

# **RECUPERADOR DE ENERGIA PARA EL PROCESO DE AHORRO ENERGÉTICO EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BALDOSAS, LADRILLOS Y TEJAS CERÁMICAS**

**<sup>(1)</sup> J.R. Martí, <sup>(1)</sup> A. Sánchez, <sup>(2)</sup> F.A. Vaquer, <sup>(2)</sup> R. Sebastiá**

<sup>(1)</sup> Talleres Jois, S.A. (Jois) Vila-real, Castellón. España

<sup>(2)</sup> Desintec Ingeniería, Castellón. España

[jmarti@jois.es](mailto:jmarti@jois.es); [asanchez@jois.es](mailto:asanchez@jois.es)

## 1. INTRODUCCIÓN

En el contexto energético español y mundial hay aspectos a tener muy en cuenta, tales como la escasez de recursos propios, la dependencia energética del exterior, los problemas para la construcción de nuevas infraestructuras, etc. Estos asuntos/aspectos no son temas resueltos hoy por hoy, ni con solución sencilla. Adicionalmente, el calentamiento global del planeta alarma a la mayor parte de la comunidad científica y población mundial. El protocolo de Kyoto y la directiva europea que legisla su cumplimiento en Europa son prueba de ello.

El sector de los bienes de equipo para la industria cerámica, está implantando desde hace años, medidas para la reducción del consumo energético de sus máquinas. Prueba de ello es la evolución del consumo en el sector cerámico, y la comparativa de las emisiones específicas para el sector de azulejos y baldosas, entre Italia y España.

## 2. OBJETIVO

Intercambiador de Calor es un sistema de recuperación de poder calorífico para calentar aire ambiente, dicho aire libre de cualquier partícula contaminante (que evite cualquier tipo de deterioro en las estructuras de las máquinas) se inyecta en los procesos de cocción, secado y/o atomizado, haciendo que se reduzca considerablemente el consumo de combustible. Destaca como un sistema de rápido retorno de inversión, el cual se convierte en una ganancia anunciada una vez amortizada.

En el trabajo presentado se estudian pormenorizadamente las características técnicas y económicas de viabilidad del sistema para su implantación dentro del proceso cerámico, tanto para baldosas como para cerámica estructural, aprovechando el calor residual del proceso de cocción para los procesos de secado y atomización.

La introducción de esta tecnología supone un paso muy importante en el ahorro energético de gas natural y la consiguiente reducción de emisiones CO<sub>2</sub>.

## 3. PROBLEMÁTICA ACTUAL EN EL REAPROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS GASES CALIENTES

Los gases de escape de la combustión de gas natural en general y en el caso que hemos desarrollado parte de este estudio en motores de cogeneración, debido a su caudal y su temperatura, son reutilizados en los secaderos (de túnel y de cámaras) para el secado de tejas.

Sin embargo, el empleo de estos gases de escape produce los siguientes problemas en la factoría:

### 3.1. Problemas de mantenimiento

Los gases de escape son introducidos en los secaderos de túnel y de cámaras. El problema radica principalmente en los secaderos de túnel. En ellos se emplean estructuras metálicas a modo de carritos para la manipulación y movimiento de las tejas en el interior de los secaderos. Por la composición de los gases de escape, éstos cuentan con una proporción elevada de humedad y una cantidad también notable de elementos corrosivos. Ésto produce la oxidación de gran número de las carretillas móviles y de los elementos metálicos (móviles o fijos) con los que permanece en contacto directo, lo que supone un gasto importante de mantenimiento destinado a las reparaciones y/o sustituciones de aquellos elementos que hayan sufrido dicha oxidación.

Consecuentemente, se busca una medida correctora que elimine dicho problema.

### 3.2. Problemas de seguridad y salud de los operarios

Este problema se centra principalmente en el secadero de cámara. En este secadero, los operarios encargados de las tareas de manipulación sufren molestias debidas a la exposición a los gases de escape con los que funciona el secadero. Estas las molestias, entre otras, son principalmente las irritaciones oculares que dificultan el trabajo de los operarios.

Las exposiciones de los operarios a los gases de escape se producen principalmente por dos motivos:

- El funcionamiento del secadero de cámaras es realizado a presión, con lo que más que posiblemente existirán fugas que contaminarán la atmósfera exterior envolvente a los operarios.
- Durante las tareas de vacío del secadero, al abrir las puertas y estar el interior presionado, se produce una salida y emisión de los gases de escape en toda la factoría de modo que se ven afectados tanto a los operarios que vacían las cámaras como los trabajadores de líneas próximas al secadero de cámaras.

