

Estudio comparativo de una instalación de trigeneración con microturbina de gas y un sistema convencional con bomba de calor en un complejo hotelero

Lluís Massagués¹, Joaquín Rodríguez², Joan Carles Bruno² y Alberto Coronas²

¹ Departament d'Enginyeria Electrònica, Eléctrica i Automàtica
E.T.S.E., Universitat Rovira i Virgili
Avinguda Països Catalans, 26, 43007 Tarragona (España)
Tel.: +34 977 559695, fax: +34 977 559605, e-mail: lluis.massagues@urv.net

² CREVER – Universitat Rovira i Virgili
Autovía de Salou, s/n, 43006 Tarragona (España)
Tel.: +34 977 540205, fax: +34 977 542272, e-mail: jcbruno@crever.urv.es

Resumen. Durante los últimos años el consumo energético en edificios, y por supuesto, también en hoteles, ha experimentado un crecimiento muy elevado en nuestro país. Es por ello que para el sector hotelero es muy importante reducir al mínimo el coste de energético y el impacto medio ambiental derivado de las actividades de este sector.

En este estudio se han comparado las prestaciones técnicas y económicas de un sistema de trigeneración con microturbina de gas y producción de frío con calor residual con respecto a un sistema convencional con caldera para ACS y bomba de calor en un hotel de 4 estrellas situado en la costa de Tarragona.

La propuesta de sistema de trigeneración estudiada ha consistido en la evaluación técnica y económica de tres opciones basadas en el empleo de tres, dos o solo una microturbina con los correspondientes equipos de refrigeración para la producción de agua fría con calor residual. El sistema de trigeneración con tres microturbinas ofrece un ahorro energético algo superior al sistema con dos microturbinas pero se encuentra penalizado con una inversión muy superior a este ahorro. Por lo tanto, atendiendo a las curvas de consumo eléctrico y térmico existentes la opción con dos microturbinas resultaría la más adecuada.

Palabras clave: Microturbina de Gas, Trigeneración, Generación Distribuida de Energía, Refrigeración por absorción

1. Introducción y antecedentes

1.1. Consumo energético en hoteles

El sector del turismo y del ocio es una actividad de elevada importancia para Cataluña. Anualmente recibe cerca de 13 millones de turistas, lo que representa un 26,1% del turismo nacional y un 3,2% del turismo en Europa. Más concretamente, en el periodo 2001-2002 la oferta hotelera en la zona de la denominada Costa Daurada creció en un 18,42%. En esta zona la oferta de

alojamiento hotelero cuenta con 322 establecimientos con 56366 plazas [1].

Durante los últimos años el consumo energético en edificios, y por supuesto, también en hoteles, ha experimentado un crecimiento muy elevado en nuestro país. El consumo energético global de los establecimientos turísticos de alojamiento en Cataluña se estima en 200 kTep/año, con un coste aproximado de 180 M€ anuales y un crecimiento en el consumo energético próximo al 3% anual [1].

Debido al elevado consumo energético se ha incrementado la concienciación del sector hotelero para reducir el coste de energético y el impacto medio ambiental derivado de las actividades de este sector. Es por ello que se han realizado numerosos estudios y proyectos para analizar y tratar de reducir este consumo [2-5]. Deng [2] presenta un análisis del consumo eléctrico y de agua en diversos hoteles de Hong Kong llegando a la conclusión de que se trata de consumos muy diversificados que no pueden correlacionarse fácilmente con algún parámetro o característica del hotel (número de habitaciones, superficie, etc.). A diferencia de otros edificios comerciales, como pueden ser los edificios de oficinas, los hoteles operan las 24 horas del día por lo que presentan características de operación especiales y, en muchos casos, atractivas para el empleo de sistemas de generación local de energía.

