

POSIBILIDADES DE LA TRIGENERACIÓN EN INSTALACIONES TÉRMICAS PARA HOTELES MEDIOS

Luis M. López-Ochoa

Manuel C. Juárez-Castelló

César García-Lozano

Jesús Las-Heras-Casas

*Universidad de La Rioja. ETSII de Logroño. Grupo de Investigación GI-TENECO.
Departamento de Ingeniería Mecánica. C/ Luis de Ulloa, 20. 26004 Logroño (La Rioja)*

Abstract

This presentation reports the results of a study regarding the design, calculation and comparison of three different options for domestic hot water (DWH), air conditioning and heating, with the objective of informing future hotel design of the sustainability perspective.

The three options researched were applied to the same type of medium sized hotel. The first option was a hotel with conventional installations. The second option was based on biomass, and the third and sustainable option involved ground cover and a trigeneration installation.

All the alternatives aimed to achieve the optimum design that would guarantee high quality services for the hotel guests.

Only the trigeneration solution produced profit, resulting in a positive Net Value Added (NVA); however this solution also demanded significant initial investment. The biomass solution represents the intermediate alternative, producing results between the conventional installation and the trigeneration, with a negative NVA 12 times that of the trigeneration option and at an affordable cost; although this option does demand a significant amount of space. And lastly, the conventional option generated a NVA 1.1 times that of the biomass solution. Nevertheless, this traditional solution is the most popular with investors.

Keywords: *Hotels; sustainability; trigeneration; biomass; profitability*

Resumen

Esta ponencia presenta los resultados de un estudio realizado cuyo objetivo era el diseño, cálculo y comparación de tres soluciones distintas de producción de agua caliente sanitaria (ACS), climatización y calefacción para servir de guía orientativa de futuros diseños de hoteles, con una visión sostenible.

Se han estudiado tres soluciones diferentes para un mismo hotel de tipo medio. La primera solución es un hotel con instalaciones convencionales. La segunda es una solución basada en la biomasa y la tercera una solución sostenible con cubierta vegetal y trigeneración.

En todas las alternativas se ha intentado conseguir un diseño óptimo para garantizar un buen servicio para los usuarios del hotel.

La solución basada en la trigeneración es la única que produce ingresos procedentes de la venta de electricidad, dando un VAN positivo, si bien exige grandes inversiones iniciales.

Las otras dos soluciones arrojan un VAN negativo. La basada en la biomasa es una solución intermedia entre la clásica y la trigeneración, con unos costes asumibles, si bien tiene necesidad de mucho espacio. Por último, la solución clásica, aunque tradicionalmente es la más elegida por los inversores, dispone de un VAN negativo algo mayor al de la biomasa.

El planteamiento está abierto a las decisiones de cada cliente, en función de una serie de parámetros que se salen del alcance de la ponencia (económicos, imagen, estratégicos, posibilidad de subvenciones, etc.).

Palabras clave: Hoteles; sostenibilidad; trigeneración; biomasa; rentabilidad

1. Introducción

El hotel considerado se ubica en una parcela urbanizable de 11.908 m², dentro del municipio de Logroño, donde se construirá además del hotel con sus jardines, la urbanización de la zona y otras actuaciones para usos sociales.

Ocupa una planta de 33,70 m x 23,00 m con un total 775,10 m². El sótano se aprovecha como garaje y para apoyo de las instalaciones del hotel: cuartos de calderas e instalaciones diversas.

Sobre el sótano se encuentran la planta baja, cinco alturas y una planta bajo-cubierta, con una fachada de 33,70 m y un fondo de 12,30 m, dando una superficie por planta de 414,51 m². En cada una de las cinco plantas hay 14 habitaciones, por lo que el hotel dispone de 70 habitaciones.

En la planta baja está la recepción y la cafetería, en la planta primera el restaurante y en el resto, las cinco plantas de habitaciones. En la planta bajo-cubierta se disponen trasteros, instalaciones y auxiliares.

Las alturas son de 4,00 m en la planta baja, 5,00 m en la planta primera y 3,35 m en el resto de plantas, siempre entre ejes del forjado, con una altura hasta el alero de 26,25 m.

