

MODELADO ORIENTADO A OBJETOS Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS EN EDIFICIOS.

HERNÁNDEZ ALBALADEJO, Gonzalo ⁽¹⁾

gonzalo.hernandez@murciaeduca.es, gon.her.alb@gmail.com

⁽¹⁾Universidad Nacional de Educación a Distancia, programa de Doctorado en Ingeniería de Sistemas y Control, Departamento de Informática y Automática, E.T.S. Ingeniería Informática

RESUMEN

El modelado y la simulación de sistemas físicos representa una capacidad fundamental para su comprensión desde el punto de vista de las distintas disciplinas de la ingeniería como el control, el diseño y selección o el mantenimiento de equipos e instalaciones térmicas. Los sistemas solares térmicos resultan fuertemente influenciados por la dinámica variable de las condiciones climáticas (radiación solar, etc.) o del perfil de consumo entre otros condicionantes. Es por ello que modelar y simular dinámicamente instalaciones solares térmicas bajo distintas situaciones operacionales (condiciones climáticas, perfiles de consumo, etc.) permite determinar y entender su comportamiento de cara al diseño, control y operación.

Existen numerosos enfoques de cara al modelado y simulación de sistemas físicos. De todos ellos, el modelado orientado a objetos con el lenguaje Modelica presenta una serie de características que lo hacen muy adecuado para su aplicación a sistemas energéticos. La presentación tendrá por objeto revisar brevemente algunas de las técnicas más extendidas de modelado y simulación dinámica de sistemas solares térmicos, centrándose en las características propias de la utilización de Modelica.

Del mismo modo se expondrán los fundamentos de la librería de Modelica llamada Soltermica, donde se agrupan distintos modelos de equipos e instalaciones solares térmicas de baja temperatura (colectores solares, intercambiadores de calor, etc.). Esta librería, desarrollada y mantenida por el autor de la presentación, permite simular determinadas instalaciones solares térmicas así como componer nuevas configuraciones mediante la reutilización de modelos (paradigma de modelado orientado a objetos). Para finalizar se expondrán algunas de las líneas de trabajo y experimentación enfocados a la simulación de instalaciones térmicas en edificios fruto de la utilización de Soltermica.

Palabras clave: Energía Solar Térmica, Simulación, Modelica.

1. Introducción

La sociedad dispone de diferentes fuentes de energía para cubrir las necesidades energéticas derivadas de su actividad. La energía solar es la fuente energética más abundante en La Tierra aunque su aprovechamiento presenta diferentes problemas que frenan su desarrollo e implantación. En principio la obtención de energía térmica, en forma de agua caliente a baja temperatura, mediante la radiación solar no representa una excesiva complejidad a nivel tecnológico, pero no resulta tan sencillo disponer de instalaciones que cubran gran parte de la demanda térmica a lo largo de un año de forma realmente eficiente.

Los beneficios de la energía solar térmica son indudables y relevantes en la actualidad. La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (generación de energía eléctrica, combustión en equipos de generación térmica, etc.), la reducción de la dependencia de la importación de recursos energéticos (gas natural, etc.), ahorro económico por aprovechamiento de energía de libre disposición o la generación de puestos de trabajo (instalación y mantenimiento) a nivel local son algunos de esos beneficios. Pero muchos de estos beneficios son difíciles de cuantificar mediante los enfoques tradicionales de cálculo de rendimientos estacionales.

Por otro lado existen barreras en la implantación masiva de esta tecnología. Una de ellas sería la dificultad en la determinación del comportamiento de este tipo de instalaciones en un largo periodo de tiempo. El comportamiento tan variable de los distintos aspectos de funcionamiento hacen que muchas de las técnicas utilizadas comúnmente puedan errar considerablemente para determinadas configuraciones. Técnicas de carácter simplificado que son ampliamente utilizadas para determinar el aprovechamiento de la energía solar, o fracción solar, como el Método f-chart [1] suelen ser corregidas mediante factores que contemplan aspectos importantes como el efecto de la estratificación del agua acumulada, las pérdidas por acumulación y distribución entre otros aspectos.

Estos hechos hacen que se planteen técnicas más sofisticadas como la simulación dinámica para determinar de manera más precisa el comportamiento de las instalaciones solares bajo distintas circunstancias. En este sentido el modelado y la simulación de sistemas físicos representa una capacidad fundamental para su comprensión desde el punto de vista de las distintas disciplinas de la ingeniería como el control, el diseño y selección o el mantenimiento de equipos e instalaciones térmicas. Los sistemas solares térmicos resultan fuertemente influenciados por la dinámica variable de las condiciones climáticas (radiación solar, etc.) o del perfil de consumo entre otros condicionantes. Es por ello que modelar y simular dinámicamente instalaciones solares térmicas bajo distintas situaciones operacionales (condiciones climáticas, perfiles de consumo, etc.) permite determinar y entender su comportamiento de cara al diseño, control y operación.

