

La producción rentable exige utilizar los equipos de calefacción en condiciones óptimas, controlando el clima con un gasto mínimo de energía

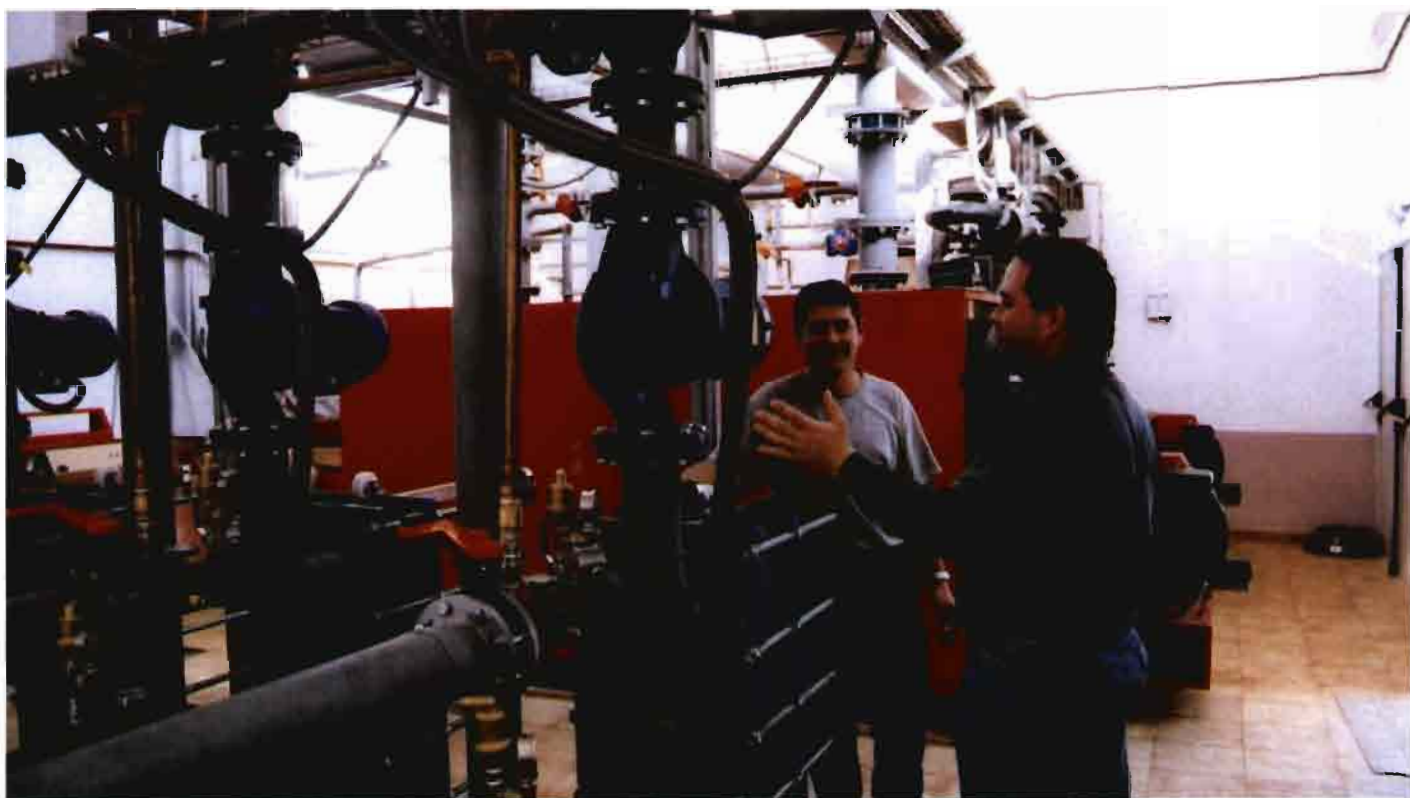
Calefacción y ahorro energético en invernaderos

**BENAVENTE, R.M.¹;
GARCÍA, J.L.¹; PASTOR, M.¹;
LUNA, L.¹ Y OLIVEIRA, C.E.L.²**

¹ Departamento de Ingeniería Rural.
Escuela Técnica Superior de Ingenieros
Agrónomos de Madrid.

E-mail: rbenaven@iru.etsia.upm.es

² Departamento de Ingeniería Rural/
CNPQ (Brasil).



La producción en invernadero permite cultivar en condiciones climáticas favorables para las plantas. Para ello, los invernaderos están equipados con tecnologías cada vez más sofisticadas de calefacción y refrigeración; sin embargo, suele ocurrir que estos equipos no consiguen los valores óptimos del clima para una buena productividad y calidad, a pesar de que estas condiciones óptimas suelen ser conocidas. El problema, en ocasiones, consiste en decidir cómo utilizar estos equipos,

Sala de calderas de un moderno sistema de calefacción por agua en la SAT Primafior, en Almería.

es decir, como controlar su encendido y apagado para conseguir un clima óptimo en el interior del invernadero y, si es posible, un gasto mínimo de agua y energía.

