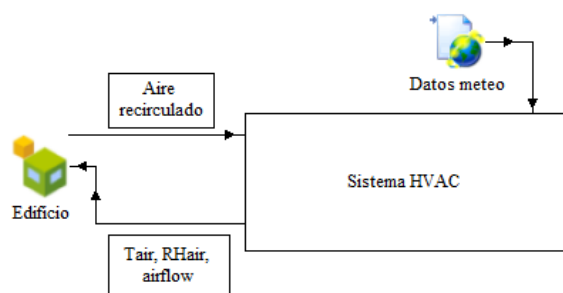


Figura 1: Estructura del caso de estudio

El sistema HVAC se detalla en la Figura 2, y está compuesto por: (i) la máquina enfriadora agua-agua,

que extrae un calor del **fan-coil** tomando como fluido intermedio agua, (ii), el **fan-coil** donde el flujo de aire de cambia su temperatura debido a la transferencia de energía entre el fluido de climatización (agua) y el aire, y (iii) de la caja de mezcla, que es la encargada de la renovación del aire de los locales mezclando el aire de retorno con un caudal de aire del ambiente, de acuerdo a un ratio fijado por las condiciones de ventilación.

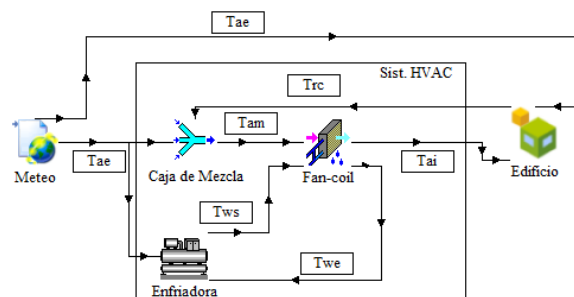


Figura 2: Estructura detallada del sistema.

El aire de retorno de los locales se recircula hacia la caja de mezcla para no desaprovechar energía. En ésta un porcentaje del flujo de aire de recirculación (en este artículo se ha tomado un 80%) se mezcla con un flujo de aire exterior (un 20%). El aire de mezcla pasa al **fan-coil** donde, gracias al fluido aportado por la máquina de climatización aguas arriba de la instalación, el aire (**airflow**) adquiere las propiedades del aire de impulsión (**Tair, RHair**). Este aire se conduce a los diferentes locales del edificio produciéndose un intercambio de energía entre en el aire que estaba con anterioridad y el nuevo que se ha impulsado.

En la tabla 1 se muestra la notación de las variables implicadas en el modelo.

Tabla 1 Nomenclatura.

Nomenclatura	
T_{we}	Temperatura del agua de entrada.
T_{ws}	Temperatura del agua de salida.
T_{ae}	Temperatura del aire exterior.
T_{rc}	Temperatura del aire recirculado
T_{am}	Temperatura del aire de mezcla.
T_{ai}	Temperatura del aire impulsado.

El sistema de control recibe la información de las temperaturas de los locales del edificio y de las condiciones ambientales y manipula la máquina y los caudales de agua de climatización que circula por cada **fan-coil** con el fin de mantener las temperaturas de los locales en los valores de consigna minimizando el consumo necesario para ello. En el caso de estudio que se propone, el sistema de control se implementa en Matlab.

Dado que unos de los objetivos del caso de estudio es que los elementos usados en modelo sean lo más fiel posible a la realidad, se ha decidido implementar modelos subrogados de las máquinas a partir de los datos disponibles en los catálogos de los fabricantes [6]. Estos modelos dinámicos también se han implementado en Matlab. Así, el modelo en su conjunto toma la forma mostrada en la Figura 3.

La enfriadora se ha creado a partir de los datos de la EWAD-CZXS/XL de Daikin [6] y la bomba de calor se ha creado a partir de las ecuaciones de la enfriadora, modificando la obtención de su T_{ws} .