La línea de investigación del autor se centra en experimentar con técnicas de simulación que permitan modelar y simular instalaciones solares térmicas de baja temperatura en edificios. Para ello se utilizará el lenguaje de modelado Modelica y se pretende ir recopilando todos los modelos experimentados en una librería de libre uso llamada Soltermica [2]. A partir de esta librería se podrán componer nuevas configuraciones para su experimentación así como simular las ya definidas en los distintos casos de uso desarrollados.

1.1. Herramientas de modelado y simulación de sistemas solares térmicos

Dejando de lado las herramientas simplificadas de determinación de prestaciones estacionales (F-Chart, CHEQ-4/MetaSol, etc) existen numerosas herramientas relacionadas con el modelado y la simulación de sistemas solares térmicos. A continuación se describen algunas de sus características fundamentales.

De entre todas las herramientas se destaca inicialmente el software TRNSYS [3]. Es un software de simulación energética que tiene como origen el estudio del comportamiento de sistemas de energía solar. Fue desarrollado en el año 1975 y actualmente representa una herramienta potente de cálculo que permite la resolución transitoria de varios tipos de sistemas térmicos. Entre las principales aplicaciones que encontramos está el diseño y optimización de sistemas energéticos, especialmente basados en energías renovables.

TRNSYS se compone de dos partes fundamentales, un motor de cálculo o kernel y una biblioteca o librería de componentes. El kernel permite leer y procesar los archivos de entrada, resolver de manera iterativa el sistema, determinar la convergencia, y visualizar las variables del sistema entre otras funcionalidades. La biblioteca incluye diversos modelos de equipos térmicos, eléctricos, procesadores meteorológicos y demás elementos denominados TYPE que permiten simular sistemas energéticos. El usuario puede crear modelos más complejos a partir de dichos elementos base o por otro lado implementar nuevos elementos mediante algún lenguaje de programación como Fortran. Del mismo modo existen librerías no estándar disponibles que simulan el comportamiento de otros componentes. Existen tanto librerías de componentes de libre acceso como librerías que comercializan los distribuidores de la herramienta.

Esta herramienta es un referente en la forma de abordar las labores de simulación energética (composición de modelos, reutilización, etc.). Además es comúnmente utilizada para la simulación de sistemas solares térmicos y de esta forma ha colaborado en el desarrollo e implantación de los mismos. Muchos de los procedimientos de trabajo y técnicas específicas que se utilizan en el desarrollo de modelos con TRNSYS son válidas y extrapolables a otros procedimientos de simulación (reutilización de modelos, implementación gráfica, etc.). En este sentido, a partir de TRNSYS se han desarrollado otras herramientas de simulación de sistemas solares térmicos como TRANSOL [4] o ACSOL/PACSOL [5]. Estas herramientas tienen predefinidos una serie de configuraciones de instalaciones solares térmicas comunes así como un grupo de condiciones de contorno seleccionadas (datos climatológicos peninsulares, etc.) que facilitan las tareas de diseño y análisis de instalaciones a los usuarios como ingenieros y arquitectos. De esta forma se enfocan a usuarios menos expertos en el manejo de TRNSYS pero limitando su uso a las configuraciones predefinidas.

A pesar de ser todo un referente en diversos aspectos, la utilización de TRNSYS presenta una serie de desventajas. La primera es que es un software comercial de código de cerrado, aunque existen librerías de elementos programados en Fortran de libre acceso. Por otro lado su aprendizaje es complejo, así como la definición de nuevos elementos no incluidos en las librerías estándar. Del mismo modo el proceso de creación de nuevos modelos puede resultar excesivamente lento.

