

Julio San José Alonso¹, julsan@eii.uva.es

F. Castro Ruiz¹, J. M. Villafruela Espina¹, J. C. Fraile Mariner² y A. González Alonso²

¹Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica.

²Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

Escuela de Ingenierías Industriales (Universidad de Valladolid)

Estrategias de Gestión de la Central Térmica de un Complejo Hospitalario de 600 camas

Mejoras de la Eficiencia Energética

Los sistemas de gestión y control energético instalados en grandes edificios, emplean estrategias de programación genéricas para ajustar el funcionamiento de la instalación a la demanda térmica del edificio. Estas estrategias, aún cuando consiguen un funcionamiento adecuado de las instalaciones, no siempre permiten alcanzar la eficiencia energética óptima del sistema, al no ajustarse a las particularidades del edificio y su uso.

La implantación de estrategias de control, que mejoren la eficiencia energética del sistema, supone una disminución del consumo energético y una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Estas acciones se inscriben dentro de los programas plurianuales "Energía Inteligente –Europa" (2007–2013), así como el Plan de acción para la eficiencia energética (2007–2012) en el sector de la edificación, que amplía el ámbito de aplicación de la directiva 2002/91/CE sobre eficiencia energética de los edificios.

La expresión "eficiencia energética" se refiere a la adecuada administración

de la energía, tanto desde el punto de vista económico como medioambiental. El objetivo que persigue es una disminución en el consumo de energía, mediante el desarrollo y aplicación de nuevas técnicas de control que consuman menos, manteniendo o incrementando la actividad.

Descripción de la instalación

La central térmica del complejo hospitalario consta de 6 grupos generadores formados por: i) calderas (modelo Eurobloc–super, de la marca Vulcano–Sadeca S.A. y ii) quemadores de la marca Weishaupt modelo RGL mixtos de gasóleo/gas natural). Cuatro generadores (1–4) con una potencia térmica de 4000 Kw (cada uno), un generador (5) de 2300Kw y un generador (6) de 1100Kw. Esta variedad de potencias permite tener un amplio abanico de posibilidades a la hora de cubrir la demanda .

El sistema de agua caliente sanitaria (ACS) está considerado una demanda más del sistema de producción de calor. Por ello, el agua caliente proveniente de los generadores circula por el anillo de

distribución a lo largo del hospital para satisfacer la demanda de calefacción de los distintos sectores, y otra parte se dirige a los intercambiadores de calor para calentar y almacenar el ACS.

La distribución consta de dos anillos, el anillo primario, (anillo donde se conectan los grupos generadores) y el anillo secundario (donde se conectan las distintas zonas del edificio y el A.C.S.). El anillo primario es de caudal y diferencia de temperatura impulsión y retorno constante. El anillo secundario es de caudal y temperatura variable,

Las mejoras en las estrategias de control se han implementado y validado en el anillo primario y más concretamente, sobre el funcionamiento de los generadores 5 y 6, que son responsables de la producción térmica del hospital durante los meses del verano (junio–septiembre). Durante estos meses se puede realizar pruebas y ensayos con una menor incidencia en la actividad asistencial. No obstante, todas las mejoras, una vez validadas se han implantado al resto de los generadores.

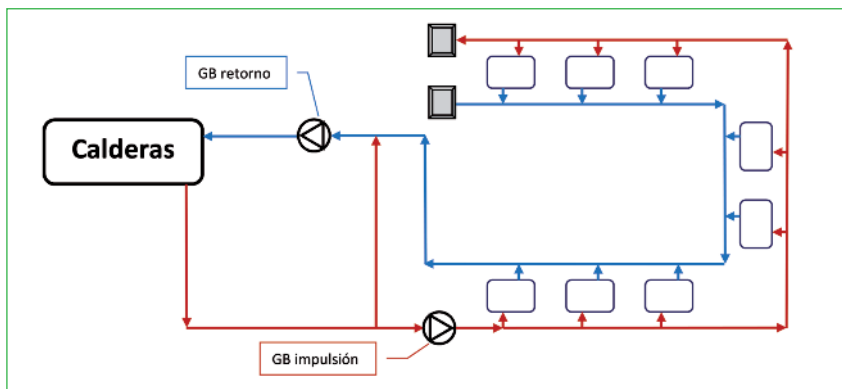


Figura 1: Esquema del anillo de distribución del agua caliente producida en las calderas.

