



## 2. ALCANCE DEL PROYECTO

### 2.1. Solución propuesta

Como se comentó con anterioridad, en este proyecto se estudiará la posibilidad de sustituir todos los equipos de apartado anterior por una sola caldera centralizada de aceite térmico de alto rendimiento y de **6.000.000 Kcal/h.**, que opere a modo de central térmica con capacidad de suministrar, además de aceite térmico para proceso, vapor y agua caliente a través de los siguiente equipos:

- Intercambiador aceite - agua caliente : 1.300.000 Kcal./h
- Intercambiador aceite - vapor : 2.500.000 Kcal./h

De esta forma se mantienen las mismas condiciones de funcionamiento en el sistema productivo y además se absorbe la mencionada ampliación de potencia que la planta requiere en lo que a aceite térmico se refiere.

La caldera tendría como combustible **GAS NATURAL**, cumpliendo con la normativa medioambiental y de emisiones a la atmósfera. Este gas natural será suministrado como gas natural licuado (G.N.L.) en camiones. El gas natural licuado (GNL) es gas natural que ha sido procesado para ser transportado en forma líquida. Es la mejor alternativa para utilizar gas natural en sitios apartados, donde no es económico llevar el gas directamente por gasoducto. El gas natural es transportado como líquido a presión atmosférica y a  $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$  donde la licuefacción reduce en 600 veces el volumen de gas transportado. Será necesario por tanto la instalación en la fábrica de una planta regasificadora de gas natural donde estos camiones descarguen el combustible.

