



Control y operación automático de plantas termosolares

**Aunergy Thermosolar S.R.L.,
una *Spin-Off* del Ciemat**

La energía solar de concentración (ESC) es una fuente energética de origen renovable que ha iniciado su despliegue comercial en nuestro país muy recientemente. Mediante esta tecnología se genera electricidad a gran escala para inyectarla a la red eléctrica, tal como ya ocurre con la energía eólica.

| POR J. GONZÁLEZ | AUNERGY THERMOSOLAR

| M. BERENGUEL | UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

| M. ROMERO | IMDEA

| L.J. YEBRA, D. MARTÍNEZ, A. VALVERDE, L. ROCA, J. BONILLA Y E. ZARZA |
PSA-CIEMAT





I **MEDIANTE EL USO DE GRANDES ESPEJOS** de geometría parabólica o cuasi-parabólica, se recoge la radiación solar directa y se refleja, concentrándola, sobre un receptor. En dicho receptor se convierte esa energía radiante en energía térmica de un fluido.

El último paso consiste en hacer llegar ese calor al ciclo termodinámico de un generador eléctrico similar al de las centrales convencionales de producción eléctrica.

El CIEMAT es propietario de la instalación experimental denominada Plataforma Solar de Almería (PSA), donde se vienen llevando a cabo investigaciones y experiencias en el campo de la ESC desde hace más de 25 años.

Son varios los problemas técnicos a resolver en este campo, siendo los más importantes la transferencia y almacenamiento de calor, el desarrollo de materiales para aplicaciones a alta temperatura y el control de procesos.

Recientemente, del CIEMAT ha surgido una *Spin-off* denominada AUNERGY para explotar el conocimiento generado en la PSA en el área de ingeniería de sistemas y automática, aplicado a plantas de ESC. AUNERGY podrá proveer a la industria y en el formato que ésta lo demanda, las soluciones comerciales basadas en este conocimiento.

I AUNERGY I

Aunergy Thermosolar S.R.L. (AUNERGY) nace como una *Spin-off* de CIEMAT, con la participación del Parque Científico de Madrid, y bajo una estrecha colaboración entre investigadores del CIEMAT (Dr. Luis J. Yebra), con investigadores de: la Universidad de Almería (Dr. Manuel Berenguel), de la UNED (Dr. Sebastián Dormido), y Universidad de Sevilla (Dr. Eduardo F. Camacho). Dentro de CIEMAT, la Plataforma Solar de Almería (PSA-CIEMAT) ha constituido durante los últimos 25 años el centro de investigación de referencia mundial para el desarrollo de técnicas de control avanzado y operación automática de plantas termosolares de diferentes tecnologías. Algunas de estas técnicas se han desarrollado en colaboración con investigadores de diferentes nacionalidades del sector público y privado.

La actividad fundamental de AUNERGY consiste en el desarrollo e implantación de sistemas y herramientas de control y operación avanzados para plantas termosolares, en forma de *software*, que hayan sido validados en el centro PSA-CIEMAT. De esta forma, se explotan los resultados de investigaciones obtenidos a lo largo de todos estos años en el ámbito de la energía solar térmica y se ponen a disposición de la industria en la forma comercial que ésta demanda. Además, debido a la fuerte demanda de servicios de asesoramiento e ingeniería complementarios en materia de tecnologías termosolares, también se desarrollan este tipo de actividades en un segundo plano. Para ambas actividades, la fundamental y la secundaria, se colabora con los grupos de investigación de PSA-CIEMAT (Unidad de Sistemas Solares de Concentración – Alta y Media

Temperatura-; Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar y Caracterización de la Radiación Solar) y de la UAL (AER-TEP-197) y, además, los que ya trabajan formando parte del Centro Mixto CIESOL entre el CIEMAT y la UAL.