Análisis inicial de la instalación

Los requisitos básicos que se impusieron al sistema de control fueron:

- ▶ Regular la temperatura de consigna del agua de impulsión de los grupos generadores y del anillo de distribución, para cubrir todos los servicios que demanda el complejo hospitalario. Las temperaturas de consigna pueden ser fijas o variables
- ▶ Utilización en cada momento de los grupos más eficientes, de potencia más ajustada a las necesidades instantáneas.
- ▶ Reducción del número de arranques y paradas de los grupos, para minimizar el consumo, deterioro – desgaste mecánico.

La regulación del sistema de producción de agua caliente para calefacción y agua caliente sanitaria del complejo hospitalario tiene tres parámetros que inciden sobre el modo de funcionamiento del sistema:

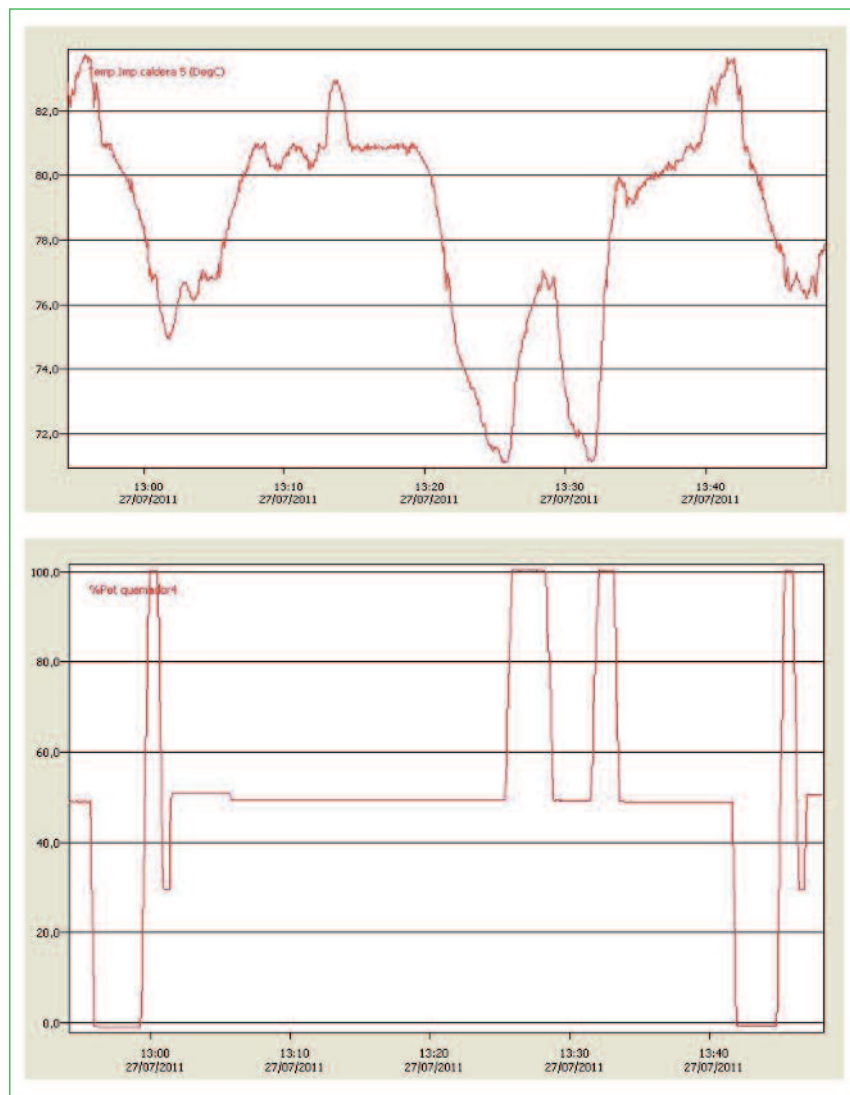
- ▶ Temperatura de impulsión de los generadores
- ▶ Potencia del quemador
- ▶ Parámetros del PID del controlador del quemador

Cuando se comenzó el análisis de la regulación del sistema de producción de agua caliente para calefacción, la temperatura de consigna del agua de impulsión de los generadores estaba fijada en 77 °C. Los quemadores disponen de un termostato que detiene, por seguridad, los quemadores cuando la temperatura de impulsión supera en 6 °C la temperatura de consigna. Es decir, durante este primer

análisis los quemadores se paraban siempre que su temperatura de impulsión era cercana a los 83 °C. Los quemadores de los grupos generadores estaban inicialmente ajustados para que su potencia mínima de funcionamiento fuese del

50%. Con estos parámetros iniciales de regulación, se realizó un análisis del sistema de producción de calor del complejo hospitalario durante varios días. Se estudió cómo evolucionaban las variables: “Temperatura de impulsión de los generadores”, “potencia del quemador” y “temperatura del anillo de distribución”. Se tomaron datos de estas variables cada 2 segundos.