El objetivo de este resumen es describir las principales estrategias empleadas en el control de los diferentes equipos de climatización de un invernadero, así como las nuevas tendencias que se están ensayando en este campo.

Control de la calefacción

El objetivo de la calefacción

es conseguir, en cada momento, una temperatura ambiente próxima a aquella considerada óptima para el desarrollo del cultivo. En determinadas situaciones la calefacción del aire se complementa con calefacción del suelo o del sustrato, en cultivos donde la temperatura de las raíces es importante, o con calefacción del techo, en zonas donde la acumulación de nieve puede ser un problema. Sin embargo, lo más habitual es que la calefacción del aire sea la única existente, aunque puedan combi-

www.gogarsa.com

GOG ARSA[®]

invernaderos

TECNOLOGIA
CALIDAD
DISEÑO
GARANTIA
DE FUTURO

- Invernaderos llave en mano.
- Calefacción.
- Ventilación para parrales.
- Pantallas térmicas.
- Control de automatizaciones.

GOG ARSA[®]

FABRICA E INSTALACIÓN DE INVERNADEROS
MULTICAPILLAS Y ASIMETRICOS.

<http://www.gogarsa.com>
e-mail.info@gogarsa.com

Avda. Andalucía, 19 - Pulpí (Almería-Spain)
Tel. 950 464 468 - Fax 950 464 013

narse varios equipos diferentes.

El valor de referencia en calefacción es la temperatura del aire que se quiere obtener en cada momento, valor que se denomina temperatura de consigna o consigna. En los invernaderos holandeses se ha utilizado tradicionalmente una temperatura de consigna nocturna y otra diurna; la diurna suele ser unos 5°C superior a la nocturna. En la actualidad, los holandeses llegan a utilizar hasta ocho consignas al día, en diferentes momentos; el paso de cada consigna a la siguiente se realiza gradualmente, con incrementos inferiores a uno o dos grados de temperatura a la hora. Este paso gradual evita picos en el consumo de combustible. Cada productor decide para su cultivo la curva de temperatura que desea a lo largo del día; el programa de control se

Calefacción por agua con sistema de tubos corrugados en Primaflor (Almería).



ejecuta cada minuto. Una tendencia moderna es aumentar la consigna de forma automática, durante el día, en función de la luz, para incrementar la fotosíntesis al aumentar a la vez la radiación y la temperatura.

En zonas mediterráneas, por el contrario, lo habitual es utilizar

una única consigna nocturna, que es el valor de temperatura por debajo del cual no se desea descender. Durante el día, la radiación solar suele ser suficiente para alcanzar niveles de temperatura adecuados o superiores.

Para el control de la calefacción se usan uno o varios sensores

El control climático en invernadero permite cultivar en condiciones óptimas para las plantas. Para ello es necesario, sin embargo, disponer de sofisticadas tecnologías de calefacción y refrigeración



EL MEJOR ABONO PARA LA HORTOFRUTICULTURA



Aviporto
FERTILIZANTES
BIOFRUT LIBERATOS BIO-NPK BIOF

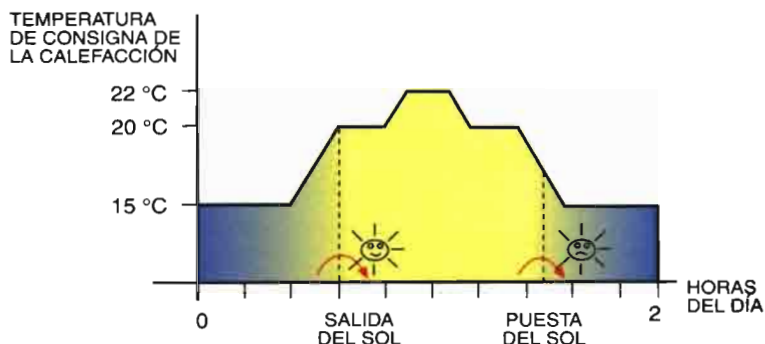
¡Producir lo mismo!... Naturalmente.

BIOF-1
BIOFERTILIZANTE

Envases de 20, 25, 700 y 1.000 kg.

