- Las demandas mínimas de información que deben cubrir las respuestas presentadas son:
  - Características técnicas de la caldera y auxiliares.
  - Especificaciones límites del combustible.
  - Borrador de los esquemas del proyecto.
  - Precio y condiciones de pago.
  - Alcance de suministro y exclusiones.
  - Referencias de clientes con instalaciones similares.

Con esta información y el precio del combustible se deberá estudiar la viabilidad del proyecto.

3.2.3 Caso práctico

Para este ejemplo se ha analizado el invernadero nº 1 presentado anteriormente en el balance de energía.

El estudio de esta instalación se ha realizado bajo la financiación de un proyecto Altener Best Result.

Descripción de la instalación actual

El aporte térmico necesario se realiza actualmente utilizando gasóleo como combustible en dos pequeños calentadores de aire (2x42,5 kW) y una gran caldera de agua caliente (1.758 kW). La antigüedad de la caldera es de 5 años.

La temperatura en el interior del invernadero se regula entre 15 y 18 °C. Para calentar el invernadero se utiliza agua caliente a 45 °C. La temperatura del agua se regula mezclando el agua caliente generada en la caldera (70 °C) con agua de retorno del invernadero (40-45 °C).

Tabla 14. Datos técnicos de la caldera instalada en el invernadero

Modelo caldera	YGNIS EMR-1600 (P_{max} = 4 bar; T_{max} = 110 °C)
Potencia	1.758 kW
Eficiencia caldera	91%
Combustible	Gasóleo
Quemador	ELCO KLOCNER (42-150 kg/h)
Fluido calefactor	Agua caliente (70 °C)

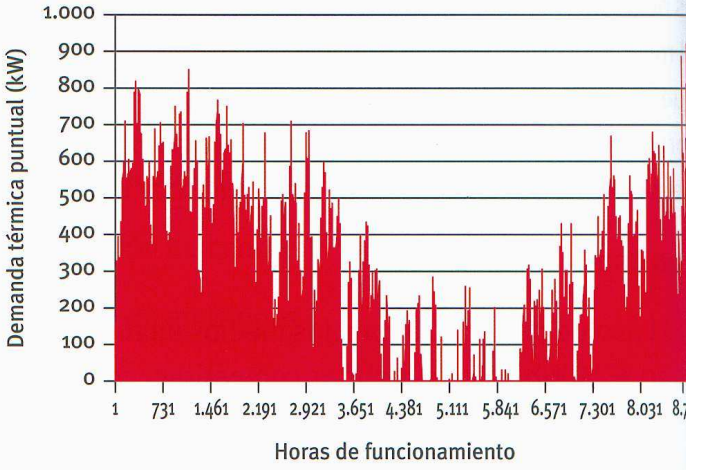
Cálculo de la demanda térmica

Se ha realizado una simulación del comportamiento energético del invernadero para estimar la demanda anual y la demanda punta en un año tipo. Teniendo en cuenta la ampliación prevista del invernadero (superficie total 8.800 m²; 20 túneles) los resultados se muestran en la Figura 11.

El consumo térmico anual (correspondiente al área en rojo en la figura siguiente) es de 1.240.000 kWh y el consumo punta máximo 920 kW.

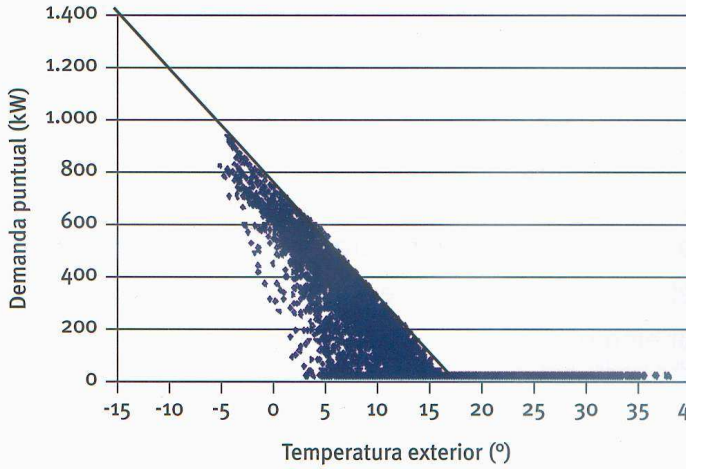
Para la configuración actual (16 túneles; de 7.200 m²) el consumo calculado es de 1.090.000 kWh equivalentes a 108.000 l de gasóleo (91% eficiencia).

Figura 11. Consumo horario del sistema de calefacción del invernadero



El consumo de gasóleo en 2005 fue de 103.000 l. La diferencia es inferior al 5%, por lo tanto se verifica que la simulación parece reflejar adecuadamente la demanda del invernadero.

Figura 12. Variación de la demanda punta en función de la temperatura exterior



Solución propuesta

Se propone la instalación de una caldera de biomasa en serie con la caldera existente de gasóleo, con el fin de realizar la menor inversión posible y obtener la mejor rentabilidad energética. El procedimiento de operación será aquel que permita a la caldera de biomasa suministrar el consumo base, consiguiendo así un menor gasto anual en combustible fósil, y las demandas punta serán cubiertas por la caldera de gasóleo existente.

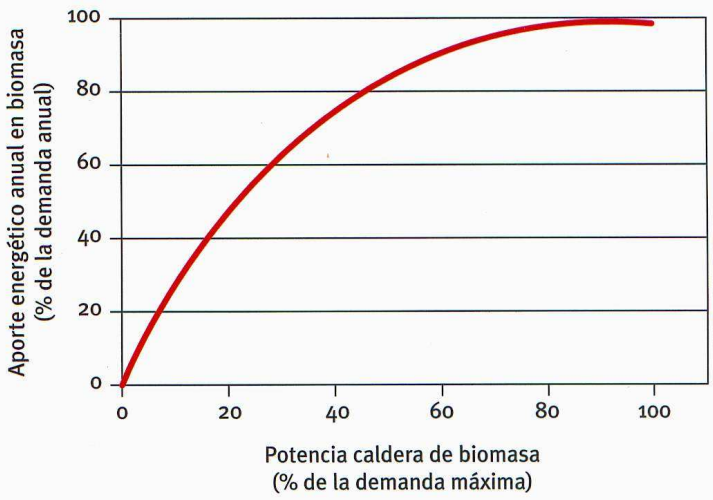
El aporte de calor de la caldera de biomasa se realizará mediante el calentamiento de agua en un circuito secundario e independiente al principal. La transmisión de energía al circuito principal existente se realizará a través de un intercambiador de calor colocado en el retorno del agua a la caldera de gasóleo.

De esta forma, cuando la demanda puntual sea inferior a la correspondiente a la caldera de biomasa (en la mayoría de los casos), la caldera de gasóleo permanecerá apagada, ya que la temperatura del agua de retorno (a 40-45 °C y ya calentada por la caldera de biomasa) es superior a su punto de consigna. Cuando la demanda sea superior al consumo base, la caldera de biomasa no será capaz de aportar toda la energía, puesto que no se ha dimensionado para estos consumos punta (se funciona en estos casos con un mayor caudal a menor temperatura), calentando el agua hasta una temperatura inferior a 70 °C dando la caldera de gasóleo el salto final hasta los 70 °C de consigna para este caudal.

En la siguiente figura se muestra la demanda anual cubierta por la caldera de biomasa (en % del consumo anual de 1.240.000 kWh) en función de la potencia térmica de la caldera de biomasa (en % de la demanda máxima puntual de 920 kW).

Por ejemplo, una caldera de biomasa de 450 kW (que representa el 49% de la demanda puntual máxima del año, 920 kW, y por lo tanto con la mitad de la inversión) aporta el 91% del consumo de combustible anual (y el 91% del ahorro en combustible).

Figura 13. Demanda anual cubierta por la caldera de biomasa

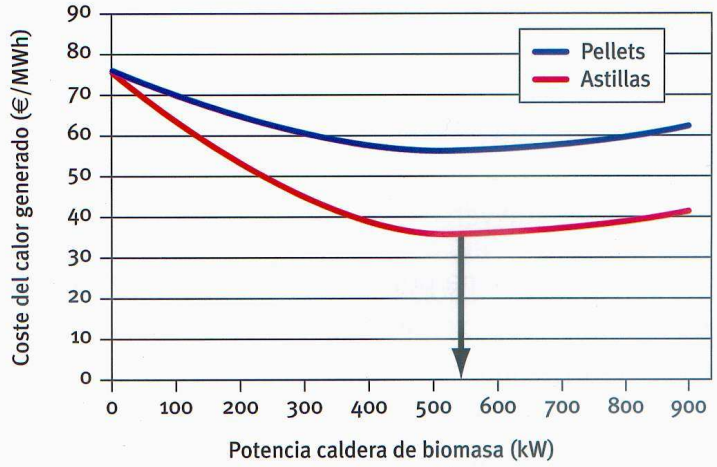


Se ha calculado cual es el coste anual total de calor generado (en €/MWh) para diferentes potencias de calderas de biomasa, considerando dos combustibles: pellets y astillas de madera. Estos combustibles representan el límite superior e inferior de coste de los biocombustibles. Se han tenido en cuenta el coste de instalación de la caldera de biomasa y el coste de mantenimiento anual de ésta. El coste de la caldera se ha anualizado considerando un periodo de 10 años y un interés del 6% anual. Se han considerado los siguientes costes de combustible (Datos año 2006):

- Pellets de madera: 30 €/MWh.
- Astillas de madera: 12 €/MWh.
- Gasóleo: 65 €/MWh.