En la figura 2 se muestra la evolución de la temperatura de impulsión de la caldera 5 durante un periodo de una hora. Se observa que esta variable toma valores máximos de 84 °C y mínimos de 71 °C, con lo que se tienen oscilaciones de 13°C, en un horario (a mediodía), cuando la demanda de calor de los distintos servicios del hospital es muy homogénea, y por tanto, la temperatura de impulsión debería tener “muy pocas” oscilaciones.



En la figura 3 se observa también cómo que el quemador de la caldera 5 sufre varios encendidos y apagados durante el mismo periodo de una hora,

El análisis inicial de la instalación permitió, a la vista de los resultados mostrados en las gráficas anteriores, hacer las siguientes consideraciones

- ▶ La disminución de la temperatura del agua de impulsión de la caldera 5 probablemente están provocadas por un aumento de la demanda. Esos aumentos de demanda son en principio, incontrolables, pero si el sistema de control funcionase de una manera adecuada, el quemador de la caldera debería reaccionar a tiempo, actuando para volver a la temperatura de consigna lo más rápido posible. Esto pone de manifiesto que el PID del quemador de la caldera no está bien sintonizado, es demasiado lento y no tiene capacidad de predicción.
- ▶ En la temperatura del anillo de distribución, se observan las mismas variaciones que en la temperatura de impulsión del agua de la caldera, con unos pocos minutos de retardo. La temperatura del agua del anillo de distribución oscila con una amplitud de 13°C, algo inaceptable para lograr un funcionamiento equilibrado.
- ▶ Si se observa conjuntamente las figuras 2 y 3, se ve que las grandes bajadas de temperatura se corresponden con paradas del quemador (antes de las 13:00 y poco después de las 13:40). En 45 minutos, la caldera ha arrancado y parado 2 veces, lo cual no es deseable. Cuando la temperatura de impulsión de la caldera sube demasiado, el quemador debería disminuir su potencia, pero no puede debido a que tiene configurado como potencia mínima el 50%. Esta elevada temperatura provoca la parada del quemador de la caldera por seguridad.

Se puede concluir que con la actual regulación y control de las calderas, el comportamiento del sistema de producción de calor del complejo hospitalario es altamente inestable y oscilatorio, la caldera arranca y para con demasiada frecuencia, provocando oscilaciones en las temperaturas de impulsión al anillo. El sistema de control de la instalación no es capaz de absorber los cambios de la demanda, lo que genera elevadas oscilaciones de la temperatura del agua del anillo de distribución.

Actuaciones desarrolladas e implantadas en el control del sistema de producción de calor del complejo hospitalario

1ª actuación: Disminución del límite inferior de potencia de los quemadores

La primera medida adoptada fue la disminución del mínimo de potencia del quemador, del 50% al 30% en la caldera 5, y del 50% al 40% en la caldera 6. Estos quemadores son de tipo mixto, pudiendo emplear como combustible gas natural o gas-oil, esto hace que los mínimos de potencia no puedan rebajarse demasiado. Si se disminuyera la potencia por debajo del 30% habría exceso de aire, y debido a ello, existiría mayor cantidad de oxígeno en la salida de la caldera, que traería consigo una disminución de la temperatura de los humos, con el consiguiente peligro de condensación.

2ª actuación: Sintonización de los parámetros del PID para regular la potencia del quemador de las calderas

Los controladores PID son los más utilizados en la actualidad en las aplicaciones industriales, en las que más del 95% de los lazos de control poseen el algoritmo PID. La sintonización (o ajuste) de un PID consiste en la determinación de los parámetros del controlador (Kp, Ti, Td), de acuerdo con un conjunto de especificaciones. La sintonización se puede hacer en la puesta en marcha de un sistema de control (presintonía), o cuando el usuario observa un deterioro del comportamiento del sistema de control (supervisión + sintonía).