Comarcal 535, Km. 59 - 27170 - PORTOMARÍN (Lugo)
Telf. 982 547 505 Fax. 982 545 100
<http://www.biof.es> e-mail: correo@biof.es

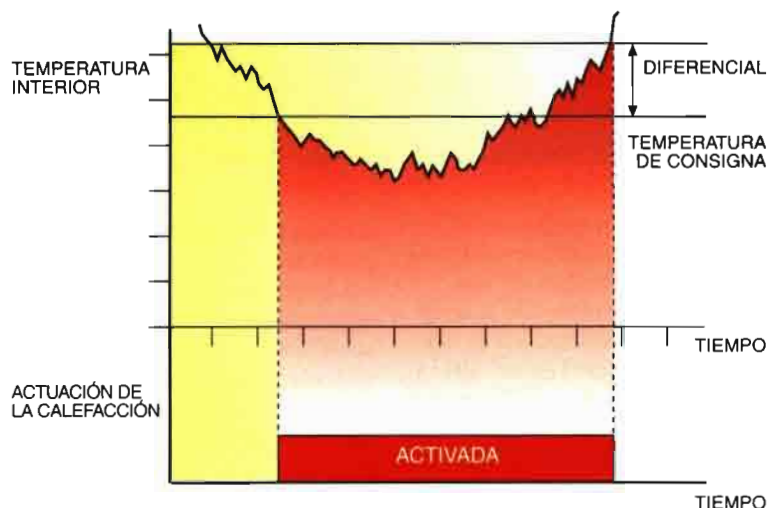
Figura 1:
Consignas de temperatura diurna y nocturna



La consigna nocturna es inferior a la diurna, y la consigna diurna se puede aumentar en las horas con más radiación solar, para aumentar la fotosíntesis. El paso de un nivel de temperatura a otro es gradual, entre 1-2°C por hora, como muestran las rampas de la figura.

de temperatura en el interior del invernadero; si se usan dos en el mismo punto, la comparación de valores permite detectar averías. Se pueden colocar los sensores en un punto central y representativo del invernadero, a 1.5 m de altura o, en ocasiones, a la altura del punto de crecimiento de las plantas. En los casos más simples se puede utilizar un termostato. La medida del sensor o sensores se compara con la consigna para actuar sobre el equipamiento existente, que puede pertenecer a dos grandes grupos: los sistemas que distribuyen aire caliente (aeroterms, generadores, etc.) y los que distribuyen agua caliente (por tuberías de acero o de plástico).

Figura 2:
Control de calefacción con consigna y diferencial



La calefacción se activa cuando la temperatura interior real desciende por debajo de la consigna; se desactiva cuando la temperatura interior asciende por encima de la consigna más el diferencial. A veces se usa un diferencial positivo y uno negativo.

Calefacción por aire caliente

La estrategia de control más utilizada para los sistemas de calefacción por aire caliente es el control todo/nada con un diferencial o solapamiento. Con aeroterms, la salida del equipo de control suele dirigirse al apagado o encendido de los ventiladores de los aeroterms, mientras que la bomba de impulsión del agua caliente suele funcionar de forma continua. De esta forma, a los aeroterms les llega agua caliente de forma continua, pero sólo emiten aire caliente cuando el invernadero lo necesita. La caldera central, que suministra el agua calien-

SISTEMA AZUD, S.A. - Sistemas de riego y filtrado

Archivo Edición Ver Favoritos Herramientas Ayuda

Abra Adelanta Detener Actualizar Inicio

Impresión Modificar Discuir Flyswel Vínculos

Dirección <http://www.azud.com>

AZUD HELIX AUTOMATIC

Equipos automáticos de filtración por discos

AZUD HELIX AUTOMATIC es la nueva gama de equipos automáticos de AZUD para todo tipo de caudales, diseñada para filtrar en diferentes calidades de aguas, así como adaptarse a los requisitos de cada instalación en cualquier momento. Incorpora un exclusivo efecto helicoidal, que mantiene los discos limpios por más tiempo.

WWW.AZUD.com

Avda. de las Américas P. 6/6 - Pol. Ind. Oeste. Apdo. 147 - 30820 ALCANTARILLA - MURCIA - SPAIN
Tel.: +34 968 808402 • Fax: +34 968 808302 • E-mail: azud@azud.com • <http://www.azud.com>

Liato Internet

te, se suele apagar y encender por su propio automatismo, en función de su propia temperatura, para evitar sobrecalentamientos. Algunos productores arrancan de forma manual caldera y bomba cada tarde en la campaña de calefacción; caldera y bomba también se pueden encender de forma automática, en invierno, a cierta hora de la tarde.

Definidos la temperatura de consigna y el diferencial de temperatura, los ventiladores funcionan según el control todo/nada con diferencial:

a) Se conectan cuando la temperatura del aire, medida con el sensor, desciende por debajo de la temperatura de consigna.

b) Se desconectan cuando la temperatura del aire asciende por encima de la temperatura de consigna más el diferencial.

Bajo condiciones mediterráneas se suele establecer en el automatismo que la temperatura no descienda de determinado punto durante la noche. Durante el día estas medidas no suelen ser necesarias

El valor del diferencial suele ser de 2-3°C. La ventaja de utilizar diferencial estriba en que disminuye el número de arranques y paradas del equipo, con lo que aumenta su vida útil. Sin embargo, un diferencial excesivamente grande hace aumentar las oscilaciones de temperatura.

Con generadores de aire caliente, la salida del control se dirigirá a su relé o interruptor de apