

Universidad Complutense de Madrid

Universidad Nacional de Educación a Distancia



Máster en Ingeniería de Sistemas y Control

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE BAJA TEMPERATURA

Memoria presentada por

Gonzalo Hernández Albaladejo

Bajo la dirección de

Alfonso Urquía Moraleda

Curso Académico 2013/14

Junio 2014

Proyecto de Fin de Máster
Máster en Ingeniería de Sistemas y Control

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE BAJA TEMPERATURA

Proyecto tipo B
Proyecto específico propuesto alumno

Memoria presentada por
Gonzalo Hernández Albaladejo

Bajo la dirección de
Alfonso Urquía Moraleda



Autorización

Autorizamos a la Universidad Complutense y a la UNED a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a sus autores, tanto la memoria de este Trabajo Fin de Máster, como el código, la documentación y/o el prototipo desarrollado.

Firmado: Gonzalo Hernández Albaladejo

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Gonzalo Hernández Albaladejo". The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke extending from the end of the first name towards the end of the last name.

RESUMEN

Modelar y simular dinámicamente el comportamiento instalaciones solares térmicas bajo distintas situaciones operacionales puede representar una capacidad fundamental para su estudio, control y diseño. Es por ello que se ha desarrollado una librería en lenguaje Modelica para la simulación de instalaciones solares térmicas de baja temperatura.

La librería, llamada Soltermica, ha sido desarrollada empleando Dymola 6.1 y hace uso de varios componentes de la MSL 2.2.1. Han sido implementados diferentes modelos de equipos térmicos como colectores solares, depósitos de acumulación o intercambiadores de placas. Partiendo de estos equipos se pueden crear modelos de mayor nivel que representen el comportamiento de los equipos bajo ciertas condiciones. De esta forma se han validado los distintos modelos de equipos simulándolos con condiciones de ensayos en el laboratorio.

Del mismo modo y para demostrar las capacidades de la librería se ha modelado una instalación solar térmica completa en un ámbito doméstico. La simulación de este modelo nos permite entre otros aspectos la determinación del rendimiento del sistema en un determinado periodo temporal o estudiar estrategias de control más eficientes.

Palabras clave: Modelado, Simulación, Energía Solar Térmica, Modelica.

ABSTRACT

Modelling and dynamic simulation may be an useful capability to study, control and design solar thermal systems. Because of that, this project is focused on developing a Modelica language library to simulate solar water heating systems.

The library, called Soltermica, has been developed with Dymola 6.1 and it uses some components of the MSL 2.2.1. Models of different thermal devices like solar collectors, storage tanks or heat exchangers have been included in the library. Using these models it is possible to create new upper level models that can be simulated in different conditions. These models have been used to assess correct behavior of thermal devices simulating experimental conditions.

To show library capabilities it has been modeled a domestic solar water heating facility. It has been studied the system performance and the most effective control strategy for a long period of time.

keywords: Modelling, Simulation, Solar thermal systems, Modelica

Índice

1	Introducción, objetivos y estructura	1
1.1.	Introducción	1
1.2.	Objetivos del proyecto	3
1.3.	Estructura del documento	4
2	Herramientas y técnicas para el diseño y evaluación de sistemas solares térmicos	7
2.1.	Introducción	7
2.2.	Método f-chart.....	7
2.3.	Software de simulación energética TRNSYS.....	9
2.4.	Lenguaje de modelado Modelica	11
2.5.	Librerías de Modelica de sistemas térmicos	12
2.6.	Entornos de modelado de Modelica	13
2.7.	Conclusiones	15
3	Modelado de las instalaciones solares térmicas	17
3.1.	Introducción	17
3.2.	Circulación de fluidos por los elementos hidráulicos	18
3.3.	Circuladores hidráulicos.....	21
3.4.	Fluidos de trabajo	23
3.5.	Captador solar térmico	26
3.6.	Intercambiadores de calor	31
3.7.	Acumuladores de agua caliente.....	35
3.8.	Sistemas de apoyo al calentamiento de ACS	40
3.9.	Equipos de control de instalaciones solares térmicas	43
3.10.	Válvulas y griferías de ACS	44
3.11.	Configuraciones básicas de las instalaciones solares térmicas.....	47
3.12.	Otras consideraciones referentes al modelado de los sistemas solares térmicos	50
3.13.	Conclusiones	51
4	Librería Soltermica	53
4.1.	Introducción	53
4.2.	Arquitectura de la librería.....	53
4.3.	Conectores e interfaces	55
4.4.	Paquete <i>ClasesBasicas</i>	56

Índice

4.5. Modelos de equipos.....	59
4.6. Modelos de fluidos	60
4.7. Ejemplos	60
4.8. Documentación librería	61
4.9. Conclusiones	62
5 Validación de los modelos individuales	65
5.1. Introducción	65
5.2. Proceso de validación.....	65
5.3. Discretización espacial del modelo de los equipos	69
5.4. Validación de los modelos discretos	73
5.5. Parametrización y catálogo de equipos	74
5.6. Conclusiones	77
6 Simulación de sistemas solares térmicos de baja temperatura	79
6.1. Introducción	79
6.2. Condiciones de contorno	79
6.3. Demanda de ACS en el ámbito doméstico	81
6.4. Condiciones climáticas para la simulación.....	86
6.5. Simulación de sistema solar térmico doméstico individual	91
6.6. Conclusiones	96
7 Conclusiones y trabajos futuros	97
7.1. Conclusiones	97
7.2. Trabajos futuros.....	100
Lista de referencias y bibliografía	101
Listado siglas, abreviaturas y acrónimos	103
Tablas de símbolos	105
A Documentación técnico-comercial equipos	107
B Formulario para el estudio de la demanda de ACS en el ámbito doméstico.....	119
C Librería Soltermica	125

Índice de figuras

Figura 1.1.	Sistema solares térmico integrado en la cubierta de una vivienda.	2
Figura 1.2.	Esquema básico de una instalación solar térmica para la producción de ACS.	3
Figura 2.1.	Curvas f en función de los parámetros del sistema X e Y.	8
Figura 2.2.	Captura de pantalla del entorno de trabajo TRNSYS en su versión 17 (AiguaSol, 2014).	10
Figura 2.3.	Captura del modelado gráfico de unas instalación energética mediante la librería <i>Buildings</i> .	13
Figura 3.1.	Esquema de las variables asociadas al Principio de Bernoulli.....	18
Figura 3.2.	Curva resistente de dos modelos de captadores solares térmicos de un mismo fabricante.....	20
Figura 3.3.	Circulador para instalaciones térmicas.	21
Figura 3.4.	Curva de funcionamiento de diversos circuladores para usos en instalaciones solares térmicas (GRUNDFOS, 2014).....	22
Figura 3.5.	Variación de la densidad de la mezcla agua-propilenglicol con la temperatura (M. CONDE ENGINEERING, 2011).....	25
Figura 3.6.	Campo de captación solar térmico situado en la cubierta de un edificio.....	26
Figura 3.7.	Esquema del balance energético en un captador solar térmico...	27
Figura 3.8.	Curvas de rendimiento de distintos tipos de captadores solares.	28
Figura 3.9.	Curvas IAM para dos orientaciones de un captador solar de tubos de vacío.	29
Figura 3.10.	Esquema con los ángulos de orientación de un captador solar...	30
Figura 3.11.	Esquema básico de funcionamiento de un intercambiador de placas desmontable.	32
Figura 3.12.	Representación esquemática del funcionamiento de un intercambiador (Izq.: Flujo paralelo, Der.: Flujo cruzado).....	34
Figura 3.13.	Vista de sección esquemática de un interacumulador de ACS....	36
Figura 3.14.	Imagen térmica de depósitos de acumulación de agua caliente con diferentes grados de estratificación. (LAPESA, 2014)	37
Figura 3.15.	Modelo de estratificación por ordenamiento en capas.....	38
Figura 3.16.	Distintos modelos de distribución de la temperatura con la altura en un depósito.....	39
Figura 3.17.	Imagen de una caldera mural de gas para apoyo a la generación de ACS.....	40
Figura 3.18.	Rendimiento de distintos tipos de calderas en función de la carga de trabajo (1: Condensación. 2: Baja temperatura. 3: Convencional).	42
Figura 3.19.	Centralita o controlador específico para instalaciones solares térmicas.	43
Figura 3.20.	Esquema de la lógica de la centralita solar.....	44

Índice de figuras

Figura 3.21. Esquema de funcionamiento de una válvula.....	45
Figura 3.22. Gráfico con distintos comportamientos de las válvulas en su apertura.....	45
Figura 3.23. Distintos tipos de griferías domésticas. (Izquierda: monoblock. Centro: monomando. Derecha: termostática.)	46
Figura 3.24. Configuración básica de un sistema solar térmico para la preparación de ACS.....	49
Figura 3.25. Temperatura seca exterior a lo largo del año en una determinada zona climática.	50
Figura 4.1. Árbol básico de la librería Soltermica.....	54
Figura 4.2. Gráfico de definición de la función <i>semiLinear</i>	56
Figura 4.3. Estructura del paquete <i>ClasesBasicas</i> de la librería Soltermica ..	57
Figura 4.4. Modelo gráfico del captador solar realizado por composición de modelos de menor nivel.	58
Figura 4.5. Estructura de uno de los paquetes correspondiente al equipo de tipo Intercambiador.	59
Figura 4.6. Diagrama del modelo gráfico de una instalación de distribución y consumo de agua incluida en el paquete <i>Ejemplos</i>	61
Figura 4.7. Captura de pantalla de la documentación generada por Dymola para el modelo de grifería monomando.	62
Figura 5.1. Diagrama de flujo del proceso de validación de modelos seguido en el trabajo.	67
Figura 5.2. Diagrama del modelo de las pruebas funcionales de verificación del intercambiador de placas.	68
Figura 5.3. Esquema gráfico balances en el volumen control.	70
Figura 5.4. Esquema gráfico discretización en volúmenes de control.....	71
Figura 5.5. Esquema gráfico del comportamiento discretizado de un intercambiador de flujo cruzado.	72
Figura 5.6. Error relativo en la potencia intercambiada del modelo frente al número de divisiones del intercambiador.	74
Figura 5.7. Especificaciones incluidas en los catálogos técnico-comerciales de equipos térmicos (SALVADOR ESCODA, 2014).	75
Figura 5.8. Esquema ilustrativo del proceso de parametrización de los equipos modelados.	76
Figura 6.1. Esquema ilustrativo del proceso de introducción de las condiciones de contorno en el modelo.....	80
Figura 6.2. Perfil horario para un día de referencia del consumo de ACS ..	83
Figura 6.3. Perfil mensual para un año de referencia del consumo de ACS..	83
Figura 6.4. Algunos de los perfiles de consumo obtenidos del estudio.	85
Figura 6.5. Irradiación total sobre una superficie inclinada durante una semana en una determinada zona climática.	87
Figura 6.6. Distribución temporal de los distintos tipos de irradiancia en un día despejado.	89
Figura 6.7. Diagrama de Dymola del modelo del sistema solar térmico	92

Figura 6.8. Distribución temporal de temperaturas de diversos elementos de la instalación para una determinada simulación.	93
Figura 6.9. Evolución temporal del rendimiento del captador durante un periodo de tiempo.	94
Figura 6.10. Curvas de rendimiento para distintos parámetros de control.	95

Índice de tablas

Tabla 3.1.	Rangos de coeficientes globales de transmisión de calor para algunos tipos de intercambiadores.....	33
Tabla 3.2.	Valores orientativos de PC de distintos tipos de combustibles. ...	42
Tabla 3.3.	Extracto tabla 2.1 del CTE-DB-HS-4.....	47
Tabla 6.1.	Extracto tabla 4.1 del CTE-DB-HE-4.....	82
Tabla 6.2.	Tabla resumen rendimientos medios para distintas configuraciones de la centralita solar.	95

1

Introducción, objetivos y estructura

1.1. 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. La obtención de energía térmica en forma de agua caliente (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 las diferentes necesidades térmicas a lo largo de un año. Una instalación solar térmica como la mostrada en la Figura 1.1, pueden cubrir una parte significativa de la demanda de ACS pudiéndose integrar en la edificación sin excesivos problemas.

Los beneficios de la energía solar térmica son indudables y relevantes en la actual situación económica. La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en la generación de energía eléctrica o por combustión en equipos de generación de agua caliente, 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 o dimensionado de equipos.



Figura 1.1. Sistema solar térmico integrado en la cubierta de una vivienda.

La falta de herramientas que permitan determinar con mayor precisión el aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento de agua a baja temperatura es una de las barreras para la implantación de esta tecnología en diferentes ámbitos. El comportamiento tan variable de los distintos aspectos de funcionamiento (radiación incidente, perfil del demanda de ACS, comportamiento transitorio de los equipos, etc.) hacen que muchas de las técnicas utilizadas comúnmente puedan disponer de errores considerables o pueden resultar de dudosa validez para determinadas configuraciones. Técnicas ampliamente utilizadas para determinar el aprovechamiento de la energía solar o fracción solar como el Método f-chart son corregidas mediante factores que contemplen aspectos importantes como las pérdidas por acumulación y distribución.

Estos hechos hacen que se planteen técnicas más sofisticadas como la simulación temporal para determinar de manera más precisa el comportamiento de las instalaciones solares bajo distintas circunstancias. En este sentido, el uso de software de simulación de sistemas energéticos es común en muchos estudios energéticos y económicos de instalaciones solares, aunque existen algunas barreras para su utilización de forma generalizada (coste de las herramientas, aprendizaje, adaptación a distintos casos, etc.).

Aplicar técnicas de simulación dinámica en instalaciones solares térmicas puede permitir ganar precisión en las estimaciones del aprovechamiento energético o estudiar las mejoras en control de las mismas entre otras aplicaciones. Disponer de una librería abierta en Modelica que permita abarcar con precisión estas aplicaciones puede resultar muy útil para continuar implantando y mejorando esta tecnología. Esta librería debería incorporar los diferentes elementos que componen este tipo de instalaciones, permitiendo el desarrollo de configuraciones específicas para cada caso de aplicación. En la Figura 1.2 se pueden observar algunos de los equipos básicos que configuran una instalación solar térmica para el calentamiento de agua sanitaria a baja temperatura.

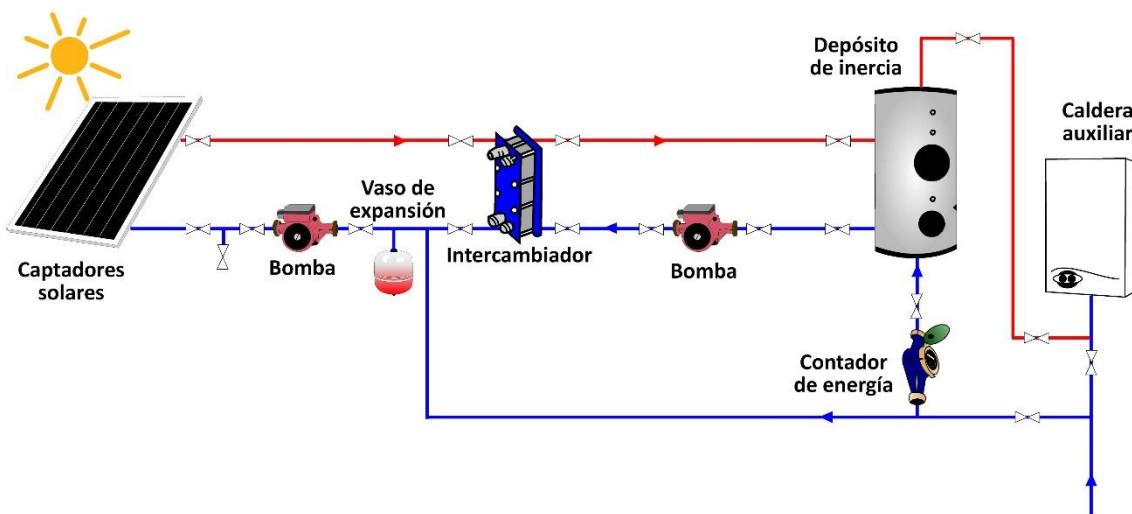


Figura 1.2. Esquema básico de una instalación solar térmica para la producción de ACS.

1.2. Objetivos del proyecto

Los objetivos que se persiguen con este trabajo son numerosos. A continuación se exponen los más destacados:

- El objetivo principal es utilizar técnicas de simulación computacional para su aplicación práctica en el estudio y mejora de sistemas solares térmicos de baja temperatura.

- Para ello también se tiene como objetivo estudiar las herramientas y técnicas de simulación de sistemas solares térmicos disponibles en la actualidad.
- Otro objetivo es utilizar las capacidades y ventajas del lenguaje de modelado acausal y orientado a objetos Modelica, desarrollando una librería a disposición de toda aquella persona interesada. En este sentido se pretende estudiar las posibilidades de reutilización de modelos y librerías ya existentes.
- Para establecer modelos físicos de los distintos elementos que componen los sistemas solares térmicos se pretende definir una serie de ecuaciones e hipótesis que se adecuen al comportamiento real. Estas simplificaciones basadas en principios físicos y ensayos experimentales permitirán reducir el coste computacional frente a otras técnicas de modelado y simulación.
- Otro objetivo planteado será la validación de los modelos de los elementos que conforman los sistemas solares térmicos a partir de la documentación disponible (ensayos certificación, etc.) y la simulación de los propios modelos.
- Por último se tiene por objeto estudiar casos de aplicación concretos que permitan validar configuraciones de sistemas solares térmicos completos.

1.3. Estructura del documento

El presente trabajo se ha dividido en siete capítulos. Los contenidos desarrollados en cada uno de ellos se detallan a continuación.

Capítulo 2. En este capítulo se ha realizado una revisión del estado del arte de las diferentes técnicas y herramientas que se utilizan para determinar el comportamiento durante un periodo de tiempo de los sistemas solares térmicos.

Capítulo 3. En este capítulo se realiza una introducción de los distintos elementos que forman una instalación solar térmica, así como su

comportamiento en conjunto. Se pretende hacer una revisión de las ecuaciones que rigen el comportamiento de estos elementos teniendo en cuenta distintas hipótesis.

Capítulo 4. En este capítulo se muestra el diseño y estructura de la librería Soltermica, incluyendo los distintos paquetes que la forman.

Capítulo 5. La validación de modelos es un punto fundamental en el desarrollo de la librería. De esta forma se describe el proceso utilizado para la validación de los modelos teniendo en cuenta las características propias de trabajo.

Capítulo 6. En este capítulo se describen los casos de estudio en los que se ha utilizado la librería Soltermica. Para la realización de simulaciones más precisas se ha tenido que determinar de forma más adecuada las condiciones de contorno aplicables a estos casos. De esta forma también se revisa cómo se han obtenido dicha información.

Capítulo 7. Se presentan las conclusiones de los trabajos realizados y los posibles trabajos futuros.

2

Herramientas y técnicas para el diseño y evaluación de sistemas solares térmicos

2.1. Introducción

En este capítulo se pretende repasar algunas de las herramientas y técnicas utilizadas para simular el comportamiento de los sistemas solares térmicos a lo largo del tiempo. Entre todas ellas cobran especial interés aquellas relacionadas con el lenguaje de modelado Modelica, como son los entornos de modelado y simulación y las librerías de sistemas energéticos.

2.2. Método f-chart

El método f-chart (Klein, Duffie, & Beckman, 1977) es una simplificación del comportamiento de sistemas solares térmicos a lo largo del año. Fue desarrollado en 1977 a partir de una serie de simulaciones con el software TRNSYS llegando a establecer una correlación válida bajo ciertas condiciones. Este método proporciona una estimación del porcentaje de energía que es suministrado por la instalación solar térmica del total de las necesidades energéticas.

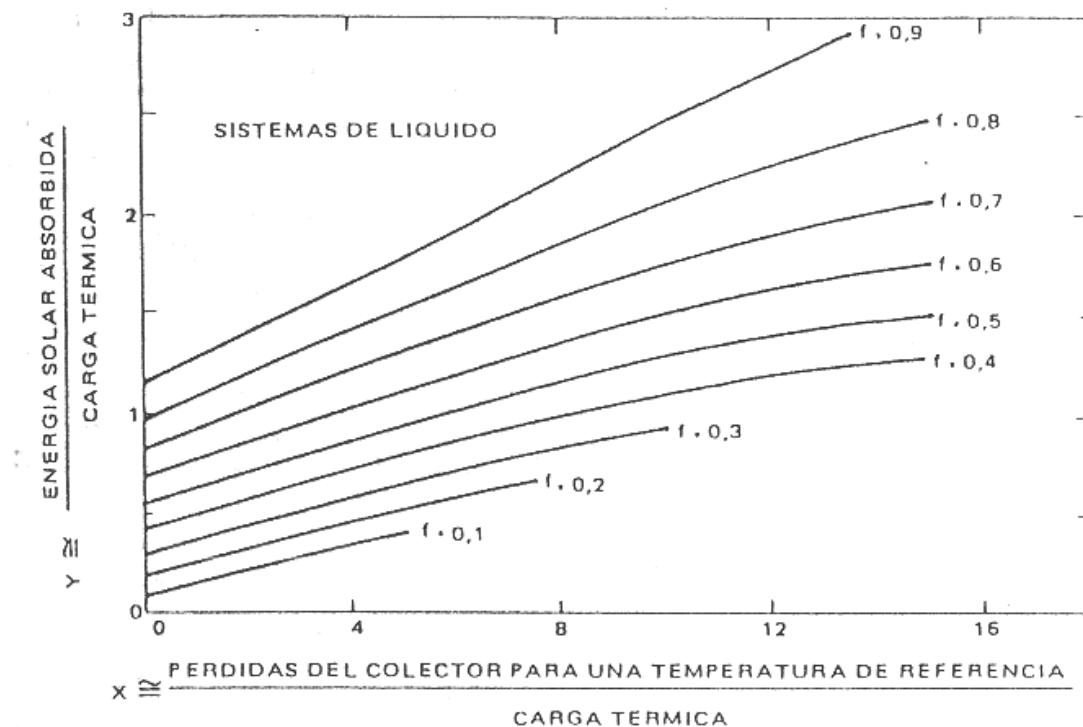


Figura 2.1. Curvas f en función de los parámetros del sistema X e Y .

Este procedimiento resulta muy sencillo de implementar y no requiere muchos parámetros para su aplicación. De esta forma es un método muy extendido entre proyectista siendo además reconocido a nivel nacional para la determinación de la contribución solar térmica para la generación de ACS en el ámbito doméstico (IDAE, 2009).

Pero este método presenta una serie de inconvenientes que en muchos casos no lo hace adecuado para otras posibles aplicaciones. Entre estos inconvenientes destacan:

- Algunas de las suposiciones de partida pueden diferir en gran medida del comportamiento real de los equipos como puede ser la presencia del fenómeno de estratificación del depósito acumulador.
- La validez del método está limitada por varios parámetros, con lo que en muchos casos no se podrá utilizar (configuraciones especiales de la instalación, aplicaciones diferentes como etc.)

- El método fue desarrollado hace casi 40 años y los cambios tecnológicos en las instalaciones solares han sido considerables (sistemas más eficientes y complejos). De esta forma existen numerosos estudios y líneas de trabajo que tratan de mejorar o comprobar la validez del método con las nuevas consideraciones.
- El método utiliza una serie de condiciones de contorno constantes como perfiles de demanda constantes a lo largo de todo el año o temperaturas o irradiaciones medias a lo largo de un periodo. Esta suposición puede arrojar resultados aceptables a lo largo de un año pero carece de precisión para periodos más cortos.

2.3. Software de simulación energética TRNSYS

TRNSYS (Klein, Duffie, & Beckman, 1976) 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 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.

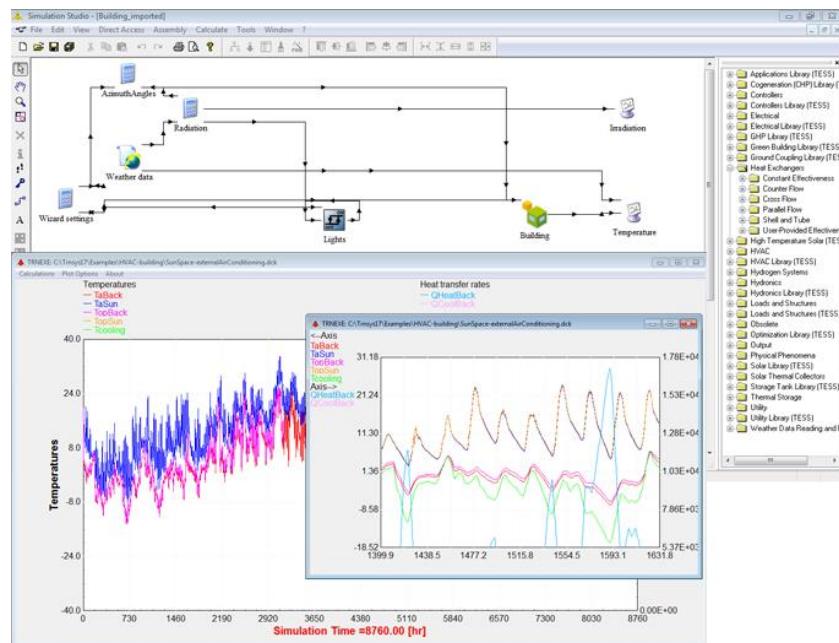


Figura 2.2. Captura de pantalla del entorno de trabajo TRNSYS en su versión 17 (AiguaSol, 2014).

Esta herramienta es un referente en muchos aspectos del trabajo. TRNSYS. 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 la Figura 2.2 se presenta una captura del entorno de trabajo de TRNSYS y como organiza el interfaz con ventanas que muestran gráficos, el lienzo de modelado gráfico o las librerías que incluye la herramienta. Las librerías de modelos que utiliza, suelen disponer del código (generalmente en Fortran) visible para su estudio. Pero también dispone de una serie de desventajas que limitan su aplicación de forma generalizada. Entre las desventajas se encuentran:

- A pesar de incluir formas de modelar componentes adicionales, resulta muy laborioso el modelado de sistemas con cierta complejidad mediante lenguajes como Fortran.
- El tiempo de aprendizaje y desarrollo de modelos de instalaciones con TRNSYS puede ser extenso. En muchos casos la definición de parámetros de los componentes TYPE requieren un profundo

conocimiento del principio de funcionamiento físico o de la implementación del mismo. Este conocimiento no suele ser transparente para el usuario.

- Aunque existen librería de componentes de libre acceso, tanto el propio entorno de simulación como las librerías más sofisticadas son de carácter comercial. Este hecho puede limitar el uso de este tipo de técnicas de simulación en aplicaciones comunes como el diseño y dimensionado de las instalaciones.

2.4. Lenguaje de modelado 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 (Modelica Association, 2014) 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 3.2.1.

Cabe destacar que la MSL nos permite reutilizar algunos de sus elementos y paquetes para explotar la capacidad de reutilización de modelos. En este sentido, muchos de los elementos básicos de los modelos implementados para este trabajo se han basado en elementos de la MSL como puede ser conectores, bloques matemáticos de uso común o algunos elementos del paquete *Thermal*.

2.5. Librerías de Modelica de sistemas térmicos

Cabe destacar la existencia de distintas librerías que incluyen diferentes aspectos de sistemas térmicos. Estas librerías han sido desarrolladas 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. Entre todas las librerías de libre disposición se destacan:

- *Buildings* desarrollada por Lawrence Berkeley National Laboratory de los Estados Unidos (Wetter, 2014).
- *BuildingSystems* desarrollada por Institute of Architecture and Urban Planning, University of Arts Berlin de Alemania (Nytsch-Geusen, 2014).

Librería Buildings

Especial mención debe darse a la librería llamada *Buildings* (Wetter, 2014). Esta librería gratuita y de libre acceso dispone de gran número de elementos que permiten modelar instalaciones energéticas situadas en edificios con gran precisión y complejidad. Entre los elementos modelados se incluyen gran parte de elementos que se integran el trabajo como intercambiadores o captadores solares, siendo de esta forma una constante referencia en el desarrollo de los trabajos. Dispone además de un desarrollo constante y abundante documentación (tutoriales, explicaciones de los modelos, etc.). La

última versión publicada en febrero de 2014 se trata de la 1.5 build 3, que requiere una versión de la MSL 3.2.

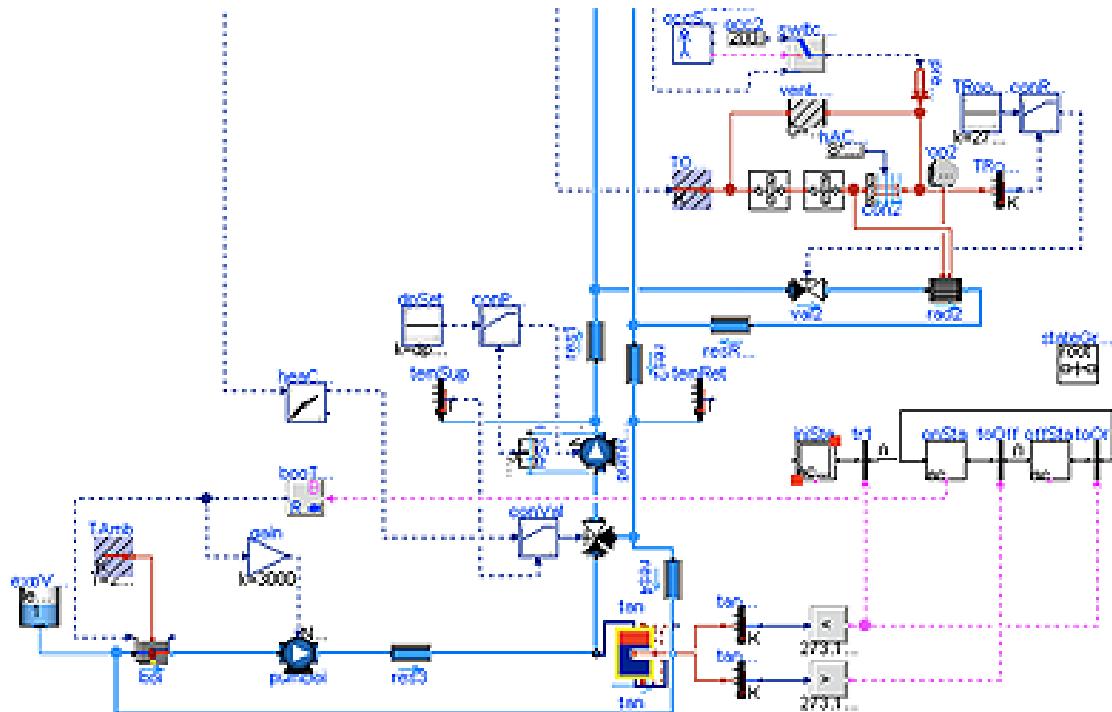


Figura 2.3. Captura del modelado gráfico de unas instalación energética mediante la librería *Buildings*.

La librería proporciona una herramienta para modelar instalaciones energéticas en edificios y los sistemas de control asociados de forma rápida y flexible. Entre las aplicaciones más destacadas se encuentran:

- Definición rápida de las instalaciones y sistemas de edificios.
- Análisis de la operación en edificios existentes.
- Diseño y verificación de los sistemas de control de las instalaciones (eficiencia energética, detección de problemas, etc.)

2.6. Entornos de modelado de Modelica

Los entornos de modelado ayudan a la implementación de los modelos, a la organización y gestión de las librerías, a la simulación de los modelos (compilación, resolución de ecuaciones, etc.) y al estudio y análisis de los resultados.

Esencialmente se pueden dividir en dos grandes grupos, los comerciales y los libres y/o gratuitos. En general los entornos comerciales suelen disponer de una madurez en su desarrollo mucho mayor disponiendo de más robustez y fiabilidad en los cálculos, bibliotecas adicionales o mayor facilidad en la interconexión con otros programas. Muchos de los entornos comerciales se integran en otros programas de cálculo matemático de propósito más general, pudiendo complementar las capacidades de Modelica con las capacidades propias del software matemático como el análisis y tratamiento de datos o la realización de gráficos. Los entornos libres y gratuitos suelen disponer de una menor madurez pero por el contrario su utilización es gratuita.

Dymola

Dymola es un entorno de modelado basado en Modelica de carácter comercial desarrollado por una subsidiaria sueca de Dassault Systems. La última versión comercializada, Dymola 2014 FD01, soporta la versión 3.2 del lenguaje Modelica. Dymola está disponible como paquete independiente o integrado en el software CATIA, ampliando las capacidades de diseño y prototipado industrial. A parte también presente posibilidades de interconexión con otros paquetes de cálculo matemático y simulación como MATLAB.

La versión de Dymola de la que se dispone acceso para el presente trabajo es la 6.1 publicada en el 2007. Esta versión, licenciada para el Departamento de Informática y Automática (DIA) de la UNED, soporta la versión 2.2.1 del lenguaje Modelica. Esta característica hace que existan algunas incompatibilidades en la utilización de librerías de libre acceso como *Buildings* o la utilización de las capacidades avanzadas la propia librería estándar.

OpenModelica

OpenModelica (OM) es un entorno de modelado y simulación basado en Modelica. Cabe destacar que es de código abierto y gratuito, disponiendo de un desarrollo constante soportado por la organización sin ánimo de lucro Open Source Modelica Consortium (OSMC).

En marzo de 2014 se publicó la versión 1.9.1 Beta2 de OM. Esta versión permite compilar y simular gran parte de los ejemplos de la MSL 3.2.1 y otras librerías de libre acceso como la librería *Buildings*, aunque su desarrollo no es completo pues existe una parte significativa de los modelos que no compila o ejecuta correctamente. Del mismo modo la velocidad de ejecución puede ser menor que otros entornos de modelado y simulación como Dymola.

Dentro los trabajos de soportados por la OSMC existen también subsistemas auxiliares al propio entorno gráfico de modelado y simulación. Por destacar algunas de ellas se puede mencionar OpenMoledica Python Interface u OMOptim.

Debido a la experiencia en su utilización y a pesar de ser un software en continuo desarrollo se consideró que no era adecuado abordar el modelado de los trabajos con este paquete de software. Se valoró el hecho de no presentar un soporte completo a todos los modelos de la MSL y otras librerías de uso común.

Aunque no se utilizará para el desarrollo principal de los trabajos si se pretende utilizar esta herramienta para poder cargar de forma adecuada librerías como *Buildings* y poder experimentar con ellas.

2.7. Conclusiones

En este capítulo se han presentado algunas herramientas y técnicas que son utilizadas para evaluar el funcionamiento de una instalación solar térmica de baja temperatura. Se han revisado varios métodos de afrontar este problema desde un mayor grado de simplificación, representadas por correlaciones experimentales, hasta un mayor grado de complejidad, representado por el uso de software de modelado y simulación de sistemas térmicos. Todas estas herramientas son un referente en el trabajo diario con este tipo de instalación pero como se ha descrito en el capítulo presentan ciertas desventajas que justifican la utilización de otras técnicas.

Entre las posibles técnicas para afrontar el problema se encuentra la utilización del lenguaje Modelica. La descripción de los modelos de forma

acausal o la orientación a objetos son algunas de las capacidades del lenguaje que lo hacen especialmente aptos para abordar el complejo modelado de los sistemas de los que son objeto el trabajo. Del mismo modo, Modelica presenta una comunidad muy activa que publica gran número de librería de uso libre relacionadas con el tema. Entre todas las librerías destacan la librería estándar de Modelica (MSL) y la librería *Buildings* que es un referente general para el modelado de instalaciones térmicas en edificios mediante Modelica.

Por último, se revisan algunos de los entornos de desarrollo y simulación de Modelica para su uso en el desarrollo de los trabajo. Entre todos los existentes se han destacado dos de ellos por sus características. Por un lado, se ha presentado el entorno OpenModelica, que presenta como principales características soportar en cierto grado las versiones más actuales de la MSL y por otro lado ser un entorno libre y gratuito. Por otro lado, se han repasado las características fundamentales de Dymola, un entorno de desarrollo con carácter comercial ampliamente extendido y con unas capacidades de desarrollo excelentes. Teniendo en cuenta los aspectos relacionados con el desarrollo se ha decidido trabajar fundamentalmente con este último en su versión 6.1, disponiendo de las licencias correspondientes al DIA de la UNED.

