

Análisis energético y ambiental de cambio de calderas en edificio universitario: Reducción de energía consumida y emisiones de CO₂

Fernando Blanco Silva ¹, Fidel Gude Sampredo ²,
Amelia Tomé Cruz ³, Alfonso López Díaz ⁴

RESUMEN

El siguiente artículo analiza la reforma de la sala de calderas de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Santiago de Compostela (España). En ésta se ha sustituido el combustible; antes de la reforma, la caldera usaba gasóleo y ahora usa gas natural. Esta actuación ha supuesto una caída en el consumo de energía del 26%, de las emisiones de CO₂ del 43% y un ahorro anual del coste de la calefacción del 50%.

ABSTRACT

The next paper analyzes the reform of the room of boilers of the Faculty of Drugstore of the University of Santiago de Compostela (Spain). We have changed the fuel; before the reform the boiler used diesel oil and now the new boilers use natural gas. This action has supposed a decrease of the consumption of energy of 26 %, of the emission of CO₂ of 43%, as well as a saving of the annual cost of the heating of almost 50%.

Palabras clave: Caldera, Universidad de Santiago de Compostela, gasóleo, gas natural, efecto invernadero, ahorro económico.

Key words: Boiler, University of Santiago de Compostela, diesel oil, natural gas, greenhouse effect, economic saving.

Recibido: 17 de marzo de 2010, aceptado: 17 de junio de 2010

¹ Gestión de Infraestructura Universidad de Santiago de Compostela (USC), oxestin@usc.es

² GAIA, fidelgude@yahoo.es

³ GAIA, ameliatc.gaia@gmail.com

⁴ Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Católica de Ávila, alfonso.lopez@ucavila.es

* Las fotografías son propiedad del autor.

INTRODUCCIÓN

La Universidad de Santiago de Compostela (España) es una Institución con más de quinientos años de historia que imparte titulaciones en todos los ámbitos (tecnológico, científico, médico, humanístico, ciencias sociales, etc.) además de ser una de las primeras en investigación para lo cual dispone de aproximadamente cincuenta edificios en las ciudades de Santiago de Compostela, Lugo, Vilagarcía de Arousa y Ferrol, con una superficie total de unos 500.000 metros cuadrados edificadas. Estos edificios tienen una tipología muy variada, desde pequeñas edificaciones de unos 200 metros cuadrados a otras de miles de metros cuadrados, siendo la Facultad de Farmacia una de las más grandes con superficie de 20.000 m², aproximadamente.

El organismo responsable de la gestión de estas instalaciones es la Oficina de Gestión de Infraestructuras, misma que se encarga del mantenimiento y reforma de las instalaciones eléctricas, calefacción, aire acondicionado, ascensores, fontanería y saneamiento. En 2009, la Oficina de Gestión de Infraestructuras realizó un diagnóstico del estado de las diferentes instalaciones térmicas y de las salas de calderas de todos los edificios; algunas tareas realizadas han sido la actualización del inventario de los equipos, las inspecciones obligatorias de las calderas de potencia superior a 200 kW (cumplimiento del Real Decreto 1244/1979 de 4 de abril por el que se regula el reglamento de aparatos a presión), comprobación de las condiciones mínimas de seguridad contra incendios (puertas de resistencia al fuego, existencia de extintores y detectores de fuego),

puesta al día de las revisiones de los depósitos de gasóleo y comprobación del estado de las señalizaciones (evacuación, prohibición de acceso a las personas no autorizadas). Una vez analizadas

las irregularidades detectadas, se ha realizado una planificación de resolución de incidencias en función de la siguiente tabla:

Tabla 1. Tabla de evaluación de las incidencias detectadas

	Coste de la actuación bajo	Coste de la actuación medio	Coste de la actuación alto
Defecto muy grave	Inmediato	Corto plazo	Análisis
Defecto grave	Corto plazo	Análisis	Medio plazo
Defecto leve	Análisis	Medio plazo	Descartado

Al calificar los defectos entre muy grave, grave o leve se han considerado el incumplimiento de la normativa de seguridad y las situaciones de bajos rendimientos energéticos. Cabe señalar que de acuerdo a lo observado, las situaciones de incumplimiento de normativa y de bajo rendimiento energético suelen ser conjuntas, debido a que la causa más habitual es el deterioro de las propias instalaciones con el tiempo.