Las líneas de investigación base que se utilizan son en las que trabaja el grupo de Automática e Informática Industrial del CIEMAT en la Plataforma Solar de Almería (Dr. Luis J. Yebra). Dichas líneas abordan el desarrollo y aplicación de técnicas de diseño de sistemas de control y operación avanzadas en plantas termosolares. Tienen como base la teoría de modelado y control, y los desarrollos teóricos propios del Área de Conocimiento de Ingeniería de Sistemas y Automática, así como su aplicación a las plantas termosolares en diferentes tecnologías.

Los distintos productos desarrollados por AUNERGY se adaptan a las diferentes tecnologías termosolares actuales: plantas termosolares de receptor central, colectores cilindro parabólicos, usando como fluido de transferencia tanto aceite (monofásico) como agua-vapor (bifásico), hornos solares y sistemas de desalación con energía solar. Estos productos han sido validados en las correspondientes instalaciones de la Plataforma Solar de Almería (Figura 1). Entre los distintos productos se pueden citar HelFiCo y DCS_Control, que ofrecen soluciones avanzadas en control y operación de plantas termosolares en tecnologías de receptor central y colectores cilindro-parabólicos respectivamente. El objetivo global perseguido es optimizar, por medio de la automatización, la operación de la planta termosolar en la tecnología correspondiente. Las soluciones comercializadas, siempre en forma de *software*, se adaptan a las diferentes tecnologías informáticas y electrónicas existentes en plantas termosolares, con independencia de las tecnologías *hardware* y *software* utilizadas por el cliente final: desde complejos sistemas de gestión empresarial hasta integración con dispositivos de campo. Esta capacidad de adaptación dota los productos de AUNERGY de la posibilidad de adaptarse a cualquier solución informática previamente existente, reutilizando todo el *hardware* ya adquirido por la empresa.



Foto 1: Vista panorámica de PSA-CIEMAT, con las distintas instalaciones científicas. Cortesía de CIEMAT



“La actividad fundamental de AUNERGY consiste en el desarrollo e implantación de sistemas y herramientas de control y operación avanzados para plantas termosolares”

I PRODUCTOS Y SERVICIOS I

Las soluciones ofrecidas por AUNERGY en el ámbito del control y la automatización de sistemas de energía solar térmica se pueden clasificar, fundamentalmente, en:

- Desarrollo de *software* de control y operación para las distintas tecnologías de energía solar térmica: receptor central, cilindro-parabólicos, hornos solares y desalación solar.
- Desarrollo de simuladores de tiempo real para entrenamiento de operadores en plantas comerciales de las diferentes tecnologías.
- Docencia, formación y asesoramiento sobre control y operación de plantas termosolares. Las tareas de formación se apoyan en simuladores desarrollados por AUNERGY para la planta termosolar objeto del proceso formativo para los futuros operadores de dicha planta.

Se presentan algunos casos concretos de productos y servicios ofertados:

I HELFICO (HELIOSTAT FIELD CONTROL) I

Una de las tecnologías más importantes para la conversión de la energía solar es la de receptor central, trabajando en el rango de las altas temperaturas (Energía Solar Térmica de Alta Temperatura). Estas plantas funcionan básicamente como otras



Foto 2. Planta termosolar de receptor central CESA-I de PSA-CIEMAT. Cortesía de CIEMAT

centrales de generación de energía eléctrica. La electricidad es producida por un grupo formado por turbina y generador, semejante funcionalmente a plantas de energía con otros combustibles (nuclear o fósil). En la Foto 2 se muestra una imagen de la planta termosolar CESA-I de la Plataforma Solar de Almería, donde es sistema de control HelFiCo lleva funcionando dos años de forma ininterrumpida.

HelFiCo controla campos de heliostatos en plantas termosolares de receptor central. Está diseñado para lograr la mayor eficiencia del campo de heliostatos. Básicamente un heliostato es un sistema mecánico que orienta a un espejo de forma que garantiza una reflexión en un punto concreto del receptor central. Es de máxima importancia distribuir adecuadamente los puntos de impacto en el receptor para garantizar una alta eficiencia del mismo, así como evitar daños irreversibles y costosas paradas de planta con las consecuentes pérdidas económicas. Entre las características funcionales más significativas se incluyen: correcciones automáticas de derivas en enfoque, e implementación de estrategias avanzadas de distribución de la radiación solar concentrada en el receptor solar.