La consecuencia de estas exposiciones produce en un primer momento irritaciones oculares a los operarios. Sin embargo, esta exposición de los operarios a estos gases de acción irritante puede llegar a provocar notables lesiones a nivel de las mucosas de la vía aérea. El nivel de la lesión a lo largo del aparato respiratorio dependería de la intensidad (concentración del gas en el medio ambiente) y duración de la exposición.

### 3.3. Problemas de pérdida de carga

La distribución de los gases de escape desde los motores de cogeneración hasta las diferentes instalaciones donde se realiza el aprovechamiento energético (caldera de vapor y secaderos), acarrea una determinada pérdida de carga. Esta pérdida de carga determina la presión a la salida de los gases de escape en los motores de cogeneración.

Actualmente la pérdida de carga que se tiene entre la salida de los motores de cogeneración y la cámara de mezclas es de 50 mbares. Por otro lado, tenemos que los motores en funcionamiento solamente son capaces de soportar 65 mbares de presión a la salida. Si la pérdida de carga aumentase por encima de los 65 mbares los motores se pararían. Por tanto, deberemos ajustar las modificaciones teniendo en consideración la pérdida de carga.

La implantación de cualquier instalación correctora de los dos problemas anteriores (de mantenimiento junto con seguridad y salud) puede afectar en los valores de la pérdida de carga y con ellos el riesgo de que se paren los motores.

### 3.4. Solución a la problemática planteada

Ante esta situación, después de realizar un estudio profundo de las diversas posibilidades, se estima la implantación de un intercambiador gas/aire para que el empleo de aire ambiente caliente en lugar de gases de escape elimine los problemas de mantenimiento y de seguridad de los operarios. Esto se logra sin que el funcionamiento actual de los secaderos ni su rendimiento se vea alterado.

## 4. INTERCAMBIADOR DE CALOR. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA INSTALACIÓN

Los elementos que conforman la instalación son los siguientes:

### 4.1. Tipo de intercambiador.

El cuerpo del intercambiador está formado por una batería de tubos de acero sobre una estructura interior (casing). Se trata de un equipo precalentador de aire tipo carcasa y tubo, formado por un conjunto de tubos verticales en cuyo interior circulará el aire limpio y por una envolvente exterior por la que circularán los gases de combustión.

El intercambiador tiene una forma rectangular similar a la que vemos a continuación:

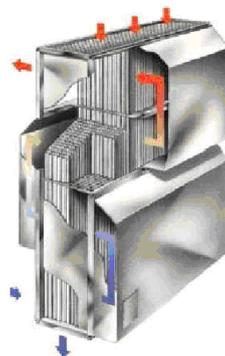


Figura 1. Modelo del intercambiador de tubos y carcasa.

Para poder conseguir las especificaciones marcadas por el proceso, en cuanto a que se logre que la temperatura de salida del aire limpio esté en torno a los

150°C, será necesario tener un área de intercambio de 536 m<sup>2</sup>. Este tipo de intercambiadores se caracterizan por tener una utilización universal incluyendo refinерías, centrales termoeléctricas, plantas de climatización y refrigeración.

Como puede observarse en la siguiente figura, los gases de combustión atraviesan el haz tubular por el lado de la carcasa transversalmente en tubo cruzado al aire, recorriendo tres pasos a lo largo del haz tubular. Estos pasos están delimitados por dos "baffles" o placas intermedias separadoras de flujo y por la carcasa exterior para el cambio de sentido de los gases.

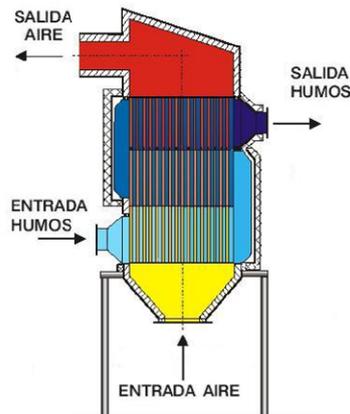


Figura 2. Sentidos de circulación del flujo de aire exterior y del flujo de gases de escape.

Las velocidades, tanto de los humos como del aire, serán las adecuadas para evitar la vibración y la erosión de los tubos, así como la deposición de cenizas y hollines. El equipo se calorifugará para evitar pérdidas de calor y para protección de personal.