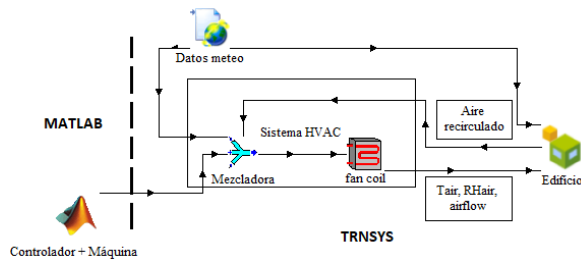


Figura 3: Estructura real del sistema.

3 DESARROLLO DEL CASO DE ESTUDIO

En esta sección se muestra cómo crear un caso de estudio paso a paso basado en la estructura presentada en la sección anterior a partir de la realización de un caso ilustrativo.

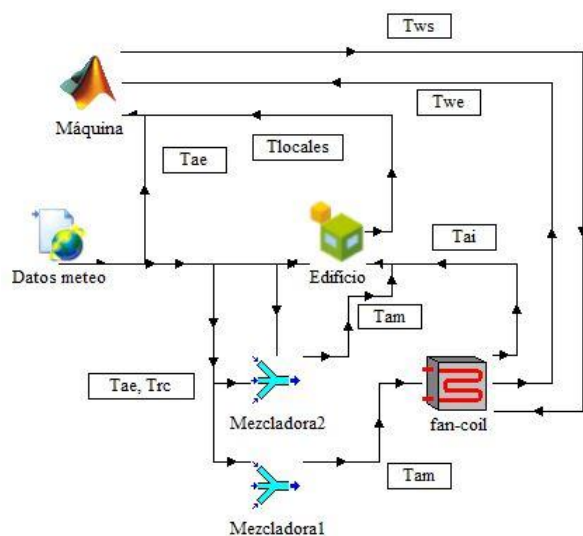


Figura 4: Ejemplo caso de estudio.

La instalación que se usará como guía es la sugerida en la figura 4. Los datos necesarios para crear el edificio están recogidos en el ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 [7], caso 960 (*Heavyweight case*),

formado por 2 habitaciones, la habitación 1 de 48 m² y la 2 de 16 m² con 2 ventanas orientadas al sur. A continuación se detallan los distintos bloques que permiten implementar este caso de estudio.

3.1 Multizone Building Zone (Type56)

El módulo denotado como Type56 se encuentra en la carpeta *Loads and Structures* [8]. Arrastramos hasta la hoja de nuestro proyecto. Haciendo clic derecho encima del modelo y se puede elegir la opción *Edit Building*. A continuación, se abrirá la herramienta *TRNBuild* que es un asistente que permite modelar el edificio.

Se debe elegir en qué hemisferio se encuentra el edificio y todas las posibles orientaciones que se vayan a utilizar. A continuación, con la ayuda del *Layer Type Manager* se deben definir los diferentes materiales que describirán las superficies que luego se deben crear. El siguiente paso es unificar todas las capas creadas en las diferentes superficies del edificio en cuestión utilizando el asistente *Wall Type Manager*. Dentro de este asistente, al igual que en todos de *TRNBuild*, el modo de proceder siempre es el mismo: crear nueva capa y añadir las diferentes capas que componen la pared siguiendo un orden de fuera hacia dentro. Por último, se pueden modificar algunos datos, como los coeficientes convectivos o la absortividad. El proceso se repite para el número de superficies que tengamos.

A continuación, se deben crear las infiltraciones, flujos de aire, ganancias internas o variables de confort de la habitación. Para ello, se usan los asistentes existentes en *TRNBuild*. siguiendo los siguientes pasos:

1. Definir las infiltraciones (aire exterior que entra al edificio independientemente del sistema HVAC, por huecos). Se debe definir la cantidad de aire, en renovaciones por hora o en kg/hr. Esta variable puede ser una constante, una entrada variable o un perfil predefinido (haciendo uso de la opción *Constant Value*, *Input* o *Schedule*).
2. Definir el caudal de ventilación. Básicamente, es realizar la misma definición que en el paso anterior, aunque en este es recomendable definir variables tipo *Input*, creándolas desde 0 y definiéndoles nombres, para los tres casos, caudal, temperatura y humedad.
3. Definir las ganancias internas de ordenadores, personas o luces de la habitación.
4. Creación de las variables de confort que nos interesen (definiendo *Clothing factor*, *Metabolic rate*, *External work* o *Relative air velocity*).