Otras herramientas de uso convencional para este tipo de tareas es la utilización del motor de cálculo EnergyPlus junto con el programa OpenStudio. Estos dos programas están enfocados a la simulación energética de edificios, tanto la parte de comportamiento térmico (cargas térmicas, demanda energética, etc.) como el de instalaciones (consumo energético, rendimientos, etc.). Presentan un gran desarrollo

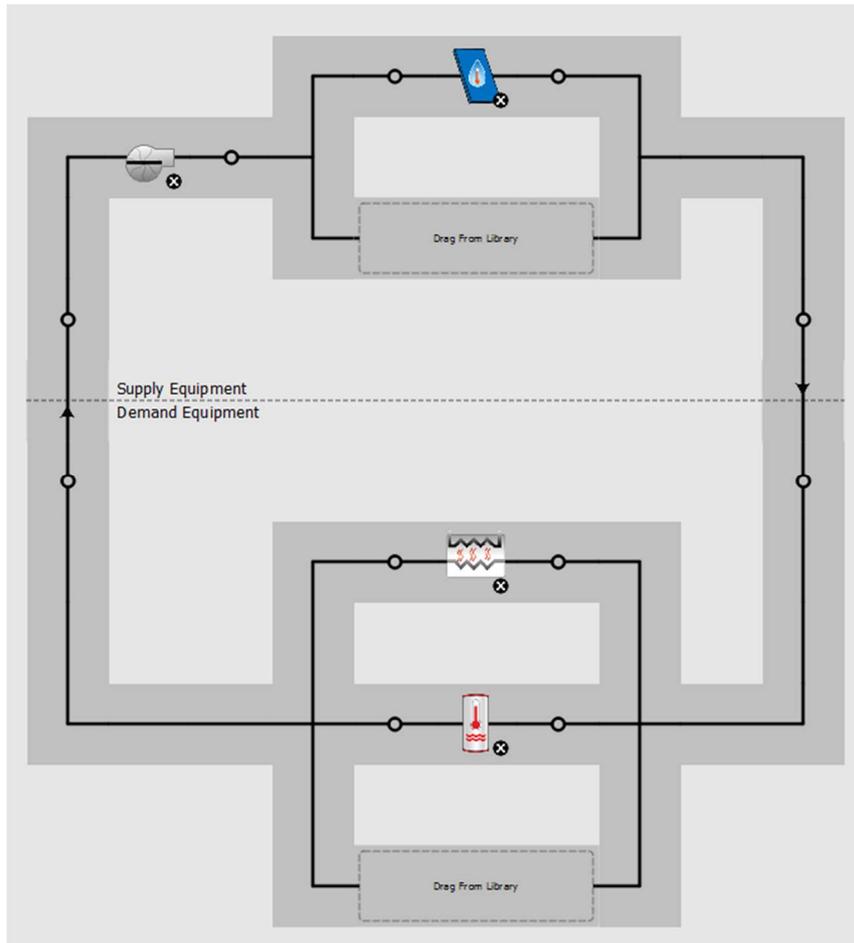


Figura 1. Esquema de una instalación solar térmica en EnergyPlus/OpenStudio.

debido a su carácter gratuito y su utilización para diferentes labores (cumplimiento CTE-HE-1, etc.) con lo que cada día es más común entre los técnicos.

1.2. Modelado y simulación de sistemas térmicos con Modelica

Modelica es un lenguaje abierto de modelado de sistemas complejos multi-dominio. Permite el modelado sistemas mecánicos, eléctricos, hidráulicos u otra tipología de sistemas y sus combinaciones. La característica principal de Modelica es que es un lenguaje acausal y orientado a objetos con todas las ventajas asociadas a este enfoque. El diseño modular de diferentes clases permite desarrollar modelos complejos a partir de otros más sencillos definiendo sus interacciones. El enfoque acausal facilita el modelado de los distintos elemento dejando la definición de causalidad computacional al entorno de trabajo. El desarrollo de modelos con estos principios de diseño hace que el proceso de creación resulte mucho más robusto por parte de diferentes programadores, así como la validación o mantenimiento del código y las clases.

En general los sistemas físicos continuos son modelados mediante sistemas de ecuaciones diferenciales y algebraicas (DAE). Pero el comportamiento real de los diferentes sistemas físicos tiene un componente discreto, pudiendo cambiar la estructura básica del sistema durante una simulación. El tratamiento en Modelica de los llamados eventos permite modelar sistemas de este tipo, que impliquen una mayor complejidad y que se definan como sistemas DAE-híbrido.

Actualmente Modelica tiene el soporte de Modelica Association [6] que también coordina el desarrollo una librería estándar (MSL) con gran cantidad de modelos de uso común en los diversos campos de la ingeniería (componentes electrónicos, sistemas mecánicos, etc.). La última versión de la MSL publicada se trata de la 3.2.2. Cabe destacar que la MSL nos permite reutilizar algunos de sus elementos y paquetes

para explotar la capacidad de reutilización de modelos. De entre todos los paquetes o sublibrerías destacan *Thermal* o *Fluid* como base para la generación de modelos de equipos e instalaciones térmicas.