Una vez analizado el estado de todas las instalaciones térmicas de los edificios de la USC se han llevado a cabo diferentes actuaciones para superar las situaciones más desfavorables, entre las que se incluye la mejora de la situación de la Facultad de Farmacia. Esta actuación formaría parte de las que se denominarían de **Coste Alto** y se trata de un **Defecto muy grave**, ya que coincide la falta de seguridad con el bajo rendimiento de la caldera. En febrero de 2009, esta última presentó problemas de funcionamiento, quedando prácticamente fuera de servicio a finales de marzo del mismo año.

Durante junio de 2009, la Oficina de Gestión de Infraestructuras de la USC (O.X.I.) encargó la redacción de un Proyecto de Ejecución a la empresa **GAIA, SOLUCIÓNS AMBIENTAIS**, que incluyese la sustitución de la caldera original de

1,5 MW de gasóleo por tres calderas nuevas de gas natural de condensación y baja temperatura de potencia unitaria 500 kW, así como las tareas auxiliares en cuanto a instalaciones eléctricas, térmicas y contra incendios y anulación del



Fotografía de la fachada posterior de la Facultad de Farmacia.

depósito de gasóleo (de capacidad 20.000 litros) así como de un depósito nodriza de unos 100 litros. Cada una de estas calderas son de la marca *Brotje EUROCONDENS*, modelo SGB 500, con un nivel de emisiones máximo de 10 mg de CO y de 20 mg de NO_x por cada kWh producido y un rendimiento teórico del 109%⁵; esta caldera es de fundición de aluminio-silicio y alta resistencia a la corrosión y presión de trabajo de 6 bar, con regulación electrónica I.S.R. *Plus*.

El ahorro de energía y de emisiones de Gases de Efecto Invernadero como un aspecto fundamental en la USC

La Unión Europea (UE) recoge su política energética en el Libro Blanco de 1998; este documento identifica las siguientes líneas de actuación:

- Promoción de las energías renovables y de las fuentes propias.
- Disminución de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (G.E.I.).

⁵ En la UE los rendimientos de las calderas se refieren por convenio al Poder Calorífico Inferior (P.C.I.). En gas natural existen el Poder Calorífico Inferior y Superior (P.C.S.) diferenciándose entre ellos que el segundo aprovecha a mayores el calor de condensación del vapor de agua de los gases de escape (es decir, que el agua contenido en el aire se condensa, de forma que se pierde menos calor al exterior); por ejemplo, para un gas natural de P.C.I.=40.000 kJ/Kg y un P.C.S.= 46.000 kJ/kg; cuando tiene un rendimiento de 109% significa que produce 43.600 kJ por cada kg de gas natural que se quema, pero respecto al P.C.S., el rendimiento sería de 94,7%.

- Disminución del consumo de energía primaria.
- Aumento de la eficiencia energética.

Las actuaciones son promovidas a todos los niveles por parte de los Estados Miembros y con el fin de acercarse a estos objetivos los países que forman parte de la UE se han adherido al Protocolo de Kioto⁶. La Unión Europea, en su conjunto, se ha comprometido a recortar las emisiones de CO₂ (el principal gas que provoca el Efecto Invernadero) en el periodo 2008-2012 en un 7% respecto a las emitidas en 1990 (año base); España podría aumentar estas emisiones 15% debido a que en el año base no era un país completamente industrializado. Para esto, las administraciones públicas (en particular el Gobierno Central y Autonómico) han impulsado políticas que reducen las emisiones de G.E.I.

