



Unidad de Prospectiva

•
•
•
•
•
•
•

Estudio sobre la introducción de fuentes energéticas orientadas a la instalación de sistemas de calefacción en los invernaderos de flor

Febrero, 2002



Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA



TRABAJOS DE APOYO A LA ELABORACIÓN DE UN PLAN ESTRATÉGICO PARA EL SECTOR DE LA FLOR CORTADA EN ANDALUCÍA

Estudio sobre la introducción de fuentes energéticas orientadas a la instalación de sistemas de calefacción en los invernaderos de flor

DOCUMENTO RESUMEN

1.- Introducción

El sector de la flor cortada ocupa una relevante posición dentro la agricultura andaluza. El cultivo de la flor en Andalucía se localiza principalmente en el litoral noroccidental gaditano (Chipiona y Sanlúcar) y la zona colindante de la provincia de Sevilla (Lebrija, Las Cabezas y Los Palacios). Este sector se enfrenta a una serie de problemas de diversa índole de cuya solución depende en gran medida su futuro a medio plazo.

La diversificación productiva, junto a la mejora de la calidad de la producción y el desplazamiento de las cosechas de flores a épocas de máxima demanda, son algunos de los principales retos a los que actualmente se enfrenta el sector. La solución a dichos problemas pasa necesariamente por un mejor control de las condiciones ambientales del cultivo. Esta necesidad de control ambiental debe además compatibilizarse con una reducción de los costes de cultivo y un aprovechamiento máximo de los recursos disponibles. En este contexto, la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, dentro de los trabajos de elaboración del plan estratégico de actuación para este sector, ha realizado un **Estudio sobre la introducción de fuentes energéticas orientadas a la instalación de sistemas de calefacción en los invernaderos de flor**. El resumen y las conclusiones de este estudio se exponen en el presente documento

El trabajo se ha estructurado en tres grandes bloques: fuentes de energía, análisis de la estructura y sistemas pasivos del invernadero (demanda de calefacción) y estudio de viabilidad de diferentes instalaciones térmicas y eléctricas en invernaderos. El capítulo 2 se dedica al estudio de las fuentes de energía disponibles. El análisis de la demanda de calefacción y los estudios de viabilidad se incluyen en el capítulo 3. Al final de cada capítulo se incorporan las conclusiones más importantes del estudio correspondiente.

Se han estudiado 83 casos diferentes, considerando las siguientes fuentes de energía, sistemas de generación térmica y unidades terminales,

- Fuentes de energía: Electricidad, Gasóleo, Gas Natural, GLP, Biomasa, Energía Solar, Energía Eólica.
- Generación: Generador de aire caliente, Caldera, Bomba de Calor, Cogeneración, Energías Renovables.
- Unidades Terminales: Aire, Suelo radiante, Aerotermos.

Se han estudiado 3 tipos diferentes de calderas (convencional, de baja temperatura y de condensación), 2 tipos diferentes de bomba de calor (aire-aire y aire-agua), 17 instalaciones diferentes de cogeneración (15 individuales y 2 colectivas) y 3 tipos diferentes de instalaciones de energías renovables (energía solar térmica a baja temperatura, energía solar fotovoltaica aislada y conectada a red y energía eólica).

Como criterios de análisis se han considerado la viabilidad técnica del sistema y la viabilidad económica a través de parámetros como la inversión inicial, el coste de operación, el periodo de retorno de capital, etc.

A continuación se resumen las conclusiones más relevantes del trabajo:

2.- Fuentes de energía

- a) Se han confirmado las limitaciones existentes en el suministro de energía eléctrica y gas natural a la zona de invernaderos.
- b) El uso de biomasa como combustible no es recomendable en la actualidad, ya que el suministro de biomasa no está garantizado, el espacio requerido para el almacenamiento es importante, del orden de 100 m²/Ha, y son necesarias instalaciones auxiliares de seguridad para evitar la autocombustión. Por otra parte, el consumo de biomasa no permite el suministro de refrigeración.
- c) El uso del gasoil o de los GLP como combustibles exigen un depósito de almacenamiento, con el riesgo derivado de explosión o incendio. En el caso del gasoil se puede contaminar el suelo por derrame del combustible. Los caminos de acceso a los invernaderos puede entorpecer el acceso de los camiones cisterna de suministro. No representan la mejor opción para su utilización como combustibles en las instalaciones de climatización de los invernaderos.
- d) El uso del gas natural es una opción interesante, aunque no resuelve de forma rentable el funcionamiento de la instalación de refrigeración del invernadero en verano. El gas natural es un combustible limpio con precios atractivos.

Su principal inconveniente radica en la inexistente red de distribución de gas natural en la zona de invernaderos. En la zona de Chipiona, la empresa suministradora tiene suspendida la instalación de esta red por el escaso compromiso de los productores a contratar el servicio para su instalación de calefacción. Para salir de la situación actual sería necesario un mayor compromiso por parte de los productores y/o un apoyo de la Administración para hacer frente a la inversión en infraestructuras, del orden de 200 millones de pesetas, equivalente a 50.000 pts/m² de invernadero.

- e) Como alternativa al consumo de gas natural de forma distribuida se propone el consumo de gas natural en una central de generación de electricidad. Esta solución puede ser rentable por sí misma, independientemente del compromiso de los productores, al vender el exceso de energía eléctrica a Sevillana-Grupo Endesa. Esta solución permitiría abordar indirectamente con gas natural el suministro de refrigeración en verano a los invernaderos.
- f) El uso de la electricidad como fuente de energía es una opción no descartable, que resuelve al mismo tiempo el suministro de refrigeración de los invernaderos con una inversión inicial razonable. Esta energía es limpia en el punto de consumo, exige medidas de seguridad normales en una instalación industrial y permite alimentar con un único suministro la totalidad de instalaciones del invernadero.