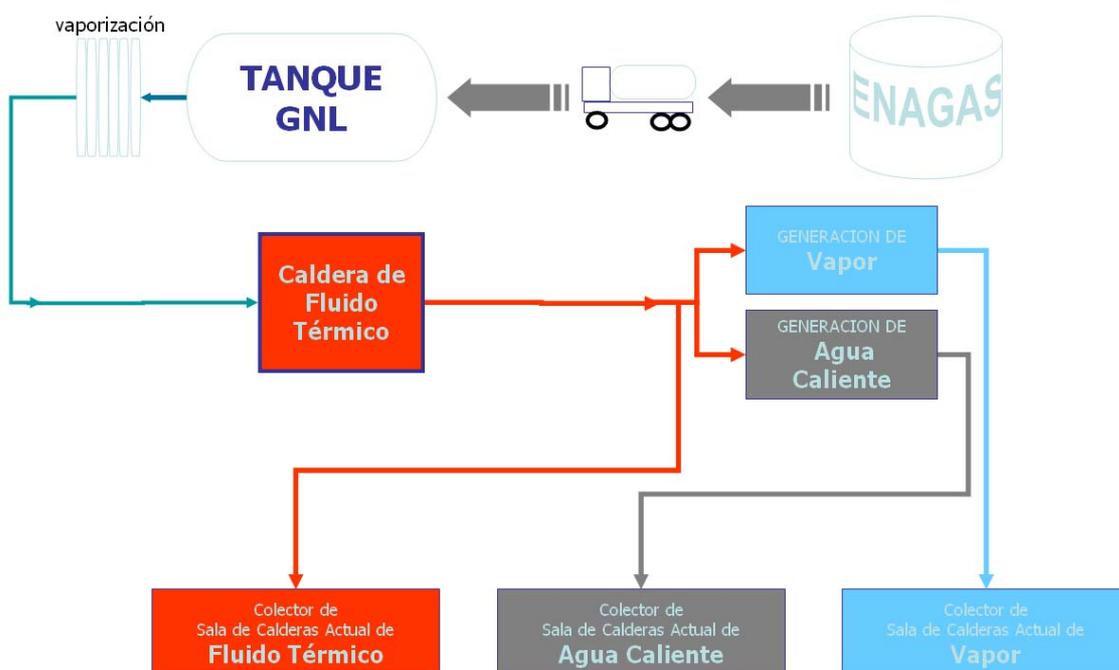


Fig. 2.1. Esquema de principio



En relación al proceso de revaporización, hay que decir que existen dos formas principales de llevarla a cabo, aunque con el mismo principio de aumentar la temperatura del GNL. La primera y más lenta consiste en que al GNL consiga poco a poco la temperatura del ambiente por simple intercambio térmico con él. La segunda y más rápida consiste en aportarle calor al GNL a través de una pequeña caldera de agua caliente o vapor. Hay que decir que al no ser la planta regasificadora objeto del proyecto, no se ha tomado ninguna de las dos posibilidades anteriores y no se han tenido en cuenta en los cálculos el consumo derivado de haber adoptado la segunda opción. Sin embargo, conviene indicar que este consumo, en el caso de existir, es extremadamente pequeño, por lo que no va a suponer ninguna variación en la estimación de los costes.

Por tanto, las principales ventajas de esta solución propuesta son:

- Caldera con un alto rendimiento aprox. 92 %.
- Equipamiento concentrado.
- Cumplimiento normativa Medio Ambiental.

Como dato adicional, conviene decir que será muy improbable que todos los consumos se produzcan al mismo tiempo, es decir, dichos consumos se van repartiendo a lo largo del año de forma que la caldera no trabajará prácticamente nunca a plena carga. Además, se ha introducido en el apartado anterior el coeficiente denominado factor de utilización. Este factor indica que en los momentos que se suponen de utilización de un determinado consumo, éste no se produce a plena carga todo el tiempo, es decir, existen arranques y paradas así como funcionamientos a regímenes inferiores del 100%. Todo esto asegurará que la capacidad de la caldera será suficiente para cualquier momento de funcionamiento y que podrá absorber la mencionada ampliación en el apartado de fluido térmico. De una forma más clara, la evolución de los consumos a lo largo de un año es:

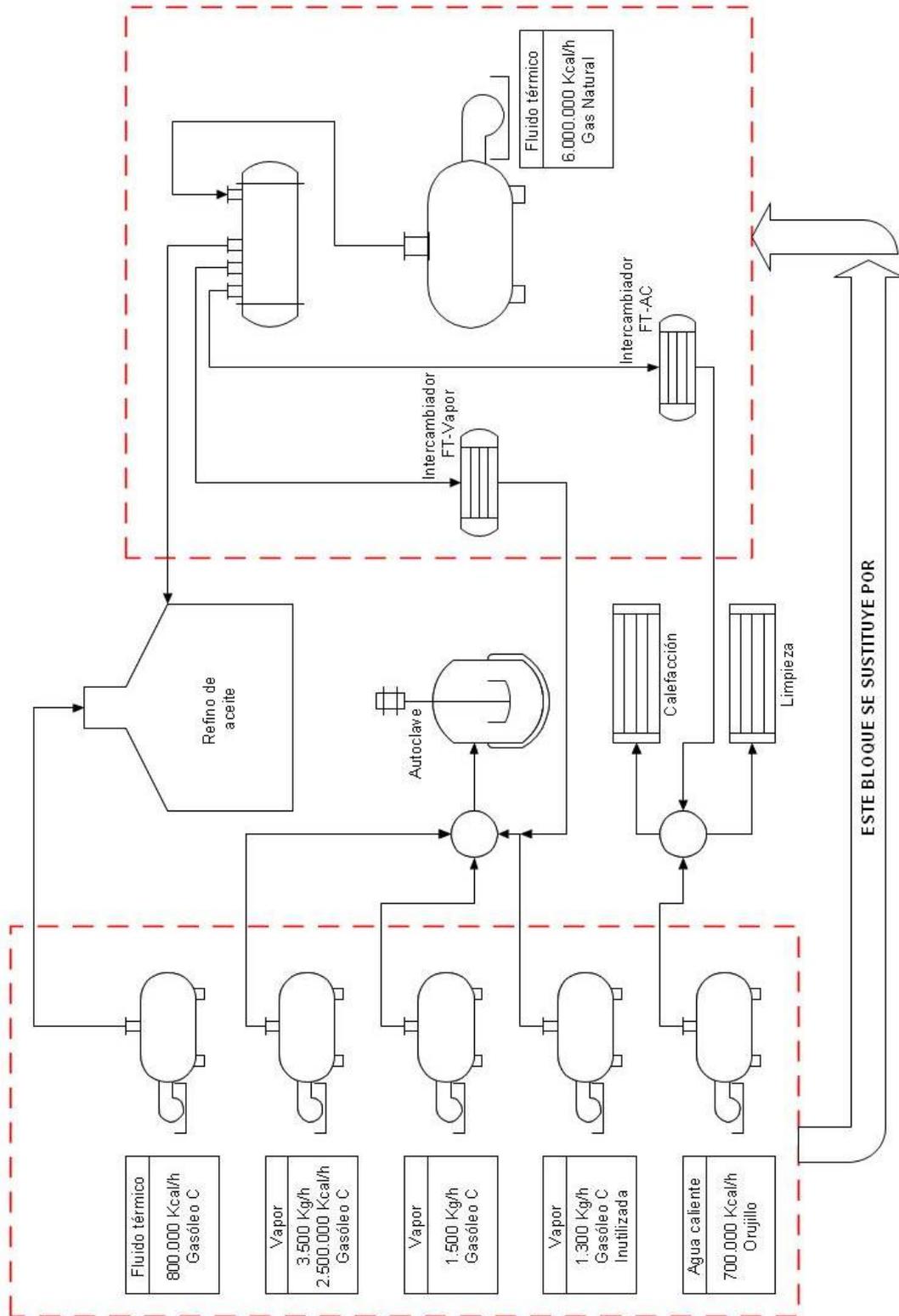
	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
Aceite térmico proceso	24 horas/dia 50%	24 horas/dia 50%	24 horas/dia 50%	24 horas/dia 50%		24 horas/dia 50%
Vapor proceso	16 horas/dia 20%					
Agua caliente proceso	4 dias/mes 50%					
Agua caliente calefacción	24 horas/dia 50%	24 horas/dia 50%	24 horas/dia 50%			