El resto de características, diseño, cálculos, etc. se pueden comprobar en la referencia que se acompaña, definiéndose completamente el edificio, uso, justificaciones, cumplimiento de normativas, estudios de viabilidad, etc. (Ruiz, 2010).

2. Necesidades y cumplimiento de las mismas

El hotel es de tres estrellas, 70 habitaciones y 120 camas. Dispone de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS), aire acondicionado y todo lo necesario para su correcto cálculo, diseño, construcción, funcionamiento, explotación, conservación y mantenimiento (Ruiz, 2010).

Independientemente de la solución seleccionada, la instalación cumple con todos los requisitos exigibles legales, técnicos, económicos y de confort. Todo ello no impide que cada alternativa tenga sus peculiaridades.

No obstante, en esta ponencia se muestra que las soluciones clásicas pueden compatibilizarse con otras más sostenibles, si bien el momento de muchas de ellas no ha llegado por la complejidad de las tarifas energéticas existentes, el desconocimiento de muchas de las posibles soluciones, la falta de infraestructuras y los actuales costes de explotación energéticos, tanto en compra como en venta, entre otros.

Las necesidades se han calculado de forma amplia y rigurosa, llegando a las siguientes datos de partida, en la solución clásica:

- Potencia necesaria de calefacción: 142,34 kW
- Caldera de GN elegida para calefacción: 179,0 kW
- Capacidad frigorífica necesaria: 246,1 kW
- Necesidad de ACS: 6.750 l/día
- Potencia necesaria para ACS: 122,62 kW
- Caldera de GN seleccionada para ACS: 130,0 kW
- Aportación solar térmica: 35,7 % (Mínimo 30 %)

Para la solución de biomasa:

- Potencia necesaria para calefacción: 142,34 kW
- Potencia necesaria para ACS: 127,16 kW
- Potencia para calefacción y ACS: 269,50 kW
- Caldera de biomasa elegida para calefacción y ACS: 300,0 kW

Para la solución de cubierta vegetal y trigeneración:

- Potencia necesaria de calefacción: 122,48 kW
- Potencia necesaria para ACS: 127,16 kW
- Capacidad frigorífica necesaria: 246,1 kW
- Capacidad frigorífica seleccionada: 244, 5 kW
- Caldera de recuperación: 200,0 kW
- Máquina de absorción con capacidad nominal de refrigeración: 263,7 kW
- Tres motores de cogeneración Guascor SFGLD 240/55 de 342 kWe.

3. Soluciones planteadas

3.1 Hotel con instalaciones convencionales

En este punto se presenta la primera solución buscada para nuestro hotel y que emplea las técnicas comunes que nos encontramos en la mayoría de los edificios de este tipo. Se trata de un hotel con calefacción centralizada, por radiadores con circuito bitubular, con caldera de gas natural, climatización por fancoils (casetes hidrónicos) con enfriadora de agua de condensación por aire y ACS con apoyo solar.

Hay otras alternativas clásicas que se pueden considerar, aunque se ha tomado una representativa media (Ruiz, 2010), con su presupuesto, habiéndolas mejores y peores.

3.2 Hotel con instalación basada en la biomasa

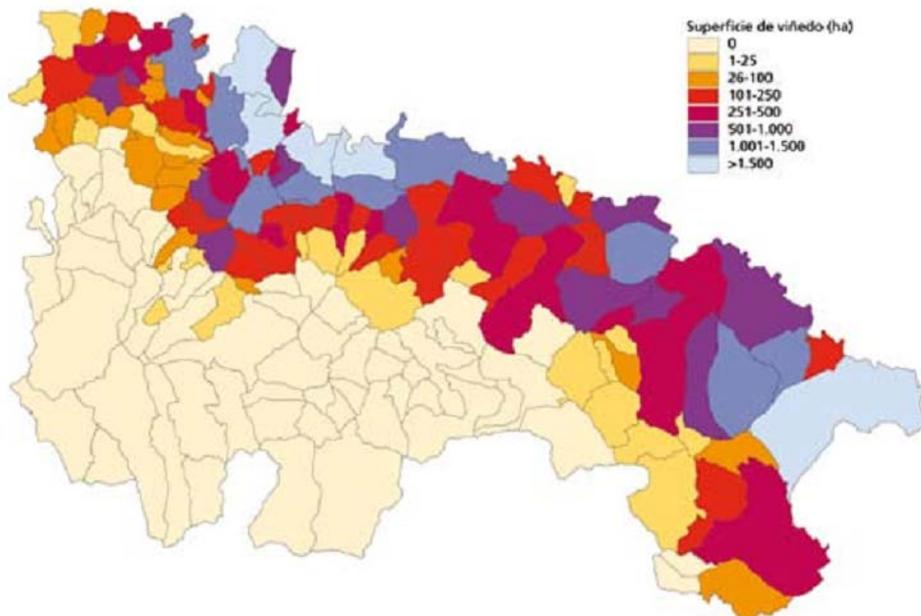
A continuación se expone la primera alternativa en busca de un hotel más sostenible. Para ello se realiza una serie de cambios que modificarán notablemente la sala de calderas y la cubierta. En esta solución se empleará la biomasa para la producción de ACS y la calefacción. Se eliminará la contribución solar mínima, situada en la azotea, pues con este método ya quedan cumplidas las exigencias del CTE-DB-HE4.