En la actualidad, la red eléctrica en la zona es deficiente tanto en densidad como en potencia. La compañía suministradora está dispuesta a estudiar la ampliación de la red de suministro en un marco de colaboración con la Administración y los productores como grupo empresarial, con objeto de rentabilizar la inversión necesaria. En cualquier caso, la inversión inicial para

la zona de Chipiona-Sanlúcar es muy importante, del orden de 1.800 millones de pesetas, muy superior a la inversión necesaria para el gas natural, lo que dificulta la viabilidad de esta opción.

- g) La disponibilidad de la energía solar es más que suficiente para estudiar su posible utilización en los procesos de calentamiento y generación de electricidad en los invernaderos. Las principales limitaciones para el desarrollo de este tipo de energía es el coste inicial y la necesidad de espacio para ubicar el sistema de captación.
- h) Cualquier solución para resolver el problema de suministro de gas o electricidad a la zona de invernaderos pasa obligatoriamente por un compromiso de los productores con la compañía suministradora y una negociación en paralelo con la Administración con objeto de buscar ayudas para la realización de las infraestructuras.
- i) La actitud conservadora de los productores es el mayor inconveniente, que tienen que contemplar el coste inicial como una inversión de futuro que les permitirá diversificar la producción y aumentar el número de horas anuales de funcionamiento del invernadero. Sin asumir este punto de vista es difícil resolver el suministro de energía a los invernaderos, imprescindible para la mejora tecnológica del sector andaluz de la flor cortada.

En la tabla 4.1 se resumen las características fundamentales de las diferentes fuentes de energía analizadas en el estudio.

3.- Demanda de calefacción

- a) Las actuaciones sobre la estructura del invernadero o sobre los elementos pasivos con objeto de reducir la demanda de calefacción son las primeras medidas a acometer para reducir los costes de explotación de cualquier instalación de calefacción.
- b) El control de la temperatura de consigna es una de las actuaciones más importantes. Una reducción de la temperatura de consigna de dos grados puede reducir la demanda de calefacción en un 50%. Esta reducción aumenta al hacerlo la temperatura de funcionamiento de la instalación
- c) La ventilación del invernadero debe ser controlada debido a su influencia en la demanda de la instalación. Los resultados obtenidos muestran que un incremento innecesario de 0,4 renovaciones/hora origina incrementos del orden del 20% en la demanda de calefacción.
- d) Las pantallas térmicas tienen una influencia relativa en función del material de la cubierta, de las condiciones de operación y del clima. En la zona de Chipiona por ejemplo y con una temperatura de consigna de 18 °C, el uso de pantallas térmicas reducen la demanda de calefacción en un 10%.
- e) El plástico térmico es una opción interesante, aunque, si se dispone de pantalla térmica, su efecto no es tan grande. La elección entre plástico térmico o pantalla

vendría determinada por el coste respectivo de cada medida. Instalar ambas no parece una opción interesante en climas como los estudiados.

- f) Se han detectado discrepancias en el valor de las cargas puntas de diseño entre lo que indican las simulaciones y lo utilizado habitualmente por los instaladores, siendo éstas últimas mucho mayores. Este sería un punto digno de un estudio más profundo ya que de confirmarse, conllevaría importantes ahorros en inversión inicial y coste de operación.

Tabla 4.1 Resumen fuentes de energía

Fuente Energía	Infraestructuras	Inversión	Compañía Suministradora	Ventajas	Inconvenientes
GASÓLEO	No son necesarias	--	Varios	Suministro garantizado	Mayor contaminación Problemas de acceso
G.L.P	No son necesarias	--	Varios	Suministro garantizado Menor contaminación	Problemas de acceso
GAS NATURAL	No existen	200 Mpta	Meridional del Gas	Suministro garantizado Menor contaminación Menor coste	Inversión importante en infraestructuras
ELECTRICIDAD	Insuficientes	1.800 Mpta	Sevillana-Endesa	Suministro garantizado Instalaciones auxiliares mínimas	Inversión muy importante en infraestructuras
BIOMASA	No son necesarias	--	Varios	Energía Renovable Coste competitivo	Sin garantía de suministro Espacio almacenamiento
E. SOLAR	No son necesarias	--	--	Energía Renovable no contaminante	Baja densidad del recurso Espacio necesario Baja rentabilidad
E. EÓLICA	No son necesarias	--	--	Energía Renovable no contaminante	Baja densidad del recurso Espacio necesario Baja rentabilidad

4.- Sistemas de calefacción

- a) La calefacción por suelo radiante o tuberías en el suelo homogeniza el campo de temperatura del aire en el interior del invernadero, produciendo reducciones en la demanda del orden del 20%. Este sistema permitiría abordar la desinfección del suelo mediante agua caliente. La instalación de suelo radiante tiene que compatibilizar el funcionamiento de la instalación con las labores de tratamiento del suelo.
- b) La calefacción por **bomba de calor** es una opción claramente interesante, tanto por el coste de funcionamiento (rendimientos superiores a 2,5) como por la posibilidad de suministrar refrigeración en verano con la misma instalación. El coste del equipo admitiría una reducción razonable si se plantea la instalación de forma mancomunada, negociando conjuntamente con el fabricante del equipo. En esta línea hay que tener en cuenta que el primer o segundo fabricante nacional se encuentra en Andalucía y que estaría interesado en estudiar el desarrollo específico de una bomba de calor para esta aplicación.

