

CONTROL INTEGRAL DE UNA PLANTA DE CLIMATIZACIÓN SOLAR

J.A.Delgado, F.Alcahud, C.Bordóns y F.R. Rubio

Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla

E-mail: (jad,alcahud,bordons,rubio)@cartuja.us.es

Resumen

En este artículo se describe la instalación de climatización solar que el Departamento de Sistemas y Automática posee en sus laboratorios. Así como el sistema integral de control que lleva incorporado, la instrumentación empleada y las estrategias de control básicas que se han puesto en práctica desde la puesta en marcha. Como conclusiones detallaremos someramente las enormes posibilidades que un sistema integral como el empleado nos brinda en el control y la supervisión de estas instalaciones.

Palabras clave: Control Integral, Climatización Solar, Sistemas Térmicos, Control Distribuido.

1 INTRODUCCIÓN

Una de las aplicaciones más claras de la energía solar es para la producción de frío por la razón obvia de que cuando más se necesita frío es cuando más radiación solar incidente hay y, por tanto, más calor hace.

En Andalucía esta situación es muy evidente y por esa razón hay grupos universitarios que se vienen interesando por este tema desde hace tiempo. En concreto, uno de los procedimientos para conseguir el frío deseado a partir de la energía solar es mediante las máquinas de absorción que, como es sabido, producen frío consumiendo calor en su generador. Este calor puede ser aportado de muy diversas maneras y una de ellas es a partir de la radiación solar en su opción térmica.

Estudios previos llevaron al conocimiento de la situación y se vieron claras las grandes posibilidades de estos sistemas. También se tuvo conocimiento de las repercusiones favorables para el medio ambiente de emplear este sistema de frío toda vez que la energía solar (o residual) que se emplee para producir frío es energía convencional de menos que hay que producir con el consiguiente ahorro de impacto ambiental.

Los Institutos Andaluces de Automática y Robótica y de Energías Renovables consiguieron

fondos para la adquisición y montaje, en la azotea de los edificios de Talleres y Laboratorios de la Escuela Superior de Ingenieros, de una instalación completa de producción de frío por absorción con energía solar y apoyada por una caldera de gas natural. La instalación ha sido diseñada y construida de forma que permita el ensayo de los subsistemas de aporte y de consumo conjuntamente y por separado en un contexto de automatización y control que es el que puede permitir la optimización del conjunto.

2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

En el año 1998 se llevó a cabo la instalación de refrigeración solar por absorción en la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, en el marco de colaboración entre el Instituto Andaluz de Automática y Robótica y el Instituto Andaluz de Energías Renovables.

Se ha diseñado y ejecutado una instalación flexible con el fin de ir incorporando cuantas mejoras y modificaciones se consideren necesarias para el mejor desarrollo y replicabilidad de la tecnología de refrigeración solar por absorción, poniendo especial énfasis en la optimización energética de la operación de la instalación en distintas condiciones de trabajo.

La instalación de refrigeración solar de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla consta de un equipo de absorción, con una potencia frigorífica nominal de 35 kW, junto con un sistema de aporte de energía térmica necesario para el funcionamiento del ciclo de absorción y un sistema de evacuación de calor. La fuente de calor está formada por un conjunto de captadores solares térmicos que transforman la energía incidente en forma de radiación en energía interna del fluido caloportador que, en este caso, es agua. En las condiciones nominales que posteriormente se describen, la energía térmica suministrada por el sistema de captación es de 50 kW.

Como complemento al sistema de captadores existe un sistema de energía auxiliar constituido por

una caldera de gas natural de 60 kW de potencia nominal para usar en aquellos casos en los que el aporte de radiación solar sea insuficiente.

La energía disipada por el sistema de refrigeración por absorción es evacuada mediante una torre de refrigeración.

La demanda de energía térmica puede provenir de dos fuentes: la instalación de climatización de la planta 2 del edificio de laboratorios o un sistema simulador de cargas que se diseña para ensayos con cualquier tipo de cargas, tanto constantes para establecer condiciones estacionarias de funcionamiento como variables simulando las cargas térmicas de un edificio. Alternativamente se puede elegir entre una configuración u otra según el tipo de experimento que se quiera realizar.