	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
Aceite térmico proceso	24 horas/dia 50%					
Vapor proceso	16 horas/dia 20%					
Agua caliente proceso	4 dias/mes 50%					
Agua caliente calefacción				24 horas/dia 50%	24 horas/dia 50%	24 horas/dia 50%



De forma esquemática, se indica a continuación el cambio que se proyecta realizar en la planta objeto del proyecto.





## 2.2. Justificación técnica

El primer y más importante motivo de utilización de una caldera de aceite térmico en lugar de una de vapor es que, en origen, la planta objeto del proyecto ya utiliza aceite térmico como parte de su proceso, por lo que para llevar a cabo una reconversión total del sistema de generación térmica a modo de una única central nos lleva necesariamente a este tipo de solución. En el caso contrario, es decir, si se utilizase vapor como fluido transmisor de calor, nos encontraríamos con dos problemas principales:

1. La necesidad de cambiar toda la instalación existente de aceite térmico.
2. La necesidad de utilizar vapor a altas presiones para conseguir las temperaturas que se alcanzan con el aceite térmico. El agente transmisor de calor con propiedades caloríficas más favorables es el agua, ya que permite transmitir grandes cantidades de calor hasta 100 °C sin presión. Por encima de esta temperatura el agua se transforma en vapor, aumentando así la transmisión de calor, pero adquiriendo presión a medida que aumenta la temperatura, de tal forma que a 180 °C, le corresponderían 10 Kg./cm<sup>2</sup> de presión y alcanzando 260 °C a 50 Kg./cm<sup>2</sup>.