La Universidad de Santiago de Compostela es una institución con un fuerte compromiso con el medio ambiente y son muchas las iniciativas que tienen como fin promover el respeto al medio natural⁷, para lo que se han emprendido las siguientes actuaciones en los últimos años:

- Instalación de una central fotovoltaica en la Facultad de Física.
- Instalación de alumbrado inteligente en la Residencia Universitaria Monte de la Condesa.
- Programa de préstamo de bicicletas.
- Sombreado del edificio Escola Técnica Superior de Enxeñería, en vez de instalación de aire acondicionado.
- Sustitución de ventanales deteriorados en los edificios de las Facultades de Derecho y de Ciencias Políticas.

ACTUACIONES Y MEJORAS

El contenido de la actuación que aquí se describe no se limita a la simple sustitución de una caldera de gasóleo por otras tres de gas natural sino que se incluye una mejora integral en la instalación térmica para adecuarla a la normativa existente,

⁶ El Protocolo de Kioto fue firmado en 1997 en dicha ciudad con el objetivo de reducir las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero siguientes: CO₂, NO₂, CH₄, NF₃ y otros. El objetivo a nivel mundial era volver a los niveles de emisión registrados en 1990 del primero de ellos, así como otros objetivos en los gases restantes.

⁷ Existe el Plan de Desarrollo Sostenible que tiene como fin la promoción de tareas de preservación del medioambiente; se puede encontrar la información sobre el mismo en la web www.usc.es/plands/

poniendo especial interés en la disminución del impacto medioambiental de su explotación de la instalación térmica. Se pueden ver a continuación las mejoras más significativas:

- La caldera de la Facultad de Farmacia utilizaba como combustible gasóleo, el cual es muy contaminante y provoca altas emisiones de Gases de Efecto Invernadero (en particular de CO₂). Debido a que en las proximidades de la Facultad existe una línea de distribución de gas natural es muy recomendable el cambio del combustible utilizado, ya que el impacto ambiental del gas natural es más reducido.

- La sustitución de una caldera única de potencia 1,5 MW por tres nos permitirá el funcionamiento parcial de éstas en vez de una en continuo funcionamiento. Mientras que la caldera de 1,5 MW nos permitía únicamente la posición de apagado/encendido, al tener tres calderas se pueden tener una, dos o tres calderas encendidas, lo que supone un menor consumo energético y deterioro de las mismas.

- El rendimiento energético de la caldera original era aproximadamente de 80%, mientras que las nuevas calderas son de condensación y baja temperatura, pudiendo alcanzar un rendimiento de 105%, con la consiguiente reducción de consumo de combustible y emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

- En la Facultad de Farmacia existen quejas por parte del profesorado del Departamento de Farmacología de la existencia de olores muy desagradables por hidrocarburos. Aunque tienen



Se puede apreciar que la Sala de Calderas funcionaba como entrada al C.T., ubicado detrás de la puerta verde.



Fotografías de la caldera original, la cual luce bastante deteriorada.



Vista general de la nueva sala de calderas.

una procedencia incierta, es factible que estén relacionados con la existencia de fugas en el depósito de gasóleo del edificio o en la tubería que comunica éste con la Sala de Calderas. Estas posibles fugas hacen que, aparentemente, las tierras próximas a la Sala de Calderas están contaminadas de hidrocarburos (queda pendiente realizar un análisis de las mismas).

- La Sala de Calderas de la Facultad de Farmacia dispone de una instalación eléctrica deficiente y desordenada (términos, diferenciales y relés deteriorados por el uso en cinco cuadros diferentes) debido a que, básicamente, es la instalación original (que data de los años setenta) y las reformas posteriores; la nueva mejora consiste en la sustitución de todos los mecanismos y la distribución en dos únicos cuadros, uno general y otro específico para la instalación de cogeneración.

- El alumbrado de la Sala de Calderas no cumplía los requisitos mínimos de seguridad por ser alumbrado no estanco, por lo que era necesaria su sustitución. El proyecto incluye la instalación de alumbrado estanco en la Sala de Calderas.