La instalación de calefacción funciona exactamente igual que en la primera salvo que, en este caso, la caldera es alimentada por biomasa a través de un sistema automático clásico para hoteles y grandes edificios (López-González, 2009 y 2010).

En las instalaciones de biomasa empleamos pellets de sarmiento de uva que ha sido elaborado en varias localidades de La Rioja.

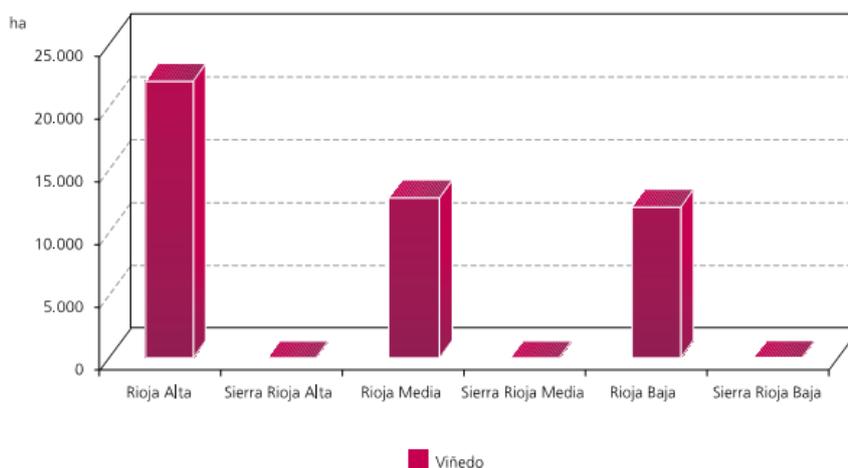
En la figura 1 se presentan la distribución de viñedo en La Rioja, con un total de 43.750 Ha.

Figura 1: Plano de la distribución de la superficie de viñedo por comarcas



En la figura 2 se presentan la distribución de viñedo en La Rioja por comarcas.

Figura 2: Gráfico de la distribución de la superficie de viñedo por comarcas



Esta solución es viable y fomenta los intereses energéticos estratégicos de La Rioja (López-Ochoa, 2011), siendo los motivos principales de su empleo:

- Los sarmientos de poda se obtienen en los meses de mayor demanda térmica y menor disponibilidad de apoyo solar: octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero; lo que disminuye de forma considerable la necesidad de almacenamiento.
- Una vez troceados, son relativamente fáciles de manipular y almacenar, lo que posibilita su utilización industrial.
- Se obtienen directamente de la vid con un grado de humedad bastante bajo.
- Además, son fácilmente secables lo que evita costes adicionales en su preparación.
- Su poder calorífico es bastante elevado. PCI = 4.483 kcal/kg con una humedad del 10%. Son un buen combustible.
- La vid es un cultivo muy extendido y cuidado. La producción de sarmientos no depende directamente de las variables climáticas. Las vides son cuidadas por los agricultores para asegurar la producción de uva, lo que indirectamente repercute en una producción de sarmientos más constante y segura.
- No se disponen de datos acerca de la producción de sarmiento en ningún municipio ya que se trata de un producto que no se comercializa actualmente. Por tanto se desconoce la producción histórica de sarmientos y el precio que podría suponer su recogida y preparación.
- No obstante, se han realizados estudios previos que estiman la producción de sarmientos en 700 kg/Ha de viña (sarmiento con un 10% de humedad).
- La producción de sarmientos puede variar, como cualquier producto agrario, de un año a otro en función de las condiciones climatológicas que se hayan producido en ese año concreto. No se disponen de datos acerca del histórico de producción de sarmientos pero se estima que la producción variará de forma similar a como lo hace la producción de uva y de vino.