Librerías de Modelica de sistemas térmicos

Cabe destacar la existencia de distintas librerías que incluyen diferentes aspectos de sistemas térmicos como la climatización, el calentamiento de agua sanitaria, etc. Estas librerías han sido desarrolladas y mantenidas por diferentes instituciones a lo largo de los últimos años y puestas a disposición de la comunidad a través de la web de la Modelica Association, de repositorios de código código. Entre todas las librerías de libre disposición se destacan:

- Buildings desarrollada por Lawrence Berkeley National Laboratory de los Estados Unidos [7].
- BuildingSystems desarrollada por Institute of Architecture and Urban Planning, University of Arts Berlin de Alemania [8]

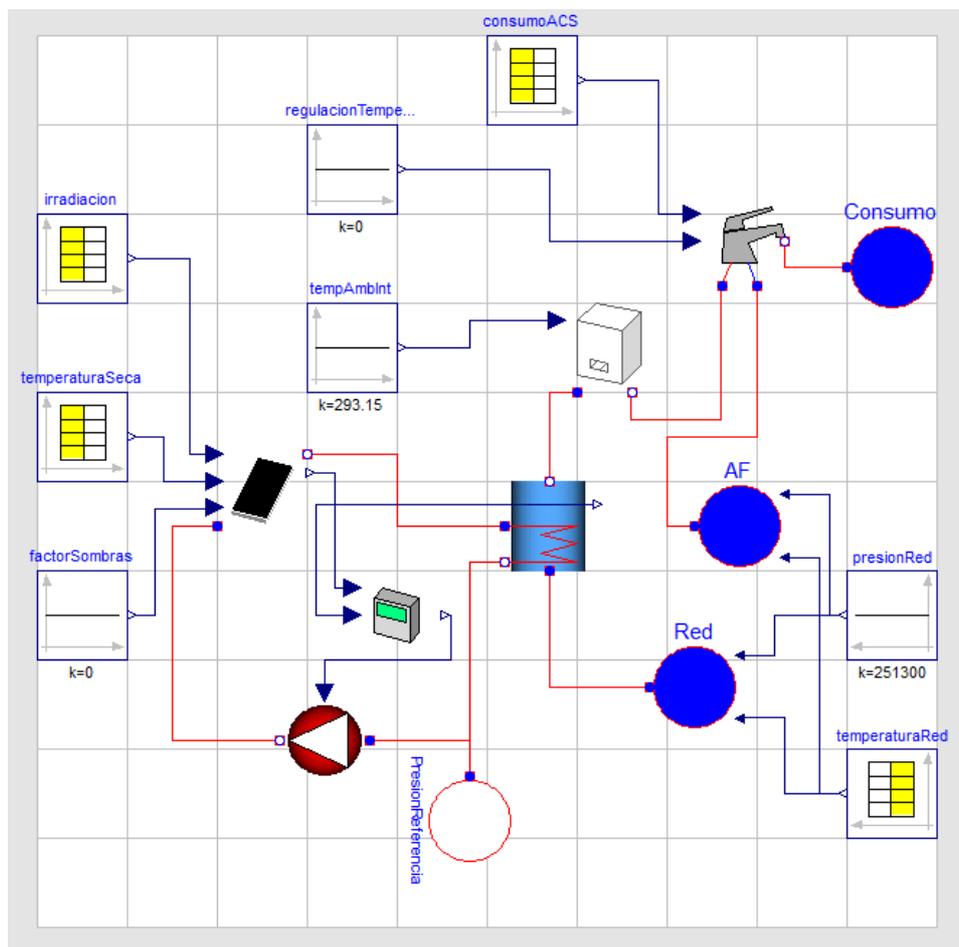


Figura 2. Modelo de instalación solar térmica doméstica incluida en Soltermica.

Por otro lado se encuentra Soltermica como una librería exclusiva de sistemas solares térmicos. Al igual que las librerías mencionadas anteriormente, Soltermica incluye y reutiliza modelos de equipos térmicos así como composiciones de mayor nivel que permiten modelar y simular diferentes configuraciones de instalaciones solares térmicas. Las instalaciones de calentamiento de ACS en edificios o de climatización de piscinas son algunos de los modelos que incluye y han servido para realizar las labores de validación de los modelos.