#### 4.2. Tubos del intercambiador.

Los tubos están dispuestos en una configuración de línea y se encuentran soportados en dos placas tubulares en los extremos de entrada y salida. Estos extremos van soldados a las placas tubulares asegurándose el estancamiento de los gases y la rigidez mecánica del equipo.

Como hemos visto, el intercambiador estará conformado por una batería de tubos de acero al carbono dispuestos en posición vertical tal y como se observa en la siguiente imagen.



Figura 3. Vista de los tubos del intercambiador.

### 4.3. Regulación de la instalación.

La instalación del intercambiador gas/aire, requerirá para su correcto funcionamiento de dos lazos de control que regularán:

- El funcionamiento del ventilador de aspiración que trabaja en el conducto del flujo de los gases de escape
- El funcionamiento del ventilador de impulsión del aire ambiente al interior del intercambiador.

Las regulaciones se realizan de la siguiente forma:

- Regulación del ventilador de aspiración: la regulación se realiza mediante el empleo de un PID que controlará un variador de frecuencia en función de las señales que le proporciona un sensor de presión colocado en el conducto de los gases de escape, antes de la entrada al intercambiador. El variador de frecuencia actúa sobre el motor que acciona el ventilador de aspiración (de cola), variando su punto de funcionamiento. El PID compara dichas señales de presión con una presión negativa constante establecida inicialmente. Si la señal de presión suministrada por el sensor es diferente a la establecida, el PID actuará haciendo variar el funcionamiento del ventilador de impulsión hasta que la presión medida por el sensor se ajuste a la establecida.
- Regulación del ventilador de impulsión: la regulación del ventilador de impulsión seguirá los mismos parámetros que en el caso anterior. La única variación será que el ventilador estará implantado en cabeza y no en cola como en el caso anterior, y que el sensor de medida de la presión estará colocado en el conducto del aire exterior a la salida del intercambiador. En este caso, la presión constante establecida es positiva. La temperatura del aire caliente limpio a la salida puede ser controlada mediante este control sobre el ventilador.

El esquema de los lazos de control viene representado en la siguiente figura:

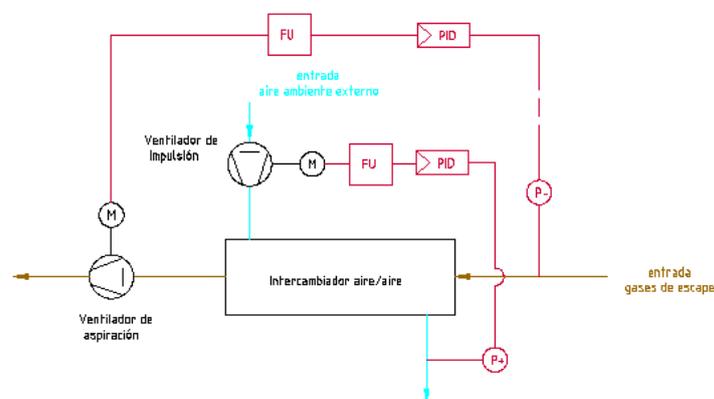


Figura 4. Sistema de regulación del funcionamiento de los ventiladores de impulsión y de aspiración en el intercambiador aire/aire.

#### **4.4. Ventilador de aspiración.**

El ventilador de aspiración será instalado posteriormente al intercambiador gas/aire. Su funcionamiento nos proporcionará un caudal de 45.800 Kg/h de gases de escape generando una depresión igual a la pérdida de carga que supone la instalación del propio intercambiador en mitad de la canalización. Esta pérdida de carga está en torno a los 70 mm.c.a.

Este ventilador seleccionado ha sido fabricado para funcionar correctamente empleando gases de escape a alta temperatura.

De ese modo, a efectos de la pérdida de carga, la instalación será invisible, en cuanto a que su implantación no supondrá aumentar la pérdida de carga de la canalización y por tanto no aumentará la presión a la salida de los motores. Con este ventilador de aspiración se asegura que la instalación del intercambiador no afectará negativamente al funcionamiento de los motores.

Además, este ventilador, puede ser sobredimensionado de modo que produzca una mayor depresión superior a la pérdida de carga que origina el intercambiador. De esta forma, el ventilador de aspiración estaría absorbiendo pérdida de carga de la canalización que actualmente es soportada por la salida de los motores de cogeneración. Actuando así, se aseguraría aún más el funcionamiento de los motores de cogeneración, pudiendo absorber posibles picos de pérdida de carga durante las operaciones de abrir/cerrar canalizaciones.