Para la creación de las zonas o locales que conforman el edificio se define el nombre de la zona y del nodo de aire y mediante un asistente se crean las diferentes

superficies. Es necesario añadir todas las superficies que describen la zona, definir el tipo de muro, su área, categoría y su orientación. Una vez creadas, se deben vincular todas las características de infiltraciones y caudales creadas anteriormente al edificio. Se repetirá este proceso con todos los tipos de ventilaciones, ganancias internas y variables de confort que se hayan creado.

Por último, se debe definir qué salidas y entradas tendrá el bloque. Las variables anteriormente definidas como *Input*, permiten que su valor pueda ser manipulables desde la interfaz de TRNSYS o desde otro bloque. Estas variables son también salidas de forma automática. También es recomendable añadir otras variables de salida que se consideren de interés, como la temperatura de la zona o la humedad.

3.2 Weather Data Processor (Type 15-6)

El módulo Type15-6 [9] permite acceder a bases de datos meteorológicos anuales que servirán como entrada del simulador. Esto tiene un papel fundamental en el caso de estudio, pues la validez de los resultados está sujeto a la fiabilidad de los datos de entrada al modelo. TRNSYS mediante el acceso *External Files*, permite vincular un archivo de entrada con los datos meteorológicos (en diversos formatos) a este componente, en la pestaña. Es posible también realizar la simulación en una ciudad concreta a partir del fichero EPW de dicha localización [10].

3.3 Air Mixing Valve, Type 648

El aire de recirculación que proviene de las zonas o locales del edificio se encuentra con el aire exterior en la válvula mezcladora [11]. En el interior de este componente se produce la mezcla de ambos aires que constituye el denominado aire de mezcla. Con el fin de cumplir la normativa del RITE respecto a la cantidad mínima de aire exterior con el que se debe ventilar [12], el aire de salida de la mezcladora se considera formado por un 80% de aire recirculado y un 20% de aire exterior, teniendo en cuenta que caudal de aire recomendado por zona es de 30 m³/h·m². El balance de masa se garantiza por la distribución de presiones en el interior de forma que el aire sobrante sale de este módulo al ambiente.

Para el ejemplo de este artículo el caudal de aire de salida de la mezcladora 1 para la habitación 1 será de 1.440 m³/h, con 1.152 de m³/h de aire recirculado y 288 m³/h de aire exterior. La segunda mezcladora tendrá un caudal de aire de salida de 480 m³/h, siendo 384 m³/h de aire recirculado y 96 de aire exterior.

3.4 Cooling Coil Using Bypass Fraction Approach - Free Floating Coil (Type 508 o 753d)

Este bloque representa el fan-coil encargado de convertir el aire de salida de la mezcladora a las condiciones adecuadas para climatizar la habitación gracias a la batería de intercambiadores alimentados con el agua que le llega de la enfriadora o de la bomba de calor según la estación del año [13]. El caudal de aire de impulsión es igual al caudal de aire de mezcla pero sus características térmicas han cambiado por la acción del fan-coil.

En verano, la temperatura del agua de entrada a la batería que proviene de la enfriadora (T_{ws}) es menor que la temperatura de entrada del aire de mezcla (T_{am}), por lo que el aire al entrar en contacto con el agua transfiere calor a ésta, disminuyendo así la temperatura del aire de salida o de impulsión (T_{ai}) y aumentando la temperatura del agua de salida del fancoil que vuelve a la enfriadora (T_{we}). En invierno el proceso es el contrario.