Las características fundamentales del estudio de viabilidad del sistema de bomba de calor son las siguientes:

Proceso:	Electricidad \Rightarrow Bomba de Calor \Rightarrow Energía Térmica
Equipo principal:	Bomba de Calor
Energía utilizada:	Electricidad
Inversión inicial:	2.320 a 3.670 Pta/m ²
Coste operación:	142 a 150 Pta/m ² año
Ventajas:	Calefacción y refrigeración Permite calefacción por suelo (Bomba de Calor aire-agua)
Inconvenientes:	Elevada inversión inicial

- c) Para valorar adecuadamente las instalaciones de calefacción con **caldera** hay que considerar otros beneficios adicionales que se obtienen en la práctica con muchos de estos sistemas: reducción de emisiones de CO₂, mejora en la calidad y en la cantidad de flor cortada, etc.
- d) En las instalaciones de calefacción con calderas de agua caliente que se ha estudiado el combustible que presenta un mejor comportamiento es el gas natural, aunque el periodo de retorno simple es siempre superior a los 13 años. En las instalaciones con caldera convencional la instalación nunca es rentable.

La mejor opción corresponde a la instalación con caldera de condensación y suelo radiante a nivel de cultivo, aunque el uso de propano como combustible conduce a periodos de retorno excesivamente altos.

En el análisis de los sistemas de calefacción con caldera habría que considerar la mejora en la producción que se conseguiría con la instalación de suelo radiante a nivel de las plantas.

Las características fundamentales del estudio de viabilidad del sistema de calefacción mediante caldera son las siguientes:

Proceso:	Combustible \Rightarrow Caldera/Generador \Rightarrow Energía Térmica
Equipo principal:	Caldera o Generador de aire caliente
Energía utilizada:	Gasóleo, Gas o Biomasa
Inversión inicial:	600 Pta/m ² (Generador de aire caliente) 1.340 a 2.320 Pta/m ² (Caldera de agua caliente)
Coste operación:	317 Pta/m ² año (Generador de aire caliente) 204 a 461 Pta/m ² año (Caldera de agua caliente)
Ventajas:	Permite calefacción por suelo (Caldera de agua caliente)
Inconvenientes:	Sólo calefacción

- e) La **cogeneración** es una solución técnica y económicamente interesante tanto a nivel individual como colectivo, que necesitaría de un estudio más detallado. Es una opción a considerar si no se resuelve el problema del suministro de gas natural y de la red eléctrica a la zona de invernaderos.
- f) La agrupación de invernaderos es la mejor opción para la instalación de cogeneración, ya que se beneficia claramente por unas inversiones unitarias mucho más pequeñas que mejoran drásticamente la rentabilidad de la instalación.

Las características fundamentales del estudio de viabilidad del sistema de cogeneración son las siguientes:

Proceso:	Combustible \Rightarrow Grupo Cogenerador \Rightarrow E. Térmica+Electricidad
Equipo principal:	Grupo de cogeneración (MCIA)
Energía utilizada:	Gas, Gasóleo
Inversión inicial:	2.000 a 5.000 Pta/m ²
Coste operación:	830 a 1.850 Pta/m ² año (incluye calefacción y refrigeración)
Ingresos:	110 a 5.480 Pta/m ² año (venta de excedentes electricidad)
Ventajas:	Calefacción y refrigeración Permite calefacción por suelo Mayor rentabilidad de la infraestructura de gas
Inconvenientes:	Elevada inversión inicial

- g) El uso de la **energía solar** en una instalación a baja temperatura presenta un grave problema de espacio para la ubicación del sistema de captación. Desde un punto de vista económico esta solución se plantea como una solución a medio plazo.

5.- Otras instalaciones

- a) La generación de electricidad mediante sistemas fotovoltaicos se puede llevar a cabo en un invernadero sin que se presenten graves problemas de espacio.
- b) La instalación fotovoltaica aislada no es rentable.
- c) La instalación fotovoltaica conectada a la red se encuentra en el umbral de rentabilidad. Esta instalación es rentable como inversión, vendiendo la energía eléctrica producida al suministrador local.
- d) La generación de electricidad mediante generadores eólicos se puede llevar a cabo en un invernadero sin que se presenten graves problemas de espacio.
- e) La instalación de energía eólica se llevaría a cabo con un aerogenerador de pequeña potencia, para suministrar energía eléctrica para iluminación y otros usos como riego o tratamientos. No está subvencionada por la Junta de Andalucía por superar la potencia máxima completada en el programa Prosol.
- f) No es viable económicamente una instalación eólica de potencia suficiente para vender íntegramente la energía generada a la compañía suministradora.

En la tabla 4.2 se resumen las mejores opciones para cada una de los sistemas estudiados. Las soluciones que no son económicamente rentables (energía solar térmica, energía solar fotovoltaica y energía eólica) no se incluyen en la tabla anterior. En todos los casos hay que añadir el coste de la infraestructura de la red de suministro (tabla 4.1) en caso de que sean necesarias (sistemas que consumen gas natural o electricidad).

De las opciones recogidas en la tabla 4.2 se considera como opción más interesante para los productores la **instalación de cogeneración para una agrupación de invernaderos** de aproximadamente 2 Ha, aunque la solución final exigiría un estudio más detallado que permitiera optimizar la superficie de invernaderos climatizados por la instalación, los parámetros de diseño de la misma y el estudio económico resultante.

El sistema propuesto permite el suministro de calefacción y refrigeración a los invernaderos sin necesidad de asumir la inversión tan importante de la potenciación de la red eléctrica. Al considerar como opción la agrupación de invernaderos, el suministro de refrigeración se lleva a cabo mediante equipos de absorción de potencia suficiente para que su coste no repercuta desfavorablemente en la rentabilidad de la instalación. El funcionamiento anual de la instalación aumenta el consumo anual de gas natural, lo que permite rentabilizar más fácilmente la inversión en la red de gas. Por otra parte, la venta de los excedentes de energía eléctrica mejora la rentabilidad de la instalación.

En el anexo se desarrolla el principio básico de funcionamiento de la instalación propuesta, se describen los equipos fundamentales de la instalación y se resumen los parámetros técnicos y económicos más relevantes tomados del estudio de viabilidad correspondiente.