3

Modelado de las instalaciones solares térmicas

3.1. Introducción

En este capítulo se describirán los principales elementos de los que se compone una instalación solar térmica de baja temperatura. La descripción incluye un repaso de las ecuaciones físicas e hipótesis de modelado que describen el comportamiento de dichos elementos. Este estudio servirá como base para la posterior implementación de los modelos mediante el lenguaje de modelado de sistemas físicos Modelica.

Primeramente se repasarán los principios físicos del transporte de fluidos líquidos por conducciones y elementos hidráulicos ya que este tipo de sistemas utilizan los fluidos para transportar el calor. Por otro lado se revisarán los principios físicos de funcionamiento de los principales equipos presentes en este tipo de instalaciones. Del mismo modo se expondrá el principio de funcionamiento de una instalación en su conjunto para revisar las posibles configuraciones de este tipo de sistemas. Por último se expondrán algunas consideraciones básicas que se tendrán en cuenta para el modelado de los procesos térmicos.

3.2. Circulación de fluidos por los elementos hidráulicos

Las leyes físicas que rigen la circulación de un fluido líquido por una tubería y otros elementos cerrados se basan en dos leyes fundamentales de la física y en un gran número de correlaciones experimentales. Las leyes fundamentales que rigen estos fenómenos son el Principio de Bernoulli y la Ecuación de la continuidad.

$$\frac{v^2 \cdot \rho}{2} + P + g \cdot \rho \cdot z = \text{constante} \quad (3.1)$$

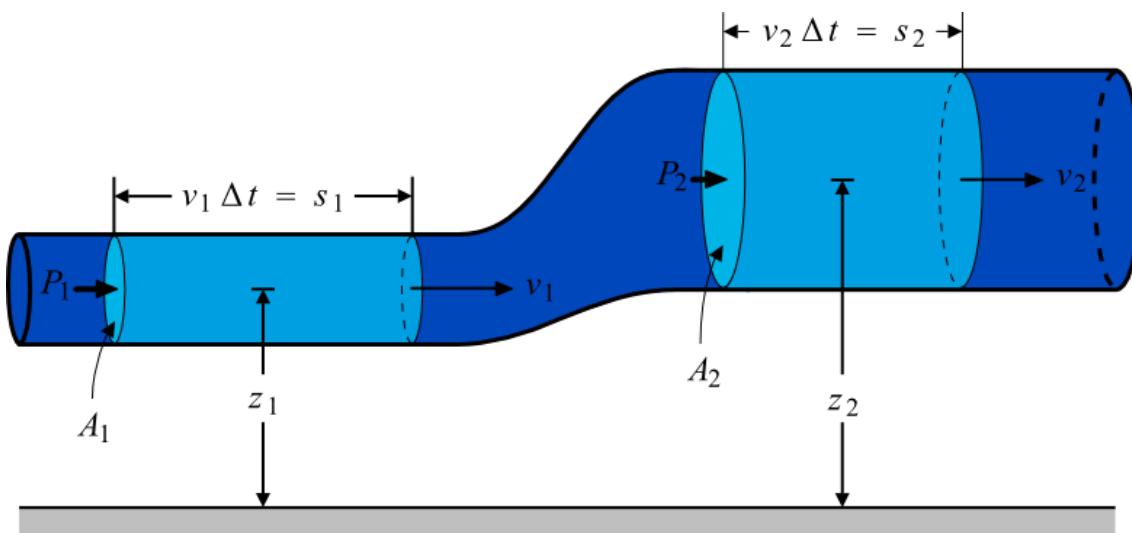


Figura 3.1. Esquema de las variables asociadas al Principio de Bernoulli.

El principio de Bernoulli (3.1) viene a expresar que un fluido ideal (aquel que no se ve afectado por efectos de la viscosidad ni el rozamiento) conserva su energía a lo largo de su recorrido por la conducción. La energía que dispone el fluido es expresada en forma de la suma de tres términos. A medida que el fluido avanza por la conducción (véase Figura 3.1) cada uno de estos términos se balancea manteniendo la energía total constante. Por otra parte la Ecuación continuidad (3.2) expresa básicamente la conservación de la masa en un sistema, de manera que el caudal que circula a lo largo de un tramo de tubería se mantiene. Por ejemplo, si hubiese un ensanchamiento en la tubería la velocidad del fluido se reducirá manteniéndose el caudal constante.

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (3.2)$$

La Ecuación de Bernoulli es modificada (3.3) para representar el comportamiento de los fluidos reales, ya que están afectados por efectos del rozamiento y la viscosidad. Estos efectos de la fricción son introducidos en el lado derecho de la ecuación representando una pérdida o degradación de la energía que dispone el fluido (realmente se transforma en un pequeño aumento temperatura del fluido). Esta degradación de la energía es llamada pérdida de carga o también es representada por la caída de presión estática que se produce. Cabe destacar que la pérdida de carga tiene unidades de altura hidráulica y la caída de presión tiene unidades de presión.

$$\frac{v_1^2 \cdot \rho}{2} + P_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 = \frac{v_2^2 \cdot \rho}{2} + P_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + dP \quad (3.3)$$

La pérdida de carga o caída de presión que se produce en una conducción se puede dividir en dos tipos básicos, las pérdidas de carga lineales y las pérdidas de carga puntuales. Las primeras son debidas al rozamiento continuo del fluido con las paredes de la conducción y son constantes y acumulativas para tramos con las mismas características geométricas. Las pérdidas de carga puntuales son debidas a degradación de la energía cuando el fluido atraviesa un determinado punto del trazado, una zona irregular o con elementos hidráulicos (válvulas, reducciones, etc.) lo que produce regiones turbulentas y un aumento en el rozamiento.

La pérdida de carga en tuberías y elementos hidráulicos depende de muchas variables como la sección transversal de la tubería, el material o el régimen de flujo. Aunque de forma simplificada y comúnmente aceptada la ecuación que rige este fenómeno se reduce a una relación entre la caída de presión que se produce en una instalación, tramo o elemento según el cuadrado del caudal circulante (3.4).

$$dP = K \cdot \dot{V}^2 \quad (3.4)$$

Esto supone que para cada instalación, tramo o elemento que mantenga unas propiedades constantes (geométricas principalmente), a cada caudal circulante le corresponde una caída de presión. Representando en una gráfica todos los caudales posibles y sus correspondientes caídas de presión se obtiene la llamada curva resistente del elemento o de la instalación en conjunto. Esta tiene forma de curva cuadrática que es alterada por el factor dependiente de las características formales del tramo o elemento (rugosidad, diámetro, forma, etc.). Cabe destacar que en mucha documentación se representa esta información en forma de recta en gráficos con escalas logarítmicas como se puede observar en la Figura 3.2.

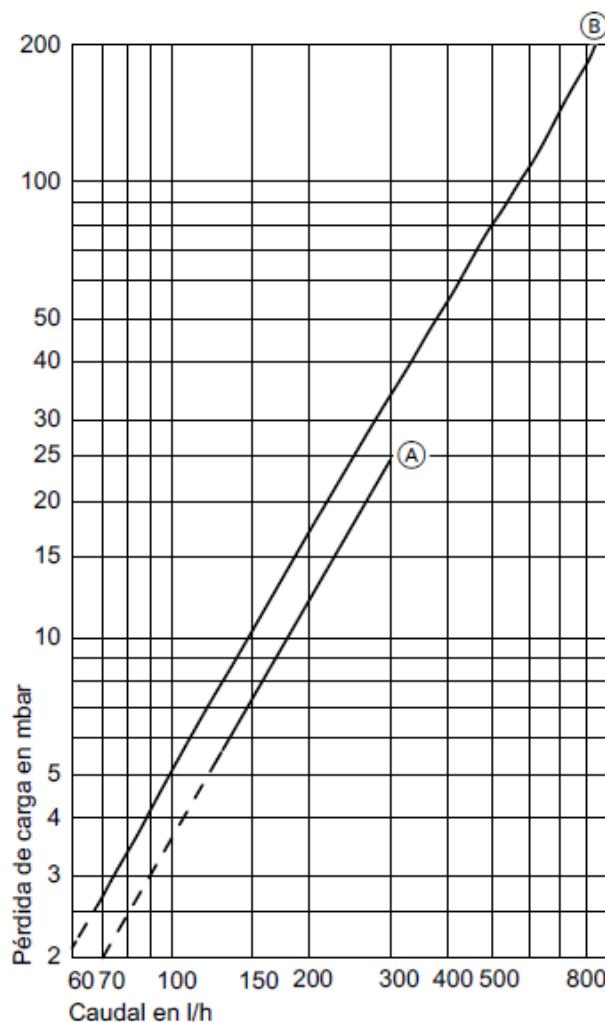


Figura 3.2. Curva resistente de dos modelos de captadores solares térmicos de un mismo fabricante.

Muchos de los fabricantes de equipos suministran dichas curvas resistentes o especifican la caída de presión del equipo bajo las condiciones de

trabajo normales o condiciones nominales. De esta forma se puede modelar de forma simplificada este comportamiento hidráulico mediante la ecuación (3.4) teniendo en cuenta que el factor K vendrá determinado por las condiciones nominales de operación del elemento (3.5).

$$K = \frac{dP_{nom}}{\dot{V}_{nom}^2} \quad (3.5)$$

Este enfoque también es implementado en la propia MSL en muchos de sus modelos de sistemas hidráulicos.

3.3. Circuladores hidráulicos

Los circuladores son equipos hidráulicos que tienen como fin mover un fluido en un circuito hidráulico. Se pueden considerar bombas hidráulicas aunque debido a sus características funcionales su uso suele estar limitados a mover fluidos en circuitos cerrados.



Figura 3.3. Circulador para instalaciones térmicas.

Estos equipos aportan la energía mecánica necesaria para que el fluido logre desplazarse a través de las conducciones y elementos del circuito

produciendo un aumento de presión entre sus extremos (aspiración y descarga) que permite vencer las pérdidas de carga de dichos elementos. Suelen ser accionadas mediante motores eléctricos, que transforma la energía eléctrica en energía de rotación de un eje que mueve los álabes de la bomba. El punto de funcionamiento es el comportamiento de una bomba para un determinado régimen de giro viene definida por la curva resistente de la instalación y su curva característica (véase Figura 3.4). Esta curva es una correlación de los diferentes puntos de funcionamiento, o sea, la relación entre el caudal y el incremento de presión suministrado por el equipo. La relación varía para una máquina con una estructura dada (rotor, carcasa, etc.) en función del régimen de giro (bombas de velocidad variable) y de las características del circuito al que está conectado (resistencia que ofrece, etc.). Una representación simplificada de un circulador supone considerar que trabaja en su punto de funcionamiento nominal, siendo una buena aproximación si no cambian el resto de los elementos hidráulicos de la instalación.

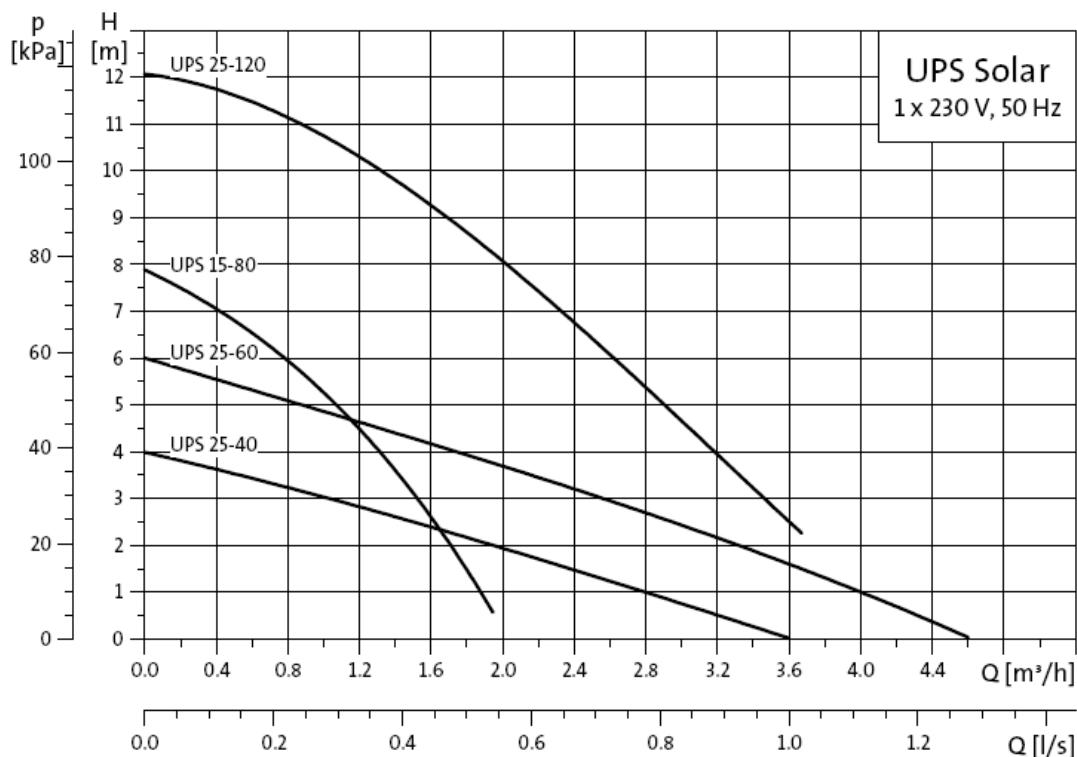


Figura 3.4. Curva de funcionamiento de diversos circuladores para usos en instalaciones solares térmicas (GRUNDFOS, 2014).

El rendimiento energético para un circulador dependerá de la potencia hidráulica suministrada al fluido y de la potencia eléctrica demandada en un

determinado punto de funcionamiento. La potencia hidráulica dependerá de cada punto de operación del mismo modo que la potencia eléctrica consumida. En este sentido muchos fabricantes suministran una curva de potencia correspondiente a los distintos puntos de operación del equipo, aunque es común disponer solo de un dato referente a la potencia eléctrica del equipo que es la potencia eléctrica nominal.

$$\eta_{CIR} = \frac{\dot{V}_{CIR} \cdot \Delta P_{CIR}}{P_{ELEC}} \quad (3.6)$$

3.4. Fluidos de trabajo

Los fluidos de trabajo presentes en las instalaciones solares térmicas son fundamentalmente líquidos de dos tipos. Por un lado, se dispone de agua para consumo humano, que puede ser agua fría de red o ACS, y por otro de un fluido caloportador compuesto por la mezcla de agua y un anticongelante.

Agua Caliente Sanitaria

El ACS es simplemente agua calentada hasta cierta temperatura que permita suministrar un confort para el servicio higiénico humano. En general se trabajan hasta temperaturas 60°C en acumulación y no más de 40°C en consumo directo. La temperatura del agua de red o agua fría no suele superar los 15°C en verano, con lo que estamos en rango de variación de temperatura muy estrechos. La composición de este fluido puede variar en algunos aspectos dependiendo de la zona de consumo (dureza, etc.), pero en general podemos suponer que las propiedades termodinámicas son independientes de la zona.

Fluido caloportador

El fluido caloportador que tiene la misión de transportar la energía desde los elementos generadores de calor hasta los elementos de almacenamiento del mismo (circuito primario). Este fluido puede ser agua aunque es más común utilizar una mezcla agua y algún anticongelante (propilenglicol, etc.). Esta mezcla evita las congelaciones del fluido y posibles roturas por la expansión del mismo

en días muy fríos. Por otro lado, esta mezcla pueda llegar a vaporizar (cambio de fase) en días muy soleados con poco consumo de ACS. La vaporización del fluido conlleva un aumento considerable de presión en el circuito primario por el aumento del volumen del fluido. Las propiedades del fluido dependerán determinantemente del porcentaje de mezcla de anticongelante, no siendo éste superior al 50% en general.

Propiedades físicas de los fluidos

Las propiedades fundamentales a nivel termofísico de los fluidos en estado líquido son:

- Densidad. Es la relación entre la masa del fluido y el volumen que ocupa. Sus unidades en el sistema internacional (SI) son kilogramos partido por metros cúbicos ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$).
- Calor específico. Es la energía que es necesaria suministrar por unidad de masa al fluido para que elevar su temperatura un grado. Para el caso de fluidos líquidos considerados incompresibles, esta propiedad se considera a presión constante. Sus unidades en el SI son Julios partido por kilogramos y grado Kelvin ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
- Conductividad térmica. Es la capacidad de transferir calor por conducción del fluido. Sus unidades en el SI son vatios partido por metros y grados Kelvin ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$).
- Viscosidad cinemática. Es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, es debida a las fuerzas de cohesión moleculares. Sus unidades en el SI son metros cuadrados partido por segundo ($\text{m}^2\cdot\text{s}$).

Todas estas propiedades son fundamentales para determinar el comportamiento del sistema a nivel termodinámico. El problema que se plantea en este caso es que muchas de estas propiedades varían con la temperatura como se puede observar en la Figura 3.5. Además a partir de ciertas temperaturas fluidos como el agua y sus mezclas pueden cambiar de estado (vaporización o congelación).

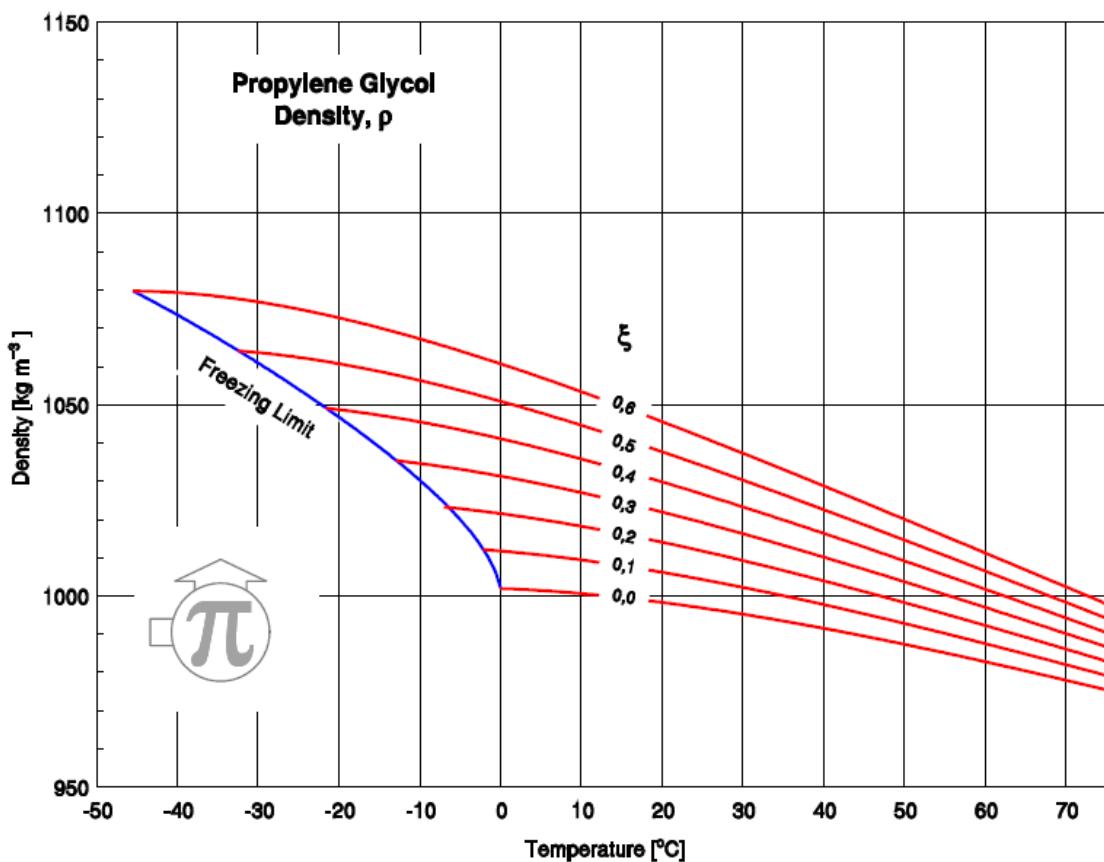


Figura 3.5. Variación de la densidad de la mezcla agua-propilenglicol con la temperatura (M. CONDE ENGINEERING, 2011)

Las hipótesis que se establecen en este sentido es que estas propiedades son constantes independientemente de la temperatura del fluido. Se obtendrán valores de las propiedades correspondientes a las condiciones de trabajo más frecuentes para tratar de minimizar el error. En el caso del ACS y teniendo en cuenta el limitado margen de temperaturas de trabajo, este hecho puede suponer una error limitado. En el caso de las mezclas de anticongelante es difícil pronunciarse cualitativamente, con lo que puede ser adecuado ampliar este estudio.

Por otro lado no se contempla la posibilidad de que los fluidos de trabajo cambien de fase (vaporización o congelación). Por un lado los procesos de cambio de fase resultan de gran complejidad y por otro solo responden a situaciones puntuales o anómalas al funcionamiento de la instalación.

3.5. Captador solar térmico

El captador o colector solar térmico es el equipo que se encarga de transformar la energía de la radiación solar a energía térmica elevando su temperatura. La energía térmica es transferida a un fluido caloportador que será el encargado de llevar la energía hasta el punto de consumo o más comúnmente hasta un depósito de acumulación.

Hay muchos tipos de captadores solares, siendo los más comunes los denominados captadores solares planos. Este tipo de captadores suelen disponer de áreas de absorción de la radiación de aproximadamente dos metros cuadrados, con lo que su uso individual es muy reducido (pequeñas viviendas, etc.). Los llamados campos de captación suelen estar formados por uno o varios captadores que están conectados hidráulicamente de una forma determinada en función de los usos que se pretendan. Suelen ser instalados en la cubierta de los edificios como se muestra en la Figura 3.6.



Figura 3.6. Campo de captación solar térmico situado en la cubierta de un edificio.

Desde el punto de vista del modelado de un captador solar, la transformación energética que produce el captador básicamente es un balance de energía entre la radiación incidente sobre el captador, las pérdidas que tiene

el mismo respecto al ambiente y la cantidad de energía que de éste entra, sale y se almacena en forma de fluido a cierta temperatura (Figura 3.7).

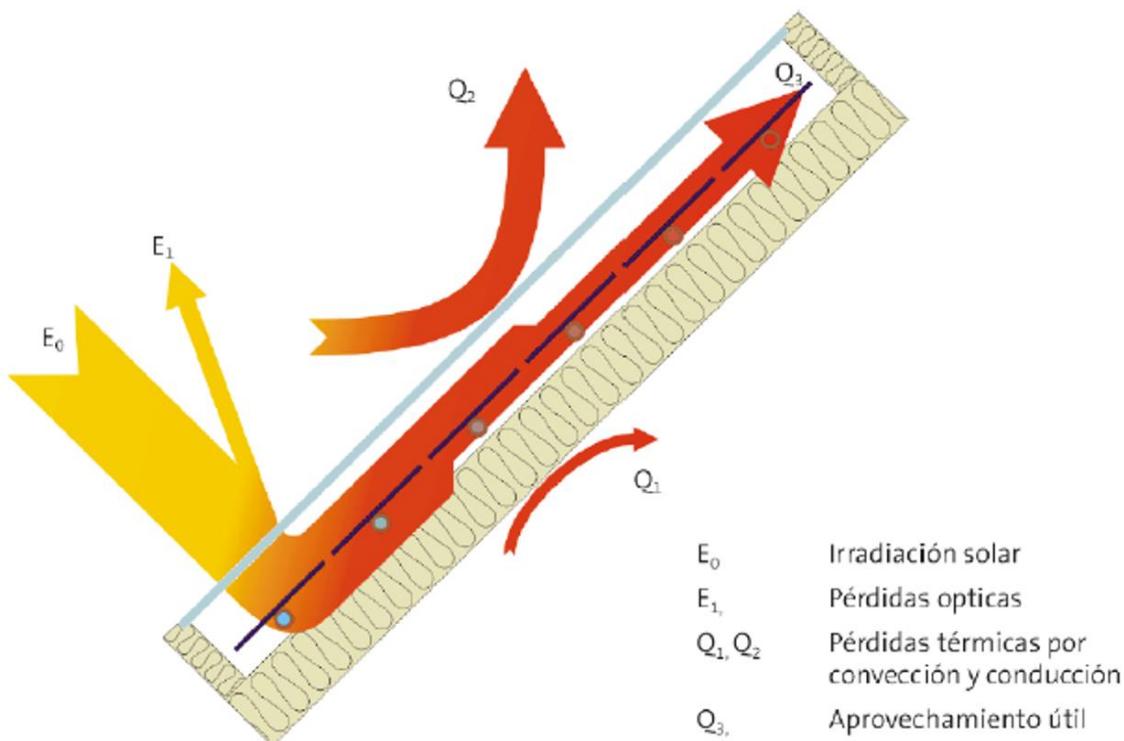


Figura 3.7. Esquema del balance energético en un captador solar térmico.

La entrada fundamental es la irradiación incidente en cada momento. Esto dependerá básicamente de la situación geográfica del campo de captación y su climatología o por otros factores como la presencia de sombras o nubes. La salida fundamental será la energía aportada por el campo en forma un flujo de fluido caloportador a cierta temperatura. Este fluido se desplazará mediante tuberías hacia otros elementos del sistema primario, con los cuales intercambiará energía para volver al captador con una temperatura menor. Parte de la radiación también se utiliza para calentar la propia masa térmica que dispone el captador.

Curva de rendimiento del captador solar térmico

Otras salidas en este balance serían las pérdidas de energía hacia el ambiente exterior. En principio se considera el ambiente como un sumidero con ciertas variables (temperatura, presión, velocidad del viento, etc.). Las pérdidas que puede tener el captador solo o en conjunto son muy diversas y dependen de varios factores. Para representar estas pérdidas de forma global se ha

establecido una correlación entre rendimiento del captador y las condiciones climáticas exteriores. Esta correlación se conoce como la ecuación o curva de rendimiento del captador (3.7) y viene determinada en Europa por ensayos estandarizados según norma UNE-EN 12975.

$$\eta_{CAP} = \eta_0 - a_{1CAP} \frac{(T_m - T_a)}{G} - a_{2CAP} \frac{(T_m - T_a)^2}{G} \quad (3.7)$$

Cabe destacar que las distintas tipologías constructivas y modelos de captadores hacen que las curvas características de los distintos captadores sean diferentes y se puedan comparar de esta forma. Del mismo modo la radiación incidente también determina dicha curva, aunque este efecto es más difícil de evaluar y los fabricantes no suelen proporcionar ni disponer de esa información. De forma general las especificaciones de los captadores incluyen la curva característica y sus parámetros para una irradiación normalizada de 1000 W/m^2 con lo que a efectos de simulación este modelo puede suponer cierta desviación del comportamiento real. En la Figura 3.8 se pueden observar estos hechos para distintos tipos de captadores y las zonas de trabajo donde tienen aplicación.

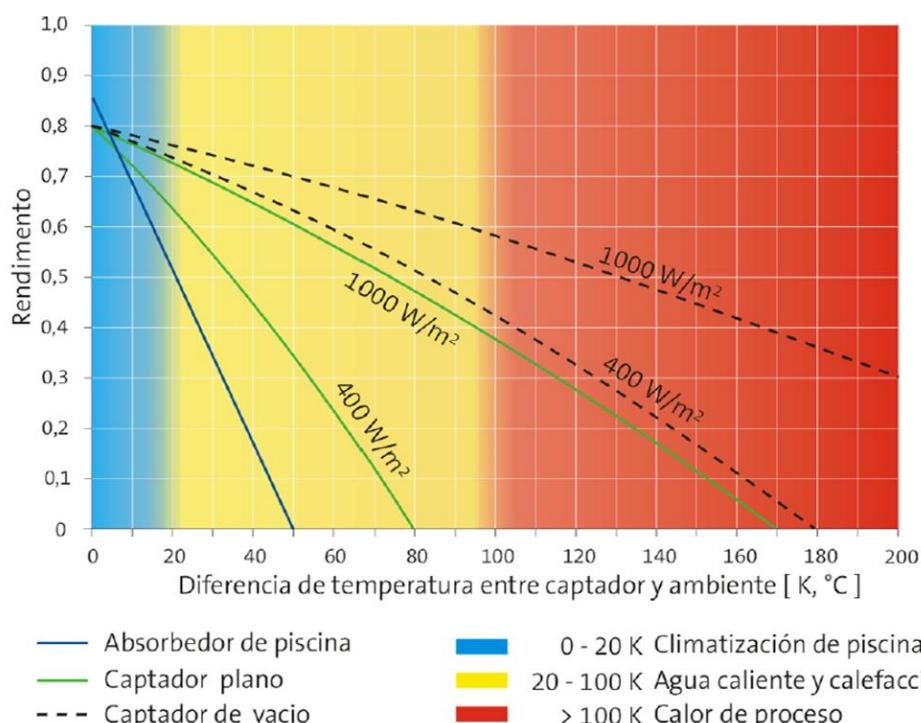


Figura 3.8. Curvas de rendimiento de distintos tipos de captadores solares.

Modificador del ángulo de incidencia

Los aspectos fundamentales que son incluidos en la ecuación del rendimiento del captador (3.7) son pérdidas energéticas por convección y radiación al ambiente y pérdida de origen óptico (reflejos, etc.). Existen otras pérdidas energéticas no contempladas en esta correlación como son las pérdidas por el ángulo de incidencia de la radiación o las pérdidas por orientación y sombras. Las pérdidas por el ángulo de incidencia de la radiación son debidas a la variación en la incidencia de los rayos solares sobre la cubierta del captador y por consiguiente el mayor grado de reflexión que ello produce. La valoración de este fenómeno está estandarizada mediante un ensayo de la norma UNE-EN 12975 y es representado por un parámetro llamado Modificador del Ángulo de Incidencia (IAM en siglas en inglés). Aunque su determinación sí se contempla en la norma UNE-EN 12975 con otro tipo de ensayos, los fabricantes no suelen incluir este tipo de información entre las especificaciones de los equipos. Además, dependiendo del tipo de captador solar y su orientación, este parámetro será más o menos representativo, pues verdaderamente el efecto de reflexión puede ser muy dispar en función del ángulo de incidencia como se ve en Figura 3.9.

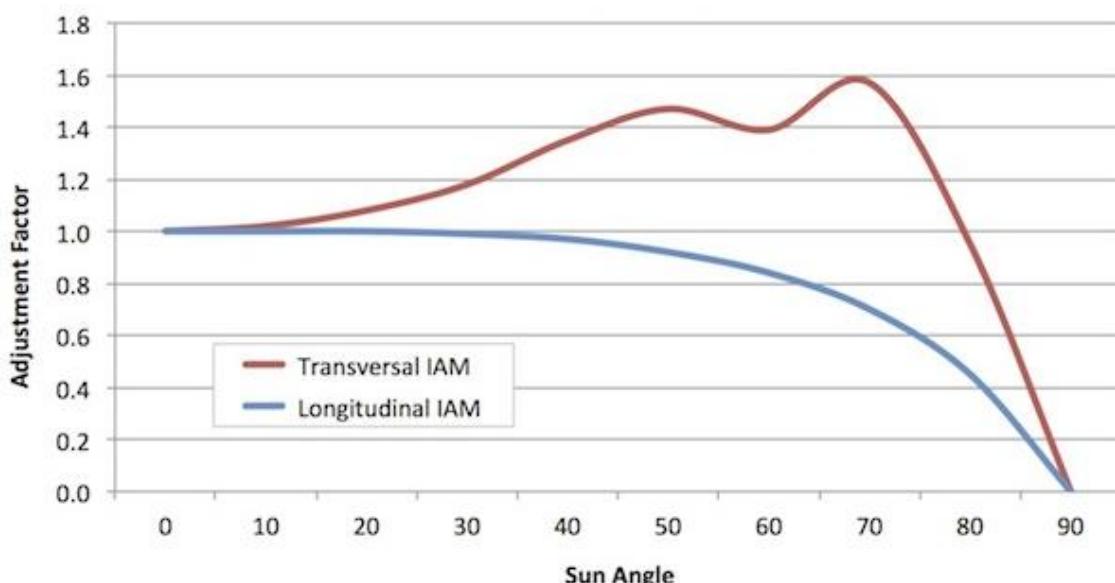


Figura 3.9. Curvas IAM para dos orientaciones de un captador solar de tubos de vacío.

Para el caso de captadores solares planos este factor suele disponer una curva muy característica que es aproximada mediante la ecuación (3.8). El valor

del factor de corrección para un ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie corresponde al parámetro IAM que especifican algunos fabricantes según la norma.

$$K_{\theta b} = 1 + b_0 \cdot \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad (3.8)$$

Pérdidas por desorientación y sombras

Las pérdidas por desorientación vienen determinadas por la orientación e inclinación de los captadores respecto a la posición del Sol. En general las instalaciones solares térmicas con captadores planos suelen montarse de manera fija sin ningún sistema de seguimiento. De esta forma ante una instalación determinada por la orientación e inclinación del captador, se puede determinar de forma geométrica la incidencia de los rayos solares y las correspondientes pérdidas de irradiación directa (IAM, etc). La irradiación incidente también dependerá de otros factores relativos a condiciones de contorno (zona climática, presencia de nubes, etc.).

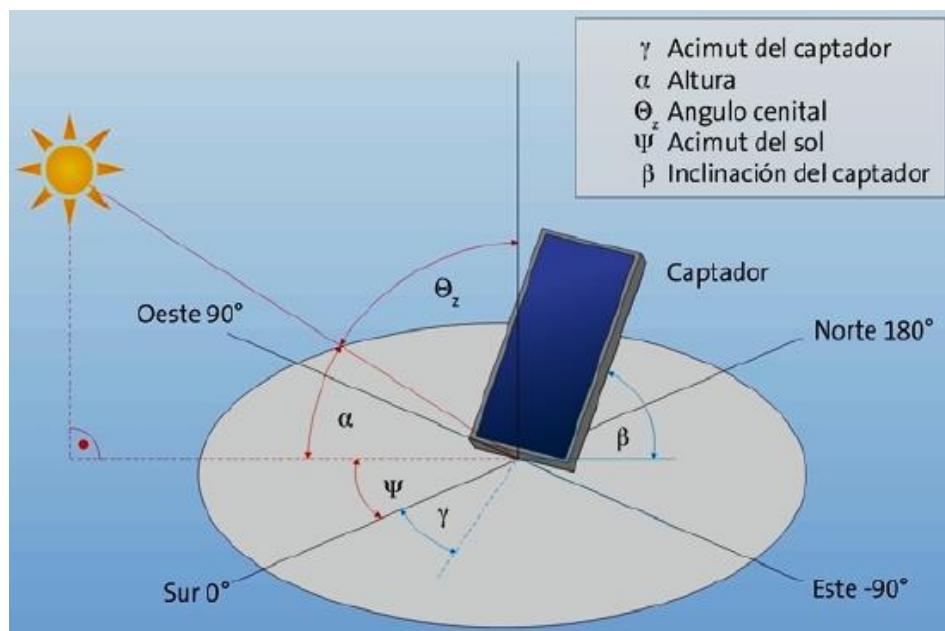


Figura 3.10. Esquema con los ángulos de orientación de un captador solar.

Por otro lado se encuentran las denominadas pérdidas por sombras, que pueden ser propias de otros elementos del campo de captación o arrojadas por elementos ajenos al campo, como edificios cercanos, vegetación, etc. Existen

métodos simplificados (IDAE, 2009) y algoritmos de cálculo de sombras (ATECYR, 2008) implementados en diferentes herramientas informáticas. En este sentido se puede plantear el calcular dichas pérdidas de forma externa para incorporarlas como condiciones de contorno del sistema.

3.6. Intercambiadores de calor

Un intercambiador de calor es un dispositivo cuya misión es ceder el calor de un fluido a alta temperatura a otro de menor temperatura, con el consiguiente aumento de temperatura de este último. El modelado de intercambiadores puede resultar complejo debido a los fenómenos implicados (conducción, convección, etc.) y ha sido tratado en el campo de la ingeniería térmica con distintos enfoques. Un enfoque clásico sobre su modelado se puede encontrar en algún manual básico sobre los procesos de intercambio de calor (Incropera, DeWitt, Bergman, & Lavine, 2011).

Existen diferentes tipos de intercambiadores de calor dependiendo de los fluidos de trabajo (agua, aceite, aire, etc.), respondiendo su configuración al establecimiento del mayor intercambio de calor posible de la forma más eficiente. Entre todos los tipos se destacará el intercambiador denominado de placas que se utiliza principalmente en calentamiento o enfriamientos de fluidos líquidos por otros líquidos. Este tipo de intercambiadores se pueden encontrar frecuentemente en instalaciones solares térmicas como elemento de intercambio entre el circuito primario y secundario.