Inicialmente el PID de los quemadores de las calderas 5 y 6 regulaba con los parámetros por defecto fijados por el fabricante (Kp=10, Ti=10, Td=10). Estos parámetros no son los adecuados para la instalación, ya que, como se ha visto con las gráficas obtenidas el sistema de control de producción de calor es inestable,

La variable que se desea controlar es la temperatura de impulsión de las calderas, ya que ésta es la responsable de la temperatura del agua en el anillo de distribución. Nuestro objetivo será lograr que dicha temperatura de impulsión se mantenga en una banda de ± 3 °C alrededor de la temperatura de consigna de impulsión (77 °C), y que el sistema de control de las calderas responda a los cambios de la demanda de calor,

La sintonización se realiza mediante el cálculo y experimentación de los valores de

los parámetros del PID utilizando la función de autoajuste que el propio quemador lleva incorporado. Esta función utiliza para el ajuste la respuesta de la variable a controlar, es decir la potencia del quemador, ante una entrada escalón. Realizado el sintonizado de parámetros mediante esta función de autoajuste, se obtuvieron los valores, que aparecen en la tabla :

Parámetros PID quemadores 5 y 6	
Kp	20
Ti	80
Td	75

Tabla 1.- Parámetros PID del quemador de las calderas 5 y 6.

3ª actuación: Programación de la secuencia de calderas

Con el objetivo de lograr que la producción de calor se ajuste a la demanda del hospital de una manera eficiente, se ha programado, utilizando el programa SET del fabricante TREND, una estrategia de prioridad y secuenciación del funcionamiento de las calderas 5 y 6, adaptada a la temperatura ambiente del exterior

En primer lugar se estableció una prioridad de funcionamiento, según la cual si la temperatura exterior $T_e \leq 32$ °C, deberá funcionar como caldera principal la 5, y si $T_e > 32$ °C la caldera principal será la 6. Tras probar con diferentes valores y estudiar a partir de qué temperatura exterior la demanda de calor puede cubrirse con la caldera 6 (la más pequeña), se decidió establecer el límite en 32 °C, ya que con este límite el sistema presentaba un funcionamiento más adecuado. Antes de establecer este límite se realizaron ensayos previos con 25 °C, 28 °C y 30 °C, pero todos ellos presentaron el mismo problema: la caldera 6 no era capaz de satisfacer la demanda de calor ella sola, y requería del apoyo continuo de la 5.

En segundo lugar, se programó una secuencia de apoyo para las calderas 5 y 6 :

Cuando el quemador de la caldera con prioridad está más de 3 minutos a más de un 75% de su potencia, arranca automáticamente la otra caldera. Con las dos calderas en funcionamiento, la de apoyo se parará automáticamente si está otros 3 minutos a una potencia inferior al 40%. Si se produce un aumento brusco de demanda, entrará una segunda caldera de apoyo, se

Temperatura exterior	Prioridad de funcionamiento	Secuencia de apoyo
Te ≤ 32°C	Caldera 5 (C5)	Pot(C5) > 75% Durante 3 mins à C6 ON Pot(C6) ≤ 40% Durante 3 mins à C6 OFF
Te > 32°C	Caldera 6 (C6)	Pot(C6) > 75% Durante 3 mins à C5 ON Pot(C5) ≤ 40% Durante 3 mins à C5 OFF

Tabla 2– Estrategia de prioridad y secuenciación de las calderas 5 y 6

recuperará antes la temperatura de impulsión y se evitarán picos de temperatura. En la tabla 2 se muestra un resumen de la estrategia de prioridad y secuenciación del funcionamiento de las calderas 5 y 6.

4ª actuación: Consigna variable para la temperatura de impulsión de la caldera

La demanda de calor por parte de la instalación del complejo hospitalario es función directa de la temperatura exterior. Cuando la temperatura exterior es baja, las estancias a climatizar requieren mayores temperaturas de impulsión del aire para lograr la temperatura ambiente de confort en cada zona y, además, el ACS estará más fría a la entrada y será necesario más aporte de calor en los intercambiadores de placas para calentarla. A altas temperaturas exteriores, ocurre lo contrario. Para implantar esta nueva estrategia de consigna variable, se han programado un conjunto de módulos utilizando el programa SET.

Resultados económicos y medio ambientales

En la figura 4 se observa que las oscilaciones (que antes se producían alrededor de la consigna fija de 77 °C), ahora con consigna variable, la temperatura de impulsión de la caldera 5 muestra oscilaciones, para adaptarse a la consigna oscilan en 2,5 °C.