En la mayor parte de las industrias al reemplazar el sistema de vapor por los sistemas de fluidos térmicos, se concluye que éstos últimos proporcionan control exacto y uniforme de la temperatura, lo cual conduce a incrementos en la producción, mejor calidad del producto final, reduce los costos de mantenimiento, brinda seguridad humana y ambiental y muchos años de servicio altamente eficiente. En síntesis los sistemas de fluidos térmicos proporcionan ventajas significativas en casi todas las categorías. A modo de resumen, las ventajas que el aceite térmico presenta con respecto a vapor son las siguientes:

1. Ahorro de combustible:

Se estima que el consumo de combustible es inferior, en orden a un 20% de ahorro, con respecto al vapor, al establecerse un circuito cerrado con  $\Delta T$  de 50 °C, mientras que con el vapor el  $\Delta T$  es siempre superior a 90 °C, considerando una presión de trabajo con vapor a 10 Kg./cm<sup>2</sup>.

2. Rendimiento:

Los fabricantes de calentadores de fluidos térmicos indican que la eficiencia de estos equipos puede ser un 5 a 8% superior a la de los sistemas de vapor convencional. Los generadores de vapor, calentados con aceite térmico aumentan su eficiencia, requieren menos tratamiento de agua y debido al descenso considerable de flujo de calor, generan menos impurezas. Si se tienen en cuenta las pérdidas de calor de un sistema de vapor convencional (incluyendo la de los separadores de vapor) de 6% a 14%, pérdidas por condensado de hasta 3%, y pérdida de desaireadores de otro 2%, la diferencia en eficacia comparada con los sistemas de transferencia de fluidos térmicos es elevada. Los sistemas de fluidos térmicos no sufren éstas pérdidas y como resultado pueden ser hasta 31% más eficientes, exceptuando calentadores



adicionales y eficiencias del generador del vapor. Al usarse aceite en lugar de agua, no existen incrustaciones de cal, por lo que se mantiene un alto rendimiento de forma constante, prolongando la vida del generador y de la instalación.

3. Múltiples aplicaciones:

Con un único generador de aceite térmico se puede operar con diferentes circuitos que trabajen a diferentes temperaturas manteniendo la presión y el rendimiento.

4. Tratamiento de agua:

No se precisa tratamiento de agua como es lógico y, por consiguiente, se evita el gasto en productos químicos, sal y tanques de almacenamiento de agua.

5. Corrosiones:

Es muy bien conocido el problema de corrosión en los sistemas de vapor. El aire combinado con agua caliente, sales y otros contaminantes reactivos presentan un potencial extraordinario para la corrosión del metal. El vapor es abrasivo y no tiene virtualmente ninguna lubricidad. Adicionalmente se encuentran depósitos e incrustaciones de minerales comunes en la mayoría de los abastecimientos de agua. No hay posibilidad de que se produzcan corrosiones en los circuitos de calentamiento con aceite térmico, con lo que se reduce el costo de mantenimiento y sustitución de piezas y elementos que componen la instalación en general.

6. Mantenimiento:

Los sistemas de fluidos térmicos han demostrado funcionar de manera simple, segura y eficiente durante años y con un mantenimiento mínimo. Los sistemas del vapor requieren mantenimiento constante, principalmente en los separadores de vapor, válvulas, bombas de retorno del condensado y juntas de dilatación. Además requieren análisis y tratamiento de agua. El costo del mantenimiento en sistemas que utilizan aceite térmico es bajo, en comparación con los sistemas de utilizan vapor a presión para el calentamiento.

7. Altas temperaturas:

La temperatura de trabajo con aceite térmico, puede ser de hasta 400 °C sin presión, por lo que puede usarse para el calentamiento de procesos que precisan altas temperaturas, sin tener el riesgo de la presión del vapor.