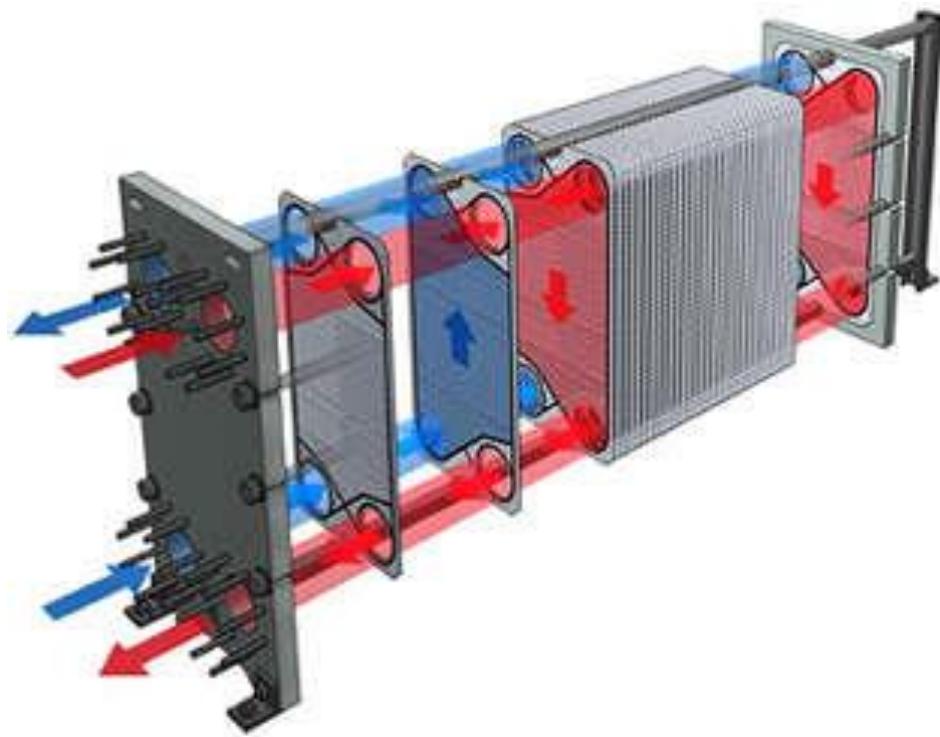


Figura 3.11. Esquema básico de funcionamiento de un intercambiador de placas desmontable.

El estudio del comportamiento de un intercambiador de calor se reduce al balance energético que se produce entre dos volúmenes de control, uno para el lado caliente y otro para el lado frío, teniendo en cuenta que no existe intercambio de masa entre fluidos ni intercambio de calor con el exterior. Del mismo modo y para el caso que nos ocupa tampoco se tiene en cuenta un posible cambio de fase de alguna de las corrientes. Asumiendo estas hipótesis la energía que cede el fluido considerado caliente, es absorbida completamente por el fluido considerado frío (3.9).

$$\dot{Q}_{INT} = \dot{m}_c \cdot c_{p,c} \cdot (T_{INT\ IN_c} - T_{INT\ OUT_c}) = \dot{m}_f \cdot c_{p,f} \cdot (T_{INT\ OUT_f} - T_{INT\ IN_f}) \quad (3.9)$$

El intercambio de calor se produce por las paredes interiores del equipo que impiden la mezcla de los caudales de ambos lados. Los fenómenos de transferencia de calor presentes en este intercambio son mayoritariamente la convección y en menor medida la conducción.

El fenómeno de intercambio de calor por convección depende de diversos aspectos como es la velocidad del fluido, régimen del fluido (laminar o turbulento)

o las propiedades físicas de los fluidos a ambos lados de las paredes del intercambiador. De esta manera se suele definir un coeficiente global de transmisión o intercambio calor, que junto con el área de intercambio que presenta el equipo y la diferencia de temperaturas de los caudales nos permite determinar el calor intercambiado (3.10). Este coeficiente incluye también el fenómeno de conducción y es determinado por muchos fabricantes de equipos en condiciones nominales de funcionamiento como una referencia a la hora de seleccionar equipos. En la Tabla 3.1 se muestran magnitudes aproximadas de estos coeficientes para determinados tipos de intercambiadores.

$$\dot{Q}_{INT} = A_{INT} \cdot U_{INT} \cdot (T_{INT\ c} - T_{INT\ f}) \quad (3.10)$$

Tabla 3.1. Rangos de coeficientes globales de transmisión de calor para algunos tipos de intercambiadores

TIPOLOGÍA DE INTERCAMBIADOR	$U(W/m^2K)$
Intercambiador tubular agua-agua	859 – 1700
Serpentín en depósito de líquido	100 – 1500
Intercambiador de placas agua-agua (limpio)	2000 - 5000
Disminución del coeficiente por ensuciamiento	200 - 500

La problemática de este planteamiento reside en que la diferencia de temperatura a ambos lados del intercambiador cambia a lo largo del mismo, ya que los fluidos varían su temperatura al ceder o absorber calor. De esta forma se han establecido otros métodos más prácticos para la obtención del modelo de intercambio de calor en un intercambiador. Entre los más utilizados se encuentra por un lado la utilización de la llamada Diferencia Media Logarítmica (LMTD en sus siglas en inglés) que representa una temperatura media de intercambio para los cálculos. En la Figura 3.12 se puede observar la distribución de temperaturas de los fluidos en este tipo de equipos y como se obtendrían los incrementos de temperatura para el cálculo de la LMTD (3.11).

$$\dot{Q}_{INT} = A_{INT} \cdot U_{INT} \cdot \left(\frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \right) = A_{INT} \cdot U_{INT} \cdot LMTD \quad (3.11)$$

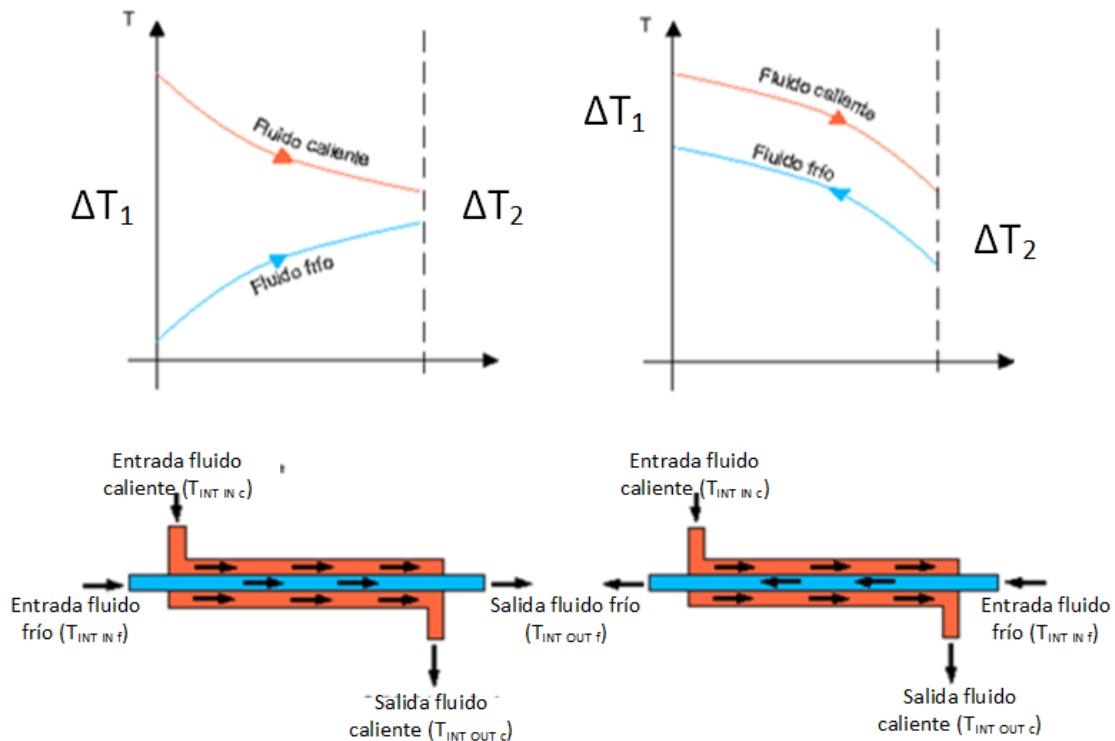


Figura 3.12. Representación esquemática del funcionamiento de un intercambiador (Izq.: Flujo paralelo, Der.: Flujo cruzado)

Otro concepto de interés sobre los intercambiadores que podemos encontrar es su eficiencia o el calor intercambiado en relación con el máximo calor que podrían intercambiar en las mejores condiciones. Por ejemplo si el dispositivo tuviese suficiente superficie de intercambio que las temperaturas de salida y entrada de primario y secundario (o viceversa) se igualasen tendría una eficiencia máxima. Como en general los intercambiadores están limitados en dimensiones u otros factores no se produce el máximo intercambio pudiéndose definir dicha eficiencia. En la bibliografía de referencia (Incropera, DeWitt, Bergman, & Lavine, 2011) podemos encontrar la determinación de correlaciones experimentales para distintos tipos de intercambiadores (3.12).

$$\varepsilon_{INT} = \frac{\dot{Q}_{INT}}{\dot{Q}_{MÁX}} \quad (3.12)$$

3.7. Acumuladores de agua caliente

En casi la totalidad de los sistemas solares térmicos se necesita un sistema de acumulación pues en general existe un desfase entre la producción de calor, cuando hay sol, y la demanda, cuando el usuario abre el grifo del agua caliente. Los sistemas de acumulación de energía que se suelen utilizar están basados en el almacenamiento de una determinada cantidad de agua caliente a cierta temperatura en un depósito hidráulico.

Los sistemas de acumulación suelen estar representados por depósitos cerrados con una serie de entradas y salidas hidráulicas para los distintos caudales del fluido de trabajo. Las entradas y salidas de los depósitos se deben conectar correctamente al resto de los circuitos hidráulicos de la instalación para que ésta funcione de forma eficiente. En muchos casos esas entradas hidráulicas son ocupadas por la salida y entrada de un intercambiador del tipo serpentín que cede energía al fluido del depósito. Estos son los llamados interacumuladores que son ampliamente utilizados en aplicaciones solares. De modo esquemático se puede observar en la Figura 3.13 la distribución de entradas y salidas de un típico interacumulador solar.

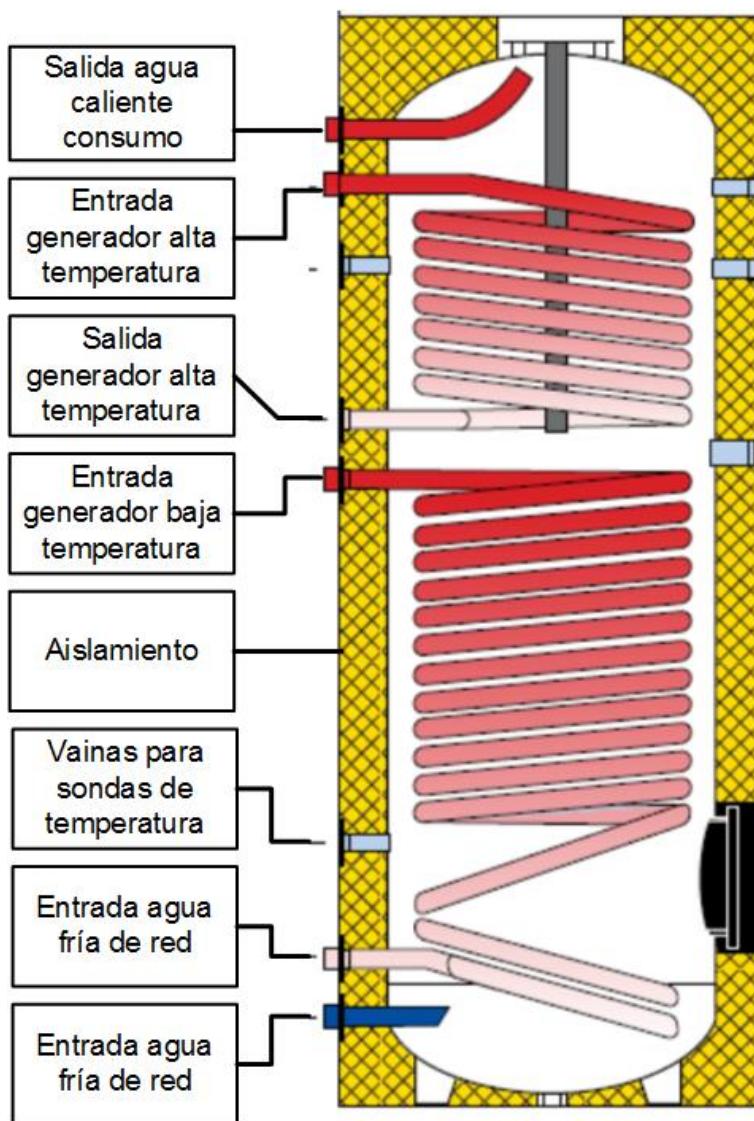


Figura 3.13. Vista de sección esquemática de un interacumulador de ACS.

El comportamiento físico de estos sistemas es en principio sencillo ya que actúan simplemente como dispositivos de almacenamiento de energía en forma de agua a una determinada temperatura. De esta forma, se suelen considerar como un volumen de control en el que toda la masa que entra sale en la misma proporción (conservación de la masa) y la energía que entra, sale y se acumula depende de los niveles térmicos de las distintas salidas (conservación de la energía). En muchos casos se tiene en cuenta la hipótesis de mezcla total dentro del volumen de control, o sea, que todo el fluido encerrado en el depósito se encuentra a la misma temperatura. Esta hipótesis simplifica los cálculos y es válida para volúmenes de control relativamente pequeños en todos sus ejes. Cuando disponemos de volúmenes de control relativamente grandes como un

depósito de acumulación o largo como una tubería con cierta longitud, esta hipótesis induce un modelado menos preciso de los equipos.

Estratificación

En el caso particular de los acumuladores el fenómeno denominado estratificación hace que la hipótesis de mezcla total no represente con fidelidad el comportamiento térmico del equipo. La estratificación es el ordenamiento de un fluido en capas a distintas temperaturas debido fundamentalmente a la convección y a la diferente densidad de los fluidos. De esta forma, dentro de un depósito de acumulación de agua caliente se produce un ordenamiento de la masa de agua en diferentes capas siendo las más altas las de mayor temperatura y las más bajas las de menor temperatura. Este fenómeno es determinante para el correcto funcionamiento de muchas instalaciones térmicas como las solares, ya que se pueden disponer de mayores temperaturas de salida de consumo con un menor nivel energético en el total del depósito. En la Figura 3.14 se puede observar el fenómeno para distintos tipos de acumuladores y cómo se produce una diferencia de temperaturas considerable entre la parte alta del depósito y la parte baja.

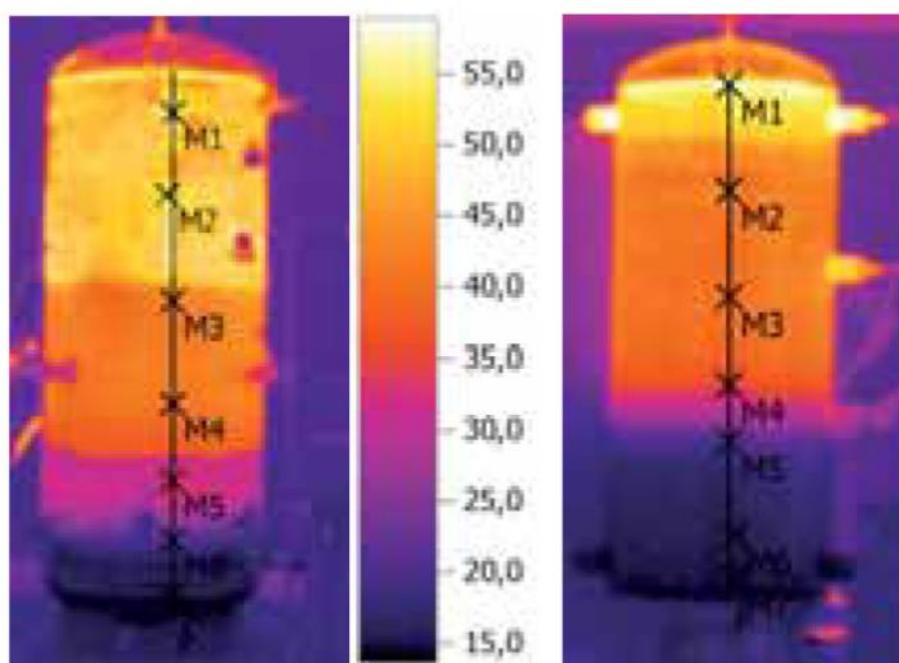


Figura 3.14. Imagen térmica de depósitos de acumulación de agua caliente con diferentes grados de estratificación. (LAPESA, 2014)

Desde el punto de vista del modelado de este fenómeno existen varias estrategias. Los trabajos (Ljubijankic, Löffler, Nytsch-Geusen, & Rädler, 2011) están basados en el uso del método de CFD (Computer Fluid Dynamics) para modelar este fenómeno y co-simular junto con Modelica. Por otro lado, también se pueden encontrar otras estrategias (Duffie & Beckman, 2013) en las que se recurre a dividir el modelo del acumulador en distintos volúmenes de control en sentido ascendente del depósito. Este método establece la hipótesis de mezcla total para cada uno de los volúmenes de control. A su vez estos volúmenes están conectados entre sí y con otras entradas y salidas del sistema. Se produce la conservación de la masa para cada volumen y también el correspondiente balance de energía. Lo más importante del planteamiento es que asume que toda entrada o salida de energía proveniente de un caudal a cierta temperatura se aplicará al volumen de control con similar nivel térmico (Figura 3.15). Esta estrategia representa en cierto grado el fenómeno real de ordenación de un caudal de agua caliente en la capa que corresponde a su temperatura por similitud en la densidad.

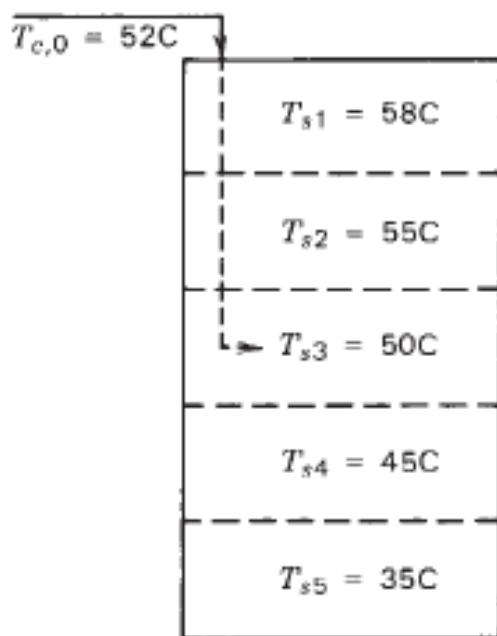


Figura 3.15. Modelo de estratificación por ordenamiento en capas.

Otro forma de modelar este fenómeno sería basándonos en el fenómeno de circulación natural por diferencia de densidades. Este fenómeno puede resultar bastante complejo de modelar mediante correlaciones experimentales,

así que de forma simplificada se puede determinar que si una capa inferior está a menos temperatura, se produce una transferencia de calor por mezcla o circulación de fluidos. Cabe destacar que aunque en realidad se produce un fenómeno de transporte de masas con distinto nivel térmico, como el balance másico es nulo se puede modelar como una trasferencia de energía. Esta transferencia en sentido a los volúmenes superiores con menor nivel hace que se produzca la estratificación. Este tipo de modelos son considerados de alta estratificación, pues se produce una división muy pronunciada entre los volúmenes de control superiores y los volúmenes inferiores.

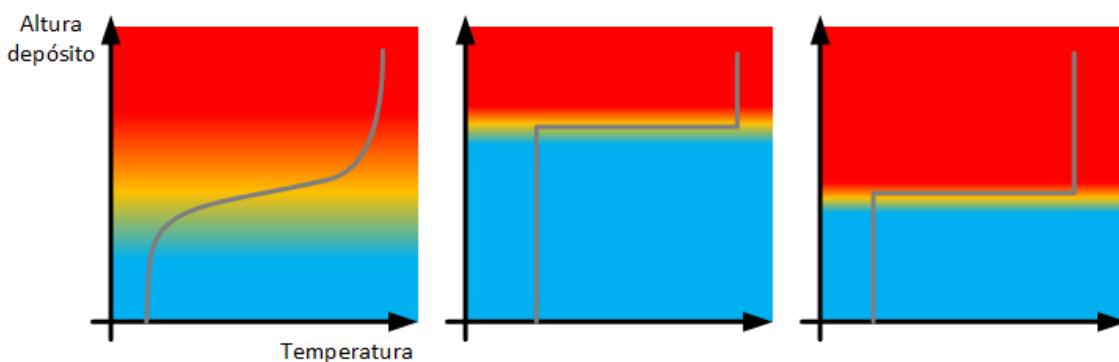


Figura 3.16. Distintos modelos de distribución de la temperatura con la altura en un depósito.

En la Figura 3.16 se puede observar algunos de los modelos de distribución de temperatura que se consideran de alta estratificación. La figura de la izquierda representa un comportamiento de estratificación real que corresponde a una ecuación de tercer grado. En el centro se puede observar la distribución de un modelo de alta estratificación con ordenamiento del flujo energético introducido. Por último a la derecha se representa un modelo de alta estratificación con entrada de flujo energético fijo (a una determinada altura) y con fenómeno de inversión de temperatura por mezcla de capas.

Por último cabe destacar que también están presentes fenómenos como el de conducción de calor entre los propios volúmenes de control o la transferencia de calor al exterior que suponen pérdidas de calor útil en el sistema. Estos fenómenos producen una cierta difusión del calor o desestratificación a medida que pasa el tiempo con un acumulador con un nivel térmico elevado.

3.8. Sistemas de apoyo al calentamiento de ACS

Existen muchos periodos de tiempo en los que la disponibilidad de la radiación es insuficiente para calentar toda la demanda de ACS. En estos períodos y teniendo en cuenta que el principal sistema de generación de agua caliente son los captadores solares se requiere de un sistema de calentamiento de apoyo. Este tipo de sistemas pueden ser de muchos tipos teniendo en cuenta la fuente energética con la que funcionan y la tecnología asociada. Actualmente los equipos más comunes a nivel doméstico son las denominadas calderas, que se valen de la combustión de combustibles gaseosos como el gas natural o el butano para calentar un caudal del agua.



Figura 3.17. Imagen de una caldera mural de gas para apoyo a la generación de ACS

Las calderas más sencillas para uso exclusivo en ACS se denominan calentadores de ACS. Fundamentalmente los calentadores transmiten una determinada potencia calorífica fija al caudal de agua, elevando su temperatura hasta a un nivel confortable para el consumo. Si la temperatura de agua a la

entrada de la caldera es más elevada de lo normal, el nivel final de temperatura que se consigue podría ser muy elevado debiéndose mezclar con agua más fría para llegar a la temperatura de consumo. Muchas calderas ya incorporan tecnologías que permiten modular o fraccionar la potencia entregada al caudal de agua para conseguir un mejor funcionamiento y eficiencia. Esta característica es fundamental para que la instalación solar térmica funcione correctamente en su conjunto pues en muchas ocasiones el agua es ya calentada total o parcialmente por los captadores.

Otra característica destacable de este tipo de equipos es su rendimiento instantáneo, o la relación entre la potencia entrega al fluido partido por la potencia consumida por el equipo (3.13). Al utilizar combustibles gaseosos la potencia consumida viene determinada por el caudal másico y el poder calorífico del combustible.

$$\eta_{CALD} = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{OUT} - T_{IN})}{\dot{m}_{COMB} \cdot PC_{COMB}} \quad (3.13)$$

El rendimiento bajo condiciones nominales de funcionamiento suele estar disponible en las especificaciones que suministran los fabricantes de equipos. Del mismo modo cabe destacar que este rendimiento variará en cierto grado en función de las condiciones de operación de la caldera como se muestra en la Figura 3.18. Del mismo modo se puede observar como en función del tipo de caldera el comportamiento en función de la temperatura del agua de entrada es distinto. Las calderas de condensación (curva 1) disponen de un mayor rendimiento en general, aunque se acentúa cuando la temperatura de entrada es muy baja. Las calderas convencionales suelen disponer de un rendimiento constante cuando las temperaturas de entrada son medianamente elevadas. Y las calderas denominadas de baja temperatura (curva 2) disponen de unas características intermedias.

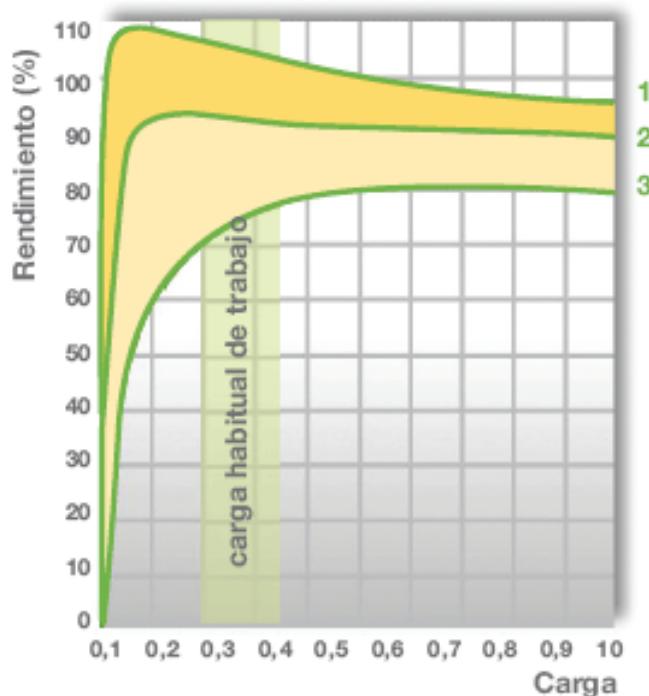


Figura 3.18. Rendimiento de distintos tipos de calderas en función de la carga de trabajo (1: Condensación. 2: Baja temperatura. 3: Convencional).

Las calderas pueden funcionar con distintos tipos combustibles. Cada combustible dispone de unas características determinadas de las que destaca su poder calorífico o contenido energético del combustible. Esta propiedad del combustible determinará el consumo energético del equipo siendo de interés su inclusión en los modelos. El poder calorífico suele caracterizarse por dos subtipos, el poder calorífico inferior (PCI) y el poder calorífico superior (PCS), siendo este último el que representa el potencial energético total que dispone el combustible. En la Tabla 3.2 se muestran valores orientativos de esta propiedad en distintos tipos de combustibles de uso común.

Tabla 3.2. Valores orientativos de PC de distintos tipos de combustibles.

COMBUSTIBLE (ESTADO)	PCI (kJ/kg)	PCS (kJ/kg)
Gas natural (gaseoso)	39.900	44.000
Butano (gaseoso)	45.790	49.675
Propano (gaseoso)	46.350	50.450
Gasóleo calefacción (líquido)	42.275	43.115

3.9. Equipos de control de instalaciones solares térmicas

Los equipos de control utilizados en las instalaciones solares térmicas convencionales se conocen como centralitas solares o termostatos diferenciales y no suelen disponer de una gran complejidad. Básicamente son equipos sencillos con cierta lógica preprogramada que presentan al menos dos entradas analógicas para sondas de temperatura y una salida digital que permite alimentar al circulador de cierta potencia. Las sondas de temperatura se instalan en el campo de captación y en el interior del depósito de acumulación.



Figura 3.19. Centralita o controlador específico para instalaciones solares térmicas.

La lógica implementada en este tipo de equipos compara las dos entradas de temperatura y actúa de forma consecuente. De esta forma existen dos parámetros fundamentales, la temperatura diferencial de arranque (ΔT_{ON}) y la temperatura diferencial de paro (ΔT_{OFF}). Cuando el campo de captación dispone de una temperatura relativamente mayor (comúnmente de 4 a 7 grados) que el interior del depósito de acumulación el controlador activa el circulador del circuito primario y se almacena la energía. Si esta diferencia de temperaturas se hace menor en cierto nivel porque aumenta la temperatura del depósito y disminuye la del campo (comúnmente entre 1 y 3 grados), el equipo de control para el circulador y se deja de trasmitir energía al almacenamiento.

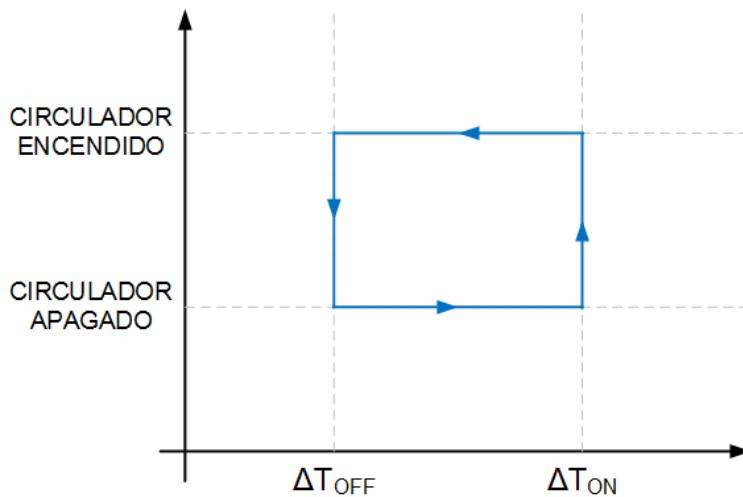


Figura 3.20. Esquema de la lógica de la centralita solar.

3.10. Válvulas y griferías de ACS

Las válvulas son elementos comunes en la gran mayoría de las instalaciones hidráulicas disponiendo de diversos fines como el mantenimiento o el mando y control de las instalaciones. En el caso que nos ocupa se ha identificado su uso en el modelo de demanda de agua caliente, representando la apertura y cierre de grifos.

Las válvulas son dispositivos que permiten el paso del fluido y la regulación del caudal. Cuando el fluido pase por la válvula sufrirá una pérdida de carga que dependerá fundamentalmente del caudal circulante y los aspectos geométricos de la propia válvula. Para poder comparar las válvulas y determinar su comportamiento al paso del flujo se utiliza un parámetro característico de las válvulas llamado Coeficiente de Caudal (K_V). El coeficiente de caudal representa el caudal circulante en metros cúbicos partido de hora (m^3/h) por la válvula cuando por ella se genera una caída de presión de 1 bar (3.14). A partir de la determinación experimental de este coeficiente se caracteriza el comportamiento de la válvula bajo ciertas condiciones (véase Figura 3.21)

$$\dot{V}_{VALV} = K_V \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{VALV}}{\gamma}} \quad (3.14)$$

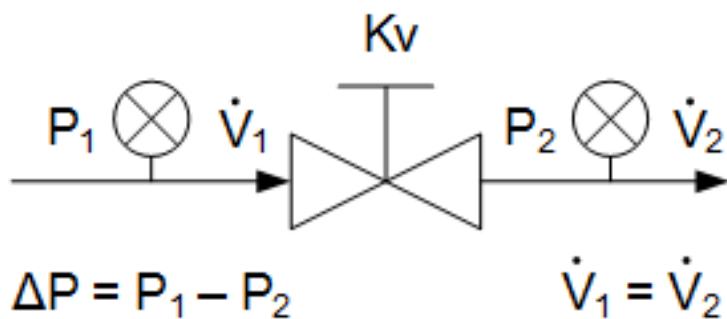


Figura 3.21. Esquema de funcionamiento de una válvula.

En aplicaciones de control y mando no es suficiente disponer de un solo coeficiente de caudal, pues la válvula dispondrá de varias posiciones entre su apertura total y su cierre. De esta manera se define el K_{vs} de una válvula como el coeficiente de caudal para la válvula en su posición totalmente abierta. Para las demás posiciones, los fabricantes suelen adjuntar un gráfico que incluye el valor de K_v en función de la posición de apertura de la válvula. Como se muestra en la Figura 3.22 la caracterización del K_v dependerá también del tipo de válvula que se disponga (esférica, de mariposa, etc.)

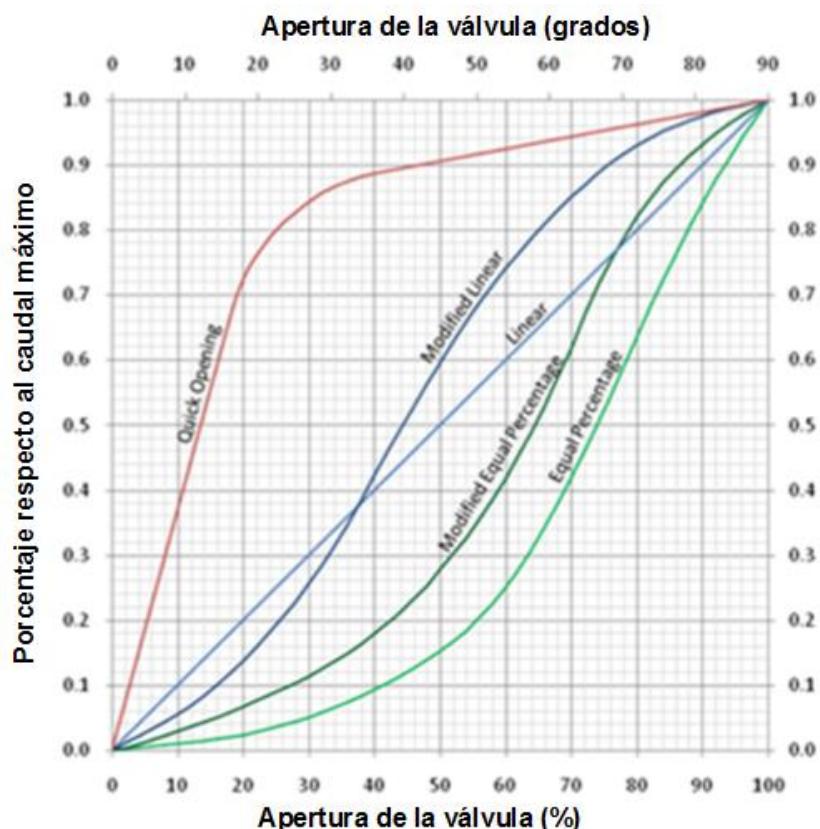


Figura 3.22. Gráfico con distintos comportamientos de las válvulas en su apertura.

Griferías domésticas

Para al ámbito doméstico y usos higiénicos del agua caliente es importante revisar el funcionamiento de las griferías. Estos equipos son fundamentalmente válvulas mezcladoras de tres vías, en las que entran dos caudales de agua a distintas temperaturas (una se considera fría y la otra caliente) y sale uno a la temperatura de confort del usuario. La regulación de los caudales y de la temperatura la puede realizar el usuario utilizando los mandos correspondientes. En este punto es dónde podemos encontrar diferentes tipologías de grifos para el ACS como son los llamados monoblock, los monomando y los termostáticos (véase Figura 3.23). Cada uno de ellos permite accionar la salida de agua caliente de determinada forma, que finalmente influirá en el consumo de agua caliente proveniente del sistema solar.



Figura 3.23. Distintos tipos de griferías domésticas. (Izquierda: monoblock. Centro: monomando. Derecha: termostática.)

Por un lado, las griferías monoblock disponen de dos mandos o válvulas que abren o cierran directamente cada una de las tomas de agua. Con este tipo de griferías el consumo de agua caliente se limita a los usos exclusivos de la misma. Por otro lado la regulación de la temperatura de salida resulta más difícil, pudiendo presentar pérdidas asociadas a esperas o regulaciones deficientes.

Las otras griferías regulan el proceso de mezcla de forma más sencilla ganando un mayor confort. Los monomando, en su posición central, presentan una mezcla equitativa de caudales de agua fría y caliente y a medida que desplazas el mando en cada una de la direcciones se mezclará un mayor porcentaje de agua caliente o fría. Las griferías termostáticas se autoregulan para disponer siempre de una temperatura de salida constante. En estos dos casos la regulación es más cómoda para el usuario y en muchos casos

presentan un ahorro en el agua evitando las esperas de regulación, aunque por el contrario presentan un consumo de agua caliente siempre que se habrá el grifo, aunque no se necesite (lavarse manos, dientes, etc.).