Tabla 4.2 Resumen de sistemas de climatización en invernaderos

SISTEMA	Fuente de Energía	Calef/Refrig	Inversión Inicial (Pta/m ²)	Coste Operación (Pta/año m ²)	Ingreso Venta Energía (Pta/año m ²)	Necesidades Espacio	Otras Consideraciones
Generador	Gasóleo	SI/NO	600	317	--	No	- Sistema Referencia
Caldera	Gas	SI/NO	1.820	204	--	No	- Mejora calidad flor - Reducción demanda - Desinfección suelo - Necesidad de red de gas
Bomba de Calor	Electricidad	SI/SI	2.320	142	--	No	- Producción anual - Potenciar infraestructura
Cogeneración	Gas	SI/SI	2.470	830 (*)	510	Sí	- Producción anual - Venta electricidad - Agrupación productores - Red de distribución

(*) Representa el coste total de operación del sistema de cogeneración en calefacción y refrigeración.

ANEXO

SUMINISTRO ENERGÉTICO MEDIANTE COGENERACIÓN A UNA AGRUPACIÓN DE INVERNADEROS DE FLOR CORTADA DE DOS HECTÁREAS

Índice:

1. Antecedentes
2. Justificación de la solución
3. Descripción del sistema
4. Equipos principales
5. Funcionamiento del sistema
6. Resumen energético-económico
7. Plan de actuación

1. ANTECEDENTES

La mejora de la calidad y diversificación de la flor cortada en Andalucía exige incorporar sistemas de climatización en los invernaderos que sean técnicamente eficientes, económicamente rentables y a la vez respetuosos con el medio ambiente. Las soluciones más interesantes consumen una fuente de energía (gas o electricidad) con infraestructuras deficientes o nulas en las zonas de los invernaderos.

La materialización de estas infraestructuras supone una fuerte inversión inicial por parte de las compañías suministradoras, estimadas en 200 Mptas para la red de gas y en 1.800 Mptas para la red eléctrica. Para llevarlas a cabo, aunque es necesario estudiar fuentes de cofinanciación y/o subvención por parte de la Administración, es imprescindible una apuesta fuerte y clara por parte del sector que estimule la iniciativa de las compañías suministradoras, permitiéndoles rentabilizar la inversión en infraestructuras.

Esta apuesta del sector redundará finalmente en la mejora de la calidad y capacidad productiva de los invernaderos. En la actualidad, los productores poseen una industria que sólo funciona una parte del año, con unas condiciones de producción que no se controlan adecuadamente en el interior del invernadero debido a la falta de sistemas de calefacción, y que se traduce en una falta de calidad en la flor cortada. La carencia de sistemas de climatización impide por otra parte la diversificación de la producción, y por tanto de especies que pueden presentar una mayor rentabilidad en los mercados de venta.

2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

La opción del gas natural requiere una inversión en infraestructuras mucho menor que en el caso de la electricidad y al mismo tiempo es un recurso menos contaminante y más respetuoso con el medio ambiente. El suministro de calefacción y refrigeración mediante gas natural, requiere el uso de plantas enfriadoras de absorción, cuya viabilidad técnica y económica es dudosa en instalaciones individuales.

La solución propuesta para acometer la climatización de los invernaderos de flor cortada es la instalación de un **sistema de cogeneración para una agrupación de invernaderos de 2 Ha**. Las ventajas de este sistema se pueden resumir en los puntos siguientes:

- a) Permite el suministro de calefacción y refrigeración a los invernaderos.
- b) Utiliza como combustible gas natural, poco contaminante y que no necesita la inversión en infraestructuras tan importante que exige la potenciación de la red eléctrica. La solución de cogeneración mediante MCIA no permite el uso de biomasa, salvo biocombustibles como bioetanol.
- c) El funcionamiento anual de la instalación permite una mayor rentabilidad de la red de gas.
- d) La agrupación de invernaderos reduce la inversión unitaria de la instalación, fundamentalmente la correspondiente a los equipos de absorción.
- e) La instalación de cogeneración tiene ingresos procedentes de la venta de los excedentes de la energía eléctrica generada, lo que mejora la rentabilidad de la instalación.

Como premisa básica, antes de acometer la optimización del suministro energético mediante el sistema de cogeneración, es preciso garantizar medidas previas de reducción de demanda, pues de esta forma tanto la inversión en equipos como el coste de operación no se verán penalizados. Por tanto los invernaderos que se agrupen para el suministro centralizado deben cumplir estos requisitos:

- Alta calidad estructural y estanqueidad: Invernaderos tipo multitúnel con buen sellado en juntas de puertas y ventanas de ventilación.
- Estrategias de sombreado y/o protección térmica: Mallas de sombreado y/o pantallas térmicas según necesidades del cultivo.
- Estrategias de ventilación: Posibilidad de apertura manual o automática de ventanas cenitales y/o laterales para climatización pasiva o gratuita del invernadero siempre que las condiciones ambientales lo permitan.
- Apoyo nocturno de iluminación para los cultivos: Luminarias de alta eficiencia que maximicen el nivel de iluminación por vatio de potencia lumínica instalada.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En una instalación de cogeneración, el sistema consume un combustible (gas, gasóleo o biomasa) y genera energía eléctrica y térmica. La energía eléctrica se consume en los invernaderos y los excedentes se vende a Sevillana-Endesa, mientras que la energía térmica en forma de agua fría o caliente se distribuye a los invernaderos para su climatización. En la figura A1 se representa el esquema de una instalación de cogeneración basado en un motor de combustión interna alternativo (MCIA).

El motor (10) se alimenta de combustible (17) y comburente (16). En el motor tiene lugar un proceso de combustión en los cilindros que produce el giro de un eje mediante el mecanismo biela-manivela. Este trabajo mecánico en el eje se transforma en energía eléctrica en el generador/alternador del equipo (11).

La energía liberada por el combustible y que no se ha convertido en trabajo se transforma en calor que se evacua al exterior a través del aceite de lubricación, agua del circuito de refrigeración del motor y gases de combustión. Esta energía térmica se recupera en diferentes intercambiadores de calor, enfriándose los gases de escape (1) y el agua de refrigeración (7). En el esquema de la figura A1, los gases de escape calientan en primer lugar el agua del circuito de refrigeración (intercambiador 1) y finalmente este agua calienta al fluido exterior (intercambiador 2). El fluido exterior es agua que se calienta en el intercambiador agua/agua (2) y que representa la energía térmica útil del sistema de cogeneración.

En “régimen de invierno” el agua caliente del grupo cogenerador se conduce directamente a los invernaderos para el suministro de calefacción. En “régimen de verano” el agua caliente del grupo cogenerador se conduce a una planta enfriadora de absorción que produce agua fría, que a su vez se transporta a los invernaderos para el suministro de refrigeración.

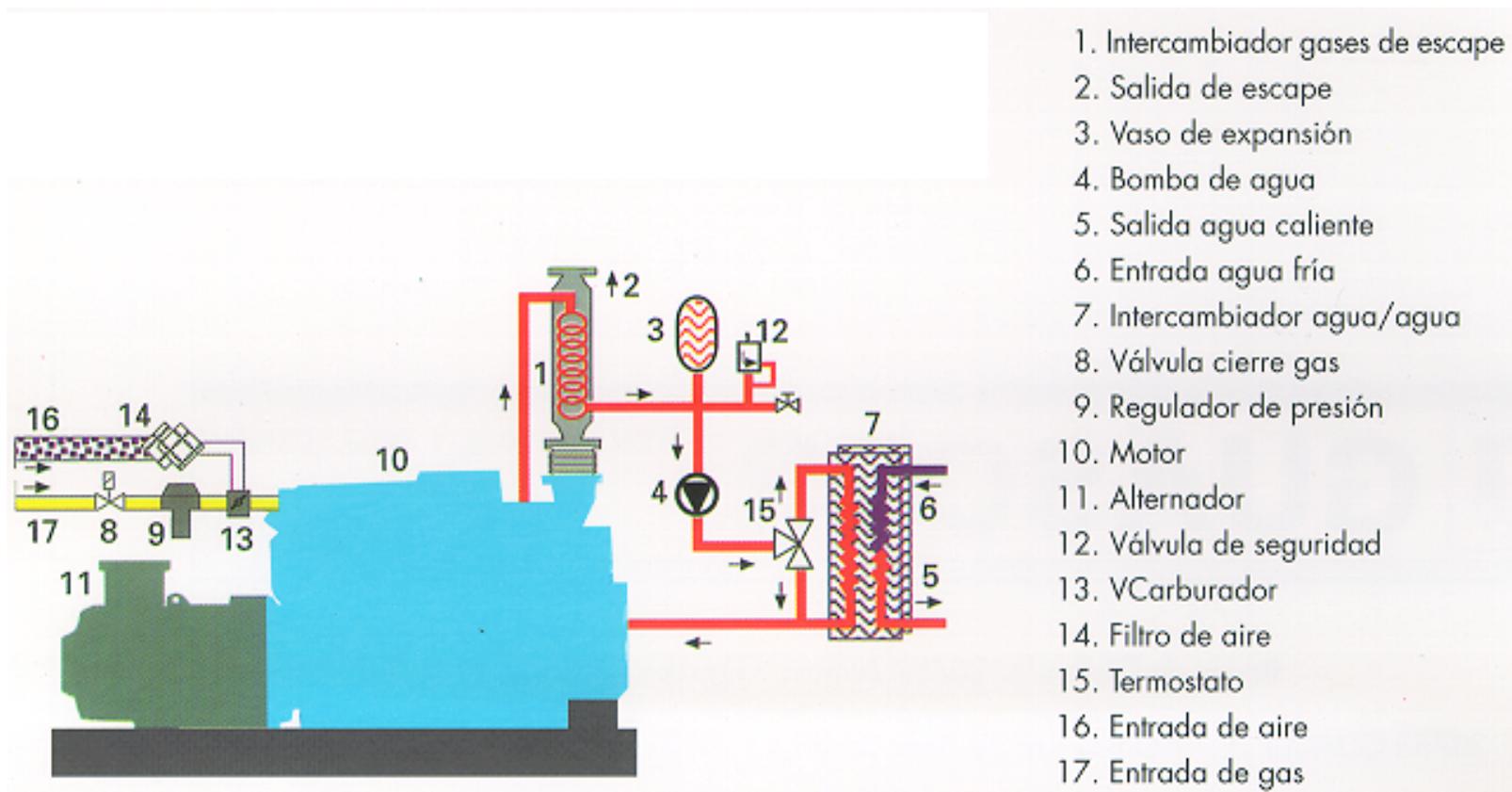


Figura A1 Esquema de un grupo de cogeneración basado en MCI

En el diseño final del sistema hay que optimizar la potencia del grupo cogenerador, cumpliendo al mismo tiempo los requerimientos mínimos de rendimientos exigidos en la normativa en vigor. Esta optimización puede dar lugar a la instalación de calderas y depósitos de acumulación auxiliares.

El sistema supone por tanto una instalación centralizada, próxima a la zona de invernaderos a los que da servicio, donde se encuentran los equipos representados en la figura A1, la planta enfriadora de absorción y los posibles equipos auxiliares (caldera y/o depósito de almacenamiento). A esta instalación hay que llevar el suministro de combustible (en el estudio se considera como mejor opción el gas natural) y de la misma sale una red de tuberías enterradas de agua fría/caliente hasta los invernaderos que se quieran climatizar.

4. EQUIPOS PRINCIPALES

El sistema de generación energética para una agrupación de 2 Ha de invernaderos consta básicamente de los siguientes componentes:

1. Sala de máquinas de unos 200-250 m² incluyendo los siguientes equipos generadores de energía eléctrica y energía térmica (calor/frío):
 - Grupo de cogeneración a gas natural de 985 kW de potencia mecánica: Es un motor de combustión interna de ciclo Otto, sobrealimentado, de 16 cilindros en V, de unos 56 litros de cilindrada, y alimentado con gas natural. Incorpora el alternador de generación eléctrica a 50 Hz (952 kW eléctricos).



Figura A2. Grupo cabinado (cortesía de GUASCOR)

- Sistema de recuperación térmica del motor: Incluye intercambiadores que recuperan calor del aceite de lubricación del motor, de las camisas de los cilindros y de la carga comprimida aire-combustible de alimentación. Una caldera adicional de recuperación aprovecha el calor residual de los gases de escape.
 - Cuadro eléctrico de potencia: Acondiciona la energía eléctrica generada en el alternador y la prepara para su correcta inyección a la red general.
 - Planta enfriadora de absorción de bromuro de litio y agua de simple efecto con una potencia frigorífica de 1.152 kW: La unidad se alimenta con agua caliente a 90-95 °C procedente del sistema de recuperación térmica del motor y produce agua fría a una temperatura de 6 ó 7 °C que se distribuye a los invernaderos para su climatización. Esta unidad debe funcionar acoplada a una torre de refrigeración que evacue al ambiente el excedente de calor. La potencia punta de dicha torre sería de unas 2,3 veces la potencia frigorífica de la unidad de absorción.
 - Instalaciones de acometida del gas natural para suministro al motor: Tendrán que ser garantizadas por la compañía de suministro del gas.
 - Caldera auxiliar de agua caliente, cuya potencia depende del diseño final de la planta de cogeneración, de la optimización de las condiciones de funcionamiento y de la acumulación prevista.
 - Depósitos de acumulación para los circuitos de agua caliente y fría: Permiten la acumulación de energía térmica y una estabilización en las condiciones de funcionamiento tanto de los generadores térmicos (motor y enfriadora) como de los consumidores. Su existencia permite reducir las potencias punta tanto del motor como de la caldera auxiliar, de la enfriadora y su correspondiente torre de enfriamiento.
 - Bombas de circulación, válvulas, depósitos de expansión y demás elementos habituales en circuitos de calefacción y refrigeración
2. Redes de distribución de agua caliente o fría hacia los invernaderos:

Puesto que las demandas de calefacción y refrigeración en los invernaderos no son nunca simultáneas, es suficiente con una red a dos tubos (impulsión y retorno) para distribuir agua caliente o fría según necesidades. Esta red se podrá ejecutar de una manera muy rápida y económica mediante tubos flexibles preaislados de polietileno (tipo MICROFLEX[®]) que pueden ser instalados en pequeñas zanjas de poca profundidad.

3. Redes de distribución de electricidad hacia los invernaderos:

Se podrán utilizar las líneas existentes si los invernaderos ya estaban electrificados o tender nuevas líneas para aquellos que se electrifiquen con motivo de la agrupación por suministro centralizado.

En el diseño de la red hay que tener en cuenta que la demanda eléctrica de los invernaderos no coincide con la producción instantánea del sistema de cogeneración, pudiendo existir momentos de exceso de producción que se exporta a la red y momentos de baja o nula producción en los cuales los invernaderos tomarán electricidad de la red general.

4. Unidades terminales o elementos consumidores en cada invernadero:

En este punto se distinguen los tres tipos de suministros energéticos demandados:

- Electricidad: Cada invernadero precisará su acometida eléctrica de la red y sus elementos habituales (cuadro, tomas, protecciones, interruptores, contador, etc.)
- Calefacción: Se puede suministrar mediante suelo radiante alimentado por el agua caliente distribuido a los invernaderos. Alternativamente también puede utilizarse una unidad climatizadora que recibiendo el agua caliente transfiera el calor al aire del invernadero mediante recirculación de éste a través de una batería aleteada. Esta última solución permite utilizar la climatizadora para refrigeración si se alimenta con agua fría.
- Refrigeración: Este suministro sólo puede realizarse mediante aire frío y por tanto la climatizadora alimentada con el agua fría distribuida a los invernaderos es la única solución posible.

5. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

La opción más ventajosa para el funcionamiento del sistema de cogeneración corresponde a la estrategia en que la generación sigue la potencia térmica demandada. Este régimen de funcionamiento intenta aprovechar al máximo el calor residual del motor y por tanto maximiza el rendimiento global del sistema de cogeneración.

El funcionamiento del sistema de generación por tanto está comandado por los consumidores de energía en los invernaderos. En general el sistema incorpora un sistema de regulación central en el grupo cogenerador y un sistema de regulación secundario en cada invernadero en función de la demanda específica de cada uno. Aunque el sistema de regulación y control puede adoptar diferentes esquemas de funcionamiento, a continuación se describe a modo de ejemplo una posible secuencia de control en régimen de calefacción y de refrigeración.

El modo de control en régimen de calefacción se resume de la forma siguiente:

1. Termostatos de ambiente en los invernaderos dan la señal de funcionamiento a los ventiladores de las climatizadoras (o al suelo radiante) cuando la temperatura de los invernaderos desciende por debajo del punto de consigna mínimo. El punto de consigna se mantiene mediante regulación del caudal de agua en las baterías de las climatizadoras.