- La configuración actual de la zona de la Sala de Calderas y Centro de Transformación (C.T.) incumple toda la normativa en cuanto a las salidas de emergencia y configuración del C.T. Hasta el momento de hacer la reforma, el acceso a éste último se debe realizar a través de

la Sala de Calderas debido a que se levantó un tabique intermedio con el fin de que los olores no inundaran el Departamento de Farmacología, esto es totalmente irregular ya que la normativa actual (*El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*⁸ de 2007) impide utilizar una Sala de Calderas como punto de paso a otras dependencias. Además, el acceso del personal de mantenimiento a dicho C.T. se debía realizar a través de la Sala de Calderas.

- Es necesario derribar el tabique que impide el acceso desde el Centro de Transformación a la Facultad para las tareas de mantenimiento o si fuera necesaria la sustitución de algún transformador; los responsables del Departamento de Farmacología han mostrado su malestar por la posibilidad de olores procedentes de las tierras de la zona de la Sala de Calderas. Para disminuir esto se colocará una puerta para acceder al C.T. desde el edificio en lugar del actual tabique; de esta forma se evitará el uso de la Sala de Calderas como zona de paso.

- En la reforma se incluye la realización de una salida de emergencia desde el C.T. a un patio interior. Al lado del C.T. existía una galería de servicios que actualmente estaba ciega, el proyecto incluye la apertura de una salida de emergencia desde el C.T. a un patio interior, sin tener que atravesar la Facultad, lo que mejora las condiciones de seguridad del C.T. De esta manera, se pasa de una única entrada al C.T. por medio de la Sala de Calderas a dos entradas, una a través del edificio y otra mediante esta salida de emergencia al patio interior.

⁸ Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*.



Nuevas chimeneas instaladas sobre la fachada.

- Se mejorarán las condiciones de la instalación contra incendios, que se encontraba obsoleta.
- Se inertizará el depósito de gasóleo, vaciándolo y descartando que sea un foco de contaminación.
- Se retirará el depósito nodriza situado en el interior de la Sala de Calderas.
- La Sala de Calderas carece de esquemas eléctrico y térmico, así como de las indicaciones de seguridad en caso de alarma; esta actuación se resolverá.

Cronología

- **Marzo de 2009:** Elaboración de informe previo de instalación por Fernando Blanco Silva.
 - **Mayo de 2009:** Encargo de la Elaboración del Proyecto de Ejecución a la empresa **GAIA, SOLUCIONES AMBIENTALES** redactado por Fidel Gude Sampedro, Javier González Casanova y Amelia Tomé Cruz; cuya finalización ocurrió en julio de 2009. A la hora de realizar el proyecto, el equipo redactor detectó la necesidad de disponer de una nueva evacuación de humos, por lo que, además del cambio de la caldera, fue necesario levantar una nueva chimenea y los elementos auxiliares de evacuación de aire, denominándose a esta actuación obra civil.
 - **Julio de 2009:** Adjudicación definitiva de ofertas y firma de contrato a cargo de las empresas adjudicatarias (Climatizaciones Compostela para la sustitución de calderas y Radio Récord para obra civil asociada).
- **Tercera semana de septiembre de 2009:** Nombramiento de la dirección facultativa compuesta por los autores del proyecto y Fernando Blanco Silva como representante de la USC.
 - **Segunda semana de noviembre de 2009:** Finalización de la ejecución, puesta a punto y entrada en funcionamiento de la instalación. Depósito de la documentación administrativa en la Delegación Provincial de la Consellería de Industria.

Presupuesto

El siguiente punto a analizar son los costes económicos. El coste de la actuación tiene los cuatro capítulos siguientes:

- Sustitución de calderas:** Se incluye la reforma de la instalación térmica del edificio, de la que la más importante es la renovación de calderas y válvulas deterioradas, así como la renovación de la instalación de control remoto de las mismas.
- Chimeneas y obra civil asociada:** En este capítulo se incluirá la colocación de chimeneas en el edificio debido a que las originales no son válidas para las nuevas calderas. Esto se debe a que las chimeneas originales se habían proyectado según los reglamentos de instalaciones térmicas de la década de los años setenta pero con una caldera de 1,5 kW es necesario que se disponga de una chimenea de mayor tamaño, por lo que no fue válida la original.
- Gastos externos de ingeniería:** Consistente en la contratación a la empresa **GAIA, SOLUCIONES AMBIENTALES** para la elaboración del Proyecto de Ejecución y de la Dirección de Obra.
- Costes indirectos asumidos por la Universidad de Santiago de Compostela:** Se incluyen en este capítulo los costes internos de gestión. Se valoran en 5% de los capítulos anteriores.

El precio de las actuaciones es de unos 180.000 euros, que si se incluye el Impuesto de Valor Añadido se incrementa hasta los 208.000 euros. Por parte de la USC se ha solicitado una subvención al Instituto Enerxético de Galicia (I.N.E.G.A) por el valor de 35% del desembolso externo (no son subvencionables el I.V.A. ni los gastos propios); esta se incluye en la convocatoria anual para el fomento de las energías renovables

y de la eficiencia energética en los edificios, en particular, para la reducción de las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero⁹. El presupuesto se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen del presupuesto

	Precio final sin I.V.A. ¹	Precio final con I.V.A.	Subvención prevista INEGA	Coste USC sin I.V.A.	Precio final con I.V.A.
Sustitución de calderas	154215	178889	62611	91604	116278
Chimeneas y obra civil	4517	5239	1834	2683	3405
Gastos de ingeniería externos	12100	14036	4913	7187	9123
Costes indirectos USC	8542	9908	0	8542	9908
Total	179373	208073	69358	110015	138715

RESULTADOS

Cálculo de ahorro energético, económico y de emisiones anuales de CO₂ evitadas

El punto de partida era que el edificio consumía alrededor de unos 50.000 litros de gasóleo al año, lo que suponían unos 42.500 kg de combustible y una demanda de energía primaria de unos 1827 GJ al año (o unos 510.000 kWh). Inicialmente, el rendimiento de las calderas era de aproximadamente 80% por lo que la demanda de energía útil son unos 1462 GJ por año. Las emisiones anuales de CO₂ serían originalmente de unas 135 toneladas.

Además de realizarse la renovación de calderas, se han sustituido válvulas de distribución de diámetro 1 ½ ", las cuales estaban deterioradas y dejaban pasar de forma involuntaria pequeñas cantidades de agua caliente sin existir demanda por temperatura. Es imposible determinar una estimación exacta de la mejora del rendimiento por este cambio y en nuestro cálculo suponemos como hipótesis una mejora del rendimiento de la instalación de un 2%, por lo que la demanda de energía útil se rebaja hasta unos 1430 GJ anuales. La

energía útil demandada por el edificio es la que se usa como referencia entre la situación inicial y final.

Al usar calderas de condensación y baja temperatura el rendimiento sube hasta 105% y se demandarán unos 380.000 kWh de energía primaria (o 1.360 GJ). Considerando que el poder calorífico del gas natural es de 42 MJ/kg, el consumo anual de combustible serán unos 32500 kg. En esta situación, las emisiones de CO₂ equivaldrían a unas 76 toneladas anuales. Comparando ambos valores se puede concluir que en energía primaria hay un ahorro de unos 463 GJ o 128.705 kWh anuales (aproximadamente, 26% del consumo inicial); en cuanto a las emisiones anuales de CO₂, el ahorro será de unas 58 toneladas de CO₂ cada año, lo que supone alrededor de 43%.

En cuanto a los aspectos económicos, el coste anual era de 30.000 euros anuales (a razón de unos 0,06 €/kWh usando gasóleo como combustible), mientras que en la nueva situación, el coste después de impuestos es del orden de los 14.400 euros anuales (unos 0,038 €/kWh para el gas natural). Suponiendo que el precio del combustible sube del orden de 5% anual, se obtendrá un periodo de retorno de la inversión de unos ocho años, según se puede ver en la siguiente tabla.