En principio no se ha encontrado información detallada sobre las especificaciones técnicas de las griferías. Los catálogos y manuales técnicos de fabricantes de griferías están más enfocados a características estéticas o de instalación que a las hidráulicas. Una referencia relevante al respecto la podemos encontrar en el CTE, en su Documento Básico de Higiene y Salubridad en el apartado 4 (Ministerio de Fomento, 2007). En dicho apartado se hace referencia a los caudales mínimos instantáneos que deben aportar los distintos aparatos para una presión de red mínima de 1 bar manométrica.

Tabla 3.3. Extracto tabla 2.1 del CTE-DB-HS-4.

TIPO DE APARATO	CAUDAL INSTANTÁNEO MÍNIMO DE ACS (dm³/s)
Lavamanos	0,03
Lavabo	0,065
Ducha	0,1
Bidé	0,065
Lavadero doméstico	0,1

En la Tabla 3.3 se muestran algunos de los valores de caudal instantáneo de ACS que deben suministrar los distintos tipos de aparatos. Se utilizarán estos datos siempre que no se disponga de información más precisa de los caudales de los distintos aparatos.

3.11. Configuraciones básicas de las instalaciones solares térmicas

Una instalación solar térmica de baja temperatura puede tener varios usos. El más extendido y el caso que se plantea en los trabajos es la preparación

de ACS en el ámbito doméstico. Esta aplicación requiere una determinada configuración de los elementos que componen la instalación para su adecuado funcionamiento que a continuación se estudiará.

La instalación se suele dividir en tres subsistemas diferenciados, por un lado un circuito primario de generación de agua caliente mediante los captadores y por otro lado un circuito secundario de acumulación de energía y finalmente el propio circuito de consumo. El circuito primario lo componen esencialmente los captadores como generadores de calor y el resto de elemento hidráulicos que transportan la energía generada hacia el sistema de acumulación (tuberías, circuladores, etc.). El circuito secundario lo forma esencialmente el sistema de acumulación de energía y los elementos hidráulicos correspondientes. El circuito de consumo lo compone la red de distribución doméstica de agua fría y ACS destacando en este circuito la presencia del sistema de apoyo que se encarga de elevar la temperatura del caudal ACS hasta la de confort si no hay suficiente nivel térmico en el depósito de acumulación. En la Figura 3.24 se puede observar una configuración básica de la instalación solar térmica para la preparación y consumo de ACS. La regulación para el consumo depende en general de los propios de consumo, o sea, la grifería. A partir de ésta se derivan numerosas configuraciones que dependerán de los diversos aspectos formales de la solución adoptada (espacio disponible, número de usuarios, etc.)

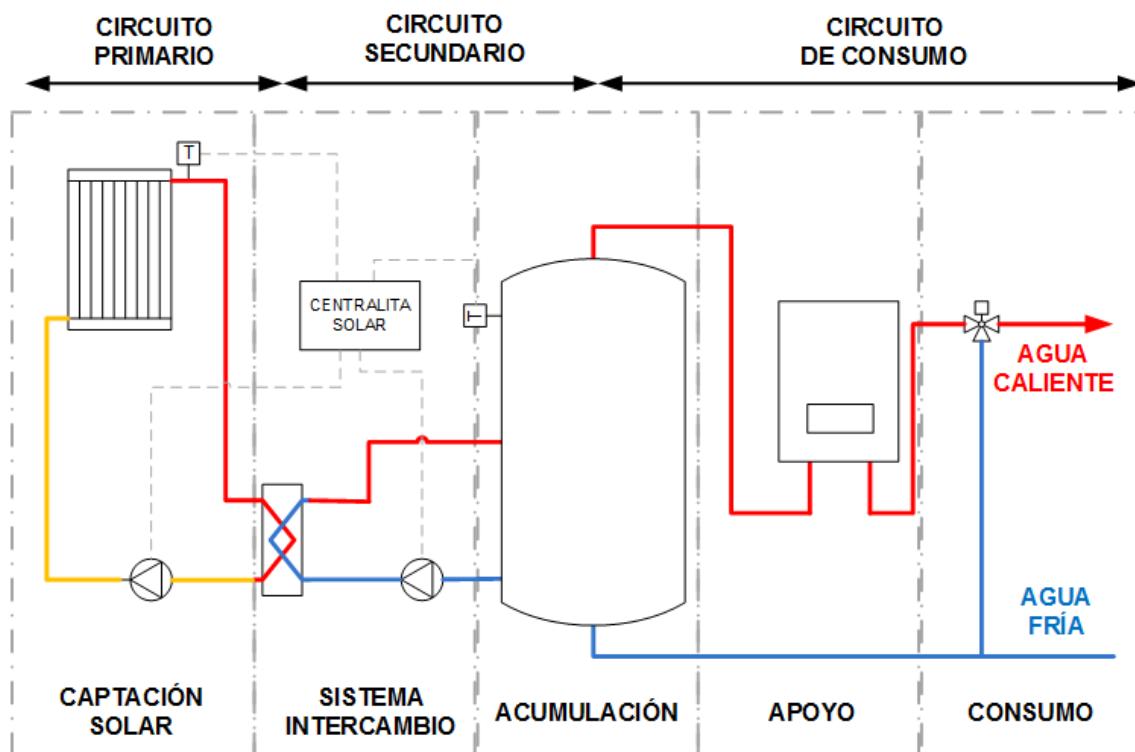


Figura 3.24. Configuración básica de un sistema solar térmico para la preparación de ACS.

A grandes rasgos el funcionamiento de la instalación se resume en la carga o llenado del depósito de acumulación mediante la energía solar captada y por otro lado el consumo de ACS que demanda el usuario. Estos dos procesos suelen estar desacoplados en el tiempo produciéndose la carga del depósito cuando haya irradiación disponible y demanda de ACS cuando lo requiera el usuario. De esta forma, aparte del propio funcionamiento de los equipos existen otros aspectos externos al sistema de los que dependerá el funcionamiento del sistema. Los que son considerados esenciales de entre todos ellos están las condiciones climáticas exteriores como son la temperatura y la irradiación, pues de ellas depende la generación de la energía. También destaca la distribución del consumo de agua caliente o la temperatura de red pues de ellos dependerán aspectos esenciales como la cobertura de la demanda o la energía necesaria para el calentamiento. Todos estos aspectos se modelarán en principio como condiciones de contorno y se establecerán para cada caso de estudio.

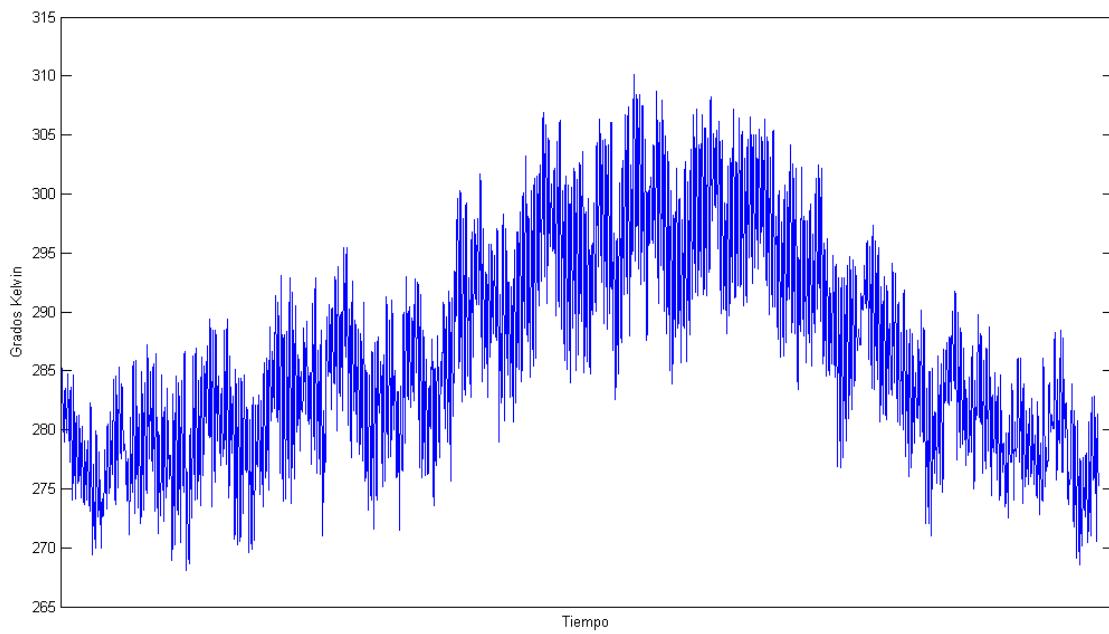


Figura 3.25. Temperatura seca exterior a lo largo del año en una determinada zona climática.

3.12. Otras consideraciones referentes al modelado de los sistemas solares térmicos

Existen otros aspectos relacionados con el modelado de los sistemas solares térmicos que no han sido abordados o que se han simplificado. Entre los más destacados encontramos los fenómenos de dilatación térmica de los fluidos o los cambios de fase. Estos fenómenos pueden afectar al buen funcionamiento de la instalación aunque a nivel energético su relevancia es limitada. De esta forma el alcance del modelado para este trabajo no contempla estos fenómenos.

Por otro lado, también existen multitud de fenómenos propios a la transferencia de calor como son las pérdidas de calor de los equipos al exterior. La pérdida de calor de los equipos se debe a que en general estos disponen de temperaturas más elevadas que el ambiente que le rodea. Esto hace que exista una cierta cantidad de energía que se disipa al exterior y que finalmente no es aprovechada. Estos hechos sí que afectan al rendimiento global de la instalación aunque en porcentajes relativamente inferiores que otros fenómenos.

Del mismo modo el comportamiento y configuración de las propias conducciones de fluidos (tuberías, válvulas, etc.) han sido simplificadas en esta etapa de desarrollo de la librería. Se ha considerado que los fenómenos propios

del transporte de fluidos como son retardos u otros afectarán de manera reducida a las variables energéticas (rendimientos, etc.) de cara al objetivo final del trabajo.

Por último cabe destacar que muchos de los comportamientos de los equipos pueden ser modelados mediante balances de energía y masa de los correspondientes volúmenes de control. Este aspecto se detallará en más profundidad en el capítulo 0.

3.13. Conclusiones

En este capítulo se han descrito los elementos fundamentales que componen una instalación solar térmica de baja temperatura. Se ha incluido en la descripción desde aspectos más genéricos e introductorios de los equipos hasta detalles sobre su comportamiento físico. El estudio de los distintos equipos sirve como base para la implementación de las clases y modelos con Modelica.

Un aspecto común a casi todos los elementos estudiados es que son equipos hidráulicos. La teoría clásica de la hidráulica describe adecuadamente las características fundamentales para el modelado de estos aspectos en los equipos. De esta forma los elementos disponen una característica definitiva como es la pérdida de carga con un determinado caudal nominal o en condiciones normales de trabajo.

Relacionados íntimamente con los aspectos hidráulicos de las instalaciones están los fluidos de trabajo y los equipos de bombeo de líquidos. El comportamiento de estos elementos se puede simplificar destacando que los líquidos modelados dispondrán de propiedades constantes y los equipos de bombeo trabajarán en un punto de funcionamiento determinado.

Otros equipos presentes en este tipo de instalaciones son intercambiadores, captadores solares, depósitos acumuladores calderas o valvulería específica. De todos ellos se dispone información detallada de su comportamiento físico descrito mediante ecuaciones matemáticas con un mayor o menor nivel de similitud respecto al comportamiento real del equipo. Del mismo

modo el comportamiento de estos equipos responde a balances de materia y energía en los volúmenes de control correspondientes.

Por último cabe destacar que en este nivel de desarrollo de la librería se han simplificado algunos aspectos que se han considerado menos relevantes para el objetivo principal que persigue el desarrollo del proyecto. Estos aspectos pueden tratarse en futuros trabajos y así se indicará.

4 Librería Soltermica

4.1. Introducción

En el presente capítulo se describe los aspectos más formales de la librería Soltermica. Se repasará la estructura básica con la que se ha diseñado la librería fruto principalmente de las características del lenguaje de modelado Modelica y su aplicación para la simulación de instalaciones. Del mismo modo se expondrán los distintos paquetes y subpaquetes que la componen así como la propia reutilización de modelos de la MSL. Se pondrá especial interés en aquellos modelos que supongan una mayor complejidad o más característicos como son los equipos térmicos que en conjunto forman la instalación. Por último se pretende introducir algunos aspectos propios de la documentación de la librería.

4.2. Arquitectura de la librería

La librería Soltermica está compuesta por una serie de paquetes que implementan modelos de diferentes equipos para modelar en conjunto una instalación solar térmica. En una primera observación de la estructura destaca el gran número de modelos implementados inicialmente. Aparte de los propios equipos encontramos otros dos paquetes de carácter básico, que son *ClasesBasicas* y *Media*. Por último también se encuentra el paquete de ejemplos en los que se integran configuraciones más complejas de la combinación de los distintos elementos. En la Figura 4.1 se puede observar la arquitectura planteada inicialmente para la librería.

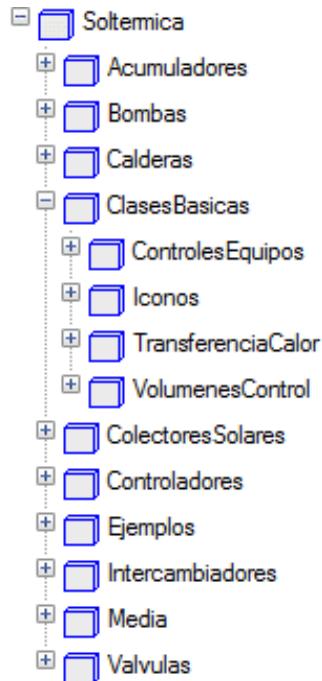


Figura 4.1. Árbol básico de la librería Soltermica

En general todos los equipos modelados se han agrupado en paquetes que corresponden con su tipología. Cada paquete de un equipo contiene los modelos realizados para ese equipo, un subpaquete de clases *record* con las especificaciones de los propios equipos y otro subpaquete con ejemplos de aplicación o validación de los modelos de los equipos. El paquete *ClasesBasicas* incluye modelos parciales o de menor nivel de definición que el resto de los equipos. Estos modelos serán reutilizados por el resto siendo la base de modelado por reutilización de modelos. Los modelos básicos que se han modelado están relacionados con el balance de masa y energía en volúmenes de control, con fenómenos de transferencia de calor y con algoritmos específicos de control de los distintos equipos. En este paquete también se incluye un subpaquete con iconos genéricos propios de la librería.

La estructura propuesta responde al proceso de desarrollo de los propios modelos y se considera adecuada para el actual desarrollo de la librería. De esta forma se considera que a medida que vaya aumentando en un futuro puede resultar más racional otra estructuración para aprovechar las características del lenguaje de modelado y mejorar la legibilidad.

4.3. Conectores e interfaces

Los conectores e interfaces utilizados han sido fundamentalmente los disponibles en la MSL, y más concretamente los que se incluyen en el paquete *Thermal* de la MSL 2.2.1. Los conectores *flowPort* presentes en dicho paquete representan puertos de conexión para el intercambio de materia y energía. Las variables que incluye el conector *flowPort* son la presión y la entalpía específica como variables *across* y el caudal másico y el flujo entálpico como variables *through*. También se han utilizado conectores del tipo *HeatPort* que disponen de la temperatura como variable *across* y el flujo calorífico como variable *through*.

Estos conectores ya han sido probados y validados estando integrados en la MSL. De esta forma su reutilización está justificada frente a la implementación de nuevos conectores.

Por otro lado también se han realizado algunos de los modelos parciales que se incluyen la MSL. Entre ellos cabe destacar el modelo parcial *twoPort*. Este modelo está compuesto por conectores del tipo *flowPort* y dispone de los parámetros *mass*, *medium* y *T0*. Este modelo parcial implementa el interfaz para modelar un volumen de control que disponga de una determinada masa de un medio fluido que inicialmente esté a cierta temperatura. El modelo parcial *twoPort* incluye las ecuaciones de balance de materia y energía correspondientes al medio. Se puede extender este modelo definiendo de manera más específica los fenómenos hidráulicos (caída de presión, etc.) o el intercambio de energía con el entorno sin intercambio de materia (*HeatPort*).

Otro aspecto esencial del modelo es el tratamiento que hace de las variables intensivas en ciertas situaciones de la simulación. Las variables intensivas son aquellas que no dependen de la cantidad de materia del sistema, pero no se pueden calcular cuando no existe masa. Muchas variables intensivas como la entalpía específica se obtienen mediante división de una variable extensiva entre la masa del sistema. De esta forma se produce una división entre 0 cuando una variable como el caudal másico se hace nula. Este problema solo se soluciona modificando los modelos para que puedan definirse dichas variables cuando la masa se hace nula. En el caso de *twoPort* utiliza la función

semiLinear que permite definir las variables intensivas cuando las extensivas se anulan. Esta problemática ha marcado algunas etapas del desarrollo, solventándose en gran medida por la utilización de dicho modelo parcial como interfaz.

$$\dot{H} = \begin{cases} \dot{m}h_{port} & \dot{m} > 0 \\ \dot{m}h & \text{otherwise} \end{cases}$$

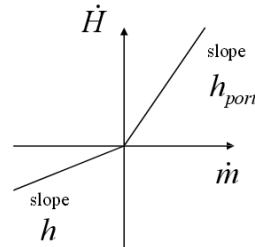


Figura 4.2. Gráfico de definición de la función *semiLinear*.

Por otro lado y fruto del estudio del estado del arte cabe destacar que a partir de la versión 3 de la MSL se han incorporado nuevas herramientas para tratar estos aspectos relacionados con sistemas térmicos. Más concretamente se ha definido un nuevo tipo conector llamado *stream* y se ha incorporado un nuevo paquete llamado *Fluid* (Otter & Casella, 2009).

4.4. Paquete *ClasesBasicas*

El paquete *ClasesBasicas* incorpora una serie de modelos de menor nivel que están ideados para su reutilización en modelos de mayor nivel como los equipos. Se ha subdividido el paquete en varios subpaquetes que implementan distintos aspectos de los modelos de mayor nivel.

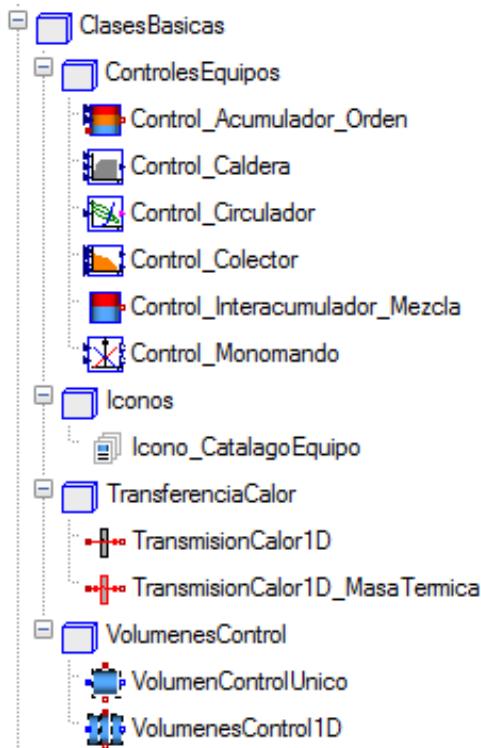


Figura 4.3. Estructura del paquete *ClasesBasicas* de la librería Soltermica

El primer subpaquete destacable corresponde a *VolumenesControl*, en el que se incluyen dos modelos de volúmenes de control. Un volumen de control es el elemento más sencillo en los que se puede estudiar un sistema termodinámico. El modelo más simple de volumen de control está compuesto por un único volumen de control, que puede intercambiar masa y energía con el entorno mediante los correspondientes conectores. El otro modelo corresponde a una serie de volúmenes de control intercomunicados entre ellos mediante los puertos de fluido. El número de volúmenes de control se define mediante un parámetro y correspondería a las divisiones que se pueden hacer de un volumen de control único. La característica definitoria de estos modelos es que disponen de una frontera y volumen fijo al que se le aplica la hipótesis de mezcla total. En el Sección 5.3 se tratarán estos aspectos con más profundidad.

Otro subpaquete destacable es *TransferenciaCalor*, que contiene dos modelos simplificados del fenómeno de transferencia de calor a través de un medio material. Estos modelos se utilizarán para modelar este tipo de fenómenos de forma aproximada en conjunción con los volúmenes de control. El modelo de *TransmisionCalor1D_MasaTermica* tiene como característica fundamental la

inclusión de la masa térmica del medio material en los balances de energía. El otro modelo simplifica este aspecto y la considera nula.

El subpaquete correspondiente a los modelos de control incluye distintos comportamientos específicos de los modelos de los equipos. Fenómenos como la estratificación o la regulación propia de las válvulas se han encapsulado en modelos que permiten un mejor mantenimiento y seguimiento.

En la Figura 4.4 se puede observar el modelo gráfico de uno de los equipos incluidos en la librería. Se puede observar cómo se han utilizado distintos modelos incluidos en el paquete *ClasesBasicas* junto con otros de la MSL para componer un modelo de mayor nivel.

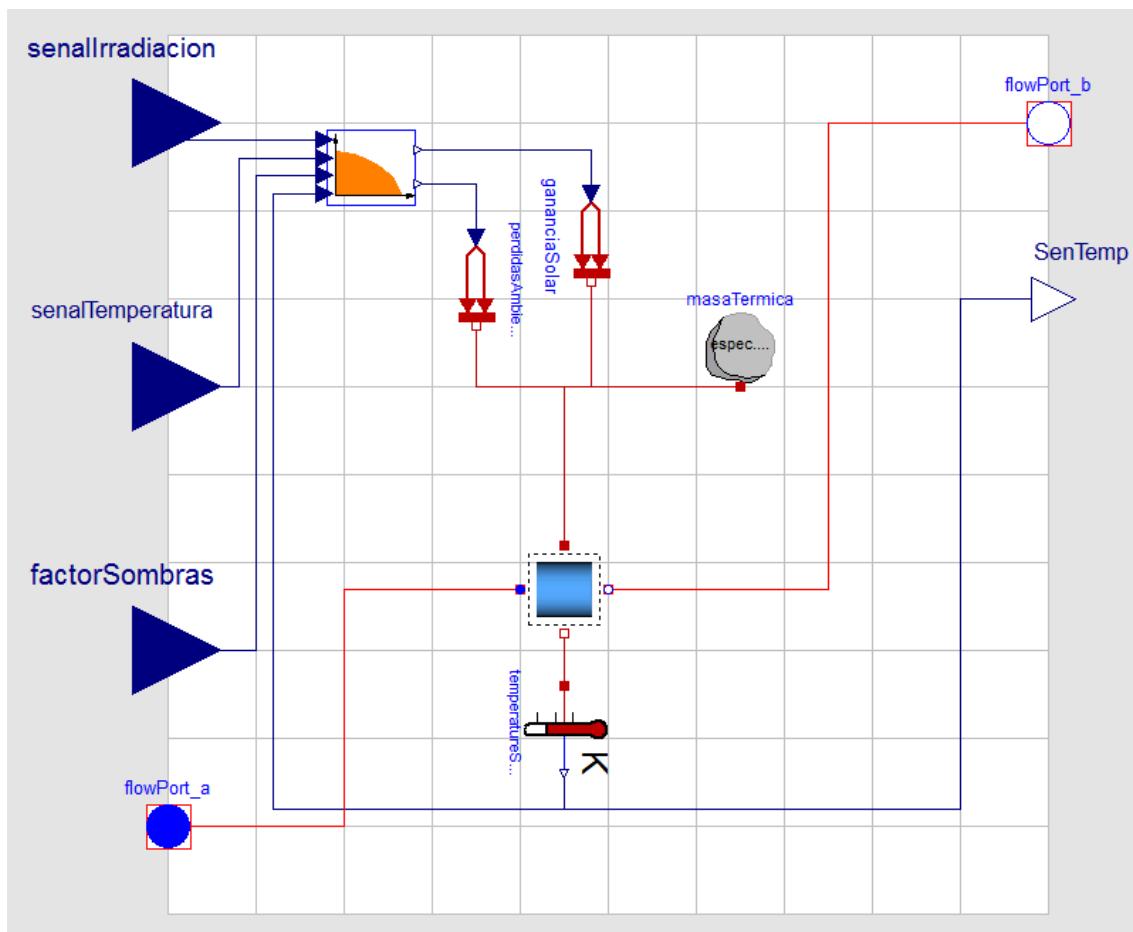


Figura 4.4. Modelo gráfico del captador solar realizado por composición de modelos de menor nivel.

Por último también se incluye un subpaquete para iconos específicos utilizados en la librería. Se pretende seguir incluyendo nuevos iconos genéricos a la librería.

4.5. Modelos de equipos

Los distintos equipos modelados se han distribuido en paquetes que integran todos los aspectos relacionados con una familia de dispositivos. Dentro de cada paquete correspondiente a un equipo específico se incluye los modelos del propio equipo y una serie de subpaquetes auxiliares. El subpaquete *CatalogoEquipos* incluye las clases record de los equipos comerciales mientras que el subpaquete *Ejemplos* incluye modelos de ejemplo y/o validación del comportamiento de los equipos.

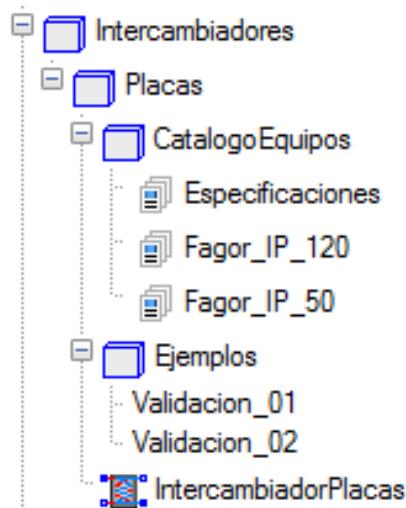


Figura 4.5. Estructura de uno de los paquetes correspondiente al equipo de tipo Intercambiador.

Esta estructura responde a la capacidad de Modelica de separar los parámetros del resto del modelo, consiguiendo una mayor capacidad de reutilización y una mayor legibilidad de código. Cuando se quiera introducir un modelo de determinado equipo comercial en la librería se tendrá que ver qué parámetros que lo definen y crear un nuevo record a partir de la clase *record* asociada.

Por otro lado, los modelos de ejemplo del correspondiente equipo tienen diferentes funcionalidades o aplicaciones. En principio se han desarrollado para validar el comportamiento de los equipos pudiendo observar como algunos modelos incluidos en esta categoría simulan condiciones de ensayo o laboratorio.

4.6. Modelos de fluidos

Análogamente al paquete *Media* de la MSL se ha incluido un paquete *Media* en la librería completando los fluidos de trabajo que no están disponibles. En concreto para los sistemas que se han incluido en la librería se ha decidido incorporar clases *record* correspondientes a mezclas de agua y anticongelante utilizadas en el primario de la instalación. De esta forma, los medios incluidos se introducen del mismo modo que los medios incorporados en la MSL.

Como las propiedades de los fluidos varían con respecto a variables como la temperatura, se pretende incorporar los valores constantes medios para los fluidos de trabajo con el objeto de que la simulación gane precisión. Este procedimiento se puede plantear de forma iterativa una vez que se ha realizado la primera simulación o iteración, se determina el valor de la temperatura media a lo largo de la simulación y se establecen las propiedades de los fluidos en dicha temperatura. En cualquier caso podría ser de interés determinar el posible error cometido con este planteamiento.

4.7. Ejemplos

El paquete de ejemplos de Soltermica incluye diferentes modelos de cierta entidad en los que se valida y simula el comportamiento de los distintos elementos interconectados. En un principio este paquete pretende englobar las distintas configuraciones de instalaciones solares térmicas. Así pues se han incorporado algunos modelos generales que simulan en parte o totalmente este tipo de instalaciones.

Actualmente el número de ejemplos o configuraciones específicas es reducido, de esta forma se justifica su inclusión en un solo paquete. A medida que se vayan implementando nuevos modelos en la librería se pretende estructurar todos ellos de manera más racional. En la Figura 4.6 se puede observar el diagrama de uno de los modelos incluidos en el paquete ejemplos. Este modelo representa una red de consumo y distribución de ACS que dispone de un acumulador que se carga mediante un intercambiador externo. Esta configuración podría corresponder en líneas generales a una instalación

centralizada de ACS. También se ha incluido un modelo de instalación solar térmica que será explicado en detalle más adelante.

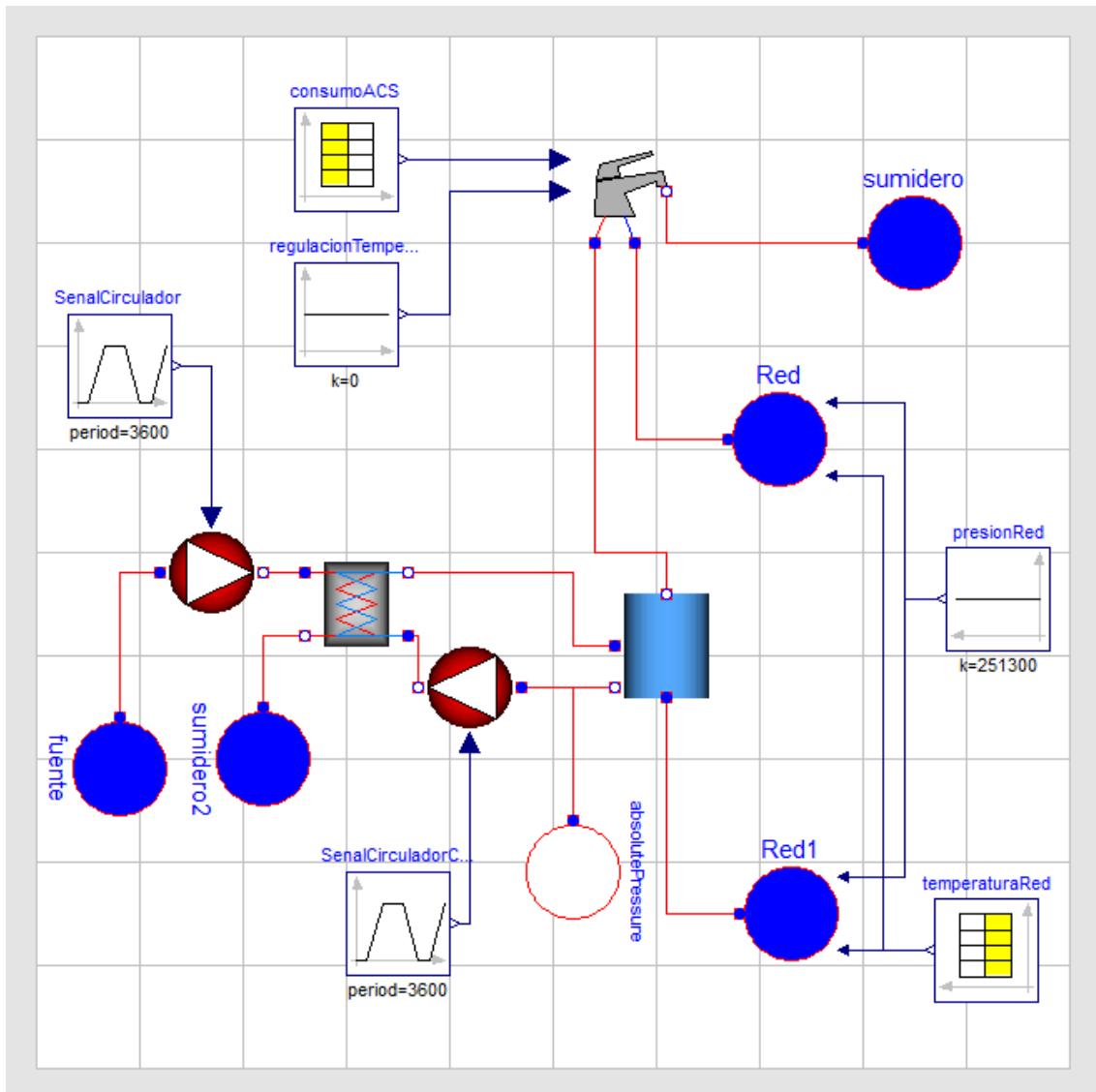


Figura 4.6. Diagrama del modelo gráfico de una instalación de distribución y consumo de agua incluida en el paquete *Ejemplos*.

4.8. Documentación librería

Una característica de los muchos entornos de modelado de Modelica es la generación de documentación de forma automática. Un modelo correctamente definido y comentado permite generar una documentación que puede ser de gran utilidad para el uso y comprensión de la librería. Para completar dicha información relativa esencialmente a características propias de los modelos (parámetros, variables, etc.) se puede incluir páginas HTML dentro de la sentencia *annotation* de cada modelo. En la Figura 4.7 se muestra un ejemplo

de cómo se muestra la información de los modelos en la documentación. También se ha incluido en el Apéndice C parte de la documentación de la librería incluyendo código de la misma.

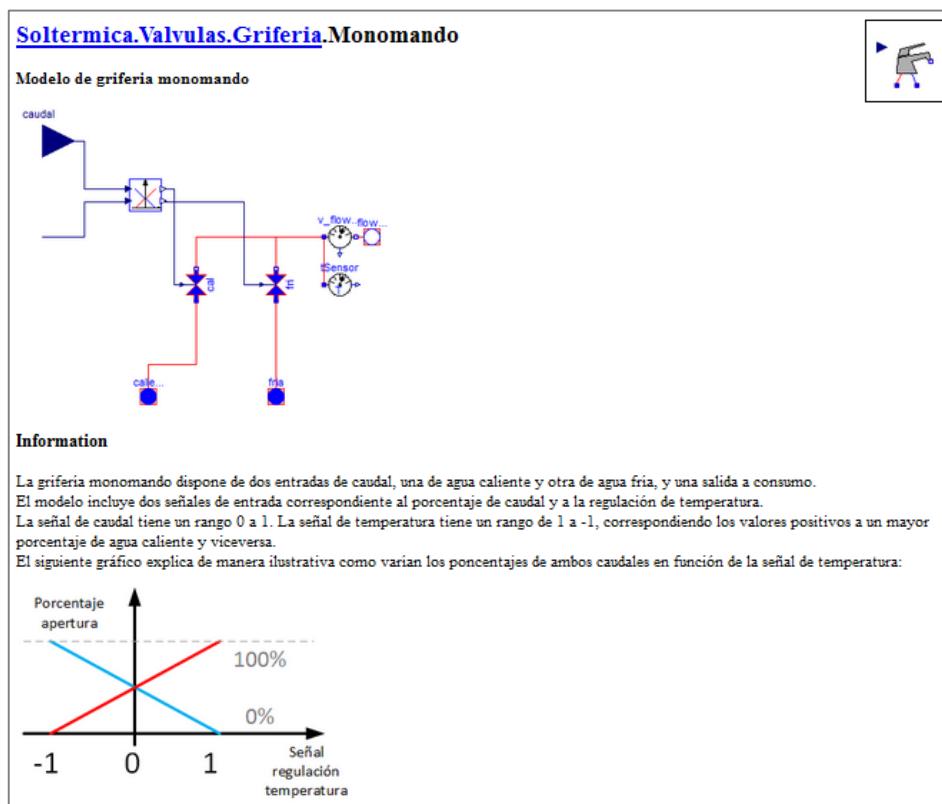


Figura 4.7. Captura de pantalla de la documentación generada por Dymola para el modelo de grifería monomando.

4.9. Conclusiones

Soltermica se concibe como una librería de Modelica que incluye el modelo de todos los equipos necesarios para modelar y simular instalaciones solares térmicas. Con este fin se ha definido una estructura centrada por un lado en los modelos individuales de los equipos, por otro en las clases de menor nivel que compondrán los modelos de los equipos y por último en modelos más extensos utilizan los equipos para definir una instalación en su conjunto. Esta estructura responde al propio proceso de desarrollo seguido durante el trabajo.

Cada familia de equipos térmicos se compone de modelos que implementan el comportamiento del equipo y una serie de paquetes adicionales. En paquete *CatalogoEquipos* se incluyen diferentes clases record con los parámetros de modelado de equipos comerciales. También se ha incluido otro

subpaquete que incluye diferentes modelos que exponen el comportamiento fundamental del equipo en situaciones determinadas (ensayos, etc.).