#### **4.5. Ventilador de impulsión.**

El ventilador de impulsión será instalado en la otra línea del intercambiador gas/aire. Este ventilador impulsará un caudal de 52.000 Kg/h de aire exterior a temperatura ambiente a una determinada presión, suficiente para superar las pérdidas de carga debidas al paso por el intercambiador y las pérdidas de carga debidas a la canalización desde el intercambiador hasta la cámara de mezclas. La pérdida de carga en el interior del intercambiador para los gases de escape se cuantifica en 80 mm.c.a.

En este punto, cabe resaltar que las pérdidas de carga debidas a la canalización desde el punto de ubicación del intercambiador hasta la entrada a la cámara de mezclas ya no tendrán que ser soportadas por la presión de salida de los motores como ocurre actualmente, sino que serán compensadas por el ventilador de impulsión. Con esto queremos recalcar que la presión a la salida de los motores de cogeneración será menor influyendo positivamente en el funcionamiento de los mismos.

Este ventilador no tendrá que ser especial ya que trabajará con aire exterior a temperatura ambiente.

#### **4.6. Tareas de puesta en servicio y mantenimiento.**

Antes de la puesta en servicio, es necesario asegurarse de que los flujos de gases de escape y de aire exterior pueden circular libremente a través de los tubos

y de la carcasa. Si los amortiguadores están colocados, se comprobará su movimiento y su correcto ajuste.

Además, se deberá comprobar que el conjunto haya sido correctamente instalado, y nos deberemos de cerciorar que los límites de aplicación (temperatura, diferencia de presión, material, etc.) no sean superados.

En cuanto al mantenimiento del intercambiador, una vez instalado solamente se requieren inspecciones visuales. Si los amortiguadores están instalados, será necesario examinar su movimiento. Inicialmente, las inspecciones deben realizarse mensualmente. Una vez transcurridos 3 meses, las comprobaciones pasarán a realizarse cada 12 meses.

Para facilitar el ensamble y montaje del intercambiador, éste dispone de unas orejeras de izado para las maniobras necesarias y de unos apoyos laterales para descansar la estructura por terceros en una localización previamente acordada.

El equipo dispone en las secciones de bridas de entrada y salida para su interconexión con los dos conductos de aire y gases. Todas las uniones serán atornilladas por lo que podremos montar/desmontar tantas veces como sea necesario.

## **5. APLICACIÓN INDUSTRIAL. ESPECIFICACIONES Y RESTRICCIONES**

Este el intercambiador se instaló en una planta industrial de tejas cerámicas que a continuación pasamos a estudiar. Inicialmente se solicitó el diseño y puesta en servicio del mismo como intercambiador aire/aire para el aprovechamiento energético del calor contenido en un flujo de gases de escape a 270°C, procedentes de motores de combustión.

La transferencia de calor se realiza desde este flujo de gases de escape a otro flujo separado e independiente de aire limpio procedente del exterior de la factoría. Para ello se parte de las especificaciones y restricciones del cliente, referentes tanto al producto a obtener como al lugar de ubicación de la instalación.

### **5.1. Especificaciones.**

Las especificaciones que tenemos para el diseño de la instalación las podemos clasificar en varios grupos:

#### **5.1.1. Especificaciones de funcionamiento del cliente.**

- a) Mantener las condiciones de trabajo actuales. El cliente quiere conservar la situación de trabajo que dispone actualmente la factoría. A día de hoy, el caudal de los gases de escape es aprovechado alimentando dos instalaciones: una parte de su caudal va destinada a una cámara de mezclas donde se unen diversos flujos procedente de otros procesos, y la otra parte del caudal nutre a unos secaderos de cámaras.

Los gases de escape producen irritación a los operarios en la zona de los secaderos de cámaras; se requiere pues que el intercambiador sea capaz de suministrar aire limpio caliente para que se mantenga el funcionamiento de los secadores, sin provocar problemas a los trabajadores.

De ese modo, se tiene que:

- El caudal de aire limpio/aire caliente procedente del intercambiador sea igual al caudal de gases de escape que se tiene actualmente.
  - La temperatura del aire limpio sea superior a los 150°C.
- b) Provocar la mínima pérdida de carga posible. Los motores de generación de energía eléctrica solamente pueden soportar una determinada presión de salida (máximo 65 mbares). Las modificaciones a realizar deben permitir el funcionamiento de los motores, con lo que la presión a la salida de los mismos, deberá ser menor a 65 mbares.
- c) Eliminar los problemas derivados del empleo de los gases de escape. El reaprovechamiento energético de los gases de escape en los secaderos (de cámara y túnel), genera dos tipos de problemas (de mantenimiento y seguridad) que serán analizados en un apartado a continuación.

#### 5.1.2. Especificaciones relativas a los flujos de trabajo.

- a) Flujos de trabajo a emplear. El intercambiador será diseñado para permitir el intercambio de calor entre los flujos de trabajo que se dispone. Estos son:
- Flujo de aire limpio procedente del exterior de la factoría.
  - Flujo de gases de escape procedentes de una estación productora de energía eléctrica propia perteneciente a la empresa, donde se emplean cuatro motores de gas natural.
- b) Propiedades de los flujos de trabajo. Los gases de escape disponen de las siguientes propiedades:
- Caudal de gases de escape: 45.800 kg/h.
  - Temperatura de entrada de los gases de escape: 270 °C.

Aire limpio procedente del ambiente:

- Caudal de aire ambiente: 52.000 kg/h.
- Temperatura de entrada del aire ambiente: variable en función de la época del año.

## 6. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

En el diseño del intercambiador se han considerado como el peor de los casos que la cantidad de aire que se quiere calentar es de 52.000 kg/h. Considerando la temperatura ambiente a 20°C, mediante el intercambiador carcasa/tubo, conseguimos elevar este un flujo de aire limpio de 52.000 kg/h desde los 20°C hasta la temperatura de 151°C. Para ello, el caudal de 45.800 kg/h de gases de escape que entra al intercambiador a 270°C se enfriará hasta los 137 °C.

Ambos flujos (aire y gases de escape), no estarán en contacto directo por lo que no se mezclarán, dado que el intercambiador es estanco entre ambos flujos de circulación. La transmisión de calor (enfriamiento de uno y calentamiento del otro) se realiza a través de los tubos. El diagrama de temperaturas será como el siguiente:

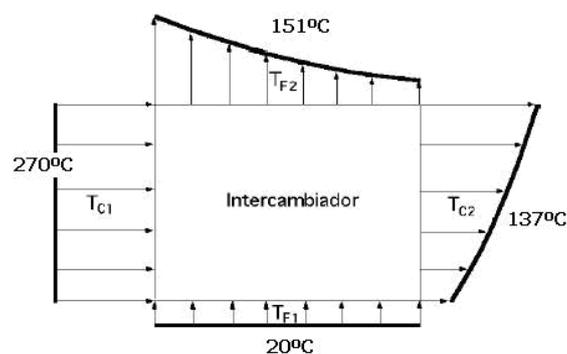


Figura 5. Evolución de las temperaturas del flujo caliente y del frío a la entrada/salida del intercambiador.

## 7. EJEMPLO RECUPERACIÓN DE CALOR EN HORNO DE COCCIÓN DE BALDOSAS PARA DOS SECADEROS

### 7.1. Tabla técnico-económica.

Máquina de la que se recupera la energía térmica:	Horno gres porcelánico (Tª de 1.200 °C)
Máquinas para utilizar la energía térmica:	secaderos a la salida de prensas.

<b>Nº hornos:</b>	<b>1</b>
• Producción diaria:	7.500 m <sup>2</sup> /día.
• Formato:	45 x 45 cm.
• Tª chimenea:	200°C.
• Caudal chimenea:	16.500 Nm <sup>3</sup> /h.

<b>Nº secaderos:</b>	<b>2</b>
• Tª de trabajo:	140°C.
• Caudal chimenea:	21.284 Nm <sup>3</sup> /h – 30.000 Kg/h
• Horas de trabajo:	8.000 h/año (por secadero).
• Consumo de GN:	80 Nm <sup>3</sup> /hora (por secadero).
• Consumo de GN/año:	640.000 Nm <sup>3</sup> /año (por secadero).