El elemento que modela el fan-coil para el verano es el Type508 y para el invierno, es el Type753d [14].

3.5 TRNSYS – Matlab link, Type 555

Este bloque dota a TRNSYS de una de las funcionalidades que lo hace especialmente adecuado para el prototipado de sistemas de control: su interconexión con Matlab [15] [16]. En la versión de TRNSYS 17 hay que utilizar una versión de Matlab 2014a o anterior y tomar el bloque adecuado a la versión de Matlab en la carpeta correspondiente y ubicarlo la carpeta *Exe*.

Su uso es muy simple: en TRNSYS solo es un bloque con variables de entrada que son enviadas a Matlab y salida que son generadas en Matlab. En este bloque se debe indicar, entre otros, un script de Matlab y un tiempo de muestreo. Este script se ejecuta en cada ciclo de iteración de la rutina de integración numérica del solver.

Además de las variables de entrada, Matlab recibe una serie de variables vectoriales, como *trnINFO* [17], que le da información del paso o estado de ejecución en el que se encuentra el solver en el momento de llamarlo. Según estas variables, se pueden actualizar las variables de interconexión en cada iteración del solver o en cada tiempo de muestreo que se ha indicado.

Como material de apoyo existen dos archivos de ejemplo (“.\Trnsys17\Examples\Calling_Matlab”) del uso de la comunicación entre los dos programas.

3.6 Otros bloques auxiliares

Para poder visualizar los datos a medida que se vaya realizando la simulación es recomendable situar un bloque Online Graphical Plotter (Type65) que permite visualizar la evolución de todas aquellas variables que reciba como entradas [18].

Otro bloque que puede resultar útil es el *Insert new equation* [19], que permite crear variables de salida resultantes de aplicar funciones de cálculo sobre las variables de entrada

4 MODELADO DE LA BOMBA DE CALOR Y LA ENFRIADORA

Como se comentó anteriormente, en el caso de estudio propuesto se propone la creación de modelos subrogados de las máquinas de climatización a partir de datos proporcionados por los fabricantes. Para ello, estos modelos se van a implementar en Matlab usando el bloque anteriormente explicado. El modelo utilizado se describe a continuación.

$$CAP = CAP_{nom} \cdot (c_0 + c_1 \cdot T_{ws} + c_2 \cdot T_{ws}^2 + c_3 \cdot T_{ae} + c_4 \cdot T_{ae}^2 + c_5 \cdot T_{ws} \cdot T_{ae}) \quad (1)$$

La ecuación (1) permite determinar la capacidad de la máquina, CAP, en función de la temperatura del aire exterior, T_{ae} , la temperatura del agua de salida, T_{ws} , una capacidad nominal, CAP_{NOM} , y los parámetros de la curva de la máquina. Los coeficientes están recogidos en la Tabla 2.

Tabla 2: Coeficientes para el cálculo de la capacidad.

Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor
c ₀	0.90491462	c ₃	0.002849
c ₁	0.04080004	c ₄	-0.00016
c ₂	0.00052899	c ₅	-0.00048

El cálculo de la potencia que realmente aporta la máquina se obtiene a partir de la ecuación (2).

$$Q_f = fcp \cdot CAP \quad (2)$$

Dicha potencia es una fracción de la capacidad total de la misma, indicada mediante el factor de carga parcial (**fcp**), que es una variable de manipulable.

Para un **fcp** dado, la temperatura del agua de salida de la enfriadora, T_{ws} , se obtiene resolviendo la ecuación (3) conocida la temperatura de entrada del agua, T_{we} , la temperatura del aire ambiente T_{ae} , el caudal, \dot{m} , la densidad, ρ , y el calor específico del agua, C_p .

$$T_{ws} = T_{we} - \left(\frac{Q_f}{\dot{m} \cdot \rho \cdot C_p} \right) \quad (3)$$