Por otro lado cabe destacar el paquete de *ClasesBasicas*, que dispone de un gran número de modelos de menor nivel de definición que serán reutilizados para la elaboración de modelos de mayor nivel. En este paquete se encuentran modelos que representan los balances de materia de energía y masa en un determinado volumen de control o modelos de transferencia de calor simplificados.

Por último se considera fundamental incluir modelos de instalaciones que permitan simular el comportamiento global de este tipo de sistemas. De momento se han compuesto modelos muy básicos pero se pretende ir completando el número de modelos con el estudio de diferentes configuraciones. Este hecho puede hacer variar la estructura a medida que se vayan incluyendo dichas configuraciones

5

Validación de los modelos individuales

5.1. Introducción

En este capítulo se revisa el proceso de validación y el planteamiento seguido para dicho proceso. Se comenzará exponiendo los aspectos más generales del proceso de validación indicando los pasos seguidos hasta validar los distintos modelos. A continuación se describe el proceso de discretización de los modelos dentro del flujo de trabajo de la validación. Del mismo modo se expondrán las características propias de esta estrategia de modelado con algunos ejemplos específicos. Finalmente se expondrán la parametrización de las distintas especificaciones de los equipos en clases de tipo *record* indicando los aspectos más relevantes que aporta este planteamiento a la librería.

5.2. Proceso de validación

El proceso de validación de los modelos tiene por objeto verificar el comportamiento de los elementos modelados con respecto a su comportamiento real. Esta es una etapa fundamental en el desarrollo de la librería y de su adecuado planteamiento dependerá gran parte de la calidad del trabajo.

El primer aspecto que cabe destacar en este proceso es la ausencia de validación mediante experimentos o ensayos con equipos reales por parte del responsable principal del proyecto. Aunque siempre es preferible verificar el

comportamiento de los modelos con experimentación real no ha sido posible plantearlo en este nivel de definición por la falta de recursos. Del mismo la cantidad de equipos a modelar puede ser excesiva para abordar durante la duración del proyecto.

En contraposición a estos aspectos cobra especial relevancia otros dos aspectos. Por un lado cabe destacar el amplio conocimiento de los equipos e instalaciones a modelar por parte del proyectista. Este conocimiento derivado de su actividad profesional y especial interés en la materia hace que se disponga de un conocimiento pormenorizado del comportamiento de los equipos e instalaciones, tanto a nivel más teórico como a nivel práctico.

Por otro lado destaca la disposición de gran cantidad de información y documentación que fabricantes y distribuidores de equipos ponen a disposición del público, especialmente por medios digitales. Catálogos comerciales, catálogos técnicos, manuales prácticos o certificados de ensayos por laboratorios de referencia son algunos de los documentos que se ponen a la disposición de los clientes y público en general con numerosa información sobre el comportamiento de dichos equipos. En muchos casos la publicación de todas esta información así como el establecimiento de las propias especificaciones de los equipos están motivadas por el desarrollo e implantación de la legislación en el sector. Esta información es una gran herramienta para poder comparar los distintos equipos y tecnología así como da la oportunidad de profundizar en diversos aspectos de su funcionamiento.

Implementación inicial del modelo

En la Figura 5.1 se puede observar el diagrama de flujo básico en la implementación y posterior validación de los distintos equipos. El proceso comienza con una implementación inicial del equipo basándose en el conocimiento teórico del mismo. En esta fase se plantean los distintos principios básicos de funcionamiento físico de los equipos centrándose en este caso particular en los balances de materia y energía, los mecanismos de transmisión de calor o correlaciones experimentales ampliamente utilizadas. A partir de esta información se plantea un primer modelo con el que se empieza a experimentar

condiciones de trabajo normales para observar su respuesta. Se trata de comprobar que la respuesta básica del sistema no sea ilógica al comportamiento real (rendimientos negativos, etc.), pero no se enfatiza la exactitud del modelo al comportamiento de los equipos concretos.

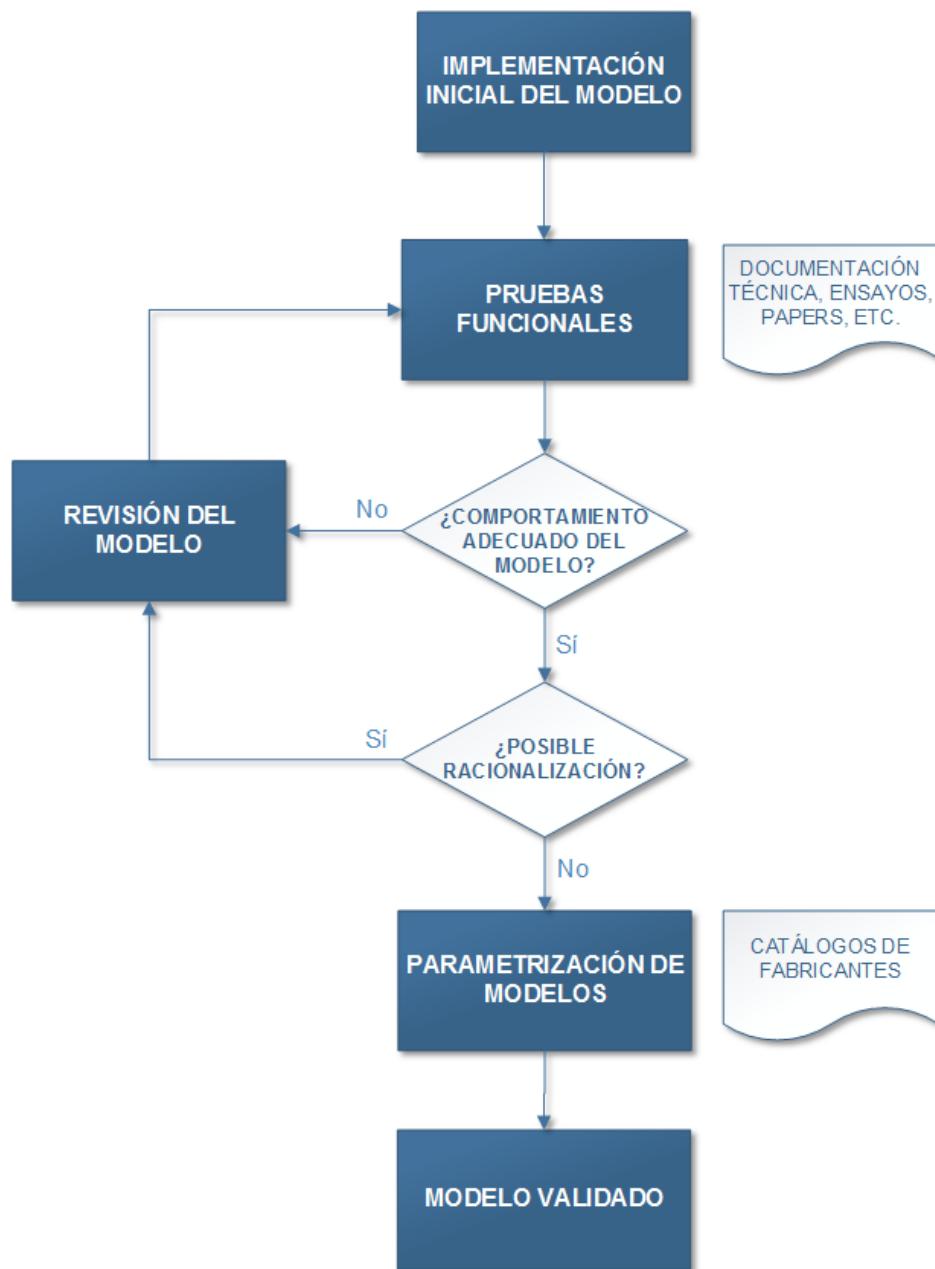


Figura 5.1. Diagrama de flujo del proceso de validación de modelos seguido en el trabajo.

En este punto del desarrollo se trata de reutilizar todo el código y modelos de menor nivel (parciales, etc.) que se hayan desarrollado con anterioridad. Este hecho facilita en muchos aspectos el prototipado rápido de estos modelos

iniciales, ya que en muchos casos se plantean problemas propios de modelado que se repiten para el mismo tipo de sistema.

Pruebas funcionales y racionalización del modelo

En una segunda fase se componen modelos de validación a partir de los modelos de equipo implementados. Basándose en la documentación disponible sobre ensayos reales (internos, homologación, etc.) se plantean modelos donde se simulan las mismas condiciones. La Figura 5.2 representa un ensayo del equipo intercambiador de placas dónde se simulan las condiciones experimentales (caudales circulantes, temperaturas de entrada, etc.) y se obtienen las características propias del comportamiento del equipo como la potencia intercambiada.

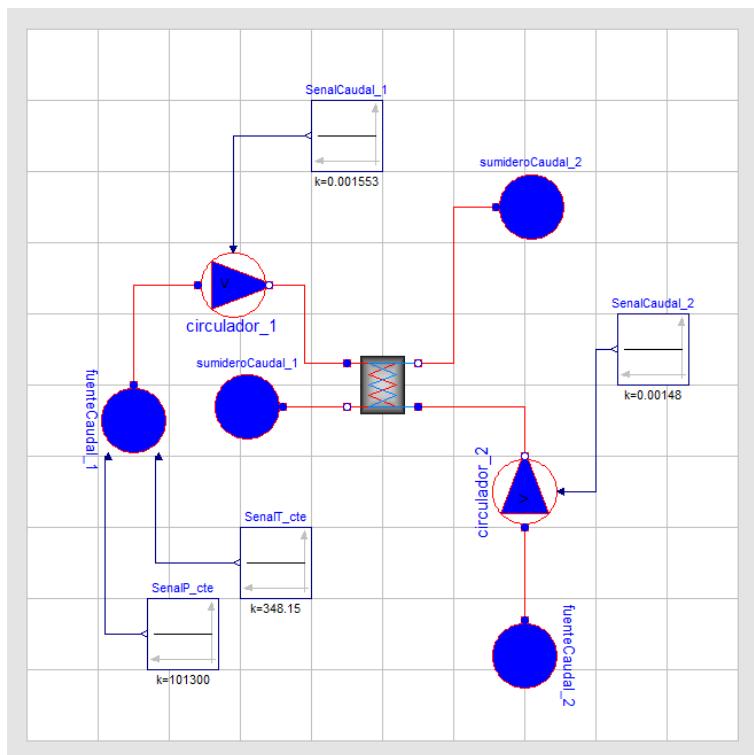


Figura 5.2. Diagrama del modelo de las pruebas funcionales de verificación del intercambiador de placas.

Si existe una gran divergencia entre los resultados obtenidos con los establecidos por el fabricante se revisará el modelo. En este punto se pone especial interés en ser crítico con la información que publica el propio fabricante. De esta forma se trata de cotejar la información disponible entre fabricantes y distribuidores para determinar posibles errores o inexactitudes en la misma.

Descartado posibles errores en la información de origen se producirá una revisión exhaustiva en aquellos aspectos en los que el modelo diverja en gran medida. La revisión y actualización del modelo conlleva volver a las pruebas funcionales básicas para poder continuar con el proceso de validación.

En caso de que se considere que el modelo se comporta de forma semejante a la realidad en función de la información disponible se procede a racionalizarlo en la medida de lo posible. Para aprovechar las capacidades del propio lenguaje de modelado se trata de identificar aquellas partes del modelo que pueden ser encapsuladas y potencialmente reutilizables en otros modelos. Esta fase no es trivial pues una adecuada estructuración de los modelos permite desarrollar otros modelos de forma más rápida y evitar algunos problemas propios del modelado. Si se considera que hay posibilidad de reutilizar otros modelos o generar submodelos potencialmente reutilizables se revisará la implementación y se volverá a fases más tempranas de la validación.

Si se considera que el modelo es adecuado y está correctamente estructurado se finalizará el proceso de validación mediante la parametrización de las características o especificaciones del equipo y su incorporación en una clase *record* en el paquete correspondiente.

5.3. Discretización espacial del modelo de los equipos

Muchos de los modelos pueden presentar una estructura regular. Aprovechando las capacidades de Modelica en este sentido (vectorización de componentes y conexiones) se plantea la discretización del modelo. Este proceso suele llevarse a cabo en la fase de racionalización una vez se ha comprobado el adecuado funcionamiento básico del modelo.

En general se están modelando procesos físicos en los que el comportamiento se describe como los balances de materia y energía que se dan en un determinado volumen de control. El volumen de control está determinado por una frontera que en la que se intercambia masa y energía con el entorno u con otros volúmenes de control. En la Figura 5.3 se puede observar de manera gráfica los flujos de energía y materia que se producen en el volumen de control.

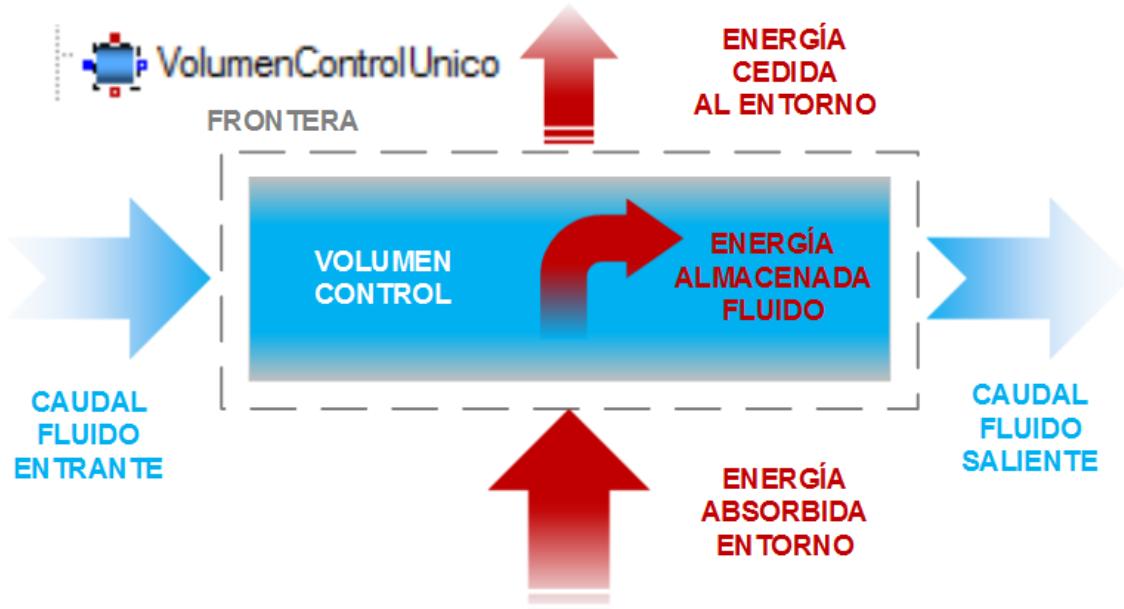


Figura 5.3. Esquema gráfico balances en el volumen control.

El modelo de volumen de control, incluido en el paquete *ClasesBasicas*, ha sido implementado como base para el desarrollo de otros modelos. Entre las hipótesis fundamentales de la implementación están:

- El balance de masa es nulo, pues se considera que el volumen de control dispone de un fluido incompresible sin cambio de fase. Así que toda masa que entra por la frontera tiene que salir.
- El balance de energía permite que el fluido pueda almacenar energía incrementando el nivel térmico del volumen. Así que la energía que entra al volumen de control debe ser la suma de la que se almacena en el mismo más la que sale.
- Mezcla total en el volumen de control. Como consecuencia la temperatura de la masa del fluido que sale del volumen de control es igual a la temperatura media de todo el volumen de control.

Esta última hipótesis es la más característica y conlleva una serie de consideraciones respecto al modelado. Cuando el volumen de control dispone de un volumen elevado, este hecho implica un determinado error, pues el ordenamiento de la temperatura dentro de un volumen puede depender de algún factor determinado, como por ejemplo el caso expuesto de la estratificación.

Para disminuir en la medida de lo posible el error cometido por la hipótesis de mezcla total se puede discretizar el volumen en un mayor número de volúmenes de control interconectados de forma adecuada. En el caso que presentamos y debido al componente unidimensional que presenta el transporte de fluido por conducciones propias de los equipos estudiados, la discretización se realiza a lo largo del eje por donde discurre el fluido. En la Figura 5.4 se puede observar una representación gráfica de la discretización del volumen de control y la interconexión entre volúmenes más pequeños. Este planteamiento permite modelar de forma adecuada múltiples fenómenos como son los propios fenómenos de transporte de fluidos (retardos, etc.) o de transferencia de calor (variaciones temperatura).

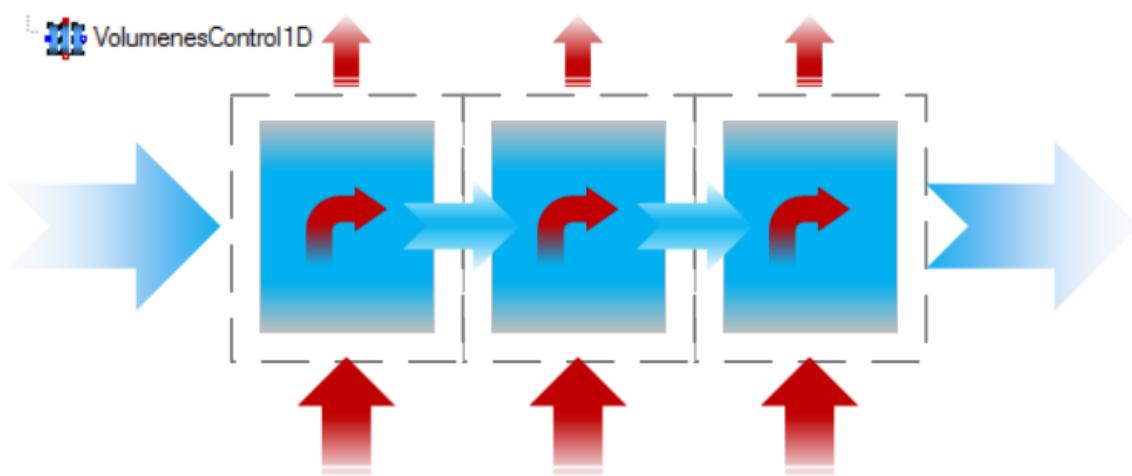


Figura 5.4. Esquema gráfico discretización en volúmenes de control.

La discretización planteada se basa en la división de un volumen de control en un número determinado de volúmenes de control iguales. Este número es definido mediante un parámetro en el propio modelo y permite establecer un grado de discretización específico para cada modelo. Cabe destacar que una elevada subdivisión de elementos redunda sobre el tiempo necesario de computación, con lo que es necesario establecer un valor adecuado del parámetro adecuado. Relacionado con este hecho también puede resultar interesante plantear modelos discretos denominados de frontera móvil o deslizante, en los que se produce una discretización en función de las propiedades o comportamiento de los volúmenes de control. Este tipo de planteamiento puede mejorar el tiempo de computación o facilitar el modelado de comportamiento más complejos como el cambio de fase del fluido.

Ejemplos de discretización de modelos

La discretización del volumen de control abre la posibilidad de modelar equipos de forma distinta a la tradicional, sobre todo por el aprovechamiento de la potencia de cálculo de las computadoras. Los casos del intercambiador de placas o el acumulador son dos ejemplos de este planteamiento.

Como se ha visto en la Sección 3.6 el modelado tradicional de intercambiadores se realiza determinando experimentalmente algunas variables como la LMTD o la Eficacia del intercambiador en condiciones nominales. En general este hecho puede inducir a un error en el comportamiento del equipo sobre todo cuando se cambian las condiciones de trabajo nominales para los que se determinaron dichas variables. Aplicando el principio de discretización, el modelado de un intercambiador se reduce a la transferencia de calor entre los volúmenes de control a lo largo del equipo. De esta forma el equipo se adecuará mejor al comportamiento real incluso en condiciones cambiantes.

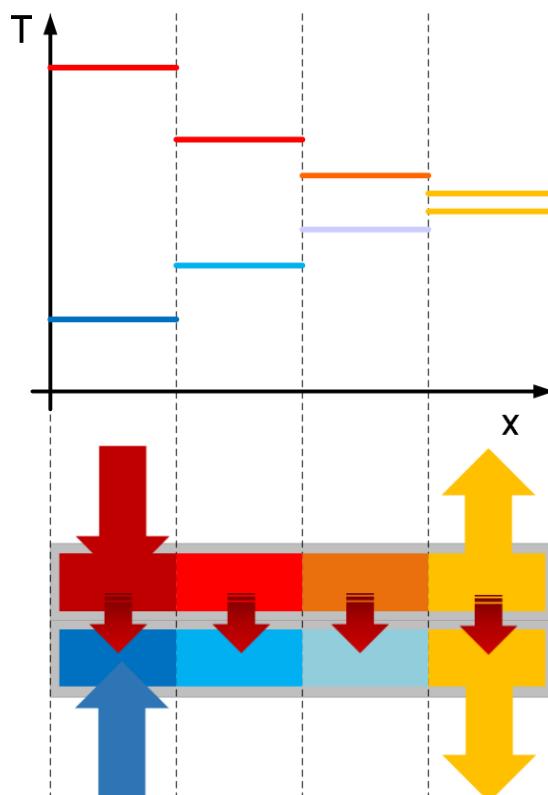


Figura 5.5. Esquema gráfico del comportamiento discretizado de un intercambiador de flujo cruzado.

Por otro lado se encuentra el ejemplo del acumulador de agua caliente y el fenómeno de estratificación. Como se ha revisado en la Sección 3.7 dentro de los acumuladores se produce un ordenamiento por capas a distinta temperatura. Esta ordenación puede variar considerablemente con las distintas condiciones de trabajo del acumulador como son la carga mediante aportaciones de energía exteriores, la descarga mediante extracción de energía al exterior o incluso ambos fenómenos a la vez. El modelo discreto del acumulador facilita el control del flujo de calor interno y de esta manera el propio modelado.

5.4. Validación de los modelos discretos

Como se ha comentado anteriormente dentro del proceso de racionalización de modelos se incluye la posibilidad de discretizar parte del mismo. La discretización del modelo implica volver a validar el comportamiento y además establecer el grado de división adecuado del mismo. Establecer el parámetro de discretización adecuado redunda en dos aspectos fundamentalmente, por un lado en un menor tiempo de computación y por otro en un mejor modelado del comportamiento del equipo.

De esta forma el proceso de validación de los modelos de equipos discretizados se enfoca de manera ligeramente distinta que otros modelos más simplificados. Al igual que el resto de modelos se verificará el comportamiento mediante la simulación con las condiciones nominales de trabajo, pero en este caso se tendrán que realizar múltiples simulaciones variando el número de elementos en los que el modelo ha sido dividido.

Como se puede observar en la Figura 5.6, para el caso de un determinado intercambiador a medida que el grado de discretización es mayor la diferencia con las especificaciones es menor. Como la carga de computación también se eleva a medida que crece la división en elementos no es adecuado sobrediscretizar el modelo pues no mejorará en el mismo grado la similitud con el comportamiento real.

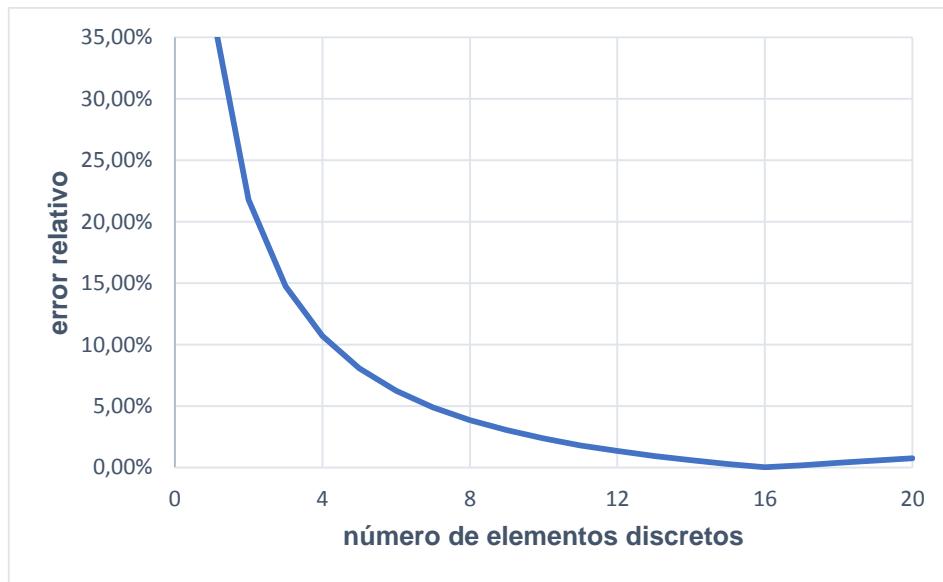


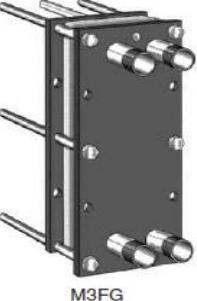
Figura 5.6. Error relativo en la potencia intercambiada del modelo frente al número de divisiones del intercambiador.

En el caso ensayado del intercambiador de placas para una división de más de diez elementos el error relativo cometido frente a la potencia especificada por el fabricante es menor que el 2%. De forma intuitiva se puede afirmar que esta división óptima dependerá de las características propias del equipo así como de la calidad, la cantidad y la veracidad de los datos especificados en la documentación técnica del equipo. Puede resultar interesante continuar con la comparativa de diversos equipos específicos con el objeto de establecer relaciones entre las características de los equipos (formales, etc.) y el número de elemento óptimos, aunque este objetivo se va fuera del alcance del proyecto.

5.5. Parametrización y catálogo de equipos

Una vez que el modelo ha superado las verificaciones funcionales se da un paso más en la racionalización de los modelos con la parametrización de las principales especificaciones o características técnicas de los equipos. Las especificaciones técnicas detallan aquellas características del equipo más importantes y determinantes que puedan resultar de interés para clientes y proyectistas de instalaciones. Cada tipología de equipo dispone de un tipo de especificaciones propias, pudiendo compartir algún tipo de especificación entre equipos distintos. De forma general equipos del mismo tipo deberían tener el mismo tipo de especificaciones, variando el valor de cada una de ellas de forma correspondiente. Las especificaciones son marcadas en muchos casos por la

legislación y la normativa a cumplir y son posteriormente incorporadas por los fabricantes y distribuidores en sus manuales técnicos y catálogos comerciales. Un ejemplo de las especificaciones de un equipo térmico incluidas en catálogo técnico-comercial se pueden observar en la Figura 5.7.



CLIMATIZACIÓN ACS CON PANEL SOLAR:

Modelo	Nº placas	Paneles	55°C -> 45°C		35°C -> 45°C		Potencia Kcal/h	
			panel - 30% P. glicol		A.C.S			
			I/h	m.c.a.	I/h	m.c.a.		
T2-BFG	11H	5	600	0,29	600	0,24	6	
T2-BFG	18H	10	1200	0,38	1200	0,38	11,4	
M3-FG	15H	20	2400	2,8	2300	2,4	22,8	
M3-FG	20H	30	3600	3,1	3500	3,3	34,2	
M3-FG	25H	40	4800	3,8	4600	3,4	45,6	
M3-FG	30H	50	6000	3,8	5700	3,8	56,4	
M3-FG	35H	60	7200	4,4	6800	3,9	67,8	
M3-FG	40H	70	8400	4,5	8000	4,3	79,2	
M3-FG	45H	80	9600	5	9100	4,4	90,6	
M3-FG	52H	90	10800	4,8	10300	4,6	102	
T5-BFG	27L	100	11900	3,6	11400	3,1	112,8	

Criterios de selección:
 Temperatura primaria: 55°C 45°C
 Temperatura secundario: 35°C 45°C
 Pérdida de carga cto. Piscina: Máx. 5 m.c.a.

Figura 5.7. Especificaciones incluidas en los catálogos técnico-comerciales de equipos térmicos (SALVADOR ESCODA, 2014).

Paquete CatalogoEquipos

En el capítulo anterior se ha revisado la estructura de la librería y cabe destacar la presencia de un subpaquete de elementos de la clase *record* en cada paquete correspondiente a un tipo de equipos. Como se ha comentado anteriormente este subpaquete llamado *CatalogoEquipos* incorpora una agrupación de todos los parámetros fundamentales del modelo que tratan de representar las especificaciones técnicas de los propios equipos. Este planteamiento responde a la utilidad de separar la descripción matemática del modelo y los valores numéricos de los parámetros del mismo, aprovechando las características que ofrece el lenguaje Modelica para ello (clase *record*).

El tratar de utilizar de forma preferente las especificaciones en la descripción de los modelos puede conllevar la modificación de algunas ecuaciones de los modelos o la definición de las mismas en base a estos parámetros. Por ejemplo, si se quiere obtener la masa encerrada en un depósito,

como la especificación principal es el volumen del depósito, la masa se calculará de la relación entre dicho volumen y la densidad del fluido que lo contiene.

Uno de los valores que se pretende añadir a la librería con esta configuración es la incorporación de información de equipos reales, previendo del mismo modo la incorporación de nuevos equipos de manera sencilla y ordenada. El proceso de incorporación y utilización de equipos no incluidos en la librería se muestra de manera esquemática en la Figura 5.8. En este sentido es conveniente que cada vez que se incorpore un equipo nuevo en el paquete correspondiente sea simulado con las condiciones de trabajo de las que se disponga información, para seguir verificando el correcto modelo o la propia fiabilidad de la información.

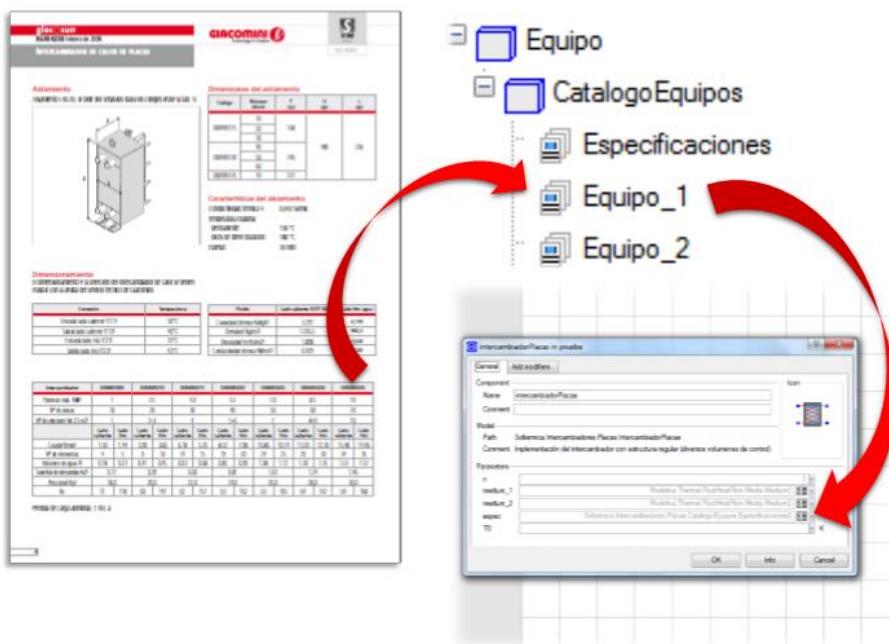


Figura 5.8. Esquema ilustrativo del proceso de parametrización de los equipos modelados.

En general la información disponible por los fabricantes y distribuidores no suele ser suficiente para definir de forma completa los parámetros del modelo. En estos casos la propia estructura de la librería puede ayudar a definir los parámetros ausentes pues se dispone de mucha información de equipos similares, con lo que a falta de algún parámetro se puede inferir de otros equipos. Del mismo modo se deberán calcular o suponer valores de aquellos que no se dispongan directamente.

En muchos casos el comportamiento dinámico de los equipos viene determinado en la documentación de manera gráfica (gráficas, ábacos, etc.). En estos casos habrá que realizar tareas de parametrización que la propia librería puede facilitar.

5.6. Conclusiones

En este capítulo se ha tratado el proceso de validación de los modelos individuales de los equipos siendo fundamental para establecer la utilidad y precisión de los modelos que contiene la librería. El proceso se ha basado en la información técnica disponible de los equipos como son catálogos comerciales, manuales técnicos o informes de ensayo, en ausencia de otros recursos como los medios de experimentación.

Toda la información y experiencia recopilada sobre el funcionamiento de los diferentes equipos ha sido utilizada para la implementación inicial del modelo de equipo. Estos modelos iniciales son simulados bajo condiciones normales de trabajo para observar su comportamiento. Si se observan comportamientos ilógicos o en cierto grado imprecisos se revisa el modelo. En caso contrario pasa al siguiente proceso donde se pretende racionalizar la propia estructura del modelo en la medida de lo posible.

El subprocesso de racionalización tiene por objeto encapsular aquellos aspectos del modelo que sean potencialmente reutilizables o que ya se hayan encapsulado en otros modelos aprovechando las capacidades del lenguaje de modelado. En este sentido muchos modelos presentan estructuras regulares que son racionalizadas mediante la creación de clases básicas que discretizan el modelo. Las clases básicas presentan una subdivisión de los modelos en múltiples volúmenes de control que donde se implementan los correspondientes balances de masa y energía.

Una vez que el modelo ha superado las verificaciones funcionales se da un paso más en la racionalización de los modelos con la parametrización de las principales especificaciones técnicas. Para ello se continúa aprovechando las capacidades de Modelica utilizando la clase *record* para agrupar las principales especificaciones de los equipos. En cada record se almacenaran los parámetros

5 Validación de los modelos individuales

que caracterizan al modelo de un determinado equipo real. De esta forma cada tipo de equipo dispone de un subpaquete que engloba todos aquellos equipos comerciales que se disponen para la simulación.

6

Simulación de sistemas solares térmicos de baja temperatura

6.1. Introducción

En este capítulo se exponen los aspectos fundamentales para la simulación de sistemas solares térmicos mediante la librería Soltermica. Primeramente se tratan aquellos aspectos relevantes para el establecimiento de las condiciones de contorno específicas para obtener una simulación precisa. Después se discute la aplicación a la simulación de uno de los casos de ejemplo incluidos en la librería. Se expondrán algunas de las características que aporta dicha librería y el propio lenguaje de modelado al estudio de este tipo de sistemas.

6.2. Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno definen el comportamiento de los modelos en sus límites. De la propia implementación de los modelos se derivará la necesidad de establecer las distintas condiciones de contorno. Para la adecuada simulación de modelos de sistemas solares térmicos mediante la versión actual de Soltermica es necesario definir principalmente las siguientes condiciones de contorno:

- Temperatura del agua fría de red.

- Perfil de consumo de ACS por parte de los usuarios.
- Irradiación total incidente sobre la superficie del captador.
- Temperatura seca ambiental en condiciones climáticas exteriores.

Todas estas condiciones de contorno serán introducidas de forma tabulada aprovechando la capacidad de Modelica para incorporar información de fuentes externas. Más concretamente se utilizará el modelo *CombiTimeTable* incluido en la MSL y que permite la introducción de tablas de datos desde el exterior. En la Figura 6.1 se muestra de forma esquemática el proceso de introducción de información externa en Dymola.

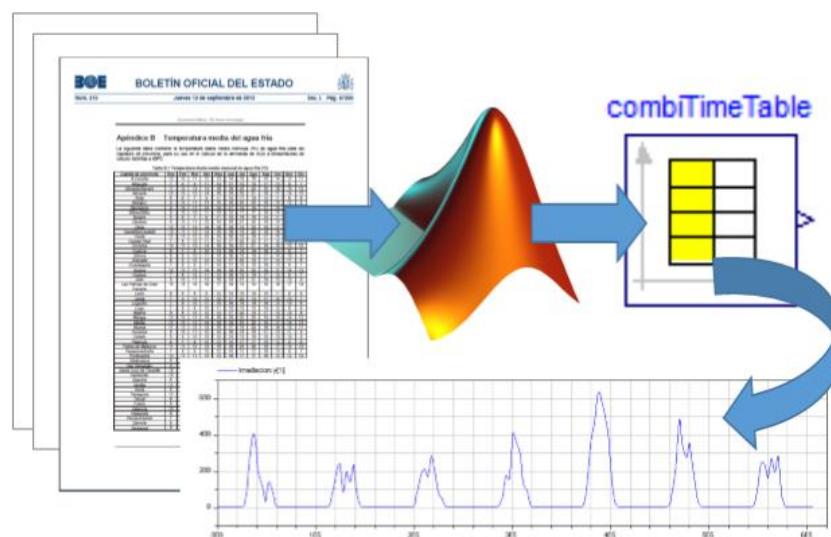


Figura 6.1. Esquema ilustrativo del proceso de introducción de las condiciones de contorno en el modelo.