Las tecnologías informáticas en las que se basa su desarrollo permiten integrarlo en cualquier plataforma que la planta termosolar tenga previamente, sin necesidad de sacrificar la inversión que previamente haya podido realizarse.

Permite controlar plantas con distintas tecnologías y topologías de acceso a los sistemas de control local situados en cada heliostato. Existe una versión de HelFiCo que está especialmente optimizada para trabajar con los sistemas de control local para heliostatos desarrollados por el subgrupo de Instrumentación Electrónica (Ginés García), que forma parte del Grupo de Automática e Informática Industrial de la Plataforma Solar de Almería. Dichos sistemas de control local, sin duda, constituyen una referencia a nivel mundial en control del seguimiento en heliostatos y actualmente son comercializados por la empresa Maser Electrónica, S.L. en colaboración con el CIEMAT. Llegado a este punto, es casi obligado hablar del innovador concepto (patentado por el CIEMAT) de Heliostato Autónomo, que permite reducir de forma importante los costes asociados a la obra civil en la construcción de una planta termosolar de receptor central. El control local de la implementación del Heliostato Autónomo también ha sido desarrollado en el CIEMAT, mediante comunicaciones

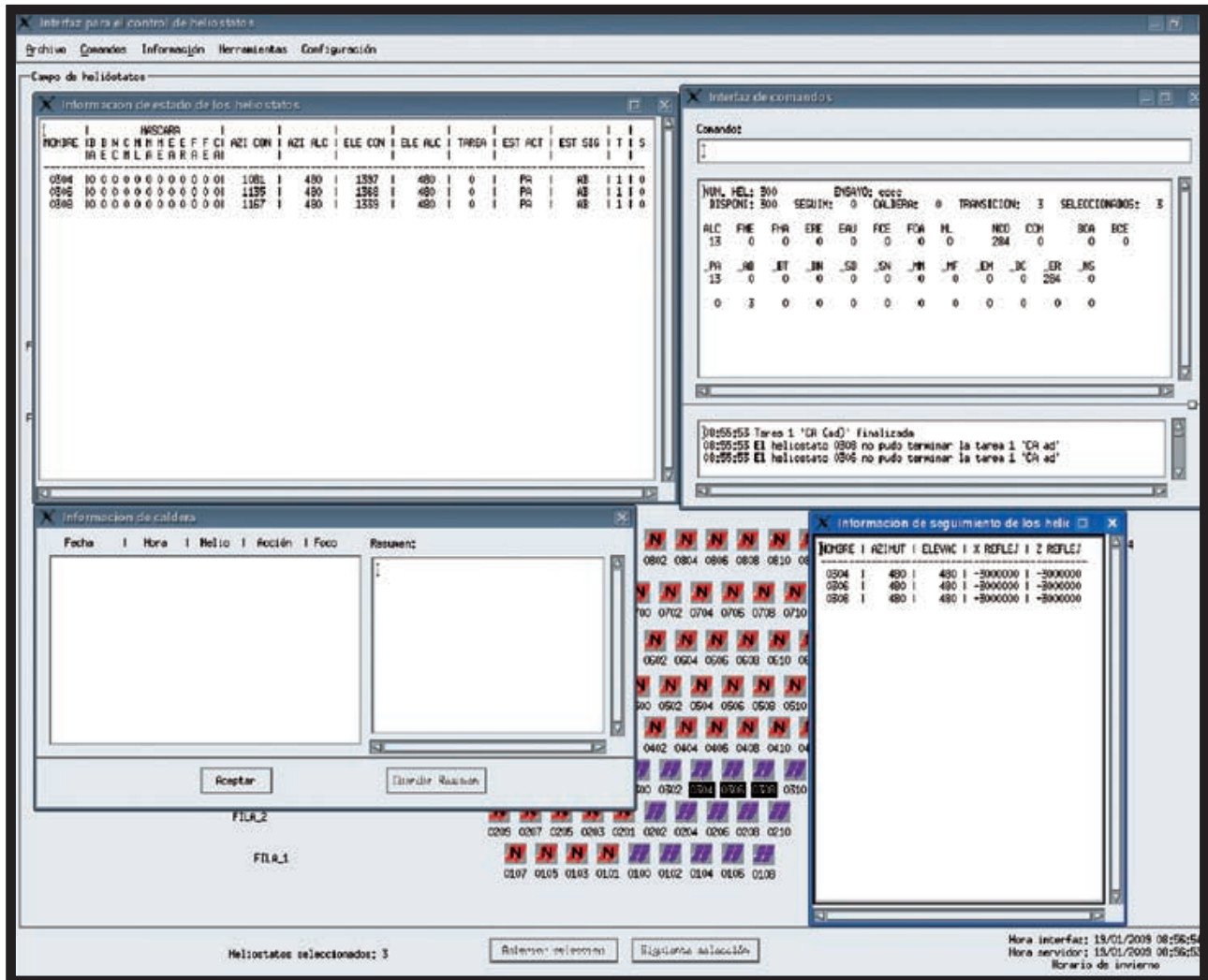


Figura 1. Capturas de pantalla de la aplicación HeFiCo durante la operación en en campo CESA-I de la Plataforma Solar de Almería. Cortesía de CIEMAT

inalámbricas. HeFiCo dispone de otra versión del producto para campos de heliostatos basados en comunicaciones inalámbricas y en el concepto de Heliostato Autónomo, como el campo CRS de la Plataforma Solar de Almería.

El software HeFiCo ha sido diseñado desde su inicio pensando en la posibilidad de escalar a campos con un gran número de heliostatos. De esta forma, se ha creado una aplicación distribuida y modular para campos de heliostatos que es altamente configurable. Sin embargo, la gran especialización de estos tipos de sistemas precisa la adaptación de ciertos aspectos a cada caso concreto. Entre estos aspectos se encuentran las comunicaciones usadas entre la aplicación de control central y los controles locales de cada heliostato perteneciente al campo. Los protocolos, topologías y medios usados deben ser tenidos en cuenta para cada caso. La arquitectura modular y distribuida de la aplicación