El consumo de la máquina, C_E viene dado por la ecuación (4) y depende de un consumo nominal, C_{ENOM} , de la temperatura de salida del agua, T_{ws} , la temperatura del aire exterior, T_{ae} , el **fcp** y unos parámetros propios de la máquina. Los coeficientes están recogidos en la Tabla 3.

$$C_E = C_{ENOM} \cdot (c_0 + c_1 \cdot T_{ws} + c_2 \cdot T_{ws}^2 + c_3 \cdot T_{ae} + c_4 \cdot T_{ae}^2 + c_5 \cdot T_{ws} \cdot T_{ae}) \cdot (k_0 + k_1 \cdot fcp + k_2 \cdot fcp^2 + k_3 \cdot fcp^3) \quad (4)$$

Tabla 3: Coeficientes para el cálculo del consumo.

Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor
c ₀	0.484352	c ₅	0.2017265
c ₁	0.008609	k ₀	0.1365874
c ₂	0.000520	k ₁	0.6873482
c ₃	0.007328	k ₂	-0.0256622
c ₄	0.000156	k ₃	0.2017265

El EER, definido es una medida de la eficiencia de la máquina y viene dado por la ecuación (5).

$$EER = \frac{Q_f}{C_E} \quad (5)$$

Para modificar la máquina y tener una bomba de calor en lugar de una enfriadora ya descrita, solo habría que sustituir la ecuación (3) por la siguiente ecuación:

$$T_{ws} = T_{we} + \left(\frac{Q_f}{\dot{m} \cdot \rho \cdot C_p} \right) \quad (6)$$

5 EJEMPLO DE CONTROL PI DE UNA HABITACIÓN

Con el fin de ilustrar la metodología propuesta para crear casos de estudio de sistemas de control, se presenta en esta sección los resultados del control PI de la temperatura de la primera habitación mediante la manipulación del **fcp** de la máquina de climatización, mientras que la habitación 2 sólo recibe el aire de salida de la mezcladora 2.

Se ha seleccionado Barajas (Madrid) como localización del edificio (fichero de entrada en el Type 15-6) y se han desarrollado dos casos de estudio de la misma instalación, uno operando en verano y otro en invierno. En los dos casos tenemos un control PI que se encargará de manipular el **fcp** de la máquina, ya sea la enfriadora o la bomba de calor. La manipulación del **fcp** tiene relación directa con la potencia que va a dar la máquina, como se ve en la ecuación (2).

Como temperatura de consigna se ha tomado 20 °C., Téngase en cuenta que el control empleado solo tiene en cuenta la temperatura de la habitación 1, mientras que la de la habitación 2 estará alimentada con un caudal del 80% aire recirculado y un 20% de aire exterior.

En la figura 5 se muestra la evolución de las temperaturas de las dos habitaciones, la habitación 1 (color verde) controlada a 20 °C y la 2 (color rojo) sin controlar, junto con la temperatura ambiente (color azul) en verano. En la figura 6 se muestra la evolución de las temperaturas en invierno.

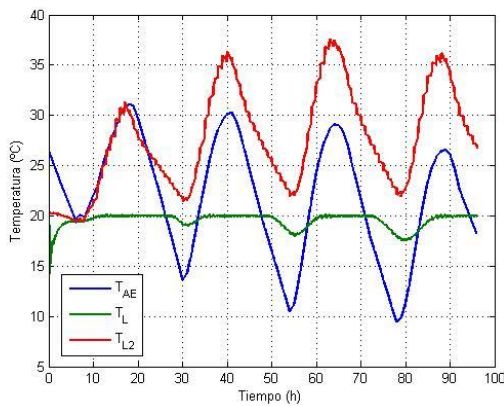


Figura 5: Sistema controlado en verano.

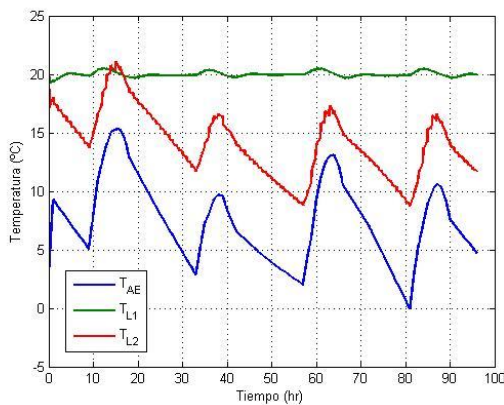


Figura 6: Sistema controlado en invierno.

En la figura 7 podemos ver la evolución del **fcp** que ha ido calculando el control PI para el caso de invierno y de verano. Como se puede ver, la evolución del **fcp** en verano sigue una respuesta de todo o nada, ya que como se ve en la figura 4, la temperatura exterior cae por debajo de los 20 °C, período donde la enfriadora tiende a apagarse. Por otro lado, la respuesta del **fcp** de la bomba de calor sigue una tendencia más suave, debido a que la temperatura de la habitación no difiere tanto de la misma sin contar con la transferencia de calor del aire impulsado.

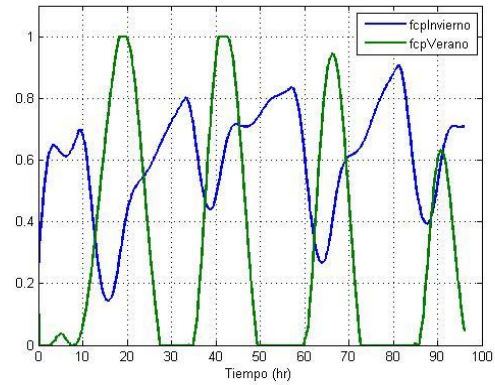


Figura 7: Evolución del fcp de las máquinas.

Como datos adicionales se muestran las temperaturas de agua de entrada y salida de cada máquina. En el caso de la enfriadora, figura 8, resalta el tramo en el que las dos temperaturas coinciden, esto es debido a que la máquina está apagada, mientras que en los otros períodos se puede ver como la temperatura del agua de entrada es más alta que la temperatura de salida de esta.

En el caso de la bomba de calor (figura 9) queda todavía más claro. Las temperaturas de entrada y salidas están aún más diferenciadas y en este caso no existe un período de inactividad. Es obvio en este caso, pero la temperatura de entrada del agua es menor que la temperatura de salida.

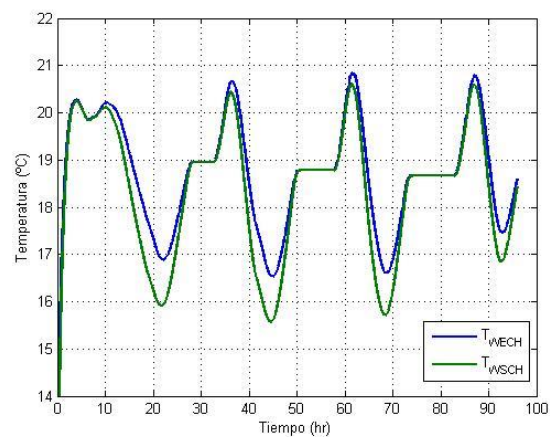


Figura 8: Temperaturas de entrada y salida del agua en la enfriadora.

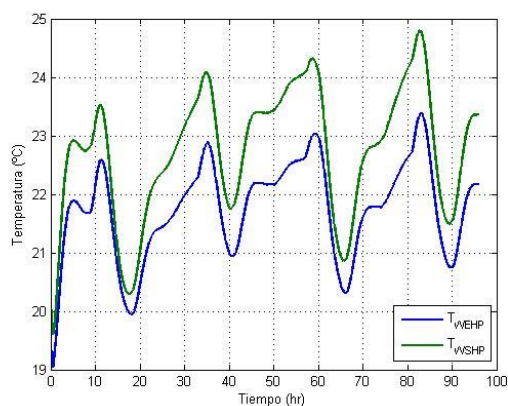


Figura 9: Temperaturas de entrada y salida del agua en la bomba de calor.

6 CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra la experiencia de los autores en el desarrollo de casos de estudio de sistemas de climatización orientados al control utilizando la herramienta de simulación TRNSYS.

Se propone una metodología detallada para crear casos de estudio de climatización de edificios y se describen los bloques funcionales necesarios para modelar una instalación realista.

Esta metodología se valida con un ejemplo sencillo del control de un edificio de referencia en trabajos de climatización y se presentan resultados de control PI de la temperatura de una de las habitaciones.

En trabajos futuros se van a desarrollar modelos de más envergadura que permitan validar estrategias de control predictivo económico teniendo en cuenta también indicadores de confort.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo y financiación del Ministerio de Economía y Empresa de España y fondos FEDER bajo el proyecto DPI2016-76493-C3-1-R.

English summary

CREATION OF STUDY CASES FOR BUILDING ENERGY MANAGEMENT OF HVAC CONTROL SYSTEMS IN BUILDINGS BASED ON TRNSYS

Abstract

The development of control systems for the efficient management of heat, ventilation and air conditioning (HVAC) systems is a complex task that requires the use of dynamic models that show thermal evolution of the system with a high degree of fidelity.

The objective of this document is to present a methodology to create simulation models of realistic HVAC installations oriented to test control systems implemented in Matlab. The topology of the installation and the blocks needed for its implementation are presented. This procedure has been validated with the model of a simple benchmark used in the literature to be controlled with a PI in Matlab.

Keywords: TRNSYS, Matlab, HVAC, Building model.

Referencias

- [1] Página web de EnergyPlus: <https://energyplus.net/>
- [2] Página web de OpenModelica: <https://openmodelica.org/>
- [3] Página web de Dymola: <https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/catia/productos/dymola/>
- [4] Página web distribuidor español de TRNSYS: <https://aiguasol.coop/es/software-energia/trnsys-18-simulacion-energetica/>.
- [5] Luis Pérez-Lombard, José Ortiz, Ismael R. Maestre, Juan F. Coronel, (2011) Constructing HVAC energy efficiency indicators.
- [6] Air cooled screw inverter chiller, high efficiency, standard/low sound, Datasheet. https://www.daikin.eu/en_us/products/EWAD-CZXS.html
- [7] Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, ANSI/ASHRAE Standard 140-2004.
- [8] Multizone Building (Type56 - TRNBuild), TRNSYS 17 Documentation.
- [9] Volume 8 Weather Data, TRNSYS 17 Documentation.
- [10] Weather Data Sources. Disponible en: <https://energyplus.net/weather/sources>.
- [11] 3.7 Type 648: Air Return Plenum with Up To 100 Ports, Volume 7 – Hydronics Library Mathematical Reference, TESSLibs 17.

- [12] Instrucción técnica 1.1.4.2 Exigencia de calidad de aire interior. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- [13] Type 508: Cooling Coil with Various Control Modes, Volume 6 – HVAC Library Mathematical Reference, TESSLibs 17.
- [14] Type 753: Heating Coil with Various Control Modes, Volume 6 – HVAC Library Mathematical Reference, TESSLibs 17.
- [15] Nima Alibabaei, Alan S. Fung, Kaamran Raahemifar, (2016) Development of Matlab-TRNSYS co-simulator for applying predictive strategy planning models on residential house HVAC system.
- [16] Marcus Jones, (2010) Coupling TRNSYS and Matlab for genetic algorithm optimization in sustainable building design, Third German-Austrian IBPSA Conference (BauSim 2010).
- [17] 7.4.3 The INFO array – Typical calling sequence, Volume 7 Programmer's Guide, TRNSYS 17 Documentation.
- [18] 4.9.6 Type 65: Online Plotter, Volume 4 – Mathematical Reference, TRNSYS 17 Documentation.
- [19] 2.7 Equations, Volume 2 – Using the Simulation Studio, TRNSYS 17 Documentation.



© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>).