Cada una de las condiciones de contorno dispone de características propias y proviene de diferentes fuentes. Las fuentes de información son variadas y dependen del caso específico, aunque en general la legislación y normativa suelen disponer de valores estadísticos de distintas variables como las climáticas. También cabe destacar que es necesario tratar y formatear la información disponible para su incorporación en la simulación. Se han realizado trabajos de ajuste, compatibilización o tratamiento estadístico mediante el software MATLAB. En los puntos siguientes se expondrán los aspectos fundamentales de cada una de las condiciones de contorno.

Por otro lado existen condiciones de contorno que resultan de menor relevancia, que son constantes o que se pueden modelar a partir de una señal predefinida. Este tipo de condiciones de contorno se han modelado mediante bloques que generan determinada señal (constante, rampa, trapezoide, etc.).

6.3. Demanda de ACS en el ámbito doméstico

La demanda de ACS por parte de los usuarios domésticos es una de las condiciones de contorno a determinar para realizar correctamente las simulaciones. La demanda de ACS corresponde a la función temporal o perfil de consumo de agua caliente a una determinada temperatura por parte de los usuarios. Cuando un usuario demanda ACS regulará el aparato de consumo o grifo según sus necesidades de caudal y temperatura siendo estos los aspectos fundamentales a tener en cuenta para determinar este aspecto. Por otro lado la energía invertida en el calentamiento de agua a la temperatura demandada dependerá de la temperatura inicial del agua fría y ésta es una variable pues cambia a lo largo del año.

Perfiles de consumo

Una de las primeras referencias al consumo de ACS lo podemos encontrar en el CTE. En su Documento Básico de Ahorro de Energía en el punto 4, relacionado con la contribución solar al calentamiento de agua, se establece una demanda de referencia a efectos de cálculo. Se considera que la demanda de referencia dispone de una temperatura de almacenamiento y distribución de 60°C y también es modificada por factores de simultaneidad para casos puntuales como los edificios de viviendas multifamiliares. En la Tabla 6.1 se pueden observar algunas de las demandas de referencias establecidas en dicho documento. Se puede destacar como en el ámbito doméstico existe un consumo más moderado que en otros ámbitos más sensibles a aspectos higiénicos.

Tabla 6.1. Extracto tabla 4.1 del CTE-DB-HE-4.

CRITERIO DE DEMANDA	Litros / día · unidad	Unidad
Vivienda	28	persona
Hospitales y clín.	55	persona
Restaurantes	8	persona

Aunque la tabla contiene información relevante para establecer la demanda, para el caso de simulaciones dinámicas un dato medio diario no es representativo y más teniendo en cuenta el funcionamiento propio de los sistemas solares térmicos. Esto se debe a que la demanda de ACS durante un día está repartida de forma muy puntual. Por ejemplo se puede concentrar en dos consumos diarios puntuales por persona de 1 a 5 minutos a lo largo de todo el día. De esta forma suponer un consumo constante a lo largo de todo el día estaría alejado de la realidad. Establecer un perfil de consumo se hace esencial para determinar la utilidad del modelo.

Se ha buscado en la literatura diferente información sobre los perfiles de consumo de ACS. En general no se ha encontrado información determinante del tema, pues muchos procedimientos están enfocados a dimensionado de elementos. Entre la información más relevante se encuentran una serie de perfiles de referencia para el cálculo horario que se puede encontrar en un Documento Técnico de Instalaciones para la Edificación (DTIE) (Viti, 1996). Los perfiles que se incluyen en esta publicación hacen referencia a la distribución horaria del consumo de ACS a lo largo de un día tipo y luego a lo largo del año. Se puede observar en la Figura 6.2 la distribución de los consumos a lo largo del día mediante el factor de consumo. Éste perfil representa el porcentaje horario en base a 24 horas del consumo de ACS durante esa hora. Del mismo modo se puede observar el perfil mensual a lo largo del año en la Figura 6.3 que se interpreta de forma similar al perfil diario.

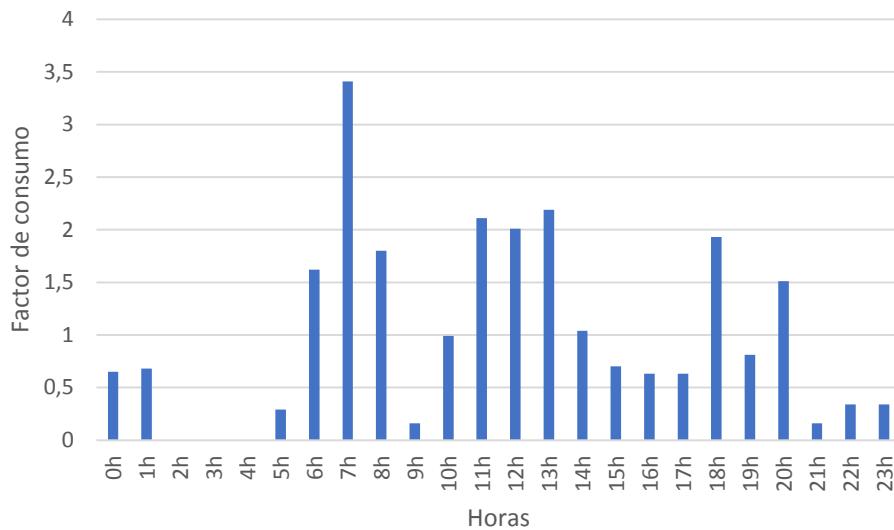


Figura 6.2. Perfil horario para un día de referencia del consumo de ACS

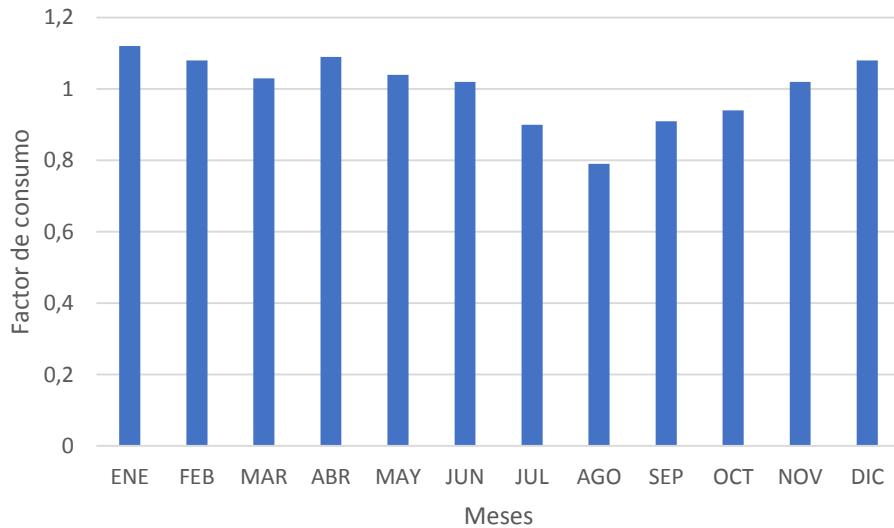


Figura 6.3. Perfil mensual para un año de referencia del consumo de ACS.

Estos perfiles de consumo pueden ser en cierto grado representativos para realizar comparaciones entre distintos sistemas o justificar un cumplimiento legal, pero considero que su validez es limitada si el objetivo es conseguir una simulación relativamente precisa del comportamiento de un sistema. Esto se considera así porque se sigue observando en el perfil una distribución bastante repartida a lo largo del día. En cualquier caso sigue representando una referencia a tener en cuenta.

Perfiles de demanda personalizados

A parte de perfiles de demanda establecidos en la literatura y con el objetivo de que la herramienta represente situaciones más cercanas a la realidad se pretende establecer una serie de perfiles personalizados para el ámbito doméstico. La determinación de estos perfiles se realizará mediante la consulta personalizada a distintas personas mediante el uso de formularios web.

En una primera versión de los formularios se preguntará sobre los hábitos relativos al consumo de agua caliente en cada caso personal. Se ha considerado adecuado incluir dentro del ámbito doméstico tres perfiles diferenciados a lo largo del año, uno correspondiente a un perfil de día laborable, otro perfil de día festivo y otro perfil vacacional. Además se considera importante la información relativa al número de personas que habitan la vivienda de forma habitual, el género y la profesión de los ocupantes, la población, los tipos de grifería instalada o el sistema de caldeo del agua instalado.

La recopilación de toda esta información en un formulario requerirá cierto grado de conocimiento sobre las tecnologías y los conceptos de instalaciones térmicas. Esta dificultad se considera superada utilizando la tecnología web y además buscando usuarios que dispongan de conocimientos de este tipo de instalaciones térmicas.

Se puede observar el formulario web planteado en el Anexo B Los datos obtenidos han sido tratados para poder incluir esta información como una condición de contorno de la simulación. Se ha generado un perfil por cada cuestionario relacionado y se ha incorporado esta información en un archivo de datos binario para su introducción en la simulación mediante las *CombiTimeTables*.

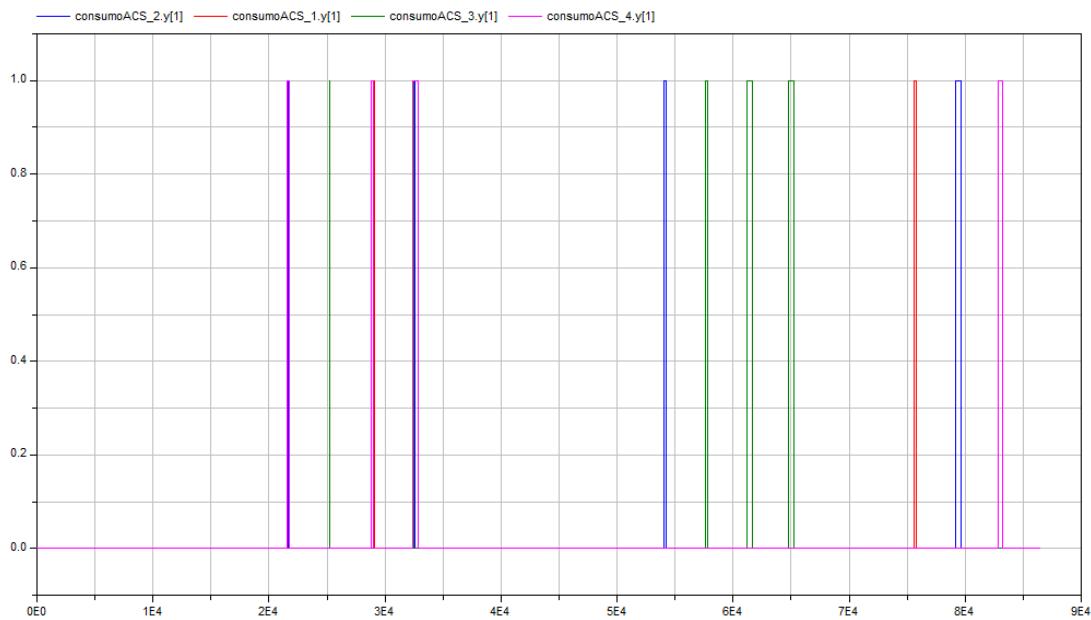


Figura 6.4. Algunos de los perfiles de consumo obtenidos del estudio.

Como se puede observar en la Figura 6.4 la demanda en el ámbito doméstico se concentra en tres franjas del día y es nulo en otras 3 franjas. También se ha obtenido una demanda global por persona similar a la que se hacía referencia anteriormente, con lo que se puede validar en cierto grado el estudio.

Temperaturas del agua

La temperatura del agua de la red pública de consumo también varía a lo largo del año, aunque su variación es mucho menos pronunciada y con una dinámica mucho más lenta que otras variables meteorológicas. De forma general la temperatura del agua de red se eleva en los meses de verano y disminuye en los meses de invierno.

Como en otros casos se pueden encontrar diversas fuentes estadísticas de esta condición de contorno. Entre todas ellas destacamos el CTE (Ministerio de Fomento, 2007) que en su Documento Básico de Ahorro de Energía apartado 4 apéndice B incluye la temperatura media mensual de agua fría para las distintas capitales de provincia española.

A parte de la temperatura de agua fría, también es importante determinar la temperatura de consumo o confort de los usuarios. Esta temperatura depende

fundamentalmente de la aplicación para la que se demande el agua caliente. En el ámbito doméstico y para consumo de personas para higiene y salubridad, la temperatura de confort no suele llegar a los 40°C. Entre 25 y 30°C se suele percibir como agua tibia, y puede ser demanda en periodos estivales.

La temperatura a la que se acumula el agua en el depósito suele ser más elevada para disponer de una mayor acumulación de energía en un espacio reducido. Del mismo modo también se suele distribuir por la red interna a una mayor temperatura que la de consumo para finalmente regularla en los grifos.

6.4. Condiciones climáticas para la simulación

Las condiciones climáticas representan todas aquellas variables de interés para el modelo y la simulación relacionadas con la climatología del lugar donde se sitúa la instalación. La temperatura seca o la irradiación son dos variables climáticas de gran importancia en este tipo de sistemas porque de ellas depende en gran parte el rendimiento del sistema. Aunque existen otras variables climáticas con cierta importancia como la velocidad del viento o la temperatura efectiva del cielo, estas no son incluidas en las condiciones de contorno para la simulación pues los modelos implementados no las contemplan para describir el comportamiento.

Las variables climáticas de una determinada zona son representadas por valores estadístico descriptivos como las medias diarias en un mes, las medias anuales o los percentiles. En general es sencillo disponer de estos datos pero resultan poco útiles pues en una simulación dinámica se necesita un valor representativo de períodos de tiempo más cortos que días o meses.

Un primer planteamiento para solventar este inconveniente puede ser el generar señales con un mayor grado de discretización a partir de los datos estadísticos. La complejidad de esta solución radica en que las señales resultantes no modelen correctamente la dinámica climatológica (saltos bruscos en variables, etc.) o sean señales muy correlacionadas. De esta forma se buscaron fuentes de datos climatológicos con mayor información dinámica encontrando en este sentido las bases de datos meteorológicas horarias.

Las bases de datos horarias disponen la información climatológica de una determinada zona o punto geográfico hora por hora. Al igual que pasaba con los datos estadísticos se deberá adaptar la información horaria a las características propias de la simulación dinámica, aunque en el caso de datos horarios se puede considerar que de forma general la dinámica meteorológica no cambia tan bruscamente durante una hora. Como ejemplo se puede exponer que la temperatura seca ambiental no varía de forma excesiva (2 o 3 grados) cada hora en condiciones normales. El error cometido suponiendo una transición suave entre durante esa hora es menos determinante que si solo se partiese de la temperatura media diaria.

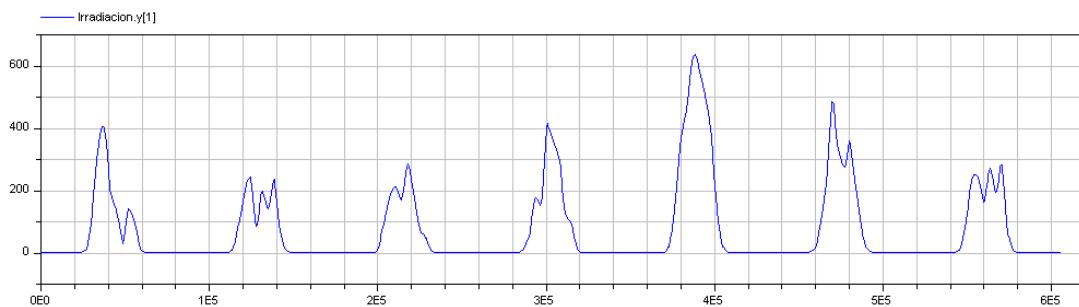


Figura 6.5. Irradiación total sobre una superficie inclinada durante una semana en una determinada zona climática.

Las bases de datos meteorológicas horarias son utilizadas por las herramientas de simulación horaria y en general son fácilmente accesibles. El principal problema que presenta su utilización es el formato de los datos. No existe un formato estándar y se pueden encontrar diferentes formatos en función de la herramienta que los ha generado o que los utilice. Entre los formatos más utilizados está el EnergyPlusWeather (.epw), formato específico para datos climatológicos del motor de simulación horaria EnergyPlus desarrollada por el Departamento de Energía (DoE) estadounidense. Este formato está bien documentado y es ampliamente utilizado, aunque resulta difícil de manejar la información que contiene sin algún tipo de interfaz que la traduzca.

Otra fuente de información climatológica con base horaria es el Código Técnico de la Edificación español (CTE). Esta legislación incluye las bases de datos para climas de referencia a nivel nacional. Esta información está pensada para su uso en las herramientas reconocidas de certificación energética entre otras y están disponibles en archivos .met. Este tipo de archivos resultan

sencillos para el tratamiento de la información que contiene pues son básicamente archivos de texto con datos separados por espacios en columnas. En el caso que nos ocupa, se ha decidido utilizar esta fuente de información por ser fácil de manipular y por estar reconocida a nivel nacional.

Irradiación solar sobre una superficie inclinada

La irradiación solar es la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética procedente del Sol. La irradiación solar como variable meteorológica puede caracterizar el clima de una determinada región. Zonas con mayor irradiación media anual disponen de temperaturas medias más elevadas durante el año y tienen disponible un mayor nivel de energía de libre disposición en forma de radiación solar. La instalación solar aprovechará esta energía para calentar el agua de consumo sanitario de los correspondientes usuarios. Teniendo en cuenta este aspecto la irradiación solar en una determinada zona será una condición de contorno esencial para el funcionamiento de la instalación y su precisa determinación afectará en gran medida a la precisión de la simulación.

La irradiación incidente sobre una superficie puede ser fundamentalmente de dos tipos, directa o difusa. Como se ha visto en el Capítulo 3 el comportamiento del captador solar térmico puede variar en cierto grado en función de las magnitudes de ambos tipos de irradiación por efectos ópticos como los reflejos. Aunque en el nivel de desarrollo de los modelos este comportamiento se simplificará disponiendo únicamente una irradiación total como suma de ambas componentes.

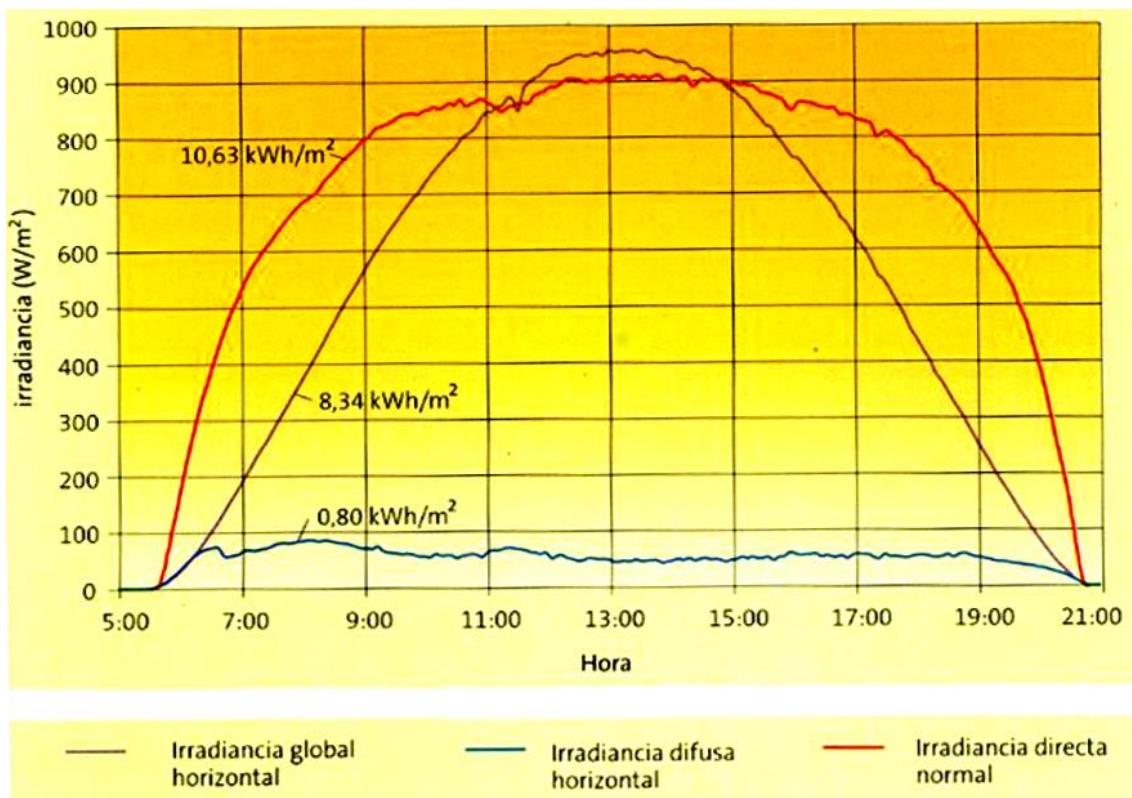


Figura 6.6. Distribución temporal de los distintos tipos de irradiancia en un día despejado.

La irradiación solar a lo largo de veinticuatro horas varía en gran medida como puede observarse en la Figura 6.6. En los períodos de noche la irradiación es nula y durante el día la irradiación crece hasta el mediodía y decrece después hasta de nuevo ser nula durante la noche. En este sentido cabe destacar el fuerte aspecto geométrico que dispone esta variable, sobre todo la componente de irradiación directa. La orientación e inclinación de la superficie expuesta permitirán aprovechar en mayor o menor grado dicha irradiación durante las horas del día. El actual modelo del captador solar no incluye la determinación de este aspecto con lo que inicialmente se deberán incluir en la propia definición de la irradiación horaria estos aspectos geométricos. Para ello se ha utilizado el factor de corrección k para superficies inclinadas (IDAE, 2009), método reconocido y ampliamente utilizado. De esta forma se ha corregido el valor de irradiación solar incidente de cada hora de un determinado mes con el factor k correspondiente a una latitud geográfica del lugar de la instalación y de la inclinación respecto al suelo del captador. Respecto a esta corrección cabe destacar que se es consciente de que existen métodos mucho más precisos

basados en aspectos geométricos, aunque de mayor complejidad en su desarrollo y validación.

Por otro lado también se debería de tener en cuenta otro factor como son las sombras por elementos externos al captador (otros edificios, obstáculos, etc.). Este factor también es puramente geométrico y requiere un estudio detallado de la escena que rodea en campo de captación. La determinación del factor puede resultar muy complejo y se ha considerado incluirlo como otra condición más de contorno, que en este caso está relacionada íntimamente con la componente directa de la irradiación. Este planteamiento conlleva precalcular el efecto de las sombras sobre la irradiación directa incidente en la superficie de captación e introducirlo en el modelo en forma de tabla de datos. Puede resultar interesante realizarlo de esta forma frente a incorporar estos aspectos en el modelo, pues la simulación el precálculo que puede realizar por algún software específico para esta aplicación y del mismo modo se puede liberar carga computacional en la simulación.

Temperatura seca exterior

La temperatura seca es una variable termodinámica que en el ámbito de la climatología permite caracterizar zonas climáticas. Esta variable está íntimamente ligada a la irradiación solar aunque de forma general son consideradas independientes. La temperatura seca representa el nivel térmico ambiental en condiciones exteriores. De esta forma los elementos de la instalación que estén situados en ambientes externos estarán afectados por esta variable, como por ejemplo los captadores solares térmicos. La dinámica de la temperatura seca a lo largo de un día no suele ser brusca generalmente, produciéndose una transición suave a lo largo del día.

La temperatura seca es una condición de contorno a introducir en el modelo que se determinará a partir de datos estadísticos o toma de datos directa. De la precisión de esta información de partida dependerá la fidelidad del modelo con la realidad, siendo importante disponer de fuentes de información contrastadas y que dispongan de información representativa. Para este trabajo se ha partido de fuentes de información reconocidas que describen condiciones

climáticas de referencia. Este tipo de información es ampliamente utilizado por diversas herramientas de simulación. Se ha considerado que la variación de estos valores de referencia frente a otros reales no representará un error considerable para fines estacionales. Puede resultar interesante profundizar en estos aspectos, aunque se va más allá del alcance de los trabajos del proyecto.

6.5. Simulación de sistema solar térmico doméstico individual

Ya se han descrito a lo largo del presente documento varios aspectos característicos de los sistemas solares térmicos. La aplicación de estos sistemas en el ámbito doméstico no requiere de un esquema excesivamente complejo y se configura como un sistema básico. Es por esta razón por la que se ha puesto como objetivo inicial modelar un sistema básico que permita por un lado desarrollar los equipos y elementos fundamentales de este tipo de sistemas y por otro comprobar la aplicación de las técnicas de simulación con Modelica a un caso con menos complejidad.

El modelo del sistema solar térmico ha ido evolucionando a medida que se desarrollaban los modelos de los diferentes equipos. Se empezó con un modelo más sencillo una vez se habían implementado correctamente el captador solar y el depósito de acumulación. A medida que se desarrollaban nuevos modelos o se obtenían las condiciones de contorno, el modelo crecía en complejidad y precisión. Finalmente se integran casi todos los elementos desarrollados en un modelo que representa un sistema solar doméstico básico. El diagrama final del modelo de la instalación solar térmica se puede observar en la Figura 6.7. En el encontramos gran parte de los equipos térmicos modelados y validados en fases anteriores y las conexiones entre ellos.

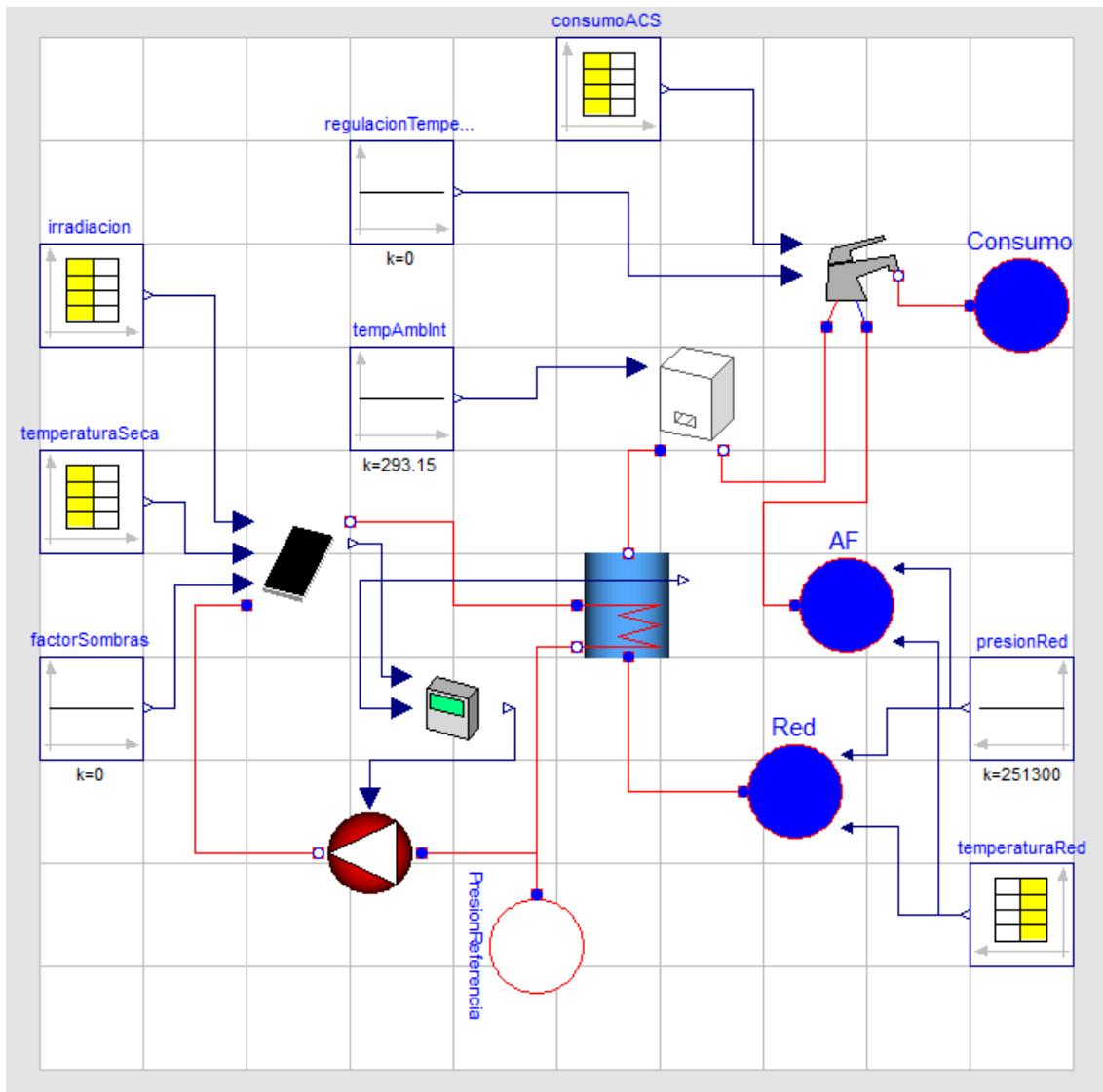


Figura 6.7. Diagrama de Dymola del modelo del sistema solar térmico

El modelo de la instalación se ha simulado para un año y se han obtenido los datos a intervalos de un segundo durante todo el año. El tiempo de computación no resulta elevado teniendo en cuenta el gran número de ecuaciones que presenta el sistema y el periodo temporal tan largo. Se ha observado que los modelos que presentan estructura regular y sobre todo los que contienen modelos de depósitos presentan una mayor lentitud en el cálculo. Esto puede ser debido a un modelado poco eficiente que genere problemas stiff.

Este tipo de simulaciones generan gran cantidad de datos que hay que tratar y analizar. Los entornos de modelado y simulación no suelen incluir herramientas de tratamiento y análisis avanzado de los resultados, con lo que se plantea utilizar una herramienta distinta para ello. Aunque simplemente de

manera gráfica la salida de la simulación te puede indicar bastantes aspectos del comportamiento en conjunto de la instalación. En la Figura 6.8 se puede observar cómo evoluciona la temperatura del captador (azul) a lo largo de varios días de invierno. Se puede observar su dependencia de la irradiación y cómo se produce el proceso de aumento de temperatura en la parte alta del depósito (magenta). Por último también se observa que la caldera suele encenderse elevando su temperatura (verde) para apoyar el sistema solar.

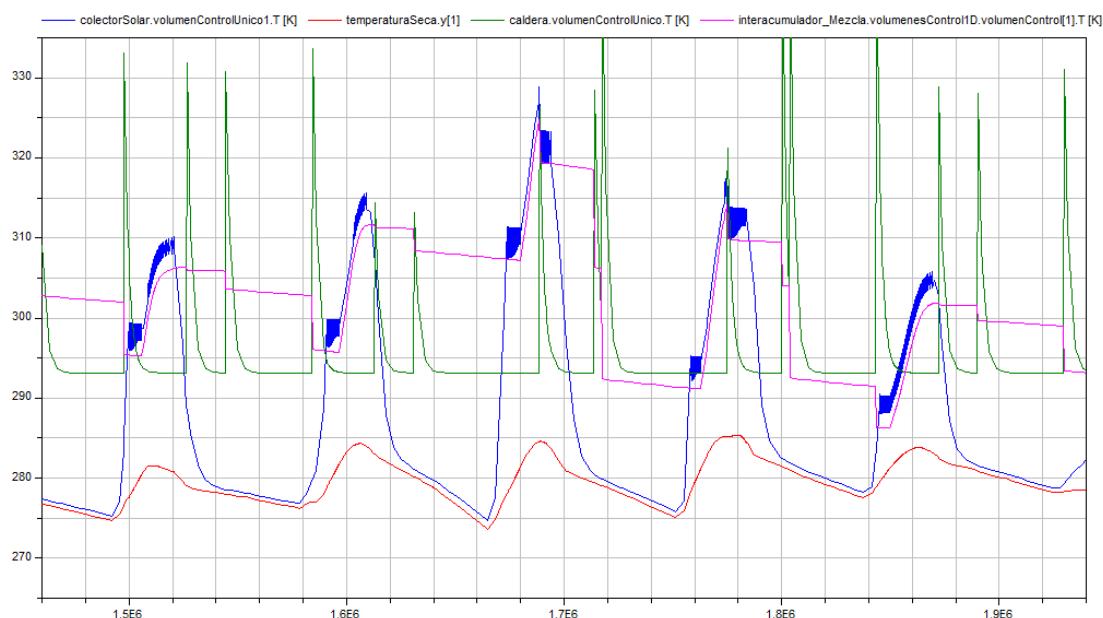


Figura 6.8. Distribución temporal de temperaturas de diversos elementos de la instalación para una determinada simulación.

Rendimiento estacional del sistema

Como ejemplo de aplicación se ha realizado la simulación del modelo de instalación solar térmica durante un determinado periodo de tiempo. En este sentido cabe destacar que Dymola permite comenzar las simulaciones en determinados periodos de tiempo, pudiendo simular días, semanas o meses a lo largo del año sin tener que simular todo el año. En la Figura 6.9 se puede observar cómo evoluciona este aspecto fundamental de la instalación a los largo de varios días.

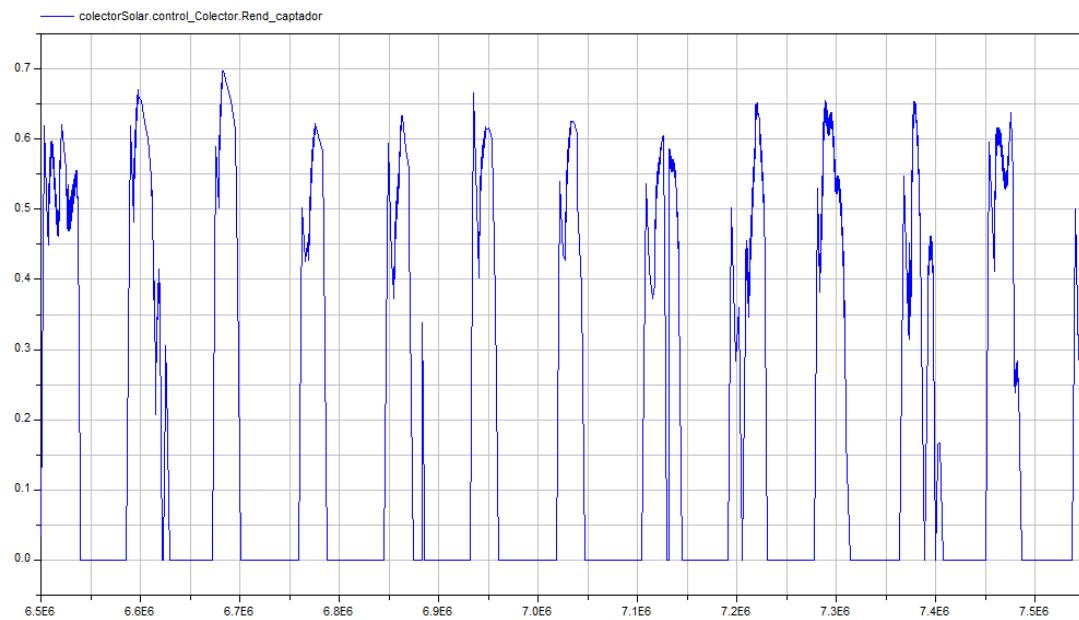


Figura 6.9. Evolución temporal del rendimiento del captador durante un periodo de tiempo.

La determinación de un rendimiento estacional o durante un periodo de tiempo permite poder comparar distintos tipos de captadores solares y determinará cuál de ellos se adapta mejor a las condiciones específicas de la instalación (climatología, ubicación, etc.). También permite obtener información sobre valores típicos de esta variable de cara a cálculos más generales y rápidos. Por otro lado dispone de una utilidad didáctica pues permite ver cómo evoluciona esta variable a lo largo del día.

Mejora de los parámetros de control

Otro aspecto a destacar dentro de las aplicaciones de las simulaciones sería establecer las estrategias de control adecuadas. Como ejemplo se plantea simular el modelo para las mismas condiciones de contorno pero variando los parámetros de control de la centralita solar. Se pretende determinar qué parámetros son los más adecuados para unas determinadas condiciones climáticas o perfiles de demanda. Esto requiere realizar varias simulaciones y luego tratar y analizar los datos en conjunto. En este sentido se puede destacar que es posible lanzar distintas simulaciones y parametrizables mediante interfaces de comunicación con el entorno de modelado. Este es un punto de gran interés para la operatividad de la aplicación y se pretende estudiarlo en profundidad de cara a futuros trabajos.