facilitan este trabajo, siendo el subsistema de comunicaciones uno de estos módulos que es fácilmente intercambiable.

Entre las características del software HeFiCo, cabe destacar las siguientes:

- Interfaz gráfica que permite un control total del campo de forma sencilla y rápida. A través de los distintos menús se permite manipular la base de datos de forma que la aplicación es altamente configurable.
- Existen dentro de la interfaz gráfica una serie de ventanas que permiten la creación de grupos de heliostatos, acciones secuenciales predefinidas, etc.
- El control es aplicable a campos con diferentes grados de autonomía, permitiéndose usar los modos de control para controles locales de heliostatos no-inteligentes y de supervisión para heliostatos autónomos (CIEMAT).



- Se obtienen periódicamente señales y alarmas que permiten un desenfoco parcial o total controlado en el caso de situaciones de riesgo.
 - Calibración automática de apunte de heliostatos (corrección de los desplazamientos o desvíos o errores de apunte).
 - Permite el establecimiento de rangos de trabajo de distribuciones de flujo que permiten la automatización del enfoque de heliostatos para controlar alteraciones de la energía incidente en el receptor, debidas, por ejemplo, al paso de nubes.
 - Adaptable a distintas tecnologías y topologías de comunicaciones: inalámbricas, cableadas con buses industriales estándares y propietarios.
 - Directamente conectable a los simuladores para entrenamiento de operadores para sistemas de receptor central.
- Por último, subrayar que el HelFiCo ha sido desarrollado y validado en las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería y desde 2006 está siendo utilizado con éxito en las dos plantas de receptor central de las que se dispone: CESA y CRS, con diferentes tecnologías de campo solar.

I DCS_CONTROL I

El paquete DCS_Control está orientado a la automatización y control de campos solares distribuidos de colectores cilindro parabólicos. Incluye una librería de controladores que implementan diferentes técnicas y estrategias de control avanzadas. Todas las técnicas de control incluidas en este paquete han sido desarrolladas en el CIEMAT y probadas con éxito en la planta experimental ACUREX de la Plataforma Solar de Almería (Foto 3).