2. Objetivos, método de trabajo y resultados

El objetivo principal que se persigue con los trabajos de investigación es adquirir la capacidad de simular dinámicamente sistemas solares térmicos. Para ello se pretende utilizar el lenguaje de modelado Modelica con sus entornos de desarrollo para implementar diferentes modelos de equipos térmicos y varias configuraciones de instalaciones. A partir de la simulación de estos modelos se estudiará el comportamiento de los sistemas solares térmicos bajo diferentes circunstancias y se determinarán las prestaciones estacionales, se plantearán estrategias de control óptimas o se estudiarán los mejores diseños y equipos que integran las instalaciones.

El método de trabajo consiste en el planteamiento de un caso de estudio de un sistema solar térmico de interés. A partir de este caso se reutilizan los modelos disponibles o se generan nuevos modelos basados en primeros principios. Los modelos de nueva generación son validados en simulaciones para que su comportamiento se asemeje a las especificaciones obtenidas por fabricantes en los ensayos normalizados. A partir de los distintos modelos de equipos térmicos se configuran nuevos modelos de alto nivel que representen las instalaciones objeto de estudio. Estas son de nuevo calibradas y validadas en conjunto de distinta forma. Comparaciones con las simulaciones con otras herramientas (TRNSYS, EnergyPlus, etc.) o la comparación de los resultados obtenidos con monitorizaciones reales son algunas de las técnicas de validación que se están realizando. Finalmente los resultados obtenidos son estudiados según los objetivos del caso de estudio tratando de generar un conocimiento más profundo de este tipo de instalaciones. Todos los modelos de equipos e instalaciones se van agrupando en la librería Soltermica.

De momento la librería Soltermica incluye los de los principales equipos térmicos como son intercambiadores, captadores solares, circuladores, etc. Así como configuraciones básicas de sistemas solares térmicos como el de una vivienda unifamiliar. Recientemente se ha realizado el modelo del comportamiento térmico del vaso de una piscina climatizada para su utilización en el estudio del establecimiento de la demanda energética de la misma [9].

3. Conclusiones y consideraciones finales

La simulación dinámica de instalaciones es una herramienta extraordinaria en el estudio de las instalaciones térmicas. Con la actual potencia de computación, se puede plantear el uso convencional de técnicas de simulación dinámica para las labores tradicionales de ingeniería que se hacen de forma simplificada (cálculo y selección de equipos, estimación de la demanda, etc.).

La línea de trabajo seguida por el autor se basa en el modelado y la simulación de sistemas solares térmicos mediante el lenguaje de modelado Modelica. Este enfoque permite el desarrollo de forma rápida, sencilla y económica que otras herramientas existentes como TRNSYS.

Para un futuro se pretende continuar planteando casos de estudio de instalaciones solares térmicas e ir sacando nuevas versiones de la librería Soltermica que incluyan los modelos generados. Del mismo modo se pretende experimentar con técnicas avanzadas de simulación (modelado frontera móvil, sistemas regulares, etc.) así como plantear otras herramientas basadas en Modelica y Soltermica como los entrenadores y laboratorios virtuales.

4. Referencias

- [1] KLEIN, SANFORD A. DUFFIE, JOHN A.. BECKMAN, WILLIAN A. Solar Heating Design By the F-Chart Method. WILEY, 1977.
- [2] HERNÁNDEZ, GONZALO. Modelado y simulacion de sistemas solares termicos de baja temperatura, Proyecto fin de master, E.T.S. Ingenieria Informatica, UNED (2014)
- [3] KLEIN, SANFORD A, DUFFIE, JOHN A., BECKMAN, WILLIAN A. TRNSYS 17: A Transient Simulation Program. University of Wisconsin Solar Energy Laboratory. Madison, USA, (2010)
- [4] AIGUASOL. TRANSOL 3. Disponible en: <http://aiguasol.coop/>, (2016)

- [5] DOMÍNGUEZ MUÑUZ, FERNANDO. CEJUDO LÓPEZ, JOSÉ M.. CARRILLO ANDRÉS, ANTONIO. AcSol versión 2.5.0. Agencia Andaluza de la Energía (2009).
- [6] MODELICA ASSOCIATION. Sitio web de Modelica Association disponible en: <https://www.modelica.org>. (2016)
- [7] WETTER, MICHAEL. Modelica Buildings Library website. Modelica Library for Building Energy and Control Systems. (2016)
- [8] NYTSCH-GEUSEN, CHRISTOPH. BuildingSystems. A modelica-library for modeling and simulation of complex energetic building systems. UdK Berlin. (2014).
- [9] PÉREZ TIL, GONZALO. Diseño y dimensionado de las instalaciones y equipos de una piscina climatizada cubierta siguiendo criterios de ahorro energético. Proyecto Fin de Carrera. EPS de Elche UMH. (2016)