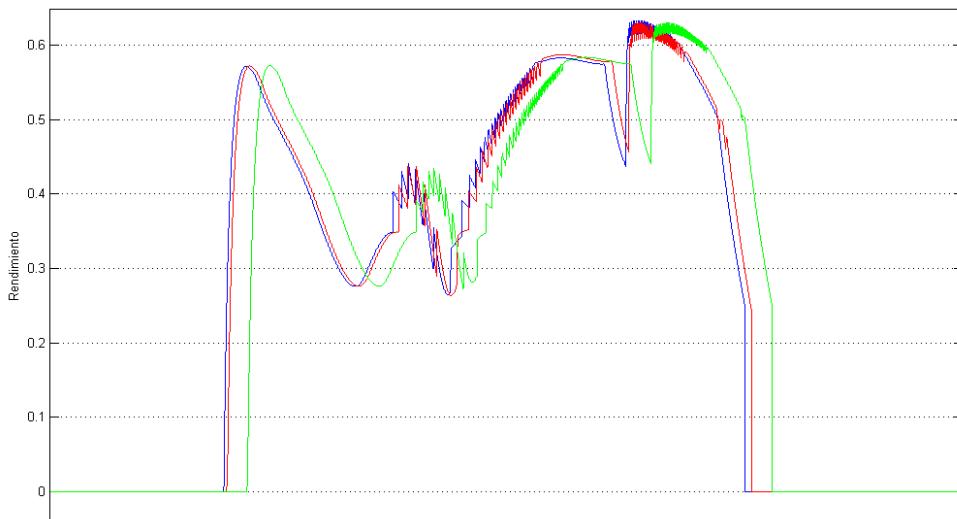


Figura 6.10. Curvas de rendimiento para distintos parámetros de control.

En la Figura 6.10 se muestra cómo varían las distintas curvas de rendimiento en función de los parámetros de configuración del controlador solar. En la Tabla 6.2 se indican los valores medios diarios de rendimiento del captador para una determinada semana de mayo. Se puede observar que el rendimiento medio en un día varía en función del parámetro configurados, aunque en general las variaciones no son significativas a lo largo de toda la semana.

Tabla 6.2. Tabla resumen rendimientos medios para distintas configuraciones de la centralita solar.

Día \ Rend. medio	$\Delta T_{ON}-\Delta T_{OFF}$ 4-1 (azul)	$\Delta T_{ON}-\Delta T_{OFF}$ 6-2 (rojo)	$\Delta T_{ON}-\Delta T_{OFF}$ 4-2 (verde)
Lunes	53,13%	52,91%	53,04%
Martes	49,97%	50,12%	50,17%
Miércoles	51,13%	51,02%	51,21%
Jueves	44,33%	43,88%	44,15%
Viernes	42,11%	41,74%	41,97%
Sábado	46,62%	46,63%	46,72%
Domingo	50,97%	49,81%	50,67%
Semana	47,82%	47,45%	47,72%

Como conclusión inicial se puede obtener que la modificación de los parámetros de control en un rango común de utilización, no implican una mayor eficiencia significativa en el funcionamiento de la instalación. Se podría profundizar mucho más en estos aspectos pues se podrían analizar estos hechos para distintos perfiles de consumo o para distintas climatologías y tratar de correlacionar estos datos. Estas tareas quedarían fuera del alcance inicial del trabajo pues éste se centra en el modelado y simulación.

6.6. Conclusiones

Como conclusión a este capítulo se destacan los aspectos relacionados con la determinación de las condiciones de contorno y las posibles aplicaciones de la librería en el estudio de las instalaciones solares térmicas.

Establecer las condiciones de contorno para una simulación de estas características requiere de una labor importante de búsqueda de información y tratamiento adecuado de los datos. Se dispone de muchas fuentes de información sobre todo relacionadas con la legislación y normativa. La problemática fundamental de utilizar dichas fuentes está en su tratamiento adecuado para que la simulación dinámica reproduzca correctamente las condiciones. Esto es debido a que en muchos casos se dispone de información estadística de un determinado periodo, que no representará lo que pasa en un instante determinado de cara a una simulación dinámica.

Por otro lado se han realizado varias simulaciones del modelo de instalación solar térmica doméstica para determinados periodos temporales a lo largo del año. Una vez definidas las condiciones de contorno correspondientes y simulado el modelo se parte de los datos obtenidos en la simulación para utilizarlos con diferentes objetivos. La determinación del rendimiento medio del captador bajo ciertas condiciones de contorno es una aplicación que permite determinar el comportamiento del mismo. Además se ha podido observar cómo varía el funcionamiento del captador al cambiarle los parámetros de control. Estos estudios nos dan una idea de la potencial aplicación de estas técnicas para el estudio de instalaciones térmicas.

7

Conclusiones y trabajos futuros

7.1. Conclusiones

Las conclusiones más relevantes que se extrapolan del trabajo realizado son las siguientes:

- Existen diferentes herramientas para el estudio del comportamiento de instalaciones solares térmicas a lo largo de un periodo de tiempo. Muchas de las herramientas ampliamente utilizadas presentan una serie de desventajas que hacen que su aplicación sea limitada en muchos sentidos. La simulación dinámica como herramienta de diseño y evaluación es menos utilizadas pero dispone de una aplicación potencial mucho mayor.
- Entre todas las herramientas de simulación dinámica se ha destacado el lenguaje Modelica. Este lenguaje permite realizar modelos de sistemas físicos de forma acausal simplificando el proceso de desarrollo en gran medida. También está orientado a objetos lo que permite un alto grado de reutilización de modelos. El lenguaje en conjunción con un entorno de modelado permite generar librerías de modelos de forma estructurada y con gran versatilidad. Este hecho se refleja en el gran número de librerías de distintos ámbitos disponibles en muchos casos de forma libre y gratuita.

- Como comienzo del proceso de implementación de modelos de equipos reales es imprescindible estudiar su comportamiento físico y los fenómenos asociados a este comportamiento. En general se dispone de gran cantidad de información sobre equipos térmicos destacando además toda la documentación publicada por fabricantes y distribuidores. El modelo de cada equipo se regirá por una serie de ecuaciones matemáticas e hipótesis que conformarán su comportamiento de cara a una simulación. Teniendo en cuenta todos estos aspectos se ha estudiado toda la información de los equipos que pueden configurar una instalación solar térmica y se ha plasmado este estudio en el capítulo correspondiente.
- Todos los modelos desarrollados han sido agrupados en una librería llamada Soltermica. Los distintos equipos se han estructurado en paquetes correspondientes a familias y se han incorporado otros paquetes que incluyen modelos de menor nivel como fenómenos de transferencia de calor o de mayor nivel como las propias instalaciones como conjunto organizado de equipos.
- Además del propio modelo del equipo cada paquete incluye ejemplos de funcionamiento que simulan situaciones experimentales con el fin de validar el comportamiento del mismo. También se han incluido un conjunto de clases *record* donde se especifican las características de los equipos comerciales.
- El desarrollo de cada uno de los modelos ha seguido un proceso desde su implementación inicial hasta la validación del mismo. La implementación inicial de los modelos es seguida por una serie de simulaciones experimentales para comprobar su comportamiento esperado. Posteriormente y una vez el comportamiento del modelos bajo determinadas condiciones es adecuado se ha trata de racionalizar en mayor grado el modelo. En esta fase se identifican aquellos aspectos potencialmente reutilizables en otros modelos o a reutilizar en el mismo. Finalmente se encapsulan los aspectos paramétricos de

los modelos generando una biblioteca de equipos comerciales que facilitan un modelado más rápido y eficiente.

- Entre los aspectos destacables en la racionalización del modelo se encuentra el proceso de discretización espacial del mismo. Los modelos formados estructuras regulares de elementos permiten planteamientos más flexibles a la hora de modelar fenómenos complejos. Varios de los equipos han sido discretizados espacialmente pudiendo determinar el grado de segmentación en función de las necesidades de la simulación.
- Se han aplicado los diferentes modelos de equipos desarrollados para modelar y simular instalaciones solares térmicas en un ámbito doméstico. Con el objeto de ganar mayor fidelidad en las simulaciones y aprovechar las características propias de la simulación dinámica se han estudiado las condiciones de contorno más relevantes. Estas condiciones de contorno se han obtenido de diferentes fuentes de información que van desde la normativa y legislación hasta estudios propios. Los datos obtenidos han sido tratados para su introducción adecuada en el modelo.
- Se ha aplicado la técnica de simulación dinámica al estudio del comportamiento de sistemas solares térmicos durante un periodo de tiempo determinado. Se ha obtenido la distribución temporal del rendimiento del captador a lo largo de una semana, pudiendo comprobar el adecuado funcionamiento del equipo en ese periodo. Por otro lado se han comparado los rendimientos obtenidos por la instalación solar variando los parámetros de los equipos de control. Como conclusión final en este aspecto se observa que la variación de los parámetros configurables en la centralita afectan de poco significativa al rendimiento. Estos ejemplos dan una idea inicial del potencial que puede ofrecer la herramienta seleccionada.

Como conclusión final se considera que el planteamiento del problema inicial ha resultado excesivamente complejo por varios motivos. El gran número

de elementos a modelar en una instalación solar térmica o la complejidad en los fenómenos implicados como en caso de la estratificación son algunos de los numerosos aspectos solventados durante el desarrollo. Esto se ha traducido en un trabajo amplio que incorpora varios ámbitos de la técnica aunque se ha enfatizando el uso de las capacidades del lenguaje Modelica.

7.2. Trabajos futuros

Derivado del trabajo realizado y sus conclusiones se plantean a continuación una serie de líneas de trabajo futuro:

- Modelar nuevas configuraciones de sistemas solares térmicos en distintos ámbitos como comunidades de vecinos, hoteles u otros ámbitos dónde se pueda utilizar la energía solar térmica para generar agua caliente.
- Incluir en los modelos variables que permitan estudiar su comportamiento a lo largo de determinados periodos de tiempo. En este sentido también se pretende aumentar la legibilidad en el código generado y en la propia estructura general de la librería.
- Modelar nuevos equipos y fenómenos físicos que permitan mejorar aspectos no modelados y la fidelidad de las simulaciones. La evaluación de pérdidas de distribución y acumulación, los fenómenos de dilatación o los cambios de fase de los fluidos pueden ser algunos aspectos a trabajar en esta línea.
- Gestionar el desarrollo de la librería actualizándola de manera regular.
- Impulsar el uso de la librería para su aplicación en el ámbito de la eficiencia energética (estudios viabilidad, etc.) o en el ámbito didáctico (simuladores de equipos, etc.).

Como se puede observar el recorrido del trabajo puede ser mucho más amplio que un proyecto de carácter meramente académico. La intención general es seguir con el desarrollo de la librería y aplicarla a casos de estudio reales.

Lista de referencias y bibliografía

- AiguaSol. (2014). *Sitio web AiguaSol*. Obtenido de <http://aiguasol.coop/>
- ATECYR. (2008). *Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios*. IDAE. Obtenido de www.idae.es
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. WILEY.
- GRUNDFOS. (2014). Sitio web del fabricante de equipamiento Grundfos. Obtenido de es.grundfos.com/
- IDAE. (2009). *Instalaciones de Energía Solar Térmica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*. Obtenido de <http://www.idae.es>
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2011). *Introduction to Heat Transfer*. Wiley.
- Klein, S. A., Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1976). TRNSYS: A transient simulation program. (82), 623-633.
- Klein, S. A., Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1977). *Solar Heating Design By the F-Chart Method*. WILEY.
- LAPESA. (2014). *Sitio web de la empresa LAPESA*. Obtenido de <http://www.lapesa.es>
- Ljubijankic, M., Löffler, M., Nytsch-Geusen, C., & Rädler, J. (2011). Numerical coupling of Modelica and CFD for building energy supply systems. Dresden, Alemania.
- M. CONDE ENGINEERING. (2011). Thermophysical properties of brines. Models. Zurich. Obtenido de <http://www.mrc-eng.com/>
- Mattsson, S. E. (1997). On modeling of heat exchangers in Modelica. *9th European Simulation Symposium*. Passau, Alemania.
- Ministerio de Fomento. (2007). *Código Técnico de la Edificación*. Legislación española relativa a instalaciones. Obtenido de www.codigotecnico.org
- Modelica Association. (2014). *Sitio web de Modelica Association*. Obtenido de <https://www.modelica.org>
- Nytsch-Geusen, C. (2014). BuildingSystems. Alemania. Obtenido de <http://www.modelica-buildingsystems.de>
- Otter, M., & Casella, F. (2009). Overview and Rationale for Modelica Stream Connectors. Obtenido de <https://svn.modelica.org/>
- SALVADOR ESCODA. (2014). Sitio web Salvador Escoda. Obtenido de <http://www.salvadorescoda.com/>
- Urquía Moraleda, A., & Martín Villalba, C. (2011). *Modelado orientado a objetos y simulación de sistemas físicos*. Madrid: Dpto. Informática y Automática, ETS Ingeniería Informática, UNED.

Lista de referencias y bibliografía

- Viti, A. (1996). *DTIE 1.01 Preparación de agua caliente para usos sanitarios.* (ATECYR, Ed.) Madrid, España.
- Wetter, M. (2014). Modelica Buildings Library website. USA. Recuperado el 2 de 5 de 2014, de <http://simulationresearch.lbl.gov/modelica>
- White, F. M. (2003). *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill.

Listado siglas, abreviaturas y acrónimos

ACS	Agua Caliente Sanitaria
OM	OpenModelica
IAM	Incidence Angle Modificator
PFM	Proyecto de Fin de Máster
TRNSYS	TRAnsient SYstems Simulation
IDAE	Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético
ATECYR	Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración
OSMC	Open Source Modelica Consortium
DAE	Differential Algebraic Equation
MSL	Modelica Standard Library
UNED	Universidad Nacional de Educación a Distancia
LMTD	Logarithm Mean Temperature Difference
CFD	Computer Fluid Dynamics
DIA	Departamento de Informática y Automática
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
UNE-EN	Una Norma Española – European Norm
CTE	Código Técnico de la Edificación
DoE	Department of Energy
SI	Sistema Internacional
MATLAB	MATrix LABoratory

Tablas de símbolos

Símbolo	Descripción	Unidades
z	Cota o altura media del fluido	m
v	Velocidad del fluido	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
ρ	Densidad del fluido	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
P	Presión	Pa
g	Fuerza de la gravedad	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
\dot{V}	Caudal volumétrico circulante	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
A	Sección transversal de la conducción	m^2
dP	Caída de Presión	Pa
ΔP_{CIR}	Aumento presión generada por el circulador	Pa
η_{CIR}	Rendimiento circulador	
P_{ELEC}	Potencia eléctrica consumida	W
η_{CAP}	Rendimiento del captador solar	
η_0	Rendimiento óptico del captador solar	
a_{1CAP}	Coeficiente primario de pérdidas del captador solar	$\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$
a_{2CAP}	Coeficiente secundario de pérdidas del captador solar	$\text{W}\cdot\text{K}^{-2}\cdot\text{m}^{-2}$
T_m	Temperatura media del captador solar	K
T_a	Temperatura ambiente	K
G	Irradiación solar incidente en el captador	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
θ	Ángulo de incidencia	º
$K_{\theta b}$	Modificador del ángulo de incidencia	-
b_0	Coeficiente del modificador del ángulo de incidencia	-

Tablas de símbolos

\dot{Q}_{INT}	Calor intercambiado por los fluidos del intercambiador	W
\dot{m}	Caudal mísico	$\text{Kg}\cdot\text{s}^{-1}$
c_p	Calor específico del correspondiente flujo	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
$T_{INT\ IN}$	Temperatura de entrada del fluido en el lado correspondiente	K
$T_{INT\ OUT}$	Temperatura de salida del fluido en el lado correspondiente	K
A_{INT}	Área efectiva del intercambiador	m^2
U_{INT}	Coeficiente global de transmisión de calor	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
ε_{INT}	Eficiencia del intercambiador	-
$\dot{Q}_{MÁX}$	Flujo calor máximo intercambiable	W
η_{CALD}	Rendimiento instantáneo caldera	-
PC_{COMB}	Poder calorífico del combustible	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
\dot{V}_{VALV}	Caudal volumétrico circulante por la válvula	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
K_V	Coeficiente de caudal de la válvula	-
ΔP_{VALV}	Caída de presión en la válvula	Pa
γ	Peso específico del fluido de referencia	$\text{N}\cdot\text{m}^{-3}$

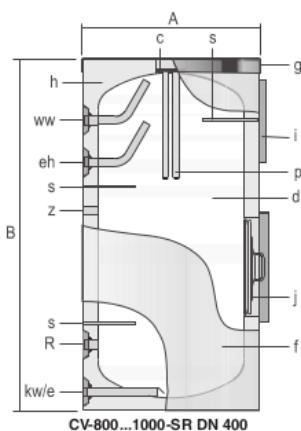
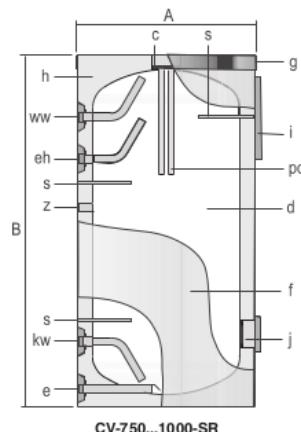
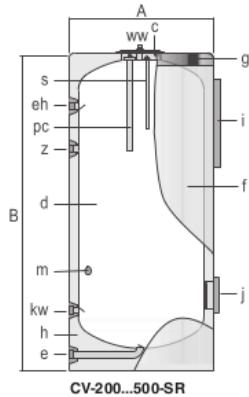
A Documentación técnico-comercial equipos

En este apéndice se incluye parte de la documentación relativa a equipos térmicos que se ha utilizado para el desarrollo del trabajo. Se incluyen extractos de catálogos comerciales, manuales técnicos o informes de ensayo de fabricantes y distribuidores de equipos térmicos. En esta documentación podemos extraer no solo las especificaciones propias de los equipos sino que se puede obtener información sobre el propio funcionamiento de los equipos. Se ha considerado adecuado incorporar esta documentación en el apéndice para ilustrar la documentación e información de partida que se ha utilizado para el modelado de los equipos.

01 ACUMULADORES SOLARES

IDROGAS

• Serie especial “sin serpentín”



Código	Artículo	€
CC 01 749	CV 200 SR	927,00
CC 01 750	CV 300 SR	1.097,00
CC 01 751	CV 500 SR	1.575,00
CC 01 752	CV 750 SR	1.994,00
CC 01 753	CV 1000 SR	2.279,00
CC 01 754	CV 800 SR DN400	2.303,00
CC 01 755	CV 1000 SR DN 400	2.587,00



Depósito para acumulación de agua caliente sanitaria (y/o agua fría), con capacidades desde 200 hasta 1000 litros. Fabricado en acero vitrificado S/DIN 4753. Preparado para la producción de agua caliente sanitaria a través de intercambiador de placas y/o resistencias eléctricas de calentamiento. Aislado térmicamente con espuma rígida de poliuretano inyectado en molde, libre de CFC.

En los modelos de 800 y 1000 litros las conexiones de salida de agua caliente y recirculación se sitúan en el lateral del depósito para facilitar así la instalación.

Su diseño permite desmontar el aislante térmico en los laterales facilitando así su paso en entradas con dimensiones reducidas.

Todos los modelos incorporan termómetro para el A.C.S. situado en el panel de control.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Modelo	CV 200 SR	CV 300 SR	CV 500 SR	CV 750 SR	CV 1000 SR
Capacidad de A.C.S.	l	200	300	480	795
Temp. máx. depósito de A.C.S.	°C	90	90	90	90
Presión máx. depósito de A.C.S.	bar	8	8	8	8
Peso en vacío (aprox.)	Kg	70	90	130	170
Dimensiones					
cota A	mm	620	620	770	950
cota B	mm	1205	1685	1690	1840
					2250

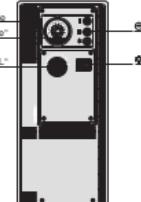
• Resistencias de apoyo

Código	Pot. kW	Tipo	Modelo depósito (capacidad)					Componentes	€
			M1S	M1P	M2P	SR	DN 400		
CC 01 711	1,5	Cerámica (boca)	80 a 300	—	—	—	—	resistencia, termostato y accesorios	76,00
CC 01 781	1,5	Cerámica (boca inferior)	—	150	—	—	—	resistencia, termostato y accesorios	145,00
CC 01 782	2,5	Roscada (1-1/2")	—	300 a 300 a 1000	1000	—	800 a 1000	resistencia roscada, manguito dielectro y panel TD	377,00
CC 01 783	5	Roscada (1-1/2")	—	500 a 500 a 1000	1000	—	800 a 1000	TD	495,00
CC 01 784	2,5	Boca (bridada)	—	200 a 300 a 200 a 1000	1000	1000	—	resistencia bridada, junta, accesorios y panel TD	445,00
CC 01 785	5	Boca (bridada)	—	—	500 a 200 a 1000	1000	—	resistencia bridada, junta, accesorios y panel TD	570,00

Panel de control

Adecuado para instalaciones donde el propio depósito acumulador ejerce el control sobre la producción de A.C.S. por circuito de caldera (posición), o por calentamiento eléctrico (posición).

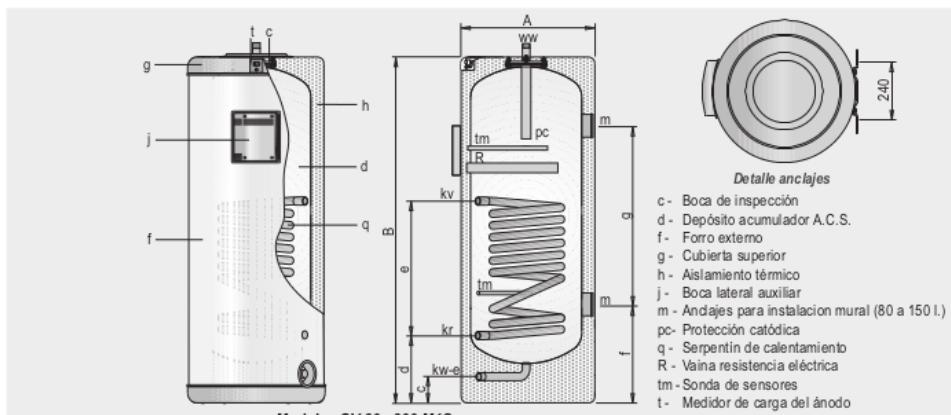
Para resistencias mayores de 2,5 kW, la resistencia se conectará a un contactor exterior controlado por el Panel de Control.



Depósitos de 80 a 300 litros para energía solar distribuida

lapesa

para producción y acumulación de A.C.S.



Descripción

Depósitos para producción y acumulación de agua caliente sanitaria con serpentín. Fabricados en **acero vitrificado, s/DIN 4753**.

Capacidades:

-Para instalación mural y vertical sobre suelo: **80, 110 y 150 litros**. Incluyen soportes murales.

-Para instalación vertical sobre suelo: **200 y 300 litros**.

Incorporan de serie protección catódica con ánodo de magnesio y medidor de carga. Aislados térmicamente con espuma de PU inyectado en molde, libre de CFC y acabado exterior con forro acolchado desmontable, blanco RAL 9016 y cubiertas en gris RAL 7035.

Además de la vaina superior correspondiente al alojamiento del termostato, todos los modelos van equipados con una segunda vaina en la parte inferior del depósito acumulador, para la utilización de una sonda diferencial, como elemento regulador en combinación con los colectores solares. Las conexiones hidráulicas del depósito acumulador, tanto para el serpentín como para el circuito secundario de ACS, están dispuestas para facilitar al máximo la instalación del depósito dentro de armarios, donde el espacio es especialmente reducido.

Suministro

El depósito se suministra completamente acabado, probado y con todos los componentes montados.

El conjunto va embalado en caja de cartón reforzado y fijado a palet de madera no retomable (pág. 65).

Suministro opcional

KIT resistencia eléctrica. Compuesto por resistencia eléctrica cerámica, termostato de bulbo rígido omnipolar de regulación y seguridad y el correspondiente cableado y protecciones.

Dimensiones / Conexiones

	CV-80-M1S	CV-110-M1S	CV-150-M1S	CV-200-M1S	CV-300-M1S	
Capacidad de A.C.S.	litros	80	110	150	200	300
Temperatura máxima depósito de A.C.S.	°C	90	90	90	90	90
Presión máxima depósito de A.C.S.	bar	8	8	8	8	8
Temperatura máxima circuito de calentamiento	°C	200	200	200	200	200
Presión máxima circuito de calentamiento	bar	25	25	25	25	25
Superficie de intercambio circuito de calentamiento	m ²	0.3	0.5	0.6	0.8	1.3
Superficie de captador máxima recomendada	m ²	1.5	2	3	4	6
Peso en vacío (aprox.)	Kg	43	51	65	72	91
kw-e: Entrada agua fría / desagüe	"GASM	3/4	3/4	3/4	1	1
ww: Salida A.C.S.	"GASM	3/4	3/4	3/4	1	1
sv: Avance solar	"GASH	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
sr: Retorno solar	"GASH	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
Cota A: Diametro exterior	mm	480	480	560	620	620
Cota B: Longitud total	mm	935	1155	1265	1205	1685
Cota c:	mm	110	110	120	85	85
Cota d:	mm	325	325	350	325	325
Cota e:	mm	280	400	440	480	720
Cota f: (+/-5)	mm	350	350	370	-	-
Cota g: (+/-5)	mm	365	585	735	-	-

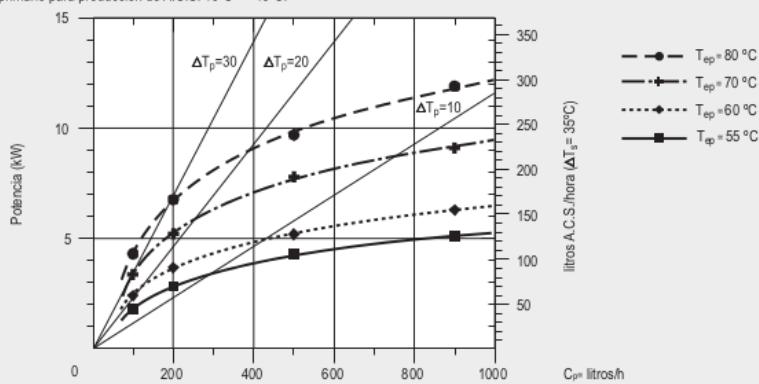
A. Documentación técnico-comercial equipos

Curvas características

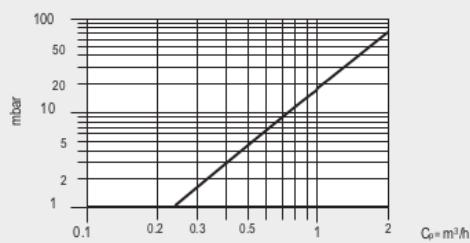
lapesa

Modelos: CV-80-M1S

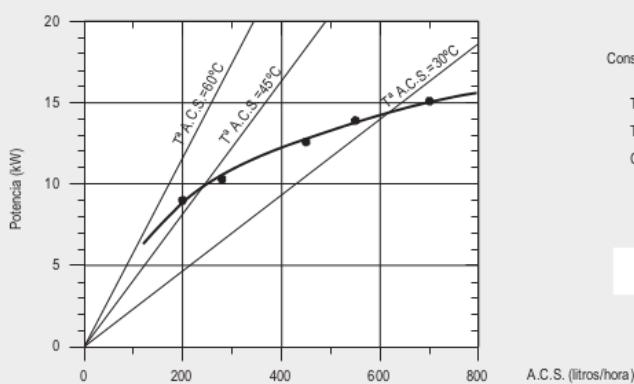
Curvas de potencia para diferentes caudales y temperaturas de circuito primario para producción de A.C.S. $10^{\circ}\text{C} \rightarrow 45^{\circ}\text{C}$.



Pérdidas de carga entre conexiones de entrada y salida de circuito primario para diferentes caudales de circulación.



Curvas de producción continua de A.C.S. a diferentes temperaturas y caudal del circuito primario predeterminado para $\Delta T_p = 20^{\circ}\text{C}$ y $\Delta T_s = 30^{\circ}\text{C}$.



Constantes de ensayo:

$T_s = 10^{\circ}\text{C}$
 $T_{ep} = 80^{\circ}\text{C}$
 $C_p = 0.5 \text{ m}^3/\text{h}$

$C_e = 142 \text{ l.}$

NOVANOX PLATINUM

Completamente adaptada a cualquier tipo de instalación



Modelos de calefacción y agua caliente instantánea y modelos de sólo calefacción con servicio de agua caliente por acumulación exterior opcional.

Amplio campo de modulación: Mayor eficiencia y más silenciosos.

Cuadro de control extraíble con display LCD y funciones de termostato de ambiente programable con regulación climática de calefacción y agua caliente sanitaria.

Preparada para trabajar como apoyo en sistemas solares de agua caliente sanitaria.

Ventilador modulante.

Intercambiador monotérmico de acero inoxidable AISI 316L: Mayor fiabilidad y larga vida útil.

Alto rendimiento **** (Directiva 92/42/CEE).

Ecológica: Clase 5 de NOx.

Termorregulación

- _ Cuadro de control extraíble, con sonda de ambiente y programador para calefacción y ACS.
- _ Con sonda exterior opcional conectada, gestión electrónica de la curva climática de la instalación.

Principales componentes hidráulicos

- _ Válvula de tres vías eléctrica.
- _ Quemador de premezcla en acero inox AISI 316L.
- _ Intercambiador agua/humos en acero inox AISI 316L, con revestimiento externo en composite.
- _ Intercambiador sanitario en acero inox AISI 316L, sobredimensionado para poder condensar en funcionamiento de ACS.
- _ By-pass automático.
- _ Circulador de bajo consumo y velocidad regulable, con purgador automático incorporado.
- _ Sistema antibloqueo del circulador y la válvula de tres vías.

Sistemas de control y seguridades

- _ Termostato sobretemperatura en el intercambiador de agua/humos.
- _ Presostato hidráulico de bloqueo por falta de agua.
- _ Sonda NTC de sobretemperatura de humos.
- _ Control de temperaturas mediante sondas NTC.
- _ Dispositivo antihielo total.
- _ Termostato electrónico.
- _ Manómetro circuito calefacción.

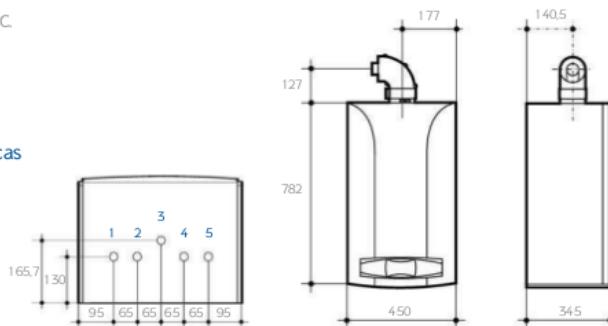
Dimensiones y conexiones hidráulicas

1. Ida Calefacción 3/4"
2. Salida A.C.S. 1/2" (en mixtas instantáneas)
3. Ida acumulador 3/4" (en mixtas acumulación)
3. Conexión gas 3/4"
4. Entrada agua de red 1/2"
5. Retorno Calefacción 3/4"

Principales características técnicas	Calefacción y Agua Caliente Instantánea			Calefacción o Calefacción y Agua Caliente por acumulación (1)		
	NOVANOX PLATINUM	24/24F	28/28F	33/33F	24AF	28AF
Potencia térmica nominal sanitario	kW	24	28	33	-	-
Potencia térmica nominal calefacción 80/60°C	kW	20	26	29	24	28
Potencia térmica nominal calefacción 50/30°C	kW	21,6	25,9	30,3	25,9	30,3
Potencia térmica reducida calefacción 80/60°C	kW	4	4,8	5,6	4,8	5,6
Potencia térmica reducida calefacción 50/30°C	kW	4,3	5,1	6,1	5,1	6,1
Rendimiento energético (Directiva 92/42/CEE)	%				****	
Rendimiento medio (DIN 4702-TB)	%				109,8	
Rendimiento nominal 80/60°C	%				97,6	
Rendimiento nominal 50/30°C	%	105,1	105	105	105,1	105
Rendimiento al 30%	%	107,5	107,5	107,5	107,5	107,5
Clase de NOx (EN 48/8)					5	
Temperatura mínima de funcionamiento	°C				-5	
Capacidad vaso de expansión / presión	l/bar	8/0,5	8/0,5	10/0,5	8/0,5	10/0,5
Regulación temperatura a circuito calefacción	°C				20/80	
Regulación temperatura a circuito sanitario	°C				35/60	
Producción agua caliente sanitaria ΔT 25°C (2)	l/min	13,8	16,1	18,9	-	-
Caudal mínimo del agua sanitaria	l/min		2		-	-
Presión mínima agua circuito sanitario	bar		0,15		-	-
Presión máxima agua circuito calefacción	bar			3		
Presión máxima agua circuito sanitario	bar			8		-
Peso neto aproximado	kg	44,5	45,5	46,5	45	46
Tensión / Frecuencia de alimentación eléctrica	V/Hz				230/50	
Tipo de protección eléctrica					IP X 50	

(1) Agua Caliente por acumulación mediante un acumulador exterior y opcional.

(2) Sin limitador de caudal.



Fagor Electrodomésticos, S.Coop.



Ficha Técnica Intercambiador de Placas IP-120



	Lado Caliente	Lado Frío
Fluido	30.0% Prop.glycol	Water
Caudal volumétrico	m³/h	5.590
Temperatura Entrada	°C	75.0
Temperatura Salida	°C	59.0
Pérdida de carga	kPa	14.7
Dirección relativa de los fluidos		Contracorriente
Calor intercambiado	kW	97.52
L.M.T.D.	K	9.0
C.G.T.C. - Limpio	W/(m²K)	5018
Servicio	W/(m²K)	4443
Área efectiva	m²	2.4
Número de placas		50
Material de placas		AISI 316
Tipo de juntas	COPPER FOIL	COPPER FOIL
Tipo de conexiones	DIN	
Material de conexiones		25-1"-45
Dimensión de conexiones	mm	32
Conexionado (Entrada --> Salida)		S1 -> S2
Código de recipientes a presión:		PED
Presión de diseño	barg	16.0
Presión de prueba	barg	20.8
Volumen de líquido	dm³	2.3
Temperatura de diseño	°C	75.0/55.0
Dimensiones (Largo / Ancho / Alto)	mm	175 x 111 x 526
Peso vacío	kg	13.4

energía
solar

Fagor Electrodomésticos, S.Coop.