1.2. Generación distribuida mediante microturbinas

Paralelamente al aumento del consumo energético en edificios, se están empezando a introducir en el mercado nuevos sistemas de Generación Distribuida de energía como son los basados en microturbinas de gas que permitirán extender las ventajas que ofrecen los sistemas de cogeneración avanzados a aplicaciones de pequeña-media potencia, como son en general las aplicaciones para el sector hotelero. Los sistemas de trigeneración son sistemas de producción de energía mediante cogeneración que permiten además el accionamiento de

equipos de producción de agua fría mediante el aprovechamiento del calor residual generado.

Las microturbinas de gas, son turbinas de combustión de pequeño tamaño, con potencias que actualmente se sitúan entre 28 y 200 kW. Entre otras ventajas, desde el punto de vista medioambiental el nivel de emisiones de las microturbinas es sensiblemente inferior al de los motores alternativos de similar capacidad [6].

La aplicación de la cogeneración en hoteles es una opción muy interesante para mejora de su gestión energética [7] y cuenta ya con algunas instalaciones en funcionamiento [5]. Sin embargo, la tecnología de las microturbinas, actualmente aún no se ha consolidado en el mercado, especialmente en el sector hotelero, donde no existe todavía ninguna instalación en nuestro país, aunque sí existe un interés creciente en este tipo de instalaciones, como lo demuestran los diversos proyectos europeos realizados hasta la fecha [4, 5]. Por otra parte, el aprovechamiento del calor residual de los sistemas de generación de energía eléctrica, ya sea procedente de microturbinas o con cualquier otra tecnología, para el accionamiento de equipos de refrigeración activados térmicamente no cuenta en España aún con instalaciones en el sector hotelero [5, 8].

2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es la realización de un estudio comparativo entre las actuales instalaciones de un complejo hotelero dotado de un sistema de producción de energía térmica con bomba de calor y compra de la energía eléctrica de la red con un nuevo sistema basado en microturbina de gas y equipos de refrigeración por absorción que permiten recuperar directamente el calor de los gases de escape de la microturbina para la producción de agua fría. Este análisis comparativo se realizará mediante un caso de estudio de un hotel situado en la costa de Tarragona (España) y en él se abarcaran tanto los aspectos de consumo energético como de costes de instalación y operación.

3. Descripción de la instalación

La instalación objeto de este estudio está situada en un complejo hotelero de cuatro estrellas en Salou (Tarragona, España), construido en 1999 y formado por dos edificios contiguos, unidos por una construcción central donde se encuentra la recepción y el hall. Uno de estos edificios, el hotel, consta de un total de 245 habitaciones de unos 25 m² distribuidas en 5 plantas y, el otro, es un aparthotel formado por 100 apartamentos de unos 37 m² distribuidos también en 5 plantas. Actualmente este complejo hotelero cuenta con un sistema de climatización mediante bomba de calor que se describe en el próximo apartado.

El complejo hotelero está alimentado mediante una acometida de gas natural y eléctricamente a través de una estación transformadora de 1000 kVA de 25/0,4 kV. De esta estación se alimentan otros dos clientes, pero el

principal consumidor es el complejo hotelero. La potencia eléctrica instalada en el complejo hotelero es de 1109 kW, de la cual 332 kW pertenecen a los equipos de climatización por compresión.

Las instalaciones actuales del complejo hotelero cuentan además con:

- Instalación de bombas de calor para climatización formada por 3 equipos de compresión Climaveneta de 332 kW de potencia eléctrica y fan-coils instalados en cada estancia del complejo.
- Instalación de suministro de agua caliente sanitaria (ACS) mediante 2 calderas de gas natural de 225 kW cada una y 4 acumuladores con una capacidad total de 20000 litros. El agua generada a 70°C, antes de enviarse a los puntos de consumo, se mezcla con agua de red de suministro, que se encuentra a temperatura ambiente (15°C aprox.), y en consecuencia se obtiene el volumen de ACS deseado a una temperatura de preparación de 58°C como indica la norma I.T.I.C.04.8.2. para instalaciones de ACS por acumulación.
- Grupo electrógeno de 350 kVA.