Las toneladas anuales disponibles de sarmientos en La Rioja para su utilización tienen un techo en las 30.500 t/año, siendo en la actualidad las elaboradas como pellets unas 305 t/año, si bien pueden consumirse unas 1.250 t/año de forma semielaborada.

Funcionamiento del ACS

Al igual que con la calefacción, el agua es cogida a través de una acometida de la red principal y en esta ocasión es almacenada en dos depósito acumuladores de 1.000 l cada uno situados en la sala de calderas. En este depósito el agua es calentada hasta los 60 °C gracias a un intercambiador. El intercambiador recibe el agua caliente procedente de una derivación del agua de calefacción a la salida de la caldera, momento en el que tendrá una temperatura no superior a los 87 °C y, una vez haya pasado por el serpentín del depósito, será introducida nuevamente en el circuito de retorno de calefacción, justo antes de volver a entrar en la caldera. Una vez que el agua caliente esta a la temperatura de uso es bombeada por todo el edificio a través de dos montantes que sirven de forma simétrica a las plantas llegando a los equipos que consumen agua caliente.

Para optimizar la energía gastada en calentar el agua, el caudal no consumido de los montantes debe volver al acumulador mediante una bomba de recirculación.

Este circuito contará con una serie de llaves para independizar los circuitos de ACS y calefacción en aquellos meses en los que la calefacción no sea necesaria.

Se ha escogido una caldera que cuenta con un sistema de regulación de estructura modular que permite adaptar el consumo de la caldera en función del mes y las condiciones (principalmente si se usa calefacción o no) ya que a pesar de que la caldera es de gran potencia, también permite el funcionamiento a carga parcial (momentos en los que sólo haya demanda de ACS)

El combustible a emplear será biomasa de sarmiento, en pellets.

3.3 Hotel Verde: solución con cubierta vegetal y trigeneración

Se ha modificado totalmente la cubierta, que ahora pasa a ser una cubierta verde, y se emplea la trigeneración (o mini-trigeneración), con producción de calor, frío y electricidad para cubrir las necesidades de calefacción, climatización y A.C.S. además de entregar a la red la electricidad producida, obteniendo un beneficio de su venta.

Se elimina la contribución solar mínima propuesta en la solución primera, pues con este método también quedan cumplidas las exigencias del CTE-DB-HE4.

Se ha seleccionado un techo semi-intensivo que permita el cultivo de arbustos propios de la región que necesiten un mantenimiento bajo y poca irrigación, además de que puedan soportar varias horas de exposición solar. Las capas con las que contará la cubierta se enumeran a continuación:

- Capa vegetal: entre 25 cm y 40 cm, en función de los arbustos seleccionados
- Medio de crecimiento: Tierra (espesor 20 cm)
- Filtro
- Drenaje y almacenamiento de agua
- Barrera antiraíces
- Capa aislante
- Capa impermeable
- Estructura tejado (antiguo cerramiento sin las tejas)

Se ha buscado una serie de plantas con similares características de cultivo y distintos colores de floración, su colocación creará dibujos en la cubierta obteniendo así un valor estético mayor. Además, las plantas florecen en diferentes estaciones lo que permitirá tener una cubierta cambiante según la estación. Finalmente se trata de plantas aromáticas que ambientarán nuestro hotel.

Las plantas elegidas son:

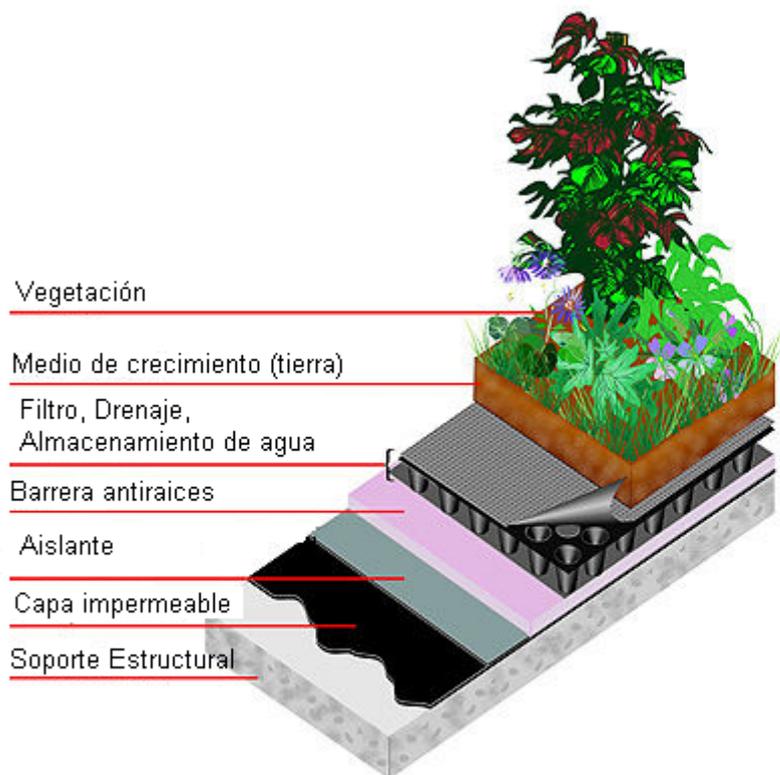
- Lavanda: En su variedad enana (especies hidcote, alba y compacta), cuya altura no supera los 25 cm, y de flores moradas o blancas (alba). Su floración se produce durante el verano.
- Tomillo: Planta de entre 15 y 30 cm, cuya floración se produce entre marzo y junio. Sus flores son rosadas y blancas.
- Romero: Puede llegar a medir hasta 1,5 metros de altura, aunque en este caso se podará dejándolo en aproximadamente 70cm. Se plantará en las proximidades a los muros y vayas de la azotea, con la idea de que los cubra. Sus flores son de color azul o violáceo pálido y tiene dos floraciones, en otoño y en primavera. Requiere un poco más mantenimiento que el resto, al tener que ser podado más a menudo, por lo que no se mezclará con las plantas anteriores.

El mantenimiento es similar para todas ellas. Se realizará una poda general en septiembre tras la que se abonará la cubierta. En cuanto al romero se realizarán podas con más asiduidad para evitar que supere el metro de altura. No es necesario regar las plantas durante el año, a excepción de la época estival, donde conviene hacer un regado rápido cuando se vea que la tierra está muy seca.

Para reducir los costes de instalación, teniendo en cuenta la resistencia de las plantas y la poca dificultad que entraña irrigarlas, se propone hacerlo a través de una manguera instalada en la cubierta que cualquier empleado podría utilizar.

En la figura 3 se muestra una cubierta vegetal similar a la seleccionada para el hotel.

Figura 3: Cubierta vegetal para el hotel



MACIs empleados

Se emplearán tres motores alternativos de combustión interna (MACIs) de la firma GUASCOR, modelo SFGLD 240/55 formados por un bloque de 8 cilindros en línea con aberturas laterales de inspección, de 342,0 kW_e.

La potencia térmica del agua de las camisas es igual a 285 kW, la temperatura de los gases de escape es de 373°C y el flujo másico es de 2.260,0 kg/h.

En la figura 4 se presenta un motor similar al seleccionado.

Máquina de absorción

Máquina de absorción de la marca LS MTRON modelo LWM W008 que puede tratar un caudal de 45,7 m³/h, y la temperatura de salida del agua tratada es de 7 °C, acorde a nuestras necesidades. La temperatura de entrada será de 12 °C. Tendrá un flujo a la torre de refrigeración de 97,9 m³/h, a una temperatura aproximada de 35 °C.

Figura 4: Motor Guascor



Torre de refrigeración

Se precisa de una torre de refrigeración que cuyas temperaturas de agua entrada/salida sean 29,4 °C/35 °C y tendrá que tener una capacidad para tratar un caudal de 97,9 m³/h.

Por lo tanto necesitará una potencia superior a 637 kW. El modelo seleccionado es una torre de fabricación INDUMEC TC 146.