Para estimar la cuantía de los resultados obtenidos, se realiza una comparación entre los consumos de gas natural de la semana del 18 al 24 de Julio, con la instalación funcionando en las condiciones iniciales, y la semana del 12 al 18 de Septiembre, con todos los cambios y mejoras ya implementados. También se han comparado los consumos de dos días con temperaturas exteriores muy similares, buscando comparar demandas muy parecidas,

El análisis económico ha partido de un precio de 0.032597 €/kWh. Este dato corresponde al precio unitario del término variable de la factura de gas del centro hospitalario. Se estima un ahorro de 3.3342,39 € entre las dos semanas estu-

das, y 506.70 € entre el día de Junio y el de Septiembre.

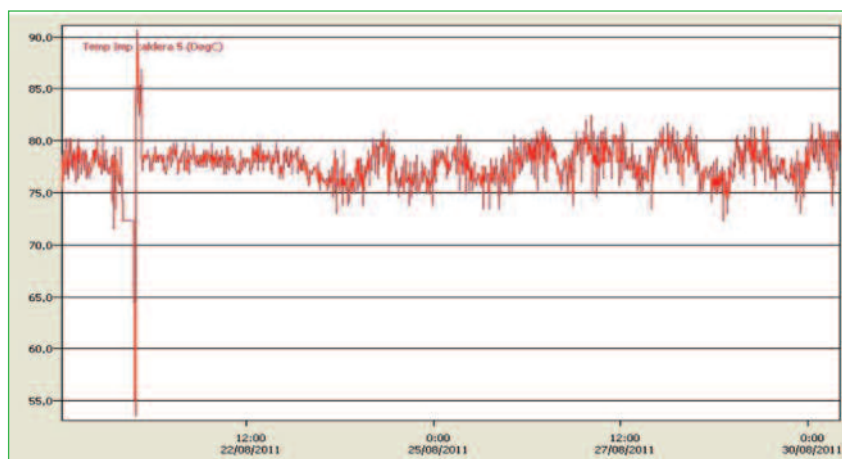
Conclusiones

La disminución del límite inferior de la potencia del quemador ha logrado impedir los continuos arranques y paradas que sufría la caldera por alcanzarse elevadas temperaturas de impulsión en los momentos de baja demanda.

El ajuste del PID del quemador ha repercutido en las variaciones en la temperatura de impulsión de la caldera en el tiempo en un 50%, por lo que ha mejorado el ajuste

La implantación de la programación de secuencias de calderas presenta una serie de ventajas y beneficios: i) Los equipos dejan de funcionar a elevadas potencias durante largos periodos de tiempo, ii) Automatización del sistema lo hace independiente y fiable, iii) Aumento de la seguridad de la instalación, además de la seguridad de quemadores y calderas en el arranque. Un elemento importante de seguridad incorporado es tener en cuenta la temperatura de impulsión del anillo, iv) Respuesta más rápida ante cambios de demanda y v) Ahorro energético y económico, que puede estimarse alrededor de 9.000 m³ de gas natural a la semana.

Se observa tras la implantación de la consigna de impulsión variable que la temperatura de la impulsión de la caldera aumenta y disminuye con la consigna de temperatura exterior a lo largo del día, lo que reduce las fluctuaciones de temperatura en el anillo primario, un funcionamiento más ajustado a la demanda .



Periodo representado	Del 19 de Agosto al 30 de Agosto.
Caldera prioritaria	Caldera 5
Caldera de apoyo	Caldera 6
Consigna de impulsión de las calderas	Constante: 77°C antes del día 23 de Agosto Variable después del 23 de Agosto

	Temperatura máxima °C	Temperatura mínima °C	Temperatura media °C
14 de junio	29,3	12,2	20,75
12 de septiembre	29,3	12,3	20,8

Tabla 3– temperaturas máximas, mínimas y medias de 2 días a comparar

	Consumo (Nm ³)	Potencia (kWh)	Coste (€)	Emisiones (gr de CO ²)
Semana antes	24.188	289.772,24	9.283,25	55.209.110,00
Semana después	15.285	182.114,30	5.940,86	34.888.012,50
Ahorro	8.903	106.657,94	3.342,39	20.321.097,50

Tabla 4: resumen de comparación de 2 semanas.