

ARTICULO / Optimización energética y medioambiental de calderas industriales

# El sistema Cesar-Sire

Este sistema desarrollado por Inerco (Ingeniería Energética y de Contaminación) permite mejorar el consumo específico de una planta industrial favoreciendo así la conservación del medio ambiente y limitando las emisiones de NO<sub>x</sub> que se produzcan, acarreado además, un beneficio económico a las empresas. Asimismo, cubre las necesidades de los sistemas utilizados en las plantas industriales encaminados a conocer lo que acontece en la instalación y garantizar el correcto funcionamiento y la operación de la misma, pero que no permiten optimizar los recursos que se ponen en juego.

Una gran parte de las plantas industriales poseen sistemas de control que permiten, por un lado, obtener un elevado grado de conocimiento de lo que ocurre en la instalación y, por otro, garantizar el correcto funcionamiento y la operación de la misma. Sin embargo, estos sistemas no permiten por lo general optimizar los recursos que se ponen en juego. Un mejor aprovechamiento de estos recursos implicaría un mayor beneficio económico para las empresas y favorecería la conservación del medio ambiente.

En este contexto, y teniendo en cuenta la creciente competitividad existente entre las distintas centrales térmicas, Inerco ha desarrollado una nueva metodología de optimización y la ha implementado en un paquete informático, denominado Cesar-Sire. Este sistema permite mejorar simultáneamente el consumo específico de la instalación y limitar las emisiones de NO<sub>x</sub> que se produzcan.

El trabajo realizado no sólo se ha centrado en la evaluación y desarrollo de las herramientas informáticas más apropiadas para el proceso de optimización, sino también en el análisis y experimentación de nuevos sistemas de monitorización de la operación de las calderas industriales haciendo un espe-

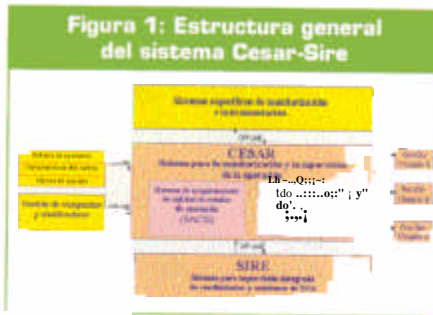


Figura 1: Estructura general del sistema Cesar-Sire

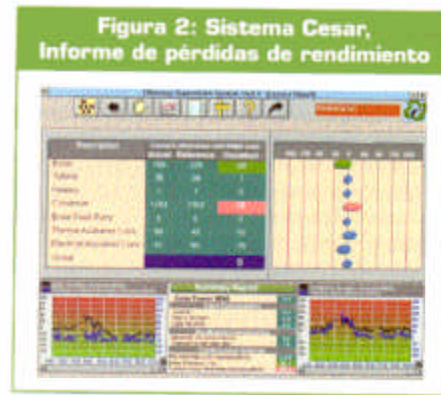


Figura 2: Sistema Cesar, Informe de pérdidas de rendimiento

cial hincapié en la estructura general del sistema, las actividades relacionadas con la caracterización y monitorización de la planta y las características del proceso de modelización.

### Estructura general del sistema

El diseño de este novedoso sistema se basa en una metodología, de reciente creación, que solventa alguna de las principales limitaciones que presentan la mayor parte de los actuales programas informáticos para optimización de calderas.

En general, desde el punto de vista de la modelización, no se realiza una suficiente caracterización previa de las instalaciones. Asimismo, tampoco se dispone de una adecuada instrumentación para el control de lo que sucede en el interior de la caldera. Por otro lado y con respecto a la calidad y al tiempo de respuesta de estos sistemas, los procesos de optimización y entrenamiento generalmente no son dinámicos. Además, no existe información acerca de la calidad y fiabilidad de los resultados obtenidos. Al mismo tiempo, el desarrollo de este tipo de sistemas para una caldera resulta especialmente complejo por dos razones: por que en este tipo de instalaciones, para lograr una modelización adecuada, se requiere manejar un número muy elevado de variables y por que la optimización no debe contemplar únicamente aspectos energéticos, sino también medioambientales, en previsión de futuras ecotasas asociadas a emisiones que pudieran repercutir en la economía de la planta.

Aunque estos problemas ya han sido parcialmente resueltos por otros programas de optimización, se propone una nueva filosofía que se basa en la

potencialización de los sistemas de monitorización específicos del hogar de la caldera y en la utilización de la estructura informática mostrada en la Figura 1 .

Según se comprueba en dicha figura, el sistema se compone en primer lugar del módulo Cesar (Figura 2), responsable de los cálculos on-line, de la gestión de la información y de proporcionar una evaluación fiable del funcionamiento de la unidad.

Este módulo opera con los datos recibidos de la planta, incluyendo los provenientes de los sistemas avanzados de monitorización que constituyen una de las novedades propuestas por Inerco. El módulo Cesar también dispone de una herramienta informática que permite asegurar la calidad de las señales de operación, además de las librerías de programas necesarias para calcular los parámetros globales y locales que caracterizan el funcionamiento de la planta.

El otro módulo que compone el sistema es el Sire (Figura 3), el cual recomienda a los operadores de las plantas acerca de los ajustes necesarios para optimizar el funcionamiento de la caldera. Este módulo recibe información del Cesar y permite, simultáneamente, la mejora del rendimiento de combustión y la reducción de las emisiones de NOx para diferentes condiciones operativas.

### Caracterización y monitorización de la planta

Uno de los principales problemas que deben afrontar los sistemas de optimización es su adecuación a las características específicas de la instalación. En este sentido, la amplia experiencia que Inerco posee en programas de optimización off-line avala la conveniencia de aplicar este tipo de software sólo tras tener una profunda caracterización previa de la operación de la planta.

Para resolver este problema, el desarrollo de su sistema se ha basado en la información previa obtenida a través de un programa off-line de optimización

de calderas. Por esta razón, antes del ajuste y la instalación del software, se recomienda llevar a cabo una minuciosa campaña de ensayos paramétricos, campaña de la que se obtendría el diagnóstico de la combustión de la caldera en condiciones típicas de funcionamiento y la apropiada caracterización de todas las variables de operación significativas.

A su vez, este proceso haría posible proponer los sistemas de monitorización on-line y off-line necesarios para tener los adecuados niveles de instrumentación en la caldera.

La Figura 4 muestra varios ejemplos de los sistemas de monitorización avanzados que han sido implementados en una caldera de arco. Estos sistemas se han instalado a partir de las recomendaciones obtenidas tras el diagnóstico off-line de dicha caldera.

Con respecto a la monitorización del hogar, la altura de llama en este tipo de calderas tiene una considerable influencia en el funcionamiento de la planta y en las emisiones de NOx. Para caracterizar la tipología de llama, se han instalado dos pirómetros de infrarrojos, uno en el cenicero y otro en la parte final de la zona radiante.

Otro elemento que influye en el funcionamiento de la caldera es el grado de desequilibrio existente en la distribución de gases en el interior de la caldera. La información acerca de estos desequilibrios ha sido proporcionada por medio de la tecnología Opticom, implementada por Inerco (Figura 5). Esta tecnología permite la monitorización de las condiciones locales de combustión en el hogar de la caldera de manera automática y sin necesidad de realizar modificaciones estructurales en la misma. De esta forma, mediante la obtención de los perfiles de composición de gases y temperatura directamente sobre las llamas de cada quemador, se consigue identificar defectos de funcionamiento locales. El sistema de monitorización Opticom puede integrarse fácilmente con el sistema Cesar-Sire, de manera que la información obtenida con el prime-



ro se utilice para evaluar el funcionamiento global de la planta.

1) Los desequilibrios en la alimentación de aire y carbón también tienen un efecto perjudicial en el funcionamiento de la caldera.

La información acerca del desequilibrio de carbón ha sido obtenida mediante la tecnología Emir, desarrollada por Inercó. Con esta tecnología se consigue una caracterización absolutamente fiable de los flujos de carbón pulverizado que se dirigen a cada quemador, mediante muestreo isocinético. En este sentido, el sistema Emir III (Figura 6) representa la versión totalmente automatizada de esta tecnología.