A continuación se muestra una fotografía de la instalación actual.



Figura 1: Instalación de Climatización Solar

2.1 Esquema de principio

La configuración general, centrada sobre el equipo de absorción, corresponde a una instalación de climatización que utiliza dos fuentes para producir energía térmica: 1) energía solar desde captadores 2) gas natural desde calderas.

El esquema de principio correspondiente a la instalación se representa en la figura 2

La circulación en todos los circuitos es forzada y no se utiliza ningún tipo de intercambiador en el circuito cerrado que se ha configurado. En el esquema de principio se han representado, además, los elementos hidráulicos auxiliares que incorpora la instalación.

La instalación está constituida por los siguientes sistemas que en apartados posteriores se describen:

- Sistema de captación.
- Sistema de acumulación.

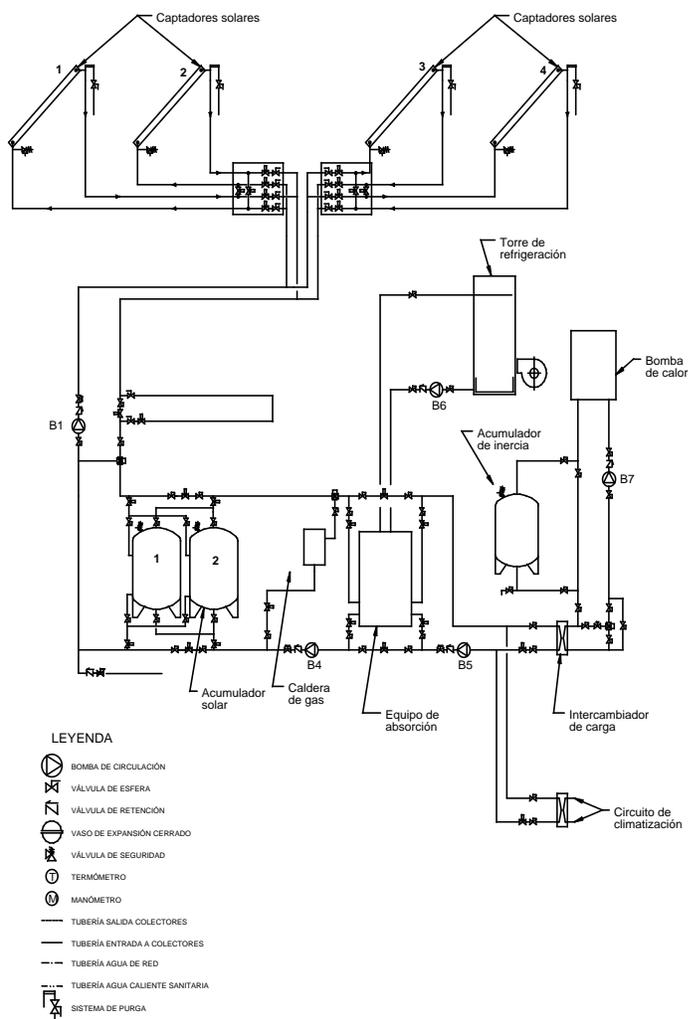


Figura 2: Esquema de principio

- Sistema de energía auxiliar.
- Equipo de refrigeración.
- Sistema de evacuación de calor.
- Circuito hidráulico.
- Sistema eléctrico y de control.

2.2 Sistema de captación

El sistema de captación ($151,2 m^2$) está constituido por cuatro campos de captadores solares MADE modelo 4.000E y cada uno de los campos ($37,8 m^2$) está constituido por 18 captadores de 2,1 metros cuadrados de superficie útil de captación cada uno. Cada campo de captadores queda configurado en 3 baterías de 6 captadores cada una.

Quedan fijamente orientados al Sur e inclinados 30 con respecto a la horizontal. Se ubican sobre la estructura metálica soporte disponible en la cubierta

del edificio. Se han adoptado las precauciones y separaciones necesarias para evitar las sombras de los obstáculos adyacentes.

2.3 Sistema de Acumulación

El sistema de acumulación de agua caliente está constituido por dos depósitos acumuladores de 2.500 litros de capacidad construidos en chapa de acero y disponen de revestimiento aislante de poliuretano expandido de 40 mm. de espesor.