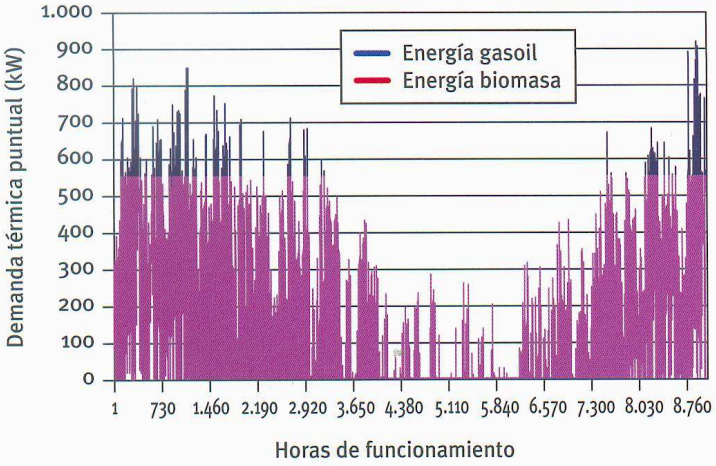
Los resultados se muestran en la gráfica representada en la Figura 14.

Figura 14. Coste de la generación de calor en función de la potencia de la caldera



Por lo tanto, se recomienda instalar una caldera con una potencia en torno a 550 kW que utilice astillas de madera como combustible principal.

Figura 15. Representación de la demanda térmica horaria del invernadero



Calderas de este tamaño pueden utilizar astillas de madera con un contenido en humedad y cenizas relativamente alto, que tienen un precio inferior a otras biomasas.

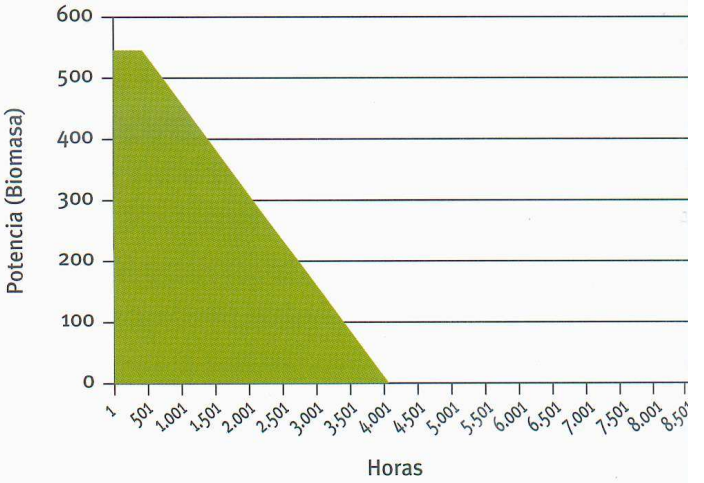
También se podrá utilizar otro combustible de precio similar que cumpla las especificaciones de la caldera (orujo de uva, cáscara de almendra, etc.). La disponibilidad de espacio puede ser suficiente para las necesidades de almacenamiento y el consumo anual. El precio de pellets es mayor y su uso no se justifica en este caso por el tamaño de la caldera, la disponibilidad de espacio para almacenamiento y el consumo anual de combustible, que es suficientemente alto.

La potencia de esta caldera se corresponderá con el 60% de la demanda máxima pero, sin embargo, aportará el 97% del consumo de combustible. El consumo base se aporta con biomasa y las puntas de demanda con la caldera de gasóleo existente.

La caldera de biomasa estará en funcionamiento 4.000 horas al año y la de gasóleo sólo unas 500 horas al año, como pude verse en la Figura 16.

Dado que la mínima potencia necesaria de la caldera de biomasa es aproximadamente 140 kW y la demanda a este valor es inferior a 1.000 h al año, se recomienda la instalación de un depósito de acumulación para cubrir estos periodos.