4. Caracterización de la demanda de energía

El consumo eléctrico y de gas natural anual del complejo hotelero es de 1.690.196 kWh y 719.350 kWh, respectivamente.

Para determinar las curvas de demanda de la instalación se han empleado los consumos mensuales eléctricos y de gas natural del complejo hotelero obtenidos a partir de los datos de facturación del hotel correspondientes al año 2003. Estas curvas de demanda se muestran en la figura 1. Durante los meses de enero, febrero y marzo el hotel tiene un consumo eléctrico muy bajo, y es a partir del mes de abril cuando el consumo eléctrico total mensual se encuentra siempre situado por encima de los 100.000 kWh. El consumo de gas natural es nulo durante los meses de febrero y marzo.

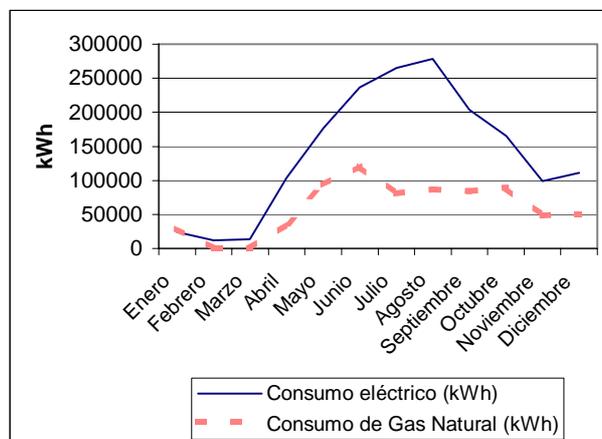


Fig. 1. Perfiles de consumo energético mensual del complejo hotelero.

Para determinar el perfil del consumo medio horario del hotel se han empleado datos del comportamiento energético de otro hotel de la misma zona del que si se disponía de datos de este tipo [9]. A modo de ejemplo, en la figura 2 se muestra el perfil de potencia eléctrica horaria consumida para el mes de agosto, que corresponde al mes de mayor consumo eléctrico. El resto de meses del año presentan la misma evolución que la mostrada en la figura 2, con tres picos máximos y un mínimo diario. La diferencia esta en la diferente magnitud del consumo.

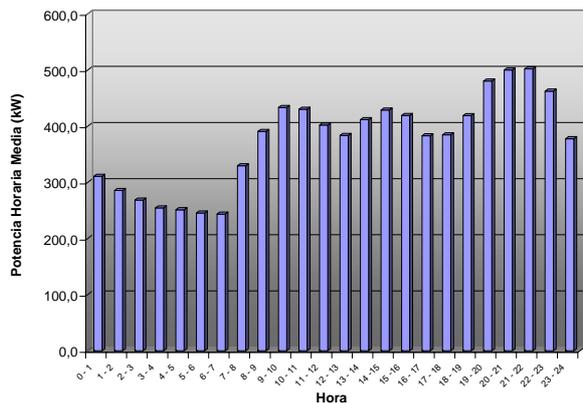


Fig. 2. Potencia eléctrica horaria media para el mes de agosto.

Para determinar las necesidades de agua fría y caliente se ha considerado que del total de consumo de energía eléctrica del hotel un 40% se consume en las bombas de calor por compresión para generar el agua fría y caliente. De esta forma se obtiene que el consumo eléctrico para el sistema de climatización del hotel es de 676.078 kWh/año. Para simplificar el cálculo se ha asumido como razonable que el COP de la bomba de calor es de 2,5 tanto para la producción de calor como de frío. Utilizando estos datos se han calculado las curvas de potencia horaria media para cada mes. A modo de ejemplo en la figura 3 se muestra la evolución horaria de la potencia térmica requerida por el hotel durante el mes de agosto.

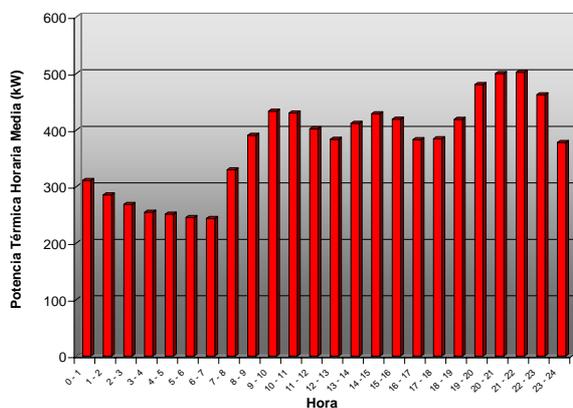


Fig. 3. Potencia térmica horaria media (consumo de agua fría) para el mes de agosto.

En la curva de frecuencia acumulada (figura 4) se ha representado la potencia térmica, en eje y, con respecto a la frecuencia acumulada, es decir, el número de horas con una potencia igual o superior a la indicada en el eje y. La representación gráfica de la frecuencia acumulada es muy útil dado que permite estimar el número de horas/año que funcionará el sistema de cogeneración y, en consecuencia, la energía anual cogenerada. El área de la superficie comprendida entre la curva y los ejes de coordenadas es proporcional a la energía total anual. Para una aplicación determinada, con una curva de frecuencia acumulada dada, un sistema de cogeneración tendrá unas tasas de cobertura eléctrica y térmica que dependerán de la potencia de cogeneración instalada y del tipo de regulación de esta potencia.

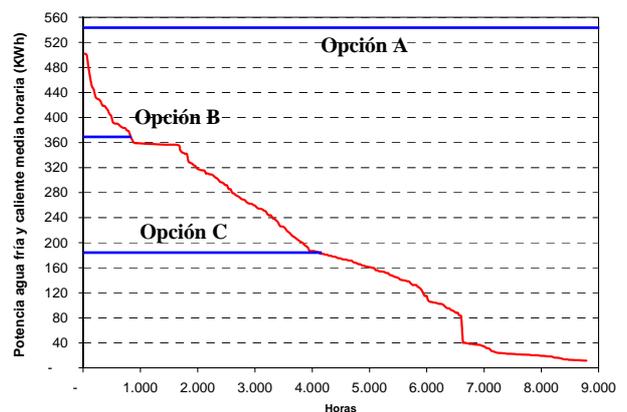


Fig. 4. Curva de frecuencia acumulada para el consumo de agua fría y caliente del complejo hotelero

5. Sistema de trigeneración con Microturbina de gas

A partir de las necesidades térmicas se propone la selección y dimensionado preliminar de un sistema de trigeneración avanzado. Para la configuración del sistema de trigeneración existen diversas opciones atendiendo principalmente al número de microturbinas de gas empleadas. En todas estas opciones se emplean enfriadoras activadas térmicamente con el calor residual de las microturbinas. Por las características de la demanda y por el consumo térmico para refrigeración existente, no se ha considerado necesario contemplar la acumulación de frío aunque sí que puede ser una alternativa a tener en cuenta en otro contexto [10].

El sistema de trigeneración (figura 5) estará formado por los siguientes equipos principales:

- microturbina de gas de 100 kW de potencia eléctrica a 400 V, 50 Hz y 160 kW de potencia térmica.
- equipo de refrigeración por absorción agua/LiBr de doble efecto activado directamente con los gases de escape de la microturbina.

Las características más importantes para este estudio de los equipos considerados se indican en la Tabla I. El calor residual de la microturbina se empleará

íntegramente para satisfacer la demanda de climatización, y se mantendrá el sistema de producción de A.C.S. con caldera de gas.