Los acumuladores se ubican al exterior en el lugar y con la disposición establecida en el plano que se adjunta. El conexionado de los depósitos en el circuito secundario se podrá realizar en paralelo o en serie con circulación invertida en relación con el circuito de consumo.

2.4 Sistema de energía auxiliar

El sistema de energía auxiliar está constituido por una caldera de gas natural de 60 kW de potencia.

La conexión hidráulica se realiza de forma que en el circuito de retorno el agua es distribuida entre sistema solar y auxiliar en función de la temperatura de entrada al generador del equipo de refrigeración

2.5 Máquina de absorción

El equipo de refrigeración solar por ciclo de absorción marca Yazaki modelo WFC10 tiene una potencia frigorífica nominal de 35 kW y funciona con aportación de agua caliente con un caudal de 2,38 l/s y temperaturas de entrada entre 75 y 100 C al generador y producción de 1,67 l/s de agua fría entre 7 y 12 C. Dispone de una sola etapa, y utiliza agua como refrigerante y el absorbente es una solución de bromuro de litio y agua. El COP es de 0.7.

2.6 Sistema de evacuación de calor

El sistema de evacuación de calor dispone de una potencia útil, para las condiciones nominales de trabajo, de 85 kW y los niveles térmicos a los que se realiza esta evacuación deben estar comprendidos entre 25 y 31C, con un caudal nominal de 4,05 l/s.

2.7 Simulador de cargas

El sistema de climatización está representado por un sistema de simulación de cargas térmicas que permitirá establecer y controlar la demanda de energía. Las potencias máximas serán 50 kW para calor y 35 kW para frío.

Adicionalmente se ha acoplado la instalación a la climatización de las zonas comunes de los despachos de planta 2 para demostración real del funcionamiento de una planta de climatización mediante energía solar.

Se utiliza un intercambiador agua-agua que permitirá simular cargas variables entre 0 y 50 kW mediante una válvula de tres vías que está controlada por un programa que define la potencia que se demanda en cada momento. Se establece un caudal de circulación constante por lo que la demanda de energía queda definida por las variaciones de temperatura en el circuito.

Las condiciones nominales de diseño del intercambiador de calor de placas son las siguientes:

- Potencia 50 kW.
- Circuito primario:
 - Caudal: 6.000 litros/hora
 - Temperaturas: 50/57 C
- Circuito secundario:
 - Caudal: 6.000 litros/hora
 - Temperaturas: 9/16 C

Y las condiciones de funcionamiento para refrigeración

- Potencia 35 kW.
- Circuito primario:
 - Caudal: 6.000 litros/hora
 - Temperaturas: 9/14 C
- Circuito secundario:
 - Caudal: 6.000 litros/hora
 - Temperaturas: 45/40 C

Se dispone de una bomba de calor que se utiliza como generador de calor y/o frío de las potencias equivalentes. Se ha instalado un acumulador de inercia de 1.000 litros para evitar continuos arranques y paradas de la bomba de calor.

2.8 Circuito hidráulico

La interconexión de todos los sistemas citados se realiza con el correspondiente circuito hidráulico constituido por el trazado de tuberías, con recubrimiento aislante para los circuitos de frío y calor, bombas de circulación, vaso de expansión, sistemas de seguridad, llenado, purga, valvulería y accesorios.

El dimensionado de los componentes del circuito hidráulico está realizado para las condiciones nominales de trabajo del equipo de absorción:

- en el generador: 8.400 l/h
- en el evaporador: 6.000 l/h
- en el condensador: 14.400 l/h

Dado que los captadores se pueden utilizar directamente para alimentar el generador del equipo, se ha proyectado el circuito de captación para el caudal de 8.400 l/h lo que supone un caudal unitario de diseño de hasta 60 litros por hora y metro cuadrado; no obstante, las condiciones nominales de trabajo del campo de colectores se establecen en 30 l/h.m².

Las tuberías de todos los circuitos, cuyos trazados quedan reflejados en los esquemas de línea, son de cobre de las dimensiones especificadas con las uniones soldadas por capilaridad.