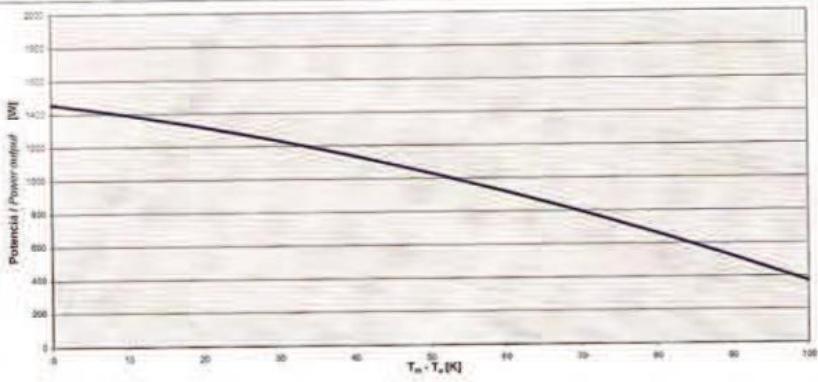
Ficha Técnica Intercambiador de Placas IP-50



		Lado Caliente	Lado Frio
Fluido		30.0% Prop.glycol	Water
Caudal volumétrico	m³/h	2.540	2.421
Temperatura Entrada	°C	75.0	50.0
Salida	°C	59.0	66.0
Pérdida de carga	kPa	16.9	18.6
Dirección relativa de los fluidos		Contracorriente	
Calor intercambiado	kW	44.31	
L.M.T.D.	K	9.0	
C.G.T.C. -		5427	
Limpio	W/(m²K)	5373	
Servicio	W/(m²K)		
Área efectiva	m²	0.9	
Número de placas		20	
Material de placas		AISI 316	
Tipo de juntas		COPPER FOIL	COPPER FOIL
Tipo de conexiones		DIN	
Material de conexiones			25-1"-45
Dimensión de conexiones	mm	32	25
Conexiónado (Entrada --> Salida)		S1 -> S2	S4 <- S3
Código de recipientes a presión		PED	
Presión de diseño	barg	16.0	16.0
Presión de prueba	barg	20.8	20.8
Volumen de líquido	dm³	0.9	0.8
Temperatura de diseño	°C	75.0/55.0	70.0/50.0
Dimensiones (Largo / Ancho / Alto)	mm	103 x 111 x 526	
Peso vacío	kg	6.50	

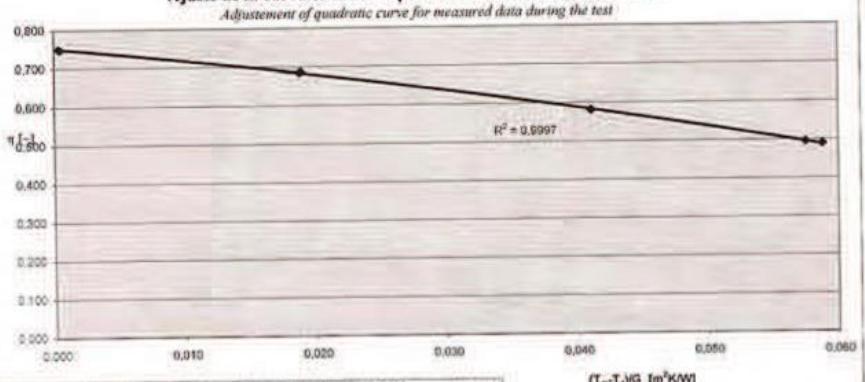
energía
solar

A. Documentación técnico-comercial equipos

cener	INFORME DE ENSAYO TEST REPORT	LABORATORIO DE CAPTADORES SOLARES <i>SOLAR COLLECTORS LABORATORY</i>																													
<p>3. Resultados del ensayo / Test results</p> <p>El rendimiento térmico ha sido ensayado sobre la base de los métodos : <i>Thermal performance has been tested based on test methods :</i></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/> 6.1. Exterior – Método de estado estacionario / <i>Outdoor - Steady State Method</i></td> <td><input checked="" type="checkbox"/> 6.1. Interior – Método de estado estacionario / <i>Indoor - Steady State Method</i></td> <td><input type="checkbox"/> 6.3. Exterior – Método cuasi-dinámico / <i>Outdoor - Quasi-dynamic Method</i></td> </tr> </table> <p>Irradiancia solar media / <i>Mean solar irradiance :</i> 883 W/m²</p> <p>Tipo de lámparas / <i>Type of the lamps :</i> HMP</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Sombreado de la radiación de alta longitud de onda / <i>Shading of longwave radiation :</i></td> <td>Sí / yes</td> </tr> </table> <p>Orientación de los tubos del absorbador durante el ensayo (horizontal o vertical): <i>Orientation of absorber tubes during testing (horizontal or vertical):</i></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Vertical</td> </tr> </table> <p>Potencia pico (G=1000 W/m²) por unidad de captador / <i>Peak Power per collector unit (W) : W_{peak}</i> 1459</p> <p>Potencia producida por unidad de captador / <i>Power output per collector unit (W)</i></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>G</th> <th>400 W/m²</th> <th>700 W/m²</th> <th>1000 W/m²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T_m - T_a (K)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>517</td> <td>955</td> <td>1393</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>357</td> <td>794</td> <td>1232</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>158</td> <td>596</td> <td>1033</td> </tr> </tbody> </table> <p>NOTA : Los valores expresados son para incidencia normal <i>NOTE : The reported values are for normal incidence</i></p> <p>3.1. Potencia producida por unidad de captador (para G=1000 W/m²) <i>Power output per collector unit (for G=1000 W/m²)</i></p>  <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center; margin-top: 10px;"> <tr> <td>Informe / Test report n°: 30.0240.9-2 Anexo 6</td> <td>Fecha de emisión / Date of issue : 07-11-2007</td> <td>Página / Page : 2/11</td> </tr> </table>			<input type="checkbox"/> 6.1. Exterior – Método de estado estacionario / <i>Outdoor - Steady State Method</i>	<input checked="" type="checkbox"/> 6.1. Interior – Método de estado estacionario / <i>Indoor - Steady State Method</i>	<input type="checkbox"/> 6.3. Exterior – Método cuasi-dinámico / <i>Outdoor - Quasi-dynamic Method</i>	Sombreado de la radiación de alta longitud de onda / <i>Shading of longwave radiation :</i>	Sí / yes	Vertical	G	400 W/m ²	700 W/m ²	1000 W/m ²	T _m - T _a (K)				10	517	955	1393	30	357	794	1232	50	158	596	1033	Informe / Test report n°: 30.0240.9-2 Anexo 6	Fecha de emisión / Date of issue : 07-11-2007	Página / Page : 2/11
<input type="checkbox"/> 6.1. Exterior – Método de estado estacionario / <i>Outdoor - Steady State Method</i>	<input checked="" type="checkbox"/> 6.1. Interior – Método de estado estacionario / <i>Indoor - Steady State Method</i>	<input type="checkbox"/> 6.3. Exterior – Método cuasi-dinámico / <i>Outdoor - Quasi-dynamic Method</i>																													
Sombreado de la radiación de alta longitud de onda / <i>Shading of longwave radiation :</i>	Sí / yes																														
Vertical																															
G	400 W/m ²	700 W/m ²	1000 W/m ²																												
T _m - T _a (K)																															
10	517	955	1393																												
30	357	794	1232																												
50	158	596	1033																												
Informe / Test report n°: 30.0240.9-2 Anexo 6	Fecha de emisión / Date of issue : 07-11-2007	Página / Page : 2/11																													

 cener	INFORME DE ENSAYO TEST REPORT	LABORATORIO DE CAPTADORES SOLARES SOLAR COLLECTORS LABORATORY																				
<p>3.5 Capacidad Térmica efectiva / Effective thermal capacity</p> <p>C = 13624 J/K</p> <p>Determinación por / Determination by:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Cálculo / calculation La capacidad térmica fue calculada según el punto 6.1.6.2 de la norma EN 12975-2 <i>Effective thermal capacity was calculated according to 6.1.6.2 of EN 12975-2.</i></p> $C = \sum p_i \cdot m_i \cdot c_i$ <p><input type="checkbox"/> Exterior / outdoors</p> <p><input type="checkbox"/> Interior / indoors</p>																						
<p>3.6 Modificador del ángulo de incidencia / Incident angle modifier</p> <p>Ángulo / angle : 50 °</p> <p>$K_\theta (50^\circ) = 0,988$</p>																						
<p>3.7 Caida de presión / Pressure drop</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>T° Fluido / Fluid T° (°C)</th> <th>20 °C ± 2 °C</th> <th>T° max: 20,82 °C</th> <th>T° min: 19,70 °C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Caudal / Flowrate (kg/min)</td> <td>3,70</td> <td>2,90</td> <td>2,10</td> </tr> <tr> <td>Perdida de presión / Pressure drop (mbar)</td> <td>2,9</td> <td>2,3</td> <td>1,7</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,40</td> <td>1,1</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,60</td> <td>0,00</td> <td>0,0</td> </tr> </tbody> </table>			T° Fluido / Fluid T° (°C)	20 °C ± 2 °C	T° max: 20,82 °C	T° min: 19,70 °C	Caudal / Flowrate (kg/min)	3,70	2,90	2,10	Perdida de presión / Pressure drop (mbar)	2,9	2,3	1,7		1,40	1,1	0,5		0,60	0,00	0,0
T° Fluido / Fluid T° (°C)	20 °C ± 2 °C	T° max: 20,82 °C	T° min: 19,70 °C																			
Caudal / Flowrate (kg/min)	3,70	2,90	2,10																			
Perdida de presión / Pressure drop (mbar)	2,9	2,3	1,7																			
	1,40	1,1	0,5																			
	0,60	0,00	0,0																			
<p>3.8 Fallos observados / Observed failures</p> <p>Dense detalles de cualquier fallo denotado como "fallo grave" definido en el apartado 5.3 de la norma EN 12975-1:2006. <i>Give details of any of the failures denoting "major failure", defined in 5.3.1 of EN 12975-1:2006.</i></p> <p>No se han observado fallos. El captador cumple los requisitos especificados en la norma EN 12975-2:2006 para los ensayos de rendimiento incluidos en el presente informe. <i>No failures has been observed. The collector respect the requirements specified in the norm EN 12975-2:2006 for the thermal performance testing included in this report.</i></p>																						
<p>Observaciones / Observations :</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ensayos realizados <i>Tests done</i></th> <th>Cumplimiento norma EN 12975 <i>EN 12975 requirements</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cte. de tiempo / Time constant</td> <td>SI / yes</td> </tr> <tr> <td>Curva de eficiencia / Efficiency curve</td> <td>SI / yes</td> </tr> <tr> <td>Modificador de ángulo / Incident angle modifier</td> <td>SI / yes</td> </tr> <tr> <td>Capacidad térmica / Thermal capacity</td> <td>SI / yes</td> </tr> <tr> <td>Caida de presión / Pressure drop</td> <td>SI / yes</td> </tr> </tbody> </table> <p>- A petición del cliente el ensayo de rendimiento se ha realizado a 400 l/h.</p>			Ensayos realizados <i>Tests done</i>	Cumplimiento norma EN 12975 <i>EN 12975 requirements</i>	Cte. de tiempo / Time constant	SI / yes	Curva de eficiencia / Efficiency curve	SI / yes	Modificador de ángulo / Incident angle modifier	SI / yes	Capacidad térmica / Thermal capacity	SI / yes	Caida de presión / Pressure drop	SI / yes								
Ensayos realizados <i>Tests done</i>	Cumplimiento norma EN 12975 <i>EN 12975 requirements</i>																					
Cte. de tiempo / Time constant	SI / yes																					
Curva de eficiencia / Efficiency curve	SI / yes																					
Modificador de ángulo / Incident angle modifier	SI / yes																					
Capacidad térmica / Thermal capacity	SI / yes																					
Caida de presión / Pressure drop	SI / yes																					
Informe / Test report nº: 30.0240.9-2 . Anexo 6	Fecha de emisión / Date of issue : 07-11-2007	Página / Page : 10/11																				

A. Documentación técnico-comercial equipos

	INFORME DE ENSAYO TEST REPORT	LABORATORIO DE CAPTADORES SOLARES SOLAR COLLECTORS LABORATORY																																																																																	
<p>Datos de eficiencia medida / Data of measured efficiency points</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PUNTO POINT</th> <th>G (w/m²)</th> <th>CAUDAL MASICO MAS FLUIDO (kg/m/s)</th> <th>T ENTRADA T_a(°C)</th> <th>T SALIDA T_e(°C)</th> <th>T MEDIA T_m(°C)</th> <th>T AIRE CIRCUND T_{amb}(°C)</th> <th>T_m - T_a / G (K·m²/W)</th> <th>η</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>883</td><td>6,68</td><td>28,79</td><td>31,52</td><td>30,2</td><td>29,9</td><td>0,0003</td><td>0,750</td></tr> <tr><td>2</td><td>883</td><td>6,68</td><td>28,81</td><td>31,53</td><td>30,2</td><td>29,8</td><td>0,0005</td><td>0,748</td></tr> <tr><td>3</td><td>878</td><td>6,64</td><td>44,68</td><td>47,18</td><td>45,9</td><td>29,4</td><td>0,0189</td><td>0,687</td></tr> <tr><td>4</td><td>883</td><td>6,64</td><td>44,69</td><td>47,19</td><td>45,9</td><td>29,3</td><td>0,0188</td><td>0,684</td></tr> <tr><td>5</td><td>883</td><td>6,58</td><td>64,50</td><td>66,65</td><td>65,6</td><td>29,3</td><td>0,0411</td><td>0,582</td></tr> <tr><td>6</td><td>882</td><td>6,58</td><td>64,50</td><td>66,65</td><td>65,6</td><td>29,3</td><td>0,0411</td><td>0,581</td></tr> <tr><td>7</td><td>885</td><td>6,52</td><td>80,36</td><td>82,19</td><td>81,3</td><td>29,2</td><td>0,0588</td><td>0,490</td></tr> <tr><td>8</td><td>885</td><td>6,52</td><td>80,35</td><td>82,19</td><td>81,3</td><td>30,4</td><td>0,0575</td><td>0,494</td></tr> </tbody> </table>			PUNTO POINT	G (w/m ²)	CAUDAL MASICO MAS FLUIDO (kg/m/s)	T ENTRADA T _a (°C)	T SALIDA T _e (°C)	T MEDIA T _m (°C)	T AIRE CIRCUND T _{amb} (°C)	T _m - T _a / G (K·m ² /W)	η	1	883	6,68	28,79	31,52	30,2	29,9	0,0003	0,750	2	883	6,68	28,81	31,53	30,2	29,8	0,0005	0,748	3	878	6,64	44,68	47,18	45,9	29,4	0,0189	0,687	4	883	6,64	44,69	47,19	45,9	29,3	0,0188	0,684	5	883	6,58	64,50	66,65	65,6	29,3	0,0411	0,582	6	882	6,58	64,50	66,65	65,6	29,3	0,0411	0,581	7	885	6,52	80,36	82,19	81,3	29,2	0,0588	0,490	8	885	6,52	80,35	82,19	81,3	30,4	0,0575	0,494
PUNTO POINT	G (w/m ²)	CAUDAL MASICO MAS FLUIDO (kg/m/s)	T ENTRADA T _a (°C)	T SALIDA T _e (°C)	T MEDIA T _m (°C)	T AIRE CIRCUND T _{amb} (°C)	T _m - T _a / G (K·m ² /W)	η																																																																											
1	883	6,68	28,79	31,52	30,2	29,9	0,0003	0,750																																																																											
2	883	6,68	28,81	31,53	30,2	29,8	0,0005	0,748																																																																											
3	878	6,64	44,68	47,18	45,9	29,4	0,0189	0,687																																																																											
4	883	6,64	44,69	47,19	45,9	29,3	0,0188	0,684																																																																											
5	883	6,58	64,50	66,65	65,6	29,3	0,0411	0,582																																																																											
6	882	6,58	64,50	66,65	65,6	29,3	0,0411	0,581																																																																											
7	885	6,52	80,36	82,19	81,3	29,2	0,0588	0,490																																																																											
8	885	6,52	80,35	82,19	81,3	30,4	0,0575	0,494																																																																											
<p>Ajuste de la curva de eficiencia instantánea basada en el área de apertura y la temperatura media del fluido de transferencia de calor</p> <p><i>Adjustment of instantaneous efficiency curve based on aperture area and mean temperature of heat transfer fluid</i></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center;">Ajuste de la curva cuadrática para los datos medidos en el ensayo <i>Adjustement of quadratic curve for measured data during the test</i></p>  <p style="text-align: center;">$R^2 = 0.9997$</p> <p>Legend: ● datos medidos/measured data — Polinómica (datos medidos/measured data)</p> </div>																																																																																			
<p>3.4 Constante de tiempo / Time constant</p> <p>$\tau_c = 0:00:42 \text{ h:min:ss}$</p>																																																																																			
Informe / Test report n°: 30.0240.9-2 Anexo 6		Fecha de emisión / Date of issue : 07-11-2007																																																																																	
Página / Page : 9/11																																																																																			

	INFORME DE ENSAYO TEST REPORT	LABORATORIO DE CAPTADORES SOLARES SOLAR COLLECTORS LABORATORY																				
<p>3.5 Capacidad Térmica efectiva / Effective thermal capacity</p> <p>C = 13624 J/K</p> <p>Determinación por / Determination by:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Cálculo / calculation La capacidad térmica fue calculada según el punto 6.1.6.2 de la norma EN 12975-2 <i>Effective thermal capacity was calculated according to 6.1.6.2 of EN 12975-2.</i></p> $C = \sum p_i \cdot m_i \cdot c_i$ <p><input type="checkbox"/> Exterior / outdoors</p> <p><input type="checkbox"/> Interior / indoors</p>																						
<p>3.6 Modificador del ángulo de incidencia / Incident angle modifier</p> <p>Ángulo / angle : 50 °</p> <p>$K_\theta (50^\circ) = 0,988$</p>																						
<p>3.7 Caida de presión / Pressure drop</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>T° Fluido / Fluid T° (°C)</th> <th>20 °C ± 2 °C</th> <th>T° max: 20,82 °C</th> <th>T° min: 19,70 °C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Caudal / Flowrate (kg/min)</td> <td>3,70</td> <td>2,90</td> <td>2,10</td> </tr> <tr> <td>Perdida de presión / Pressure drop (mbar)</td> <td>2,9</td> <td>2,3</td> <td>1,7</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,40</td> <td>1,1</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,60</td> <td>0,00</td> <td>0,0</td> </tr> </tbody> </table>			T° Fluido / Fluid T° (°C)	20 °C ± 2 °C	T° max: 20,82 °C	T° min: 19,70 °C	Caudal / Flowrate (kg/min)	3,70	2,90	2,10	Perdida de presión / Pressure drop (mbar)	2,9	2,3	1,7		1,40	1,1	0,5		0,60	0,00	0,0
T° Fluido / Fluid T° (°C)	20 °C ± 2 °C	T° max: 20,82 °C	T° min: 19,70 °C																			
Caudal / Flowrate (kg/min)	3,70	2,90	2,10																			
Perdida de presión / Pressure drop (mbar)	2,9	2,3	1,7																			
	1,40	1,1	0,5																			
	0,60	0,00	0,0																			
<p>3.8 Fallos observados / Observed failures</p> <p>Dense detalles de cualquier fallo denotado como "fallo grave" definido en el apartado 5.3 de la norma EN 12975-1:2006. <i>Give details of any of the failures denoting "major failure", defined in 5.3.1 of EN 12975-1:2006.</i></p> <p>No se han observado fallos. El captador cumple los requisitos especificados en la norma EN 12975-2:2006 para los ensayos de rendimiento incluidos en el presente informe. <i>No failures has been observed. The collector respect the requirements specified in the norm EN 12975-2:2006 for the thermal performance testing included in this report.</i></p>																						
<p>Observaciones / Observations :</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Ensayos realizados <i>Tests done</i></th> <th style="text-align: center;">Cumplimiento norma EN 12975 <i>EN 12975 requirements</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cte. de tiempo / Time constant</td> <td>SI / yes</td> </tr> <tr> <td>Curva de eficiencia / Efficiency curve</td> <td>SI / yes</td> </tr> <tr> <td>Modificador de ángulo / Incident angle modifier</td> <td>SI / yes</td> </tr> <tr> <td>Capacidad térmica / Thermal capacity</td> <td>SI / yes</td> </tr> <tr> <td>Caida de presión / Pressure drop</td> <td>SI / yes</td> </tr> </tbody> </table> <p>- A petición del cliente el ensayo de rendimiento se ha realizado a 400 l/h.</p>			Ensayos realizados <i>Tests done</i>	Cumplimiento norma EN 12975 <i>EN 12975 requirements</i>	Cte. de tiempo / Time constant	SI / yes	Curva de eficiencia / Efficiency curve	SI / yes	Modificador de ángulo / Incident angle modifier	SI / yes	Capacidad térmica / Thermal capacity	SI / yes	Caida de presión / Pressure drop	SI / yes								
Ensayos realizados <i>Tests done</i>	Cumplimiento norma EN 12975 <i>EN 12975 requirements</i>																					
Cte. de tiempo / Time constant	SI / yes																					
Curva de eficiencia / Efficiency curve	SI / yes																					
Modificador de ángulo / Incident angle modifier	SI / yes																					
Capacidad térmica / Thermal capacity	SI / yes																					
Caida de presión / Pressure drop	SI / yes																					
Informe / Test report nº: 30.0240.9-2 . Anexo 6	Fecha de emisión / Date of issue : 07-11-2007	Página / Page : 10/11																				

B

Formulario para el estudio de la demanda de ACS en el ámbito doméstico

Como se ha expuesto en el apartado 6.3 la caracterización precisa de la demanda de ACS se establece con perfiles de consumo a lo largo del día y del año. Aunque existe gran cantidad de información relacionada con este tema, no se encuentran perfiles representativos para el caso de simulaciones dinámicas, pues éstos requieren un nivel de detalle mayor. Del mismo modo disponer de información más detallada o representativa de cada caso de estudio redundará sobre la precisión y validez del modelo.

Es por todo ello que para el establecimiento de la demanda de ACS como condición de contorno se ha planteado la realización de un estudio de los hábitos de consumo de ACS entre distintos usuarios. Para ello se ha utilizado un formulario web que ha permitido recopilar datos de once usuarios con distintos tipos de perfil para la posterior incorporación en las simulaciones. En este apéndice se ha incluido dicho formulario como muestra del trabajo realizado en este ámbito.

Estimación demanda ACS doméstica

La estimación de la demanda de agua caliente sanitaria en el ámbito doméstico no es una tarea sencilla. Aunque muchos de los cálculos que hemos realizado durante el curso (por ejemplo en EREE) eran muy sencillos, la realidad es que la demanda y consumo de ACS en una vivienda a lo largo de un día o una semana depende de muchos aspectos (tipo de edificio, número y tipo de personas en la vivienda, situación laboral, etc.).

La realización de simulaciones dinámicas de instalaciones térmicas requiere información bastante precisa sobre la distribución de la demanda a lo largo de un día. En el caso de instalaciones solares térmicas está claro que el rendimiento y aprovechamiento de la energía solar dependerá de las costumbres de los usuarios de las mismas.

El estudio de diferentes perfiles de demanda requiere de un esfuerzo por parte de los usuarios pues tienen que pensar sobre sus hábitos y otros aspectos relativos al uso de la instalación. La posibilidad de contar con usuarios expertos en estos temas es un punto favorable hacia un estudio más rápido y preciso del tema.

Teniendo en cuenta todo esto y en resumen, os pido que contestéis al cuestionario que os planteo para disponer de información precisa sobre los perfiles de demanda de un grupo de usuarios domésticos. El fin último que persigo es la validación de las herramientas de simulación (en las que estoy trabajando) para el ámbito energético, y de paso generar conocimiento en este campo. De esta forma os agradecería que fueseis los más sinceros posible y que cualquier duda, comentario o aportación sea planteada.



1. Tipo de vivienda, número de habitaciones y población dónde está situada.

Por ejemplo, vivienda en edificio multiviviendas con 4 habitaciones en Albacete,....

2. Número de personas en la vivienda, edad aproximada y situación laboral

Por ejemplo, viven 3 personas, 2 adultos de unos 40 años y un bebé. Uno de los adultos trabaja por la mañana y el otro no.

3. Tipo grifería en la vivienda

Exponer el tipo de grifería que existe en la vivienda. Por ejemplo, hay un grifo termostático en todas las duchas (2 en total), y el resto de grifos son tradicionales (monoblock llave, 4 en total).

B. Formulario para el estudio de la demanda de ACS en el ámbito doméstico

4. Perfil aproximado de consumo - DIARIO

Piensa sobre las costumbres del uso del agua caliente en tu casa en un día laboral y determina a qué horas es utilizado comúnmente el agua caliente. Por ejemplo, marca la fila de las 7 y consumo moderado si suele haber demanda a dicha hora (ducharse antes de ir a trabajar).

Mark only one oval per row.

	Consumo puntual 1 min/pers	Varios consumos puntuales 3 min/pers	Consumo moderado 7 min/pers	Consumo elevado 10 min/pers	Nulo (por defecto si no seleccionada nada lo considero nulo)
0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. Perfil aproximado de consumo - FIN DE SEMANA / FESTIVO

Piensa sobre las costumbres del uso del agua caliente en tu casa durante el fin de semana y festivos puntuales y determina a qué horas es utilizado comúnmente el agua caliente. Por ejemplo, marca la fila de las 7 y consumo moderado si suele haber demanda a dicha hora (ducharse antes de ir a trabajar).

Mark only one oval per row.

	Consumo puntual 1 min/pers	Varios consumos puntuales 3 min/pers	Consumo moderado 7 min/pers	Consumo elevado 10 min/pers	Nulo (por defecto si no seleccionada nada lo considero nulo)
0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

B. Formulario para el estudio de la demanda de ACS en el ámbito doméstico

6. Perfil aproximado de consumo - VACIONAL REDUCIDO

Piensa sobre las costumbres del uso del agua caliente en tu casa durante el periodo vacacional y determina a qué horas es utilizado comunmente el agua caleinte. Por ejemplo, marca la fila de las 7 y consumo moderado si suele haber demanda a dicha hora (ducharse antes de ir a trabajar).

Mark only one oval per row.

	Consumo puntual 1 min/pers	Varios consumos puntuales 3 min/pers	Consumo moderado 7 min/pers	Consumo elevado 10 min/pers	Nulo (por defecto si no seleccionada nada lo considero nulo)
0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Perfil aproximado de consumo - OTRO PERFIL SIN CATEGORÍA

Aclara este perfil en la siguiente cuestión. Piensa sobre las costumbres del uso del agua caliente en tu casa con otro perfil específico y determina a qué horas es utilizado comunmente el agua caleinte. Por ejemplo, marca la fila de las 7 y consumo moderado si suele haber demanda a dicha hora (ducharse antes de ir a trabajar).

Mark only one oval per row.

	Consumo puntual 1 min/pers	Varios consumos puntuales 3 min/pers	Consumo moderado 7 min/pers	Consumo elevado 10 min/pers	Nulo (por defecto si no seleccionada nada lo considero nulo)
0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

B. Formulario para el estudio de la demanda de ACS en el ámbito doméstico

8. Detalles del perfil de demanda

Detalla un poco más los perfiles de demanda de ACS de las cuestiones anteriores

9. Comentarios y aportaciones

El cuestionario está abierto a las aportaciones de los participantes. Por favor si tienes comentario u observación que lo pueda mejorar, exponla a continuación.

Powered by
 Google Forms

C Librería Soltermica

En este Apéndice se muestra una pequeña parte a modo de ejemplo de la documentación de la librería Soltermica tal como ha sido generada por Dymola. No se ha incluido toda la documentación generada debido a su extensión.

La documentación completa y el código de la librería se incluyen en formato digital adjunto al presente trabajo. Además a fecha de la entrega del presente documento se pueden encontrar la librería y documentación asociada en el siguiente repositorio:

<https://www.github.com/gheralb/Soltermica>

Este repositorio permitirá una gestión continua de las actualizaciones y modificaciones de la librería, estando accesible para todo aquel interesado en la librería.

Soltermica.Valvulas.Griferia

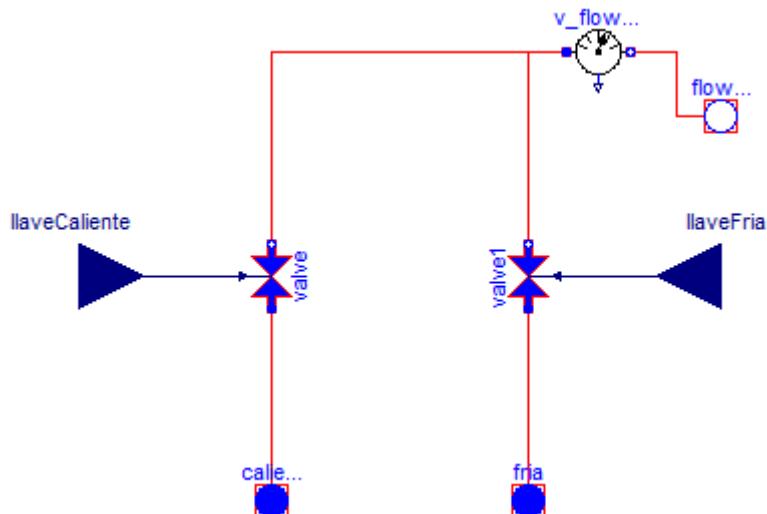
Paquete que incluye modelos de griferia de uso sanitario

Package Content

Name	Description
 Ejemplos	Ejemplos y modelos de verificacion de los distintos tipos de griferias
 Monoblock	Modelo de griferia tradicional monoblock
 Monomando	Modelo de griferia monomando

Soltermica.Valvulas.Griferia.Monoblock

Modelo de griferia tradicional monoblock



Parameters

Type	Name	Default	Description
Medium	medium	Modelica.Thermal.FluidHeatFl...	
Pressure	dp_grifo	1	[Pa]
Real	Kv_grifo	1	
Density	rho_referencia	995.6	[kg/m3]

Connectors

Type	Name	Description
FlowPort_a	caliente	
FlowPort_a	fria	
input RealInput	llaveCaliente	
input RealInput	llaveFria	
FlowPort_b	flowPort_b	

Modelica definition

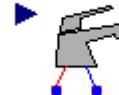
```

model Monoblock "Modelo de griferia tradicional monoblock"

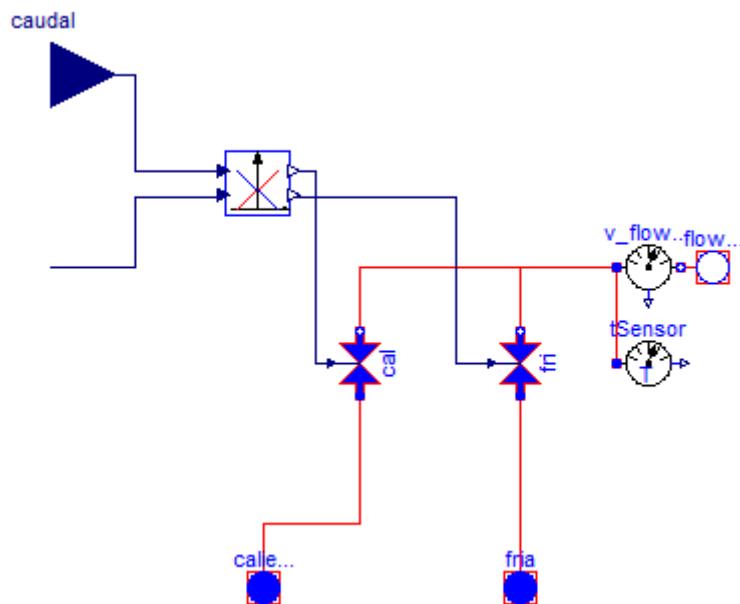
  Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Interfaces.FlowPort\_a caliente(final
medium=
  medium);
  Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Interfaces.FlowPort\_a fria(final
medium=medium);
  Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Components.Valve valve(
    final medium=medium,
    final Kv1=Kv_grifo,
    final dp0=dp_grifo,
    final rho0=rho_referencia,
    kv0=0.00001);
  Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Components.Valve valve1(
    final medium=medium,
    final Kv1=Kv_grifo,
    final dp0=dp_grifo,
    final rho0=rho_referencia,
    kv0=0.00001);
  Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput llaveCaliente;
  Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput llaveFria;
  Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Interfaces.FlowPort\_b
flowPort_b(final medium=
  medium);
  parameter Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Media.Medium
medium=Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Media.Medium();
  parameter Modelica.SIunits.Pressure dp_grifo=1;
  parameter Real Kv_grifo=1;
  parameter Modelica.SIunits.Density rho_referencia=995.6;
  Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Sensors.V\_flowSensor
v_flowSensor(final medium
  =medium);
equation
  connect(llaveCaliente, valve.y);
  connect(caliente, valve.flowPort_a);
  connect(fria, valve1.flowPort_a);
  connect(llaveFria, valve1.y);
  connect(valve.flowPort_b, v_flowSensor.flowPort_a);
  connect(valve1.flowPort_b, v_flowSensor.flowPort_a);
  connect(v_flowSensor.flowPort_b, flowPort_b);
  connect(flowPort_b, flowPort_b);
end Monoblock;

```

Soltermica.Valvulas.Griferia.Monomando



Modelo de griferia monomando



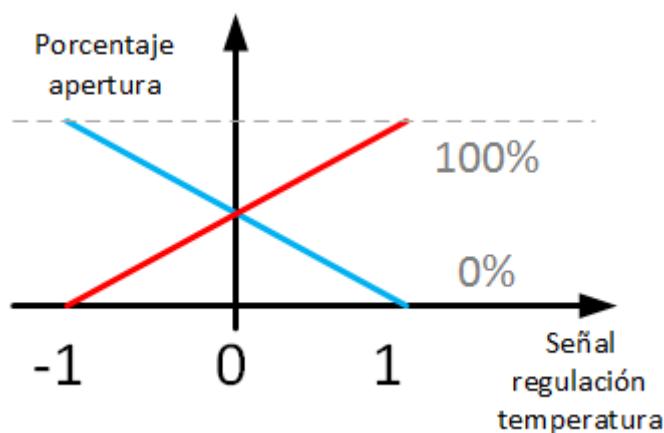
Information

La grifería monomando dispone de dos entradas de caudal, una de agua caliente y otra de agua fría, y una salida a consumo.

El modelo incluye dos señales de entrada correspondiente al porcentaje de caudal y a la regulación de temperatura.

La señal de caudal tiene un rango 0 a 1. La señal de temperatura tiene un rango de 1 a -1, correspondiendo los valores positivos a un mayor porcentaje de agua caliente y viceversa.

El siguiente gráfico explica de manera ilustrativa como varían los porcentajes de ambos caudales en función de la señal de temperatura:



Parameters

Type	Name	Default	Description
Medium	medium	Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Interfaces.FlowPort_a	Fluido de trabajo
Pressure	dp_grifo	1	Caida de presion nominal [Pa]
Real	Kv_grifo	1	Coeficiente de caudal de la valvula. Caudal para una determinada caida de presion nominal
Density	rho_referencia	995.6	Densidad de referencia para el calculo de caudal [kg/m3]

Connectors

Type	Name	Description
FlowPort_a	caliente	Entrada de agua caliente
FlowPort_a	fria	Entrada de agua fria de red
FlowPort_b	flowPort_b	Salida a consumo
input RealInput	caudal	Senal de entrada de regulacion de cuadal
input RealInput	temperatura	Senal de entrada de regulacion de temperatura

Modelica definition

```

model Monomando "Modelo de griferia monomando"

  Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Interfaces.FlowPort_a caliente(
    final medium=medium) "Entrada de agua caliente";
  Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Interfaces.FlowPort_a fria(
    final medium=medium) "Entrada de agua fria de red";
  Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Interfaces.FlowPort_b flowPort_b(
    final medium=medium) "Salida a consumo";
  Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Components.Valve cal(
    final medium=medium,
    final Kv1=Kv_grifo,
    final dp0=dp_grifo,
    final rho0=rho_referencia,
    kv0=0.00001);
  Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Components.Valve fri(
    final medium=medium,
    final Kv1=Kv_grifo,

```

C. Librería Soltermica

```
final dp0=dp_grifo,
final rho0=rho_referencia,
kv0=0.00001);
Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput caudal
  "Senal de entrada de regulacion de caudal";
Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput temperatura
  "Senal de entrada de regulacion de temperatura";
Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Sensors.V_flowSensor v_flowSensor(
  final medium=medium);
ClasesBasicas.ControlesEquipos.Control_Monomando control_Monomando;
Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Sensors.TSensor tSensor(final
medium=medium);
parameter Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Media.Medium
medium=Modelica.Thermal.FluidHeatFlow.Media.Medium()
  "Fluido de trabajo";
parameter Modelica.SIunits.Pressure dp_grifo=1 "Caida de presion
nominal";
parameter Real Kv_grifo=1
  "Coeficiente de caudal de la valvula. Caudal para una determinada
caida de presion nominal";
parameter Modelica.SIunits.Density rho_referencia=995.6
  "Densidad de referencia para el calculo de caudal";

equation
  connect(caliente, cal.flowPort_a);
  connect(fria, fri.flowPort_a);
  connect(v_flowSensor.flowPort_b, flowPort_b);
  connect(cal.flowPort_b, v_flowSensor.flowPort_a);
  connect(fri.flowPort_b, v_flowSensor.flowPort_a);
  connect(control_Monomando.SenalCaliente, cal.y);
  connect(control_Monomando.SenalFria, fri.y);
  connect(tSensor.flowPort, v_flowSensor.flowPort_a);
  connect(caudal, control_Monomando.SenalCaudal);
  connect(temperatura, control_Monomando.SenalTemperatura);
end Monomando;
```

HTML-documentation generated by [Dymola](#) Mon Jun 09 02:33:16 2014.