**DATOS DE CÁLCULO**

Coste GN	0,34	€/Nm <sup>3</sup>
Coste KWh eléctrico	0,12	€/KWh
Horas funcionamiento anual	8.300,00	h

**ENERGÍA TÉRMICA**

Caudal de aire calentado	18.146,00	kg/h
Temperatura entrada	20,00	°C
Temperatura salida	170,00	°C
Energía ahorrada	656.004,15	Nm <sup>3</sup> /año

**ENERGÍA ELÉCTRICA**

Potencia motores ventiladores	36,01	KW
Energía eléctrica consumida año	298.897,86	KWh/año

Ahorro energético bruto GN	223.041,41	€/año
Gasto energético eléctrico	35.867,74	€/año
Coste O&M anual	6.072,83	€/año
<b>Ahorro energético total</b>	<b>181.100,83</b>	<b>€/año</b>

## 8. EJEMPLO DE RECUPERACIÓN DE CALOR EN HORNO DE COCCIÓN DE BALDOSAS PARA UN ATOMIZADOR.

### 8.1. Tabla técnico-económica

Maquinas de las que se recupera energía térmica:	4 Hornos cocción baldosas cerámicas
Máquina para utilizar la energía térmica:	1 Atomizador.
Materiales cocidos en hornos:	gres pasta blanca y porcelánico.
Temperaturas de cocción:	1.120°C – 1.200°C
<b>Nº hornos:</b>	<b>4</b>
Tª caudal de trabajo:	200°C (cada uno).
Caudal chimenea:	52.000 Nm <sup>3</sup> /h (los 4 hornos).
Producción diaria:	7.000 m <sup>2</sup> /día (por horno).

<b>Nº atomizadores</b>	<b>1</b>
Cap. evaporación agua	6.600 l/h.
Producción arcilla	16.500 kg/h.
Caudal aire/entrada	41.500 Nm <sup>3</sup> /h.
Tª de trabajo:	520 - 600 °C.
Horas de trabajo:	8.300 h/año.
Consumo de GN:	616 Nm <sup>3</sup> /hora
Consumo de GN/año:	5.112.800 Nm <sup>3</sup> /año.

#### DATOS DE CALCULO

Coste GN	0,34	€/Nm <sup>3</sup>
Coste KWh eléctrico	0,12	€/KWh
Horas funcionamiento anual	8.300,00	h

#### ENERGÍA TÉRMICA

Caudal de aire calentado	66.368,00	kg/h
Temperatura entrada	20,00	°C
Temperatura salida	170,00	°C
Volumen de gas ahorrado	2.399.299,20	Nm <sup>3</sup>

#### ENERGÍA ELÉCTRICA

Potencia motores ventiladores	104,00	KW
Energía eléctrica consumida año	407.613,00	KWh/año
Ahorro energético bruto GN	815.761,73	€/año
Gasto energético eléctrico	103.584,00	€/año
Coste O&M anual	7.894,68	€/año
<b>Ahorro energético total</b>	<b>704.283,04</b>	<b>€/año</b>

## 9. CONCLUSIONES DE LA INSTALACIÓN

La instalación del intercambiador gas/aire tratada en este documento tiene las siguientes propiedades:

- Se **mantienen las condiciones de trabajo** que se tienen actualmente, dado que se emplea un caudal de 45.800 Kg/h a 270°C y mediante el intercambiador de carcasa/tubos para gases/aire se obtendrá un caudal de 52.000 Kg/h a una temperatura de 151°C superior a los 150°C que se emplean en el funcionamiento de los secadores.
- **Se elimina al 100% el empleo de los gases de escape** en los secadores, siendo sustituidos por aire caliente suprimiendo los problemas tanto de mantenimiento como de seguridad y salud de los operarios.

- La estabilidad de los materiales empleados en el intercambiador garantizan que no sufrirán los procesos de corrosión y oxidación que sufren los componentes metálicos (fijos y móviles) de los secaderos.
- La instalación del intercambiador **no representará una amenaza** para el funcionamiento de los motores ya que sólo afectará positivamente a la presión de salida de los gases de escape disminuyéndola, por lo que será un componente que ayude a mantener en funcionamiento a los motores de cogeneración. De ese modo se considerará que el intercambiador **será un componente de ayuda** para asegurar su funcionamiento.
- **Coste de implantación y mantenimiento de los equipos muy bajo** debido a que prácticamente no existen elementos.
- Viabilidad económica de nuestros negocios y empresas debido a que la ecuación **inversión-rentabilidad-ahorro** se cumple en todas y cada una de sus variables.
- Consecuencias medioambientales. El reaprovechamiento energético **ahorra la utilización de ingentes cantidades de energía**, con la reducción que ello implica en cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero y CO<sub>2</sub>.