Se han instalado las siguientes bombas de circulación del tipo en línea y con las condiciones de funcionamiento establecidas:

B1 Bomba de colectores	4.200 l/h y 5 mca
B3 Bomba de caldera	4.200 l/h y 3 mca
B4 Bomba de generador	8.400 l/h y 6 mca
B5 Bomba de evaporador	6.000 l/h y 5 mca
B6 Bomba de condensador	14.400 l/h y 10 mca
B7 Bomba de simulador carga	6.000 l/h y 5 mca

Se dispone de un sistema de expansión, constituido por 2 vasos de 200 litros de capacidad, para mantener las condiciones de presión de los circuitos entre los siguientes valores:

- Presión mínima 1,5 kg/cm²
- Presión máxima 3,0 kg/cm²

2.9 Sistema eléctrico y de control

El funcionamiento de la instalación está gobernado por un doble sistema de control, uno constituido por elementos convencionales alojados en el cuadro eléctrico y otro utilizando control por computador, estando localizado el sistema de supervisión en los laboratorios del Instituto Andaluz de Automática y Robótica. Ello permite, por un lado, realizar ensayos comparativos de prestaciones con ambos sistemas y, por otro, introducir mejoras en las estrategias de operación de la planta sin paralizar el funcionamiento de la instalación.

El cuadro eléctrico dispone de selectores para controlar el funcionamiento de todos los equipos con conmutación automática y manual de marcha y paro. Se dispone de los elementos de señalización necesarios para visualizar el estado

de funcionamiento de bombas y de la conmutación entre el sistema de control convencional y el control por computador.

El sistema de control por computador permite una realización automatizada de ensayos y proporciona la flexibilidad necesaria para ensayar las estrategias óptimas de operación de la planta en diversas situaciones, tanto las producidas durante funcionamiento de la instalación de climatización de los laboratorios como las provocadas intencionadamente mediante el simulador de carga.

3 MODOS DE FUNCIONAMIENTO

La instalación permite la producción de calor y frío para climatización a partir de energía obtenida en captadores solares térmicos con el apoyo de una caldera de gas.

Para la producción de calor, utilizable para alimentar el generador del equipo de absorción o directamente al simulador de carga o la climatización de laboratorios, se pueden utilizar los siguientes modos de funcionamiento:

- Sólo captadores
- Sólo acumuladores
- Sólo caldera
- Mezclando acumulación y caldera
- Mezclando captadores y caldera

La idea fundamental de este proyecto es la de comprobar la validez técnica, económica y medioambiental de los sistemas térmicos empleados en la climatización. La gran variedad de modos de funcionamiento nos permitirá la obtención del nivel térmico necesario cualesquiera que sean las condiciones de operación (factores medioambientales adversos, ensayos, averías, etc), y el mejor aprovechamiento energético de nuestras fuentes de energía.

El cambio de un modo a otro de funcionamiento se realiza cambiando la configuración de la instalación, a través de electroválvulas de acción todo-nada. A medida que nuestro conocimiento sobre estos sistemas aumente, el paso de un modo a otro podrá realizarse de manera automática en base a criterios de optimización. Lo que será posible gracias al sistema de control empleado en la planta que pasamos a describir en el apartado siguiente.

4 SISTEMA DE CONTROL

El control distribuido (RUIZ[3],1999) instalado es el sistema denominado CUBE Enterprise Wizard, comercializado por la empresa ORSI AUTOMAZIONE y distribuida por la empresa PROCISA. Esta última ha sido la encargada de la implantación de todo sistema, tanto de la instrumentación como del desarrollo del software necesario para su funcionamiento.

Este sistema esta constituido por una red ARCNET (2.5 Mbauds) a la que están conectados dos nodos: un PMC, y una estación de trabajo. Y un bus de campo compuesto por una red REMOTA I/O que conecta el PMC con tres RACKS: uno con 6 slots de entrada/salida analógicos, otro 6 slots de entrada/salida digital y otro con 6 SLOTS para PT-100. En la figura 3 está representada la arquitectura de nuestro sistema de control.