Se resumen a continuación las características fundamentales del paquete DCS_Control:

- Las técnicas de control utilizadas permiten regular la temperatura de salida del campo solar ajustando el caudal del fluido que actúa como medio de transferencia de calor.
- Los algoritmos de control incorporan estrategias que mantienen la temperatura de referencia deseada a pesar de variaciones en la temperatura ambiente, temperatura del fluido a la entrada del campo solar, e incluso de cambios en la radiación solar.



Foto 3. Vista aérea del campo ACUREX en la Plataforma Solar de Almería. Cortesía del CIEMAT



Foto 4. Lazo de colectores cilindro-parabólicos del campo ACUREX de Plataforma Solar de Almería. Cortesía del CIEMAT

- Contiene modos de ensayo virtuales para probar los controladores empleando simuladores de la planta solar. Al igual que los controladores incluidos, los simuladores están basados en modelos validados con datos reales de plantas de colectores cilindro parabólicos, como el campo ACUREX. Este modo permite entrenar a los operadores de planta sin riesgo para la instalación real.

- Incluye una extensa documentación de ayuda (en español e inglés) de los controladores y simuladores con ejemplos reales.
- Es integrable en cualquier sistema informático previamente adquirido e instalado en la planta termosolar de producción. AUNERGY implanta totalmente en las dependencias del cliente el paquete, descargando a éste de cualquier responsabilidad en esta materia.
- Entre los tipos de controladores incluidos se encuentran combinaciones de:

- PID, anticipativos, compensación de retrasos, predictivos y adaptativos basados en modelos.

Los beneficios de una planta termosolar de colectores cilindro-parabólicos que trabaje con este producto son:

- Es posible operar entorno al punto de temperatura deseado, punto que puede cambiar automáticamente. Se mejora la eficiencia del sistema y se reduce la demanda de apoyos energéticos auxiliares, así como de los sistemas de almacenamiento.
- El campo solar se mantiene en condiciones de operación permitidas durante las caídas de radiación solar, evitando procedimientos de parada y arranque innecesarios que suponen pérdidas económicas muy significativas para la planta termosolar.
- Mediante el interfaz de usuario integrado en el sistema informático del cliente, el software DCS_Control facilita la configuración de los controladores ajustando los parámetros característicos de la planta solar.
- Cumplimiento de restricciones. Permite incorporar restricciones particulares de cada planta en base a los criterios de operación de la misma, permitiendo en puntos de operación que mediante operación manual es muy arriesgado.