#### 8. Sin presión:

Para llegar al nivel de calor requerido en algunos procesos industriales, los sistemas del vapor tendrían que funcionar a presiones excepcionalmente altas. Por ejemplo, para lograr  $316^{\circ}\text{C}$  un sistema saturado de vapor debe desarrollar una presión de  $112\text{Kg}/\text{cm}^2$ . Incluso para llegar a  $200^{\circ}\text{C}$ , se requiere una presión de  $16\text{Kg}/\text{cm}^2$ , la cual sigue siendo elevada. En contraste, la mayoría de los sistemas de fluidos térmicos se ventilan o descargan a la atmósfera. La presión de la descarga de la bomba es apenas suficiente para mantener el fluido en circulación mientras se supera la resistencia de fricción de la tubería y los componentes. Todos los circuitos trabajan sin presión, transportando altas temperaturas al proceso, evitando la instalación de materiales que resistan altas presiones, que suelen ser bastante costosos. Esto queda muy claro en el siguiente gráfico:

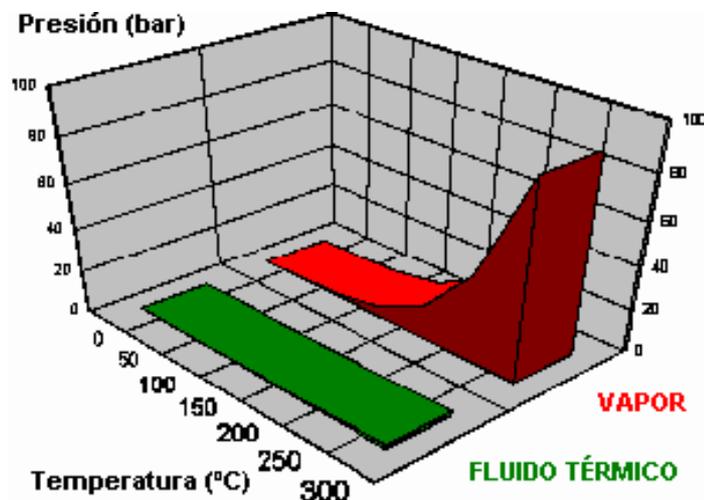


Fig. 2.2. Diagrama P-T del vapor y el fluido térmico

#### 9. Diseños compactos:

El diseño compacto de este tipo de calderas, ahorra un espacio importante en la sala de calderas.

#### 10. Operación automática:

Al ser la operación de la caldera totalmente automática, se reduce el costo de personal que atienda el equipo. Así por ejemplo, no existe régimen de purgas como sucede con las calderas de vapor.

#### 11. Resistencia a la congelación:

Cuando se presentan fallos de energía en clima frío, los sistemas de vapor corren el riesgo de congelarse con los consecuentes problemas de estallido de tuberías y daños en los componentes. Los problemas de congelación en los circuitos de aceite térmico no se presentarán hasta temperaturas de  $-20^{\circ}\text{C}$ . Esto hace que el sistema pueda apagarse incluso en condiciones bajo cero sin preocuparse por la



posibilidad de congelamiento. Esta ventaja con respecto al agua es importante en zonas con clima de frío extremo.

12. Condensaciones:

No existe la posibilidad de contaminaciones por problemas de condensación.

13. Instalación:

La instalación es tan sencilla como la de vapor, pero su duración es más larga por la ausencia de corrosiones. Además, los sistemas de fluidos térmicos no requieren separadores de vapor, retorno de condensado o aditivos.

14. Control de temperatura:

En los sistemas de vapor el control de la temperatura, depende del control de la presión. Con esta dependencia en el delicado balance de la presión, la exactitud del control presenta una variación de  $\pm 10^\circ\text{C}$ . A medida que el sistema envejece y aumenta la corrosión del mismo, el control de la temperatura se dificulta. La uniformidad de la calefacción puede también ser un problema debido a las variaciones del coeficiente de condensación. Eso, sin tener en cuenta los efectos negativos de la corrosión sobre las superficies metálicas, lo que dificulta más la tarea de controlar la temperatura. En comparación, los equipos de fluidos térmicos dan la capacidad de regular la temperatura en un rango de  $\pm 1.5^\circ\text{C}$  o menos. Esta precisión se logra mediante el cálculo correcto de la mezcla del fluido más frío de retorno, con el fluido más caliente de la línea de abastecimiento. Agregando un flujo de alta turbulencia y velocidad a la ecuación, se asegura la precisión y uniformidad del control de la temperatura en toda la superficie de intercambio. Los sistemas térmicos no solo son eficientes para proporcionar calor exacto y uniforme, sino también enfriamiento exacto y uniforme. Algunos fluidos son eficientes en un amplio rango de control de temperatura de  $200^\circ\text{C}$  a  $40^\circ\text{C}$  o menos.