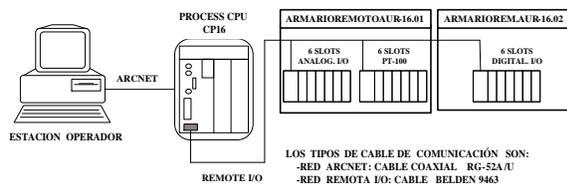


Figura 3: Arquitectura del Sistema

A estos SLOTS están conectados todos los elementos de medida y control que posee nuestro sistema. La instrumentación (C.W. deSilva [4],1989) incorporada se expone en el apartado 4.2, pero en este punto diremos que ésta engloba multitud de elementos diferentes, equipos de medida: PT-100, caudalímetros, piranómetros, higrómetros, etc; electroválvulas, arrancadores, variadores, etc.

A continuación describiremos en que consiste un sistema de control basado en CUBE y las posibilidades para el control que tiene.

4.1 CUBE ENTERPRISE WIZARD

La plataforma CUBE Enterprise Wizard (CUBE en adelante) ha sido concebida para el mundo en 'tiempo-real' de la automatización y el control de procesos (CUBE[2],1997).

Totalmente desarrollado para Windows NT, CUBE explota las características de este sistema operativo, lo que incluye:

- Arquitectura de 32-bit
- Estructura de multitarea
- Distribución en red con arquitectura cliente/servidor

- Distribución multired
- Modularidad y, además, escalabilidad.

El núcleo del sistema es su 'Real Time Data Base' (RTDB en adelante), el cual centraliza la toma de datos desde diferentes equipos de campo en una estructura simple para su acceso.

Estos equipos están integrados con drivers de comunicación apropiados (hasta 16 diferentes drivers para cada PC) que permite leer y escribir datos desde los equipos acorde a clases de 'sampling' predefinidos. Por lo tanto, el RTDB es el pivote de los datos necesarios para todos los módulos de CUBE.

Como se ha mencionado anteriormente CUBE esta constituido por varios módulos, cada uno con funciones específicas. Los módulos HMI (Human Machine Interface) están dedicadas a las funciones de interfaz con el usuario, gráficos, el archivo de históricos, gestión de eventos, gestión de alarmas, etc. Todos estos módulos son independientes los unos de los otros y extraen información desde el RTDB. La arquitectura Cliente/Servidor permite que esas funciones sean distribuidas sobre varias máquinas, optimizando la arquitectura de red. Uno de estos módulos, en concreto el GMS ('Grafic Monitoring System'), es el encargado de la comunicación entre el usuario y la planta. A través de un mímico visualizamos los datos en tiempo real de la planta y podemos actuar sobre cada uno de los elementos de la instalación. Este mímico es el que aparece en la figura 4.

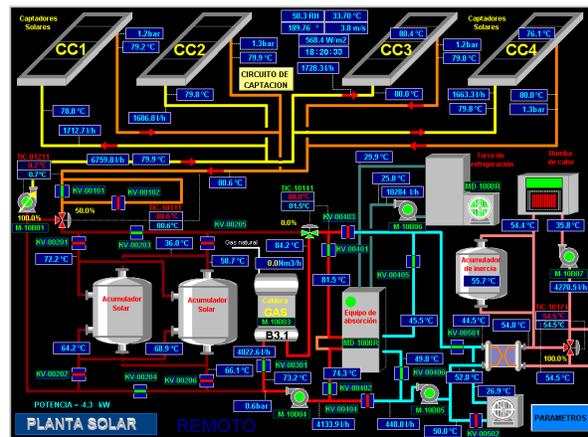


Figura 4: Mímico de la Planta

Además hay módulos de procesamiento de datos. Estos módulos están diseñados para incorporar 'paquetes' de cálculo integrados dentro del sistema CUBE: usando el RTDB como base de datos, permitiéndonos realizar cálculos sobre variables de campo y e incluirlos en el RTDB. Estos datos cal-

culados están también disponibles para todos los módulos del CUBE.

Todas las bases de datos del CUBE (el RTDB, el histórico, el administrador de alarmas) están provistas con 'interfaces' estándar de Windows (como DDE, OLE, y ODBC) que permiten el uso de paquetes informáticos, como Microsoft Office, que tienen un acceso de lectura/escritura a los datos. Pueden incluir APIs (interfaces de programas aplicados) de comunicación estándar para relacionar paquetes propios escritos en C, C++, VisualC++, Visual BASIS, etc. Esto asegura que el sistema CUBE esté abierto en varios niveles (escritorio, sistema de gestión de base de datos, o directamente desde la aplicación).