2. El funcionamiento de las climatizadoras activa las bombas de circulación del circuito de distribución de agua caliente a los invernaderos. La temperatura de impulsión se regula para satisfacer la demanda en las unidades terminales. Esta regulación condiciona el funcionamiento del grupo de cogeneración que regula su potencia en función de la temperatura de retorno de su circuito de refrigeración.
3. Si el motor del grupo funciona a su potencia máxima y no se consigue la temperatura de impulsión requerida del agua caliente a los invernaderos, el calor residual del motor es inferior a la demanda de calefacción. En este caso se complementa con agua caliente producida en la caldera auxiliar o almacenada en el depósito para satisfacer la demanda.
4. Si la demanda de calefacción decrece, el exceso de calor producido por el motor se almacena en el depósito de acumulación. Una vez cargado el depósito, el motor sigue regulando hasta su mínima potencia admisible, por debajo de la cual detiene su funcionamiento. Si la demanda de calefacción es baja, puede ser abastecida por el depósito de acumulación.
5. Cuando no funciona ninguna de las climatizadoras por ausencia de demanda de calefacción, se detiene tanto la circulación de agua en los circuitos de distribución de agua caliente como el motor si aún funciona.

En régimen de refrigeración el control de la instalación se puede llevar a cabo de la forma siguiente:

1. Termostatos de ambiente en los invernaderos dan la señal de funcionamiento a los ventiladores de las climatizadoras cuando la temperatura de los invernaderos supera el punto de consigna máximo. El punto de consigna se mantiene mediante regulación del caudal de agua en las baterías de las climatizadoras.
2. El funcionamiento de las climatizadoras activa la distribución de agua fría a los invernaderos. La temperatura de impulsión de dicha distribución se regula para satisfacer la demanda en las unidades terminales. Esta regulación condiciona el funcionamiento de la planta enfriadora de absorción y simultáneamente de la torre de refrigeración. La activación de la generación de frío requiere el aporte de agua caliente a la enfriadora que es producida por el calor residual del motor.
3. Si la planta enfriadora de absorción no consigue la temperatura de impulsión requerida del agua fría a los invernaderos, y la temperatura del agua caliente es inferior a la temperatura en condiciones nominales, la potencia térmica del grupo cogenerador es insuficiente y puede entrar en funcionamiento la caldera auxiliar.
4. Una alternativa al aporte de calor de la caldera auxiliar se puede contemplar utilizando el depósito de acumulación como almacenamiento de agua fría.
5. Respecto al aporte de calor necesario para que funcione la planta de absorción, es suministrado en forma de agua caliente procedente del calor residual del motor, de

la caldera auxiliar y/o del depósito de acumulación de agua caliente. La regulación del motor para suministrar agua caliente sigue el mismo comportamiento explicado en modo calefacción salvo que la temperatura de impulsión del agua caliente requerida por la planta de absorción es más alta que la requerida por las unidades terminales de calefacción.

6. En el momento en que ninguna de las climatizadoras funcione por ausencia de demanda de refrigeración, se detiene tanto la circulación de agua en todos los circuitos como la planta de absorción y el motor.

6. RESUMEN ENERGÉTICO-ECONÓMICO

La opción considerada en este apartado corresponde a la mayor producción térmica posible del grupo de cogeneración compatible con el rendimiento mínimo del 30% exigido al autoconsumo eléctrico en el R.D. 2818/1998. Esta opción es diferente de la considerada en el estudio de viabilidad de cogeneración, donde se consideró una potencia del grupo de 405 kW_e con un porcentaje de autoconsumo eléctrico del 30,2%.

Aunque los resultados globales no cambian significativamente, sí ponen de manifiesto la necesidad de un estudio posterior que optimice el diseño de la planta de cogeneración. En este sentido, se considera interesante señalar que el tamaño máximo del grupo está fijado en este caso por el porcentaje de autoconsumo eléctrico mínimo fijado en la normativa en vigor. Esta limitación en la potencia del grupo obliga a instalar una caldera auxiliar y/o un depósito de acumulación, limitando por otra parte los ingresos por venta de energía. Una forma de incrementar el tamaño del grupo es negociar con otros consumidores de energía eléctrica de la zona, a los que se les vendería la energía eléctrica generada en el grupo, aumentando por tanto el porcentaje de autoconsumo eléctrico.

Las características del grupo de cogeneración a plena potencia son las siguientes:

- Potencia Eléctrica: 952 kW
- Potencia Térmica: 1.078 kW
- Rendimiento eléctrico: 0,387
- Rendimiento calorífico: 0,438
- Consumo Gas Natural: 3.990 Nm³/h
- Régimen de funcionamiento: Producción adaptada a la potencia térmica

Los resultados energéticos-económicos más relevantes de la instalación de cogeneración se resumen en la tabla A1.

Es preciso aclarar que el ahorro respecto al sistema convencional (12.297,4 kPta) es en coste de funcionamiento para suministrar los mismos servicios de calefacción y refrigeración.

Se considera que el sistema convencional suministra calefacción mediante calderas convencionales de gasóleo y refrigeración mediante planta enfriadora de agua por

compresión mecánica accionada eléctricamente. El coste de operación del sistema convencional para dar estos servicios es la suma del coste de electricidad para accionamiento de la planta enfriadora y de otros consumos eléctricos (11.813,2 kPta) y del coste del gasóleo para calefacción (6.031,0 kPta) dando un total de 17.844,2 kPta.

Tabla A1. Resultados energéticos-económicos

RESULTADOS ENERGÉTICOS, ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES	Totales (2 ha)	Unitarios (por m²)
Producción Eléctrica (kWh)	1.242.267	64,7
Producción Térmica Cogenerador (MJ)	6.212.438	323,6
Ingresos por Venta de Electricidad (miles de pesetas)	10.964,3	0,57
Costes de Electricidad y Gas Natural (miles de pesetas)	16.511,1	0,86
Ahorro frente Sistema Convencional (miles de pesetas)	12.297,4	0,64
Reducción Emisiones CO ₂ frente Sistema Convencional (toneladas)	1.521,2	0,079
PARÁMETROS DE CALIDAD		
R = Rendimiento Energético (%)		81,8
REE = Rendimiento Eléctrico Equivalente (%)		72,6
Porcentaje de Autoconsumo Eléctrico (%)		30,0

El coste del sistema de cogeneración incluye el coste de la electricidad importada de la red (6.611,6 kPta) cuando la generación eléctrica del grupo no es suficiente o simplemente no genera, más el coste del gas natural que consume el motor del equipo de cogeneración (9.899,4 kPta), menos los ingresos por venta del excedente de electricidad (10.964,3 kPta)

El estudio de viabilidad se completa con un análisis económico básico en el que se evalúan las inversiones diferenciales entre el sistema convencional y la solución de cogeneración.