15. Seguridad ambiental:

En los sistemas de vapor, el agua debe ser tratada químicamente para reducir la corrosión, entre otros inconvenientes. Los productos químicos no se pueden desechar en alcantarillas, pues presentan peligro considerable para el medio ambiente. Adicionalmente la temperatura de descargue de agua es a menudo regulada por la ley. A fin de minimizar el impacto ambiental que producen las temperaturas elevadas es necesario introducir mejoras en las instalaciones para enfriar el agua antes de ser evacuada. A diferencia de los sistemas de vapor, los sistemas de fluidos térmicos no requieren retornos de condensados, ni están sujetos a pérdidas permanentes.



### 2.3. Justificación económica

En general, el costo de compra de un sistema de vapor puede ser inferior al de un sistema de fluidos térmicos, pero éstos últimos generan ahorros significativos tales como: menores costos operativos y de mantenimiento, incremento en seguridad industrial, despreocupaciones con respecto a daños ambientales, aumento en la producción y calidad del producto final, todo esto resultado del mejor control de temperatura. Si se combina todo lo anterior se concluye que los sistemas de fluidos térmicos superan de lejos, en términos económicos a los sistemas de vapor convencional.

En lo que a este proyecto en particular se refiere, a continuación se presentan los resultados de una hoja de cálculo, desarrollada para este estudio, y que muestra el importante ahorro producido por el cambio de las calderas actuales por una central térmica unificada consumiendo gas natural. Para realizarlo se han partido de datos reales de la planta como son:

- Coste del gasóleo C: **0,40 Euros/litro** (media de las facturas del último año)
- Coste del gas natural<sup>1</sup>: **0,014782 Euros/Kwh.**
- Ciclo de trabajo: Estos datos ya aparecen reflejados en el capítulo anterior.

Con gasóleo C: **13.200 horas/año**

Con orujillo: **5.472 horas/año**

- Consumo de combustible anual: Para el gasóleo C se obtiene a partir del total de las facturas de un año, y para el orujillo a través del control del mismo, ya que es de producción propia.

Para gasóleo C: **588.000 Kg./año**

Para orujillo: **516.606 Kg./año**

Introduciendo todos estos datos en la hoja de cálculo se obtienen los resultados reflejados en la figura siguiente.

---

<sup>1</sup> Hay que señalar que existen distintas posibilidades a la hora de facturar el gas natural. La primera de ellas es la de facturar de manera convencional, con una parte fija y otra variable con un precio negociado con alguna distribuidora de gas, con la base de la ORDEN ITC/4101/2005, de 27 de diciembre (BOE 30/12/2005), en la que se establecen las tarifas del gas natural. En el otro extremo, existe la posibilidad de llegar con la empresa distribuidora a una solución de “gestión energética”, en la que dicha empresa se hace cargo de la inversión de la planta en su totalidad, gestionándola y controlándola a lo largo del periodo de amortización de forma que se asegure el rendimiento de los equipos instalados, facturando el consumo de gas natural dentro de la amortización de la inversión que la empresa distribuidora cobra a los propietarios de la planta. Entre estas dos soluciones extremas, existen algunas posibilidades intermedias. En este proyecto, se supondrá que la facturación se realiza de la forma convencional y que son los propietarios de la planta los que efectúan la inversión en su totalidad.