El PMC, de la serie PC-16 en este caso, es el encargado del Control del Proceso, y el que resuelve de manera coordinada todos los problemas integrados en la regulación y manipulación de la instalación, adquisición de las señales analógicas y digitales, secuenciamiento de las cadenas de control, cálculo matemático, etc. Está constituido por un microprocesador 80486 y una serie de tarjetas analógicas y digitales, tanto de entrada como de salida.

Las tareas que ejecuta el PMC se denominan secuencias y toman como base de temporización una unidad de tiempo denominada TICK y que equivale a 100ms. El CUBE tiene tres lenguajes de programación para elaborar las secuencias de las que consta la aplicación, y que son:

- ITER II: Lenguaje de alto nivel-
- LADDER: Lenguaje simbólico de contactos.
- BLOQUES: Lenguaje simbólico de bloques conectados.

Sea cual sea el lenguaje empleado para programar una secuencia, ésta funcionará igual una vez compilada. Por tanto, será imprescindible especificar para cada secuencia su número y su temporización en TICKS.

El lenguaje empleado en este sistema es el ITER II, debido a que al ser un lenguaje de alto nivel que posee todas las estructuras de control típicas (If-Else, For, etc). Además de poder utilizar las funciones incluidas en la biblioteca de funciones ITER, como por ejemplo la función LOOP, que realiza un bucle de regulación PID.

Todo lo expuesto sobre el sistema CUBE Enterprise Wizard nos muestra claramente la gran versatilidad y funcionalidad del sistema de control empleado. El poder de programación que tiene, la facilidad de acceso a los datos en tiempo real, la posibilidad de que sean tratados, ya sea realizando

cálculos sobre ellos o exportándolos a otras aplicaciones para su tratamiento no hacen más que reflejarnos el acierto de su elección.

4.2 INSTRUMENTACIÓN

Se relacionan a continuación los elementos de medida (de caudal, temperatura, presión, radiación, etc.) establecidos para una adecuada monitorización de la instalación (para su localización puede observarse el esquema de principio, figura 2):

RT01	Radiación solar global
ST01	Velocidad de viento
DT01	Dirección de viento
TT01	Temperatura ambiente
FT10	Caudal en colectores
TT11	Entrada de colectores
TT12	Salida de colectores
TT13 a TT20	Salida de cada batería de colectores
PT10 a PT14	Presión
TT21	Entrada de acumuladores
TT22	Salida de acumuladores
TT23 a TT28	Estratificación en acumuladores
PT20 y PT21	Presión en acumuladores
FT30	Caudal en calderas
TT31	Entrada de calderas
TT32	Salida de calderas
TT33 - TT34	Funcionamiento de calderas
TT35 - TT36	Salida de humos de caldera
FT37 - FT38	Caudal de Gas Natural
PT30 y PT31	Presión en calderas
FT40	Caudal en generador
TT41	Salida de generador
TT42	Entrada de generador
PT40	Presión en condensador
FT50	Caudal en evaporador
TT51	Entrada de evaporador
TT52	Salida de evaporador
PT40	Presión en evaporador
FT60	Caudal en condensador
TT61	Entrada de condensador
TT62	Salida de condensador
TT63	Bandeja de torre
PT40	Presión en condensador

FT65 Caudal en primario recuperador
 TT66 Salida de recuperador
 TT67 Entrada de recuperador
 TT68 Salida de condensador

FT70 Caudal en intercambiador carga
 TT71 Entrada de intercambiador carga
 TT72 Salida de intercambiador carga
 TT73 Salida bomba de calor
 PT70 Presión en intercambiador carga

FT75 Caudal en recuperador
 TT76 Entrada de recuperador
 TT77 Salida de recuperador
 TT78 Salida recupera bomba de calor
 PT75 Presión en recuperador carga

Se controlan asimismo los estados de funcionamiento de todos los equipos.