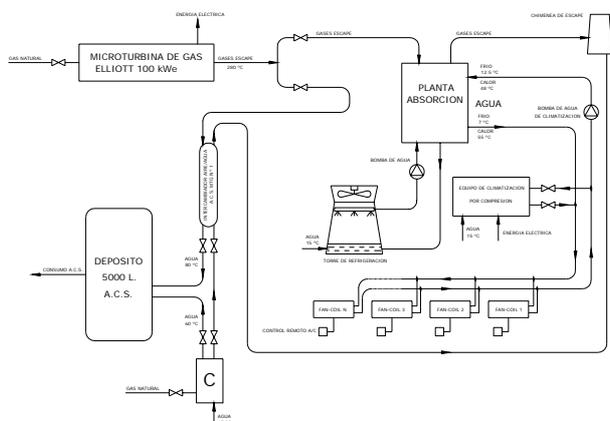


Figura 5 – Esquema del sistema de aprovisionamiento de energía mediante trigeneración.

TABLA I – Características más importantes de los equipos principales del sistema de trigeneración

Microturbina de gas	
Potencia eléctrica (kW)	100
Potencia térmica (kW)	166
Consumo de Gas (kW)	332,5
Rendimiento térmico	0,5
Rendimiento eléctrico	0,3
Equipo de refrigeración por absorción	
COP producción agua caliente	1,15
COP producción agua fría	1,15
Potencia agua fría (kWh)	190,9
Potencia agua caliente (kWh)	190,9

Para el dimensionado del sistema de trigeneración existen varias alternativas. En la Tabla II se muestran las opciones consideradas que consisten en el empleo de tres, dos o una sola microturbina con sus sistemas de cogeneración correspondientes. Sobre la curva de frecuencia acumulada (fig. 4) se ha representado también la potencia térmica máxima que puede obtenerse con cada una de estas tres opciones. Esta potencia máxima es de 552 kW, 368 kW y 184 kW para las opciones A, B y C, respectivamente.

TABLA II – Configuraciones alternativas para el sistema de trigeneración

Equipos	Opción A	Opción B	Opción C
Microturbinas de gas	3	2	1
Equipos de refrigeración por absorción	3	2	1

6. Análisis energético

El análisis energético se ha realizado calculando la carga del sistema de trigeneración en cada una de las tres opciones consideradas para intentar abastecer en cada momento la demanda de energía térmica y exportando o importando energía eléctrica de la red según el caso. En algunos casos puede ser más rentable económicamente la producción de un cierto exceso de energía térmica [11], pero se ha descartado en este estudio realizar una evaluación de este tipo para evitar la inclusión de algún sistema de evacuación de calor y maximizar así la recuperación de calor y la eficiencia energética.

El rendimiento eléctrico de la microturbina considerado es del 30% y el térmico del 50%, es decir, con un rendimiento global considerando como energía térmica útil tanto la electricidad como el calor recuperado, del 80% (Tabla I). En un análisis posterior con más detalle debería considerarse la variación de estos rendimientos con la carga.

Los consumos energéticos anuales con el sistema actual basado en climatización con bomba de calor e importación de electricidad de la red exterior son los siguientes:

- Gas natural : 719.350 kWh
- Energía Eléctrica sin refrigeración : 1.014.118 kWh
- Energía Eléctrica para refrigeración : 676.078 kWh

En la Tabla III se ha resumido el balance energético de las distintas opciones consideradas para el sistema de trigeneración. En esta tabla el consumo de gas natural corresponde al consumo de gas de la microturbina más el gas empleado para la producción de A.C.S., cocinas, etc que ya se consumía anteriormente.