Figura 16. Representación del tiempo de funcionamiento de la caldera de biomasa



Análisis económico

Los parámetros económicos del proyecto se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 15. Principales parámetros económicos del proyect

	Pot. máxima demandada	919	kW	
	Potencia biomasa	551	kW	60%
A	Inversión caldera biomasa	137.337	€	
	anualizada	18.660	€/año	6%; 10 año
B	Mantenimiento	5.924	€/año	
C	Demanda cubierta con gasóleo	41.409	kWh/año	3%
	Consumo gasóleo	48.716	kWh/año	4.223 l/añ
		3.167	€/año	
D	Demanda cubierta con biomasa	1.198.320	kWh/año	97%
	Consumo biomasa	1.409.788	kWh/año	
		16.917	€/año	
		335	t/año	Astillas 20 HR
E= B+C+D	Total consumos anuales (con biomasa)	26.008	€/año	
F	Consumo gasóleo sin biomasa	94.803	€/año	
F-E	Ahorro operación	68.795	€/año	

(Continuación)

F-E-A	Ahorro total	50.135	€/año
	Tiempo retorno de la inversión	2,0	años
	Coste calor consumido	36,0	€/MWh

El ahorro anual es de aproximadamente 69.000 €, por lo que la inversión necesaria (aproximadamente 137.000 € sin incluir la obra civil) se amortiza en algo más de 2 años. El coste del calor generado será de 36 €/MWh.

3.3 Uso de energía geotérmica para la climatización de invernaderos

De todos es sabido que el interior de la Tierra está caliente y que, a medida que profundizamos hacia el interior de ella se encuentran temperaturas crecientes. A veces no llegamos a percibir cómo el calor de la Tierra se disipa hacia su parte más externa. Sin embargo, ya el hombre primitivo aprovechaba esta característica peculiar del subsuelo y buscaba abrigo de las bajísimas temperaturas que entonces sufrían y se acomodaba en las cavernas que mantienen su temperatura prácticamente estable durante todo el año.

Las fumarolas, géiseres y fuentes termales son fenómenos observables en superficie que denotan un calor que proviene del subsuelo.

Todas ellas son manifestaciones del calor que el interior de la Tierra transmite hacia su exterior y que constantemente se "desperdicia" en la corteza terrestre. En suma, son indicaciones de la estructura interna de la Tierra formada por capas sucesivas tanto más calientes cuanto más hacia el interior se encuentran situadas.

La energía geotérmica es, en su más amplio sentido, la energía calorífica que la Tierra transmite desde sus capas internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre.

El gradiente geotérmico, esto es, el incremento de temperatura según profundizamos en la corteza terrestre, observado en la mayor parte del globo es de unos 2,5-3 °C cada cien metros. Es lo que se conoce como gradiente geotérmico normal.

En regiones muy delimitadas y específicas del globo, el gradiente es muy superior al gradiente normal. Se trata de regiones de gradiente geotérmico anómalo en las que el incremento de temperatura con la profundidad es muy superior a los 3 °C/100 m. Estas regiones se sitúan sobre áreas geológicamente activas de la corteza terrestre.

El gradiente geotérmico es una medida fácil de obtener y permite conseguir una estimación de la cantidad de flujo de calor que se transmite desde las zonas internas de la corteza hacia las zonas externas. El flujo de calor se expresa en unidades de mW/m² y, aunque más difícil de medir en campo, representa la cantidad de calor geotérmico que se desprende por unidad de superficie.

La energía geotérmica de baja temperatura tiene múltiples usos, siendo uno de ellos en agricultura, y una aplicación agrícola de fluidos geotermales es el uso en la climatización de invernaderos.

Bien utilizando las aguas termales que surgen de las profundidades terrestres, bien utilizando el calor terrestre a través de sondeos profundos donde introducimos una tubería con un fluido caloportador, el uso de energía geotérmica es un hecho y puede suponer una fuente de ahorro y diversificación energética para la climatización de invernaderos en nuestras latitudes, donde como ya hemos visto es necesario calefactar los invernaderos en los meses más fríos.

La existencia de un foco caliente nos va a permitir utilizar esta energía en otras aplicaciones, como la producción de frío a través del uso de una máquina de absorción (frío que podemos utilizar para refrigerar el invernadero en las épocas de mayor temperatura).

La aplicación de esta energía invernadero se realiza utilizando los sistemas habituales de climatización de invernaderos: a través de circulación forzada de aire, mediante tuberías de circulación de agua caliente bien dentro o sobre el suelo, radiadores, etc.

La energía geotérmica, en función de la localización geográfica, podría llegar a ser la única fuente de energía necesaria para la climatización del invernadero. No obstante, si no fuera suficiente, podemos combinarla con las fuentes auxiliares tradicionales (electricidad, derivados del petróleo, gas natural) u otras energías renovables (solar térmica, biomasa).