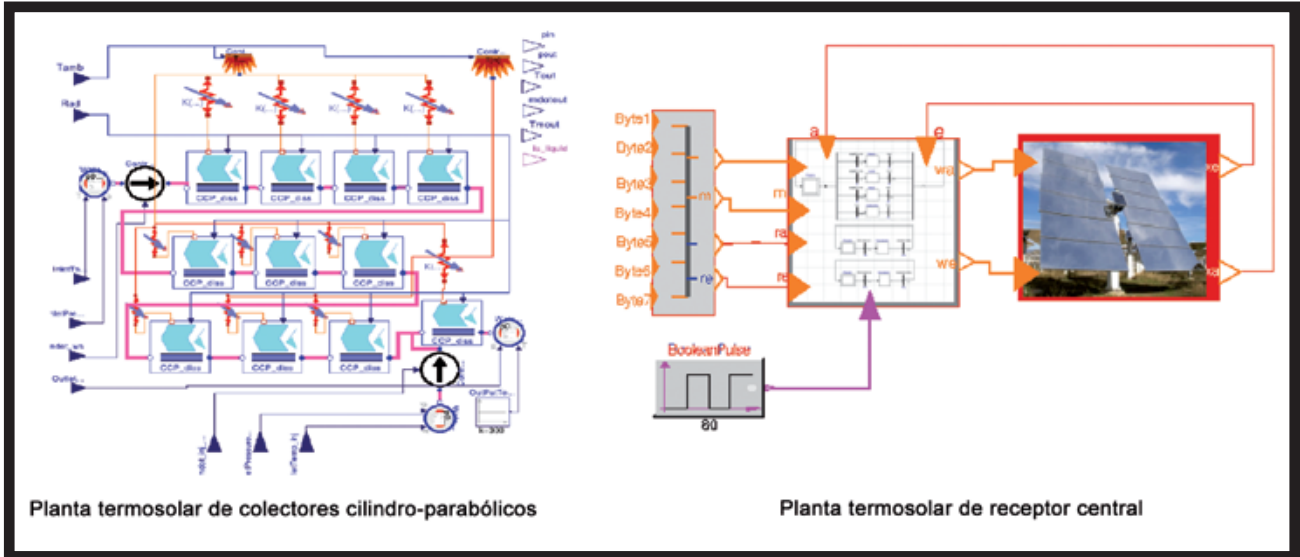


Figura 2

- Adaptable a distintas soluciones informáticas *hardware* y *software* existentes. Soluciones para Windows y UNIX/Linux.

I SIMULADORES DE ENTRENAMIENTO PARA OPERACIÓN I

El uso de simuladores dinámicos en tiempo real para actividades de simulación y diseño de sistemas de control, está adquiriendo relevancia en los últimos años en los procesos industriales de las plantas termosolares. Un caso claro de aplicación es la docente en el entrenamiento de operadores. Entre las preguntas más comunes que se hace un Departamento de Operación de Planta en una planta termosolar industrial, se pueden citar:

- “¿Hemos operado la planta hoy con la mayor eficiencia posible?”
- “¿Podríamos haber evitado la parada de la planta si hubiéramos tomado en aquel momento la decisión alternativa a la tomada?”
- “¿Cuándo interesará aportar combustible fósil respecto a una falta temporal de radiación solar?”
- “¿Cómo podemos aprender más sobre el funcionamiento de nuestra planta, sin experimentar con la planta de producción?”
- ¿Cómo podría minimizar el tiempo de arranque de planta, y comentar cuanto antes la producción en el punto de operación deseado?”

La respuesta a estas preguntas pasa por utilizar las soluciones para simuladores de entrenamiento desarrollados por AUNERGY, que se integran totalmente en el Interfaz-Persona-Máquina de los sistemas de control de la planta termosolar, de forma que los operadores no saben si están trabajando sobre la planta real o sobre el simulador.

Distintos simuladores dinámicos en tiempo real han sido desarrollados para plantas termosolares basadas en colectores cilindro-parabólico y de receptor central, entre otros desarrollos.

I DOCENCIA, FORMACIÓN Y ASESORAMIENTO SOBRE CONTROL Y OPERACIÓN DE PLANTAS TERMOSOLARES I

AUNERGY ofrece servicios de docencia, formación y asesoramiento en control y operación de plantas termosolares. Para ello utiliza como herramientas docentes los productos que desarrolla, además de los servicios de profesionales con formación y experiencia en las distintas tecnologías termosolares en la Plataforma Solar de Almería.

Los cursos de entrenamiento de operadores de planta termosolar contra los simuladores propios de AUNERGY, son los que actualmente tienen una demanda más importante.

Agradecimientos:

En la actualidad, AUNERGY es un proyecto que debe su existencia a la implicación de investigadores del CIEMAT, el propio CIEMAT y el Parque Científico de Madrid. Ha tenido un apoyo fundamental por parte de la Consejería de Innovación Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía, y de la Universidad de Almería. Actualmente AUNERGY tiene su sede en Almería, en el local 0.23b del Vivero de Empresas de la Universidad de Almería, donde se prevé que desarrolle la actividad durante los dos primeros años. AUNERGY agradece sinceramente a la Consejería de Innovación Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía (Agencia IDEA), Universidad de Almería, Parque Científico de Madrid y al CIEMAT, los recursos dispuestos para la fase inicial de este proyecto de EBT. ■