TABLA III – Balance energético anual

	Opción A	Opción B	Opción C
Consumos de energía (kWh/año)			
Gas natural	3.572.420	3.523.416	2.690.582
E. Eléctrica sin refrigeración	1.014.118	1.014.118	1.014.118
E. Eléctrica para refrigeración	19.872	31.143	222.695
Producción de energía (kWh/año)			
E. Eléctrica generada	855.921	841.220	591.370
E. Térmica generada	1.640.515	1.612.338	1.133.459

7. Análisis económico

A. *Instalación convencional con bomba de calor.*

El coste de inversión de la instalación actual es la siguiente:

- Grupo electrógeno de 350 kVA: 150.000 €

- Dos equipos de climatización de 108 kW: 29.850 €
- Un equipo de climatización de 132 kW: 17.250 €

B. Instalación de trigeneración con microturbina.

El coste de adquisición tanto para la microturbina de 100 kW como para el equipo de refrigeración por absorción correspondiente, se ha estimado en 80.000 € cada uno. Los costes del sistema de fancoils para la distribución de calor y frío no se han considerado en el cálculo puesto que es un sistema común para ambas instalaciones.

Para el análisis económico correspondiente a los costes de operación se han aplicado las tarifas del RD 2392/2004, indicadas para nuestro caso de estudio en la tabla IV. En esta tabla los costes de compra de energía eléctrica y el beneficio por reducción de potencia contratada se indican en función del periodo de utilización ya que este factor puede tener una influencia apreciable en el balance económico.

TABLA IV – Costes unitarios de operación.

Concepto	Coste unitario
Gas natural (elevado consumo)	0,01952 €/kWh
Gas natural (bajo consumo)	0,0244 €/kWh
E. Eléctrica comprada (corta duración)	0,06632 €/kWh
E. Eléctrica comprada (media duración)	0,060502 €/kWh
E. Eléctrica comprada (larga duración)	0,048731 €/kWh
Prima de cogeneración	0,0141 €/kWh
Prima por potencia instalada	1,8557 €/kW y mes
Reducción potencia eléctrica contratada (corta utilización)	1,980 €/kW y mes
Reducción potencia eléctrica contratada (media utilización)	4,075 €/kW y mes
Reducción potencia eléctrica contratada (larga utilización)	10,821 €/kW y mes

Los costes de operación con el sistema actual basado en bomba de calor son de 17.552,14 €/año para el consumo de gas natural y de 112.100 €/año para el consumo de electricidad. Los costes correspondientes al sistema con trigeneración se muestran en la tabla V.

Tal como puede comprobarse en la tabla V, los costes de gas natural para las opciones con tres y dos microturbinas son muy similares en comparación con el caso con una sola microturbina. Puesto que en el caso con tres microturbinas, la tercera de ellas se utiliza solo puntualmente. Por el mismo motivo, la energía que es preciso comprar a la red en el caso de utilizar dos microturbinas es muy parecido al caso con tres microturbinas.

TABLA V – Balance económico del sistema de trigeneración

	Opción A	Opción B	Opción C
Costes de inversión (€)			
Microturbinas	240.000	160.000	80.000
Refr. por absorción	240.000	160.000	80.000
Ref. por compresión auxiliar	15.000	15.000	15.000
Total	495.000	335.000	175.000
Costes de operación (€/año)			
Gas Natural	69.733	68.777	52.520
E. Eléctrica comprada	11.810	13.533	42.808
Beneficios E. Eléctrica generada	25.880	21.069	12.942
Total	55.663	61.241	82.386

Por lo que respecta al coste de operación todas las opciones consideradas presentan un ahorro económico importante respecto al sistema actual con bomba de calor. Siendo el más favorable el correspondiente a la opción con tres microturbinas, en la que el coste de operación es solo un 43 % del coste con el sistema basado en bomba de calor.

Por lo que respecta al coste de inversión en el caso de una instalación de nueva construcción, a los costes de inversión de los equipos de la planta de trigeneración habría que descontarle los costes de los equipos de bomba de calor y de generación eléctrica de emergencia, según los costes unitarios indicados en la tabla IV.

En la tabla VI se indican los periodos de retorno calculados para cada una de las opciones de trigeneración consideradas y en función del tipo de tarifa que se seleccione.