Las actuaciones del sistema de control se realizarán sobre los siguientes equipos que componen la instalación:

B1 Bomba de colectores
 CG Alimentación de calderas de gas
 B4 Bomba de generador
 B5 Bomba de evaporador
 B6 Bomba de condensador
 V6 Ventilador de torre de refrigeración
 BC Bomba de calor
 B7 Bomba del circuito de simul. de carga

Se dispondrán válvulas de tres vías de acción proporcional en los siguientes circuitos:

VM1 Válvula de control de t^a del circuito solar
 VM3 Válvula de mezcla solar-auxiliar
 VM7 Válvula de mezcla del simulador de carga

Para regulación de caudal se utilizarán dos sistemas:

VA1 Vál. de asiento para crear pérdidas de carga
 VF1 Variador de frecuencia para regular bomba

Los cambios de configuración y el aislamiento hidráulico de subsistemas de la instalación se realizará con electroválvulas de acción todo-nada:

10 V1 Válvulas de corte para colectores
 6 V2 Válvulas de corte para acumuladores
 2 V3 Válvulas de corte para calderas
 6 V4 Válvulas de corte para equipo de absorción
 2 V5 Válvulas de corte para circuitos de carga

5 ESTRATEGIAS BÁSICAS DE CONTROL

La instrumentación y equipos instaladas en esta planta solar, permiten el control automático de cuatro elementos: la bomba B1, con la que podemos variar el caudal que circula por los colectores solares, la válvula de tres vías VM1, actúa sobre la recirculación del agua a los paneles solares, VM4, controla la mezcla de agua de la caldera con el agua que viene de los colectores solares, y VM7 en el simulador de carga y que permite variar la carga térmica que le aplicamos al sistema solar.

El tipo de controlador que se está ensayando actualmente es el PID (Astrom [1],1984) , que en general está dando unos buenos resultados. Los principales problemas a los que se enfrenta el control son los grandes retardos de la instalación, debido a la lentitud con que evoluciona la temperatura del agua, y los cambios en las condiciones de trabajo a lo largo del día. Esto hace difícil diseñar un PID que se comporte bien en tan variados puntos de trabajo.

Hasta el momento sólo se ha probado uno de los PID, el correspondiente a la válvula VM1, a continuación se explica brevemente los resultados que se han obtenido hasta la fecha. Aunque no son definitivos, los pruebas apuntan la complejidad que tienen los sistemas térmicos solares para su control (Shinsky [5],1996) con PID, debido en gran parte a los enormes retardos que tiene el sistema y a las características intrínsecas de la variedad de equipos de las que consta.

Las variable mas importante en el control de esta instalación, es naturalmente, la temperatura de agua caliente. Sobre esta variable, se actúa principalmente mediante las válvulas VM1 (salida de los colectores solares) y VM4 (a la salida de la caldera de gas). La estrategia de control que se sigue es la de ahorro energético, de tal forma que primero intentamos conseguir la temperatura deseada mediante los colectores solares y en el caso de que no sea posible por la baja radiación solar se emplea la caldera de gas.

Veamos un ejemplo del control efectuado sobre la temperatura de salida de los colectores solares mediante el PID aplicado a VM1, figuras 5 y 6. Es-

tando el agua de salida de los colectores en unos 77 C, se le coloca un set-point de 88 C, que es la temperatura de funcionamiento nominal del generador de la maquina de absorción.