⁹ Resolución del 21 de octubre de 2009 en la que se establecen las bases reguladoras para la concesión, en régimen de concurrencia competitiva, de las subvenciones y ayudas a proyectos de ahorro y eficiencia energética correspondientes al ejercicio 2009 y al amparo del convenio suscrito entre el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Instituto Energético de Galicia (INEGA) el día 3 de julio de 2009.

Tabla 3. Reducción del consumo de combustible y de las emisiones provocadas de CO₂

	Gasóleo C	Gas natural	Ahorro anual
	Instalación original	Instalación nueva	
Consumo anual (l de gasóleo)	50000		
Densidad del gasóleo	0,85		
Poder calorífico del combustible (MJ/kg)	43	42	
Consumo anual (kg de combustible)	42500	32488	
Demanda de energía primaria (GJ)	1827	1364	463
Demanda de energía primaria (kWh)	508045	379340	128705
Rendimiento calderas	80%	105%	
Demanda de energía útil (GJ), i)	1462	1432	30
Factor de conversión (kg CO ₂ /GJ)	74	56	
Emisiones de CO ₂ anuales (toneladas)	135,24	76,41	58,82
Coste de energía primaria (€/kWh) iii)	0,06	0,038	
Coste económico anual ii)	29466,61	14414,93	15051,68
Notas			
i) Se considera que la instalación térmica mejora su rendimiento conjunto 2% debido al cambio de válvulas más eficientes, por lo que la demanda de energía útil disminuye 2%.			
ii) Se considera que el precio de cada kWh de gasóleo son 0,06 € y de gas natural son 0,038 €.			
iii) Se consideran precios después de impuestos.			
iv) El rendimiento teórico de las calderas es de 109%, en nuestra estimación hemos supuesto que a lo largo de su vida útil el rendimiento medio será del 105%.			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Cálculo del periodo de retorno de la inversión

Año	Ahorro anual	Ahorro acumulado
1	14415	14415
2	15136	29551
3	15892	45443
4	16687	62130
5	17521	79652
6	18398	98049
7	19317	117366
8	20283	137650
9	21297	158947

CONCLUSIONES

A lo largo de este artículo se ha presentado la actuación denominada Cambio de calderas en la Facultad de Farmacia de la Universidad

de Santiago de Compostela en la que se ha renovado una caldera de gasóleo deteriorada y con un escaso rendimiento, sustituyéndola por tres calderas nuevas de gas natural, además de una serie de tareas auxiliares que tienen como fin la mejora de las condiciones de seguridad para los usuarios del edificio, así como para los trabajadores que realizan las tareas de mantenimiento de las mismas. Mediante esta actuación se consigue un ahorro anual de energía primaria de unos 463 GJ (26% del consumo inicial) y un recorte en las emisiones de CO₂ de unas 58 toneladas (aproximadamente 43%).

Económicamente esta actuación supone un ahorro económico de 14.400 euros cada año y, debido a que la actuación supone un coste total de 138.000 euros, el periodo de retorno de la inversión es de ocho años.

REFERENCIAS

- BLANCO SILVA, F., *Guía para entender el Protocolo de Kioto*. Santiago de Compostela: Club Universitario Dínamo, 2005.
- BUSTOS, M., La Directiva 2003/87/CE de Comercio de Derechos de Emisión de Gases de Efecto Invernadero en la UE, *Boletín APPA Info* 14, 2003.
- COMISIÓN EUROPEA, *Libro Blanco para una estrategia y plan de acción comunitario*. Bruselas: Comisión Europea, 1997.
- INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO ENERGÉTICO (IDAE), *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 1999.
- MENÉNDEZ PÉREZ, E., *Propuestas de desarrollo para las energías renovables*. Madrid: Editorial Alcion, 1997.
- MERINO RUESGA, L., *Las Energías Renovables. Las Energías Renovables para todos*, Madrid: Haya Comunicación, 2003.
- Fotografías propiedad de los autores.

(Footnotes)

¹⁰ En España, el Impuesto del Valor Añadido es el que grava los consumos finales en España, siendo de 16% en instalaciones.