TABLA VI – Periodo de retorno simple

	Opción A	Opción B	Opción C
Corta utilización	6,49	4,68	3,38
Media utilización	6,60	4,94	3,66
Larga utilización	6,06	5,04	4,10

En el cálculo simplificado del periodo de retorno de la inversión no se han considerado apreciables la diferencia relativa de costes de mantenimiento, pero sí que es un cálculo suficientemente riguroso como para poner de relieve la viabilidad económica del sistema de trigeneración.

8. Conclusiones

En este estudio se han comparado las prestaciones técnicas y económicas de un sistema de trigeneración con microturbina de gas y producción de frío con calor residual con respecto a un sistema convencional con caldera para ACS y bomba de calor en un hotel de 4 estrellas situado en la costa de Tarragona.

La propuesta de sistema de trigeneración estudiada ha consistido en la evaluación técnica y económica de tres opciones basadas en el empleo de tres, dos o solo una microturbina con los correspondientes equipos de refrigeración para la producción de agua fría con calor residual. La opción más ventajosa desde el punto de vista económico corresponde al sistema con una sola microturbina. El sistema de trigeneración con tres microturbinas ofrece un ahorro energético algo superior al sistema con dos microturbinas pero se encuentra penalizado con una inversión muy superior a este ahorro. Por lo tanto, para las curvas de consumo eléctrico y térmico existentes la opción con dos microturbinas resultaría la más adecuada.

El uso de sistemas de trigeneración ayudará a ahorrar energía primaria, a reducir las emisiones de gases, proporcionando además un suministro de energía al usuario final más eficiente, seguro y barato, y mejorará la gestión de la demanda energética al equilibrar las demandas eléctrica y de gas a lo largo del año.

Agradecimientos

Los autores agradecen la información facilitada por el complejo hotelero "Dorada Palace" de Salou (Tarragona) para la realización de este trabajo.

Referencias

- [1] J. Escobar, Jornada técnica sobre Reducción de costes energéticos en la empresa turística, Tarragona, febrero, 2004.
- [2] S. Deng, "Energy and water uses and their performance explanatory indicators in hotels in Hong Kong", *Energy and Buildings*, 35, 775-784, 2003.
- [3] E. Dascalaki, C. A. Balaras, "Xenios-a methodology for assessing refurbishment scenarios and the potential of application of RES and RUE in hotels", *Energy and Buildings*, 36, 1091-1105, 2004.
- [4] CHOSE-Energy Savings by Combined Heat Cooling and Power Plants (CHCP) in the Hotel Sector. Final Report, Save II Project, Mayo, 2001.
- [5] TRIGEMED-Promotion of tri-generation technologies in the tertiary sector in mediterranean countries. Survey Report, Save project, Agosto 2003.
- [6] J.C. Bruno, Ll. Massagués, A. Coronas, "Stand-alone and grid-connected performance analysis of a regenerative micro gas turbine cogeneration plant". *Proc. of the IMechE, Part A: Journal of Power and Energy*, vol. 218, 15-22, 2004.
- [7] M. Papamarcou, S. Kalogirou, "Financial appraisal of a combined heat and power system for a hotel in Cyprus", *Energy Conversion and Management*, 42, 689-708, 2001.
- [8] J.C. Bruno, A. Ortiz, A. Coronas, "Aplicaciones e implantación actual de la refrigeración por absorción en plantas de cogeneración", *Energía*, 179, 88-96, 2004.
- [9] J. C. Bruno, A. Coronas, *Energy Savings using Microgas Turbines in the Hotel Sector*, Informe final, CIDEM, 2004.
- [10] C. R. Ruivo, J. M. Pinazo, A. Barragán, "Air-conditioning refrigeration plants with ice storage in hotels in Spain and Portugal. Design and economic analysis", *Heat Powered Cycles Conference*, Paris, 419-427, 2001.
- [11] E. Cardona, A. Piacentino, "A methodology for sizing a trigeneration plant in mediterranean areas", *Applied Thermal Engineering*, 23, 1665-1680, 2003.