Caldera de recuperación

El modelo seleccionado es una caldera de recuperación Viessmann (AHK) sin quemador adicional. En este caso solamente se aprovechan los humos de evacuación para la generación de agua sobrecalentada o vapor saturado. Las calderas de recuperación están construidas siguiendo el principio de los tubos de humos. Los humos calientes se conducen a través de los haces de tubos y estos transmiten el calor al agua de la caldera.

El modelo seleccionado cumple los siguientes parámetros:

- Temperatura de entrada de gases: 373 °C
- Caudal gases de escape: De 2.260,0 a 6.780,0 kg/h
- Flujo de agua a tratar: Hasta 42,04 m³/h

Requisitos de seguridad

La caldera llevará al menos dos termostatos que impidan que se creen en ella temperaturas superiores a las de trabajo. Uno de los termostatos podrá servir para la regulación del quemador y podrá ser de rearme automático. El otro, que deberá estar tarado a una temperatura ligeramente superior, será de rearme manual.

Evacuación de humos.

Conducto de evacuación: Éste unirá el aparato productor de humos con la caldera de recuperación. La acometida a la caldera de recuperación se realizará mediante un tramo con

una inclinación no menor del 3%. En ningún caso podrá disponer de elementos de regulación del tiro. Para los generadores citados anteriormente, con gas natural, les corresponde sendos conductos generales de evacuación de diámetro 12" (DN 300 mm). Los conductos de humos serán de doble chapa de acero inoxidable y lana de alta presión.

Chimenea: Recogerá los gases procedentes del conducto general de evacuación para su expulsión al exterior. La chimenea será de recorrido vertical y servirá para la evacuación de humos, no debiendo acometer a ésta simultáneamente humos o gases de distintos combustibles. Se instalará una chimenea de doble chapa de acero inoxidable y lana de alta presión de diámetro 300 mm con salida al exterior por la cubierta del edificio desde la sala de calderas, tendrá una altura de 28 m.

4. Comparación de las soluciones

Las tres soluciones se plantean comparándolas en un plazo de 15 años, con los parámetros de partida que se muestran en la tabla 1 siguiente, considerando diversas hipótesis.

Tabla 1: Valores de partida

	CONVENCIONAL	CON BIOMASA	CON TRIGENERACIÓN
Calefacción (€/año)	7520,25	6869,58	17160,28
ACS (€/año)	3277,61		
Climatización (€/año)	9870,23	9870,23	
Mantenimiento (€/año)	1234,65	1357,28	1928,87
Gastos finales (€/año)	21902,74	18097,09	19089,15
Ingresos (€/año)	0	0	76487,78
Inversión (€)	387.588,51	371.355,61	565.676,47

Las tres soluciones se estudian con variaciones de precios, circunstancias operativas y escenarios económicos, obteniéndose como caso representativo los resultados de la tabla 2, con un VAN positivo para la solución de la trigeneración, recuperándose la inversión en poco más de doce años, siendo la única que genera ingresos, si bien exige inversiones mayores, siendo la solución de biomasa -11,58 veces la anterior, frente a -12,77 veces la convencional.

Tabla 2: Resultados de la comparación

VAN A 15 AÑOS	CONVENCIONAL	CON BIOMASA	CON TRIGENERACIÓN
Clásico (Euros)	-755.587,26 €	-685.175,60 €	59.187,13 €
Comparación (100,00 Ud)	-1276,61 Ud	-1157,64 Ud	100,00 Ud
Comparación (1,00 Ud)	-12,77 Ud	-11,58 Ud	1,00 Ud
TIR	-	-	3 %

5. Conclusiones

La solución basada en la trigeneración es la única que produce ingresos como consecuencia de la venta de la electricidad generada, dando un VAN positivo, si bien exige mayores inversiones iniciales y otro concepto más exigente de explotación.

La solución basada en la biomasa es una solución intermedia entre la clásica y la trigeneración, con un VAN del orden de 12 veces (11,57) el de la trigeneración, pero en negativo, con unos costes perfectamente asumibles, si bien tiene necesidad de mayor espacio.

Por último, la solución clásica dispone de un VAN negativo equivalente a algo más de 1,1 veces el de la biomasa, aunque tradicionalmente es la más elegida por los inversores, por su sencillez y más conocimiento de los instaladores.

La elección entre los tres sistemas propuestos deberá ser tomada en función de las variables iniciales con las que cuenta el propietario del hotel, los usos que quiera dar al hotel, la situación del mismo, las disponibilidades de espacios, la operativa, los colaboradores y política de mantenimiento, etc.

La solución tercera presenta una inversión inicial más elevada, aunque es la única inversión que posteriormente se recupera. No obstante, la decisión del propietario es esencial para acometerla, con el gran inconveniente de lo que va a ocurrir en el futuro con la venta de la energía eléctrica a la red, su valoración concreta y su regulación.

En el caso de la biomasa, tenemos una inversión asumible y con menos emisiones de CO₂ que el resto, pero tenemos que emplear mucha superficie en el sótano del hotel para albergar el silo y la caldera. Esta solución puede no ser interesante si se pretenden hacer más plazas de garaje para los clientes del hotel cuando el mismo esté ubicado en una zona donde sea difícil aparcar. En este caso la solución primera sería más adecuada por requerir menos espacio en el sótano.

Si por ejemplo, fuese una reforma en el hotel, no de nueva construcción, posiblemente ni la solución primera ni la tercera se podrían llevar a cabo, ya que la estructura del edificio no permitiría, normalmente, esta sobrecarga en el tejado que añadimos con el nuevo planteamiento, quedando la posibilidad de emplear el segundo sistema estudiado.

Lo positivo de esta serie de planteamientos es la posibilidad de poder tener varias alternativas válidas para el futuro, que en función de los precios de los combustibles, de la imagen del negocio, de la valoración de "la imagen de lo verde", del apoyo de la sostenibilidad y de la mejora del medio ambiente, etc. irán dando otras posibilidades a soluciones que antes no se habían planteado de una forma seria.

En los sectores residencial y servicios hay muchas posibilidades de negocio, si bien los tiempos actuales y las variaciones y cambios bruscos que están dándose en los temas energéticos nos hacen pensar que los buenos tiempos vendrán a medio plazo.

El cliente, en el caso de Logroño, por imperativos presupuestarios eligió una solución convencional, si bien en otra ciudad del norte de España eligió la trigeneración por motivos de imagen, habiendo conseguido una subvención que consideró adecuada.

6. Agradecimientos

El Grupo de Investigación GI-TENECO y los autores agradecen al buen Ingeniero y amigo Alberto Ruiz Campo su colaboración y notables aportaciones en estos temas energéticos y en otros muchos relacionados con el Sector de la Construcción.

7. Referencias

- López-González, Luis M. y López-Ochoa, Luis M. “El Sector de la Construcción en La Rioja: La estrategia de la innovación”, Grupo de Termodinámica Aplicada, Energía y Construcción (GI-TENECO), Logroño, 2009 (acceso restringido).
- López-González, Luis M. y López-Ochoa, Luis M. “El Sector de la Construcción en España: La estrategia de la innovación”, Grupo de Termodinámica Aplicada, Energía y Construcción (GI-TENECO), Logroño, 2010 (acceso restringido).
- López-Ochoa, Luis M., García-Lozano, C., Juárez-Castelló, Manuel C., y Doménech-Subirán, J. “Soluciones generales en situaciones especiales para edificios de viviendas mediante el empleo de calderas de biomasa de forma competitiva”, XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, páginas 1446-1462, Huesca, 2011.
- Ruiz-Campo, A. y López-González, Luis M. “Diseño, cálculo y comparativa de tres soluciones diferentes para las instalaciones de un hotel”, Universidad de La Rioja, Logroño, 2010.
- Sala-Lizarraga, José M. y López-González, Luis M. “Plantas de valorización energética de la biomasa”, Editorial Ochoa, Logroño, 2002.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Luis María López Ochoa
Universidad de La Rioja
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Departamento de Ingeniería Mecánica
Grupo de Termodinámica Aplicada, Energía y Construcción (GI-TENECO)
C/ Luis de Ulloa, 20. 26004 Logroño (La Rioja)
Phone: +34 941 299 526, + 34 618 516609
Fax: + 34 941 299 794
E-mail: luis-maria.lopezo@unirioja.es
URL: <http://www.unirioja.es>