Por otro lado, para detectar el desequilibrio en los flujos de aire, se utiliza un sistema de monitorización de las cajas de viento basado en modelos fluidodinámicos. Teniendo en cuenta que los suministros de aire no suelen determinarse en continuo en las centrales térmicas, estos modelos permiten que el sistema Cesar\_Sire prediga los flujos de aire que van al hogar en función de la posición de las compuertas.

2) Por último, el contenido de carbono en ceniza y la distribución de los gases de combustión han sido determinados mediante medidores instalados al efecto en la salida de la caldera.

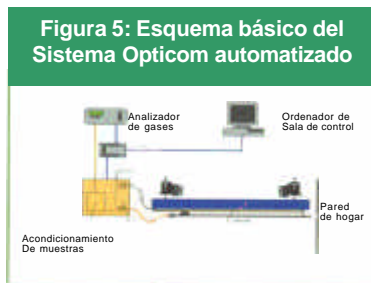
Teniendo en cuenta que el potencial grado de optimización está directamente relacionado con la información disponible de la caldera, se puede afirmar que el sistema de optimización informático habría funcionado de manera mucho menos eficiente si no se hubieran desarrollado las actividades de mejora de la instrumentación y monitorización descritas.

### El proceso de modelización

Uno de los principales objetivos que se ha perseguido en el desarrollo del sistema Cesar-Sire ha sido el dotarle de la habilidad de adaptarse a cualquier condición operativa de la caldera. Este objetivo se ha logrado mediante una nueva filosofía de modelización basada en la utilización de diferentes modelos parciales, representativos de las distintas condiciones de operación de la caldera, y en el cálculo de índices de fiabilidad. Estos índices controlan de manera dinámica la bondad e idoneidad del modelo utilizado y establecen, automáticamente, los criterios para el entrenamiento de los nuevos modelos o la actualización de los existentes.

Esta nueva filosofía ha permitido que el sistema de modelización del Cesar-Sire esté dotado de algu-

nas ventajas, así cualquier nueva situación en las condiciones de operación de la caldera puede simularse mediante la incorporación de nuevos modelos parciales. Además el sistema es fácilmente reentrenable, permitiendo la generación automática de nuevos modelos o actualización de los existentes a través de pruebas puntuales. Asimismo, el sistema se puede aplicar directamente a otros diseños de caldera. Para ello, simplemente es necesaria una adecuada caracterización previa de la nueva instalación.



Con respecto al desarrollo tecnológico del mismo, se han utilizado herramientas de programación y técnicas de computación de última generación, con el objetivo de obtener un producto robusto, flexible, fiable y fácilmente adaptable a distintos entornos. En este sentido, debido a sus adecuadas características, se han empleado distintas topologías de redes neuronales artificiales, algoritmos genéticos y sistemas expertos basados en lógica borrosa.

### Resultados y actividades en el área de la optimización

El sistema de optimización Cesar\_Sire, para su ajuste final, ha estado funcionando hasta ahora en un grupo térmico utilizando datos off-line obtenidos de campañas de ensayo. La aplicación del sistema ha permitido que el consumo específico de la instalación se haya reducido más de un 1%, a la vez que han disminuido sus emisiones de NO<sub>x</sub> por encima del 30%. En la actualidad, se está integrando el Cesar-Sire con la instrumentación propia de la planta para su funcionamiento en continuo.

Con respecto a futuras actividades relacionadas con la optimización, Inercó está desarrollando una versión en bucle cerrado del sistema Cesar\_Sire. El objetivo final será proporcionar una optimización global del rendimiento, niveles de emisión y escoriación que se produzcan en calderas de carbón pulverizado, pertenecientes tanto a plantas de generación de energía eléctrica como a cualquier otro tipo de instalación industrial, que utilice equipos similares.

**Antonio Copado, Ingeniero Industrial.**

**INERCO**

**Sixto López,**

**Ingeniero Industrial. INERCO**

**Francisco Rodríguez,**

**Dr. Ingeniero Industrial y jefe del Departamento de Ingeniería de Procesos. INERCO**