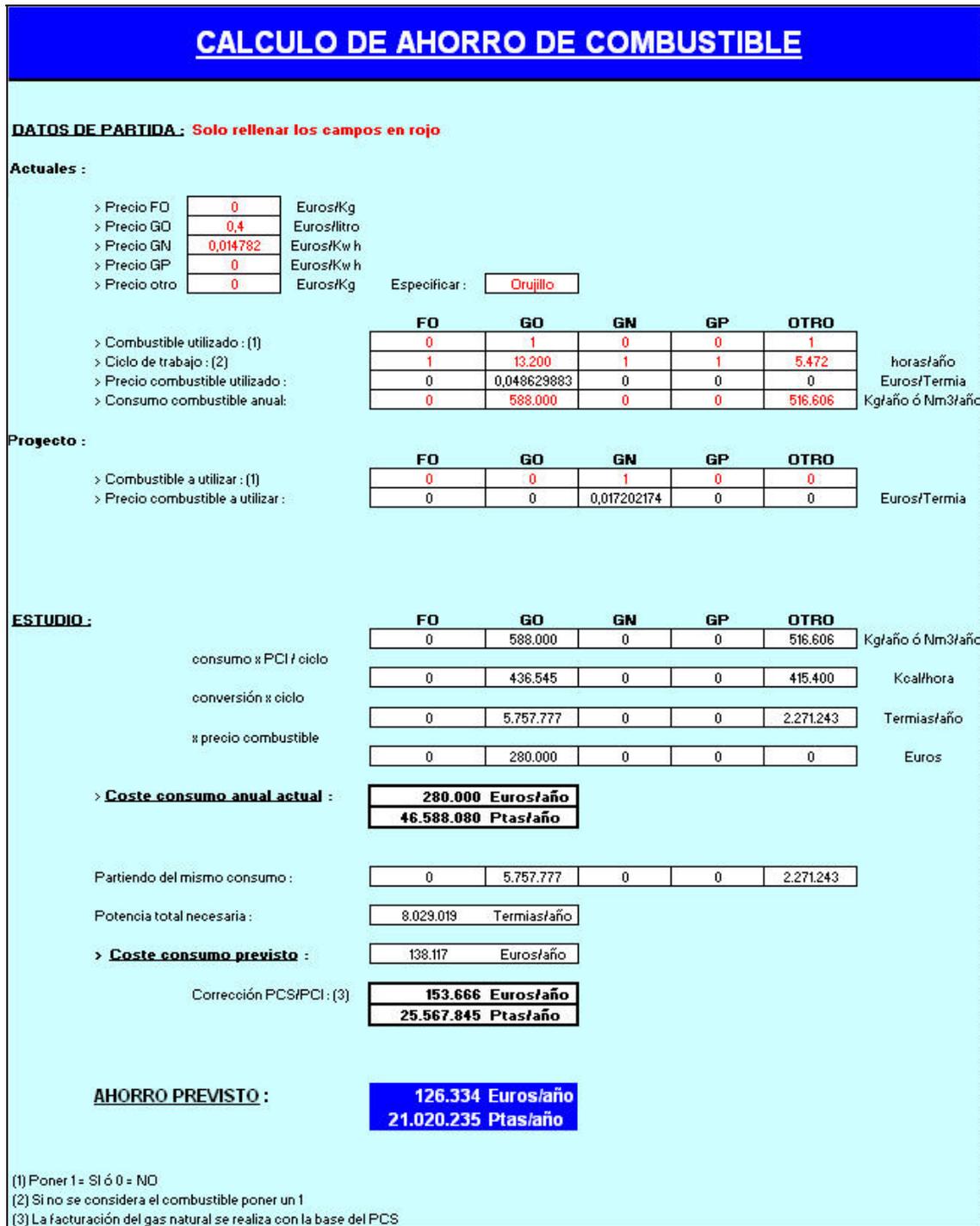


Fig. 2.3. Estudio de ahorro económico por cambio de combustible

Como se puede observar, y sin entrar de momento en muchos detalles, el ahorro que se produce por pasar de la situación actual a la solución con gas natural licuado es muy importante. Esto hará que el plazo de amortización de la inversión necesaria para llevar a cabo el proyecto sea muy corto y que, por tanto, resulte un proyecto interesante para los propietarios de la planta.

El estudio de amortización completo se realizará en el anexo correspondiente, y se podrá valorar de forma cuantitativa el coste de la inversión.