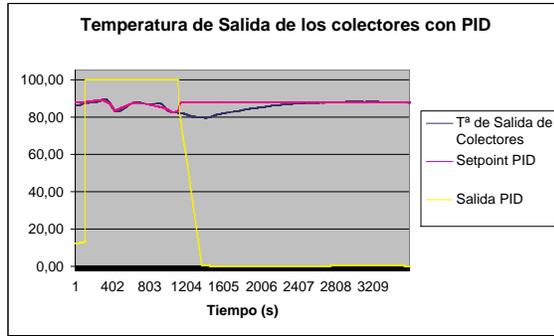


Figura 5: Control de temperatura de salida de los colectores con PID

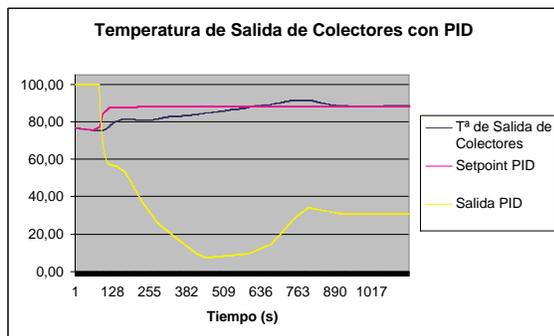


Figura 6: Control de temperatura de salida de los colectores con PID

En las graficas podemos ver los efectos del retardo, aproximadamente a los 450 s el PID comienza a abrir la válvula VM1, pero hasta los 850 s (aprox. 5 min de retardo) la temperatura no empieza a bajar, siendo incapaz de evitar una subida de la temperatura por encima del set-point y produciéndose un pico de unos 3 C sobre la temperatura de consigna. Sin embargo este pico no debe preocupar en exceso, pues el generador de la maquina de absorción tiene un rango de funcionamiento grande, entre 75 C y 100 C. Tras este primer pico el sistema se estabiliza a 88 C ($\pm 0,3$ C).

Cuando la temperatura que se alcance en los colectores solares no sea suficiente para las necesidades de climatización, se utilizará el apoyo de la caldera de gas, que aportará al sistema el resto de la energía necesaria. Para conseguir el agua caliente necesaria deberemos de mezclar la que viene de los colectores con el agua que sale de la caldera. Para el control de este proceso se utiliza un PID actuando sobre la válvula de tres vías VM4, y como

variable de control la temperatura del agua de entrada al generador.

Además de los controladores expuestos arriba existen otros dos, ambos PID, pero hasta el momento no han sido estudiados. Uno de ellos actúa sobre el variador de frecuencia de la bomba del sistema de captación, lo que nos permite actuar sobre el caudal que circula por los captadores con lo que se pretende controlar la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del sistema de captación.

El otro controlador existente actúa sobre la válvula de tres vías VM7 que pertenece al simulador de carga, regulando el caudal que circula por el intercambiador de carga se pretende el control sobre la temperatura de salida del intercambiador de carga y de esta manera controlar la carga que se quiera aplicar al sistema.

6 CONCLUSIONES

Aun es un poco pronto para aventurar resultados concluyentes sobre la instalación. Pero lo visto hasta ahora nos indica las siguientes conclusiones.

Parece acertado la línea de investigación apuntada por este proyecto, ésta es la utilización de la energía solar para la climatización de recintos. En especial el uso de los sistemas térmicos solares para la producción de frío, con el consiguiente beneficio medioambiental.

En relación con la búsqueda de este beneficio, el uso de un sistema de control se hace necesario para optimizar los recursos del sistema. El control integral utilizado provee de los elementos necesarios para la consecución de este fin.

El uso de secuencias para la programación de controladores, nos permitirá, de manera sencilla, pasar del control con PID a estrategias de control avanzadas: control LQG/LTR, control predictivo generalizado, control borroso.

Hasta el momento sólo hemos dado el primer paso para el conocimiento de este tipo de sistemas. Abriendo el camino para gran número de estudios posteriores que demuestren la utilidad de este tipo de instalaciones.

Agradecimientos

Expresar el agradecimiento a la empresa DISOL, en especial a Víctor Cháves, por el esfuerzo realizado en la puesta en marcha de esta instalación. Este trabajo ha sido financiado por los fondos Feder y CICYT: 1FD97-0735, 1FD97-0836 y TAP98-0541.

Referencias

- [1] K.J. Astrom and B. Wittenmark, "Computer Controlled Systems", Prentice-Hall. 1984.
- [2] "CUBE:Installation Guide, Tutorial, Overview", ORSI AUTOMAZIONE S.p.A. 1997.
- [3] E.A. Ruiz , "Control y supervisión de planta piloto mediante sistema de control distribuido". PFC Universidad de Sevilla, 1999.
- [4] C.W. deSilva, "Control, sensors and actuators". Prentice Hall, 1989.
- [5] F.B. Shinskey, "Process Control Systems", McGraw-Hill, New York, Fourth edition, 1996.