El Periodo de Retorno Simple en años se calcula como cociente entre la sobreinversión necesaria para el sistema de cogeneración respecto al convencional y el ahorro anual de coste de operación con la cogeneración.

Para calcular la sobreinversión sólo se han evaluado los costes de inversión de los equipos que son diferentes entre el sistema convencional y el de cogeneración. Los costes considerados para cada uno de los equipos son los siguientes:

Sistema Convencional:

- Caldera de Gasóleo de 1.344 kW: 7.660,8 kPta
- Planta enfriadora convencional de 1.152 kW: 24.768,0 kPta

Sistema de Cogeneración:

- Motor de gas de 952 kWe: 35.000,0 kPta
- Cuadro de potencia para un grupo: 3.800,0 kPta

- Sistema de recuperación de calor: 3.000,0 kPta
- Planta enfriadora de absorción de 1.152 kW: 23.040,0 kPta

No se han considerado los costes de inversión de unidades terminales (climatizadoras, suelos radiantes, etc), redes de distribución de agua a los invernaderos y demás instalaciones comunes a ambos sistemas. Tampoco aparecen explícitamente las torres de refrigeración que precisan las enfriadoras pues su coste se incluye en el coste de la planta enfriadora.

La sobreinversión que supone el sistema de cogeneración es por tanto de 32.411,2 kPta. Como el ahorro anual del sistema de cogeneración es de 12.297,4 kPta, dicha sobreinversión se recuperaría en 2,6 años.

Los valores unitarios de inversión, coste de operación e ingresos por venta de energía eléctrica son los siguientes:

- a) Inversión inicial: 3.242 Pta/m²
- b) Coste de operación: 860 Pta/m² año
- c) Ingreso venta energía: 570 Pta/m² año

La inversión en la red de suministro de gas dependerá del número y distribución de las plantas de cogeneración en las zonas de invernaderos. No obstante, la inversión facilitada por Meridional del Gas para la calefacción individual de los invernaderos corresponde a los ramales principales, y no incluye por tanto la inversión necesaria para las canalizaciones desde los ramales principales hasta los invernaderos. Se considera por tanto que la inversión prevista de 200 Mpta es una cota superior pero representativa de la inversión necesaria.

Hay que resaltar que este análisis económico es bastante sensible a las hipótesis realizadas en las tendencias de precios de equipos con el tamaño. Si bien estos estudios económicos pueden ser suficientes para comparar distintas alternativas entre sí, es necesario un estudio más detallado a nivel de anteproyecto para poder evaluar con mayor precisión la rentabilidad de la inversión.

Aunque no existe una línea clara de financiación de las instalaciones de cogeneración como tales, un estudio más detallado del proyecto puede contribuir a buscar ayudas a la tecnificación del sector, a la mejora y diversificación de la producción y a la instalación de sistemas energéticamente eficientes que utilizan gas como combustible.

7. PLAN DE ACTUACIÓN

El Plan de Actuación que se propone se puede resumir en los puntos siguientes:

- a) Reunión con el sector de productores con objeto de que asuman la mejora tecnológica que supone la instalación de sistemas de climatización en los invernaderos mediante un sistema de cogeneración. Una posición favorable de los

- productores se ha de traducir en un compromiso de ejecución de la instalación y de aceptación de la inversión necesaria para la mejora de los invernaderos.
- b) Cualquier instalación de climatización pasa obligatoriamente por una reducción de la demanda energética del invernadero. En este sentido se considera imprescindible arbitrar medidas que permitan optimizar el diseño del invernadero, potenciando la calefacción por suelo y dimensionando adecuadamente los equipos de climatización con un cálculo adecuado de la potencia punta.
 - c) Realizar un estudio detallado de la instalación de cogeneración, una vez conocido el grado de compromiso de los productores y su distribución en la zona de los invernaderos. Este estudio permitirá optimizar el número de invernaderos que se agruparán para el suministro de energía, el tamaño adecuado del grupo de cogeneración, la inversión necesaria, el análisis económico final, plazos de ejecución, etc.
 - d) Reunión con los diferentes sectores interesados en acometer el proyecto y ejecución de la instalación de cogeneración: los propios productores, las compañías suministradoras de energía de la zona (Meridional del Gas o Sevillana-Endesa) o empresas privadas cuya actividad es la realización de instalaciones de cogeneración para la venta final de energía.
 - e) En función de la respuesta del sector, se puede contemplar la realización de una instalación piloto en el CIFA de Chipiona, con el objetivo de demostrar la viabilidad técnica de la medida, los costes de operación resultantes y la calidad y variedad de la producción obtenida.

8. NORMATIVA

- R.D. 2818/98 sobre Producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración. (BOE 312/1998 del 30/12/1998)
- R.D. 2366/1994 de 9/12/94, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables. (ver disposición transitorias del R.D. 2818/98) (BOE 313/1994 del 30/12/1994)
- Orden de 5 de septiembre de 1985 de 5/09/1985, por la que se establecen normas administrativas y técnicas para funcionamiento y conexión a las redes eléctricas de centrales hidroeléctricas de hasta 5.000 kva y centrales de autogeneración eléctrica (BOE 219/1985 del 12/09/1985)
- Resolución del Consejo de 18/12/1997, relativa a una estrategia comunitaria para el fomento de la producción combinada de electricidad y calor (DOCE 4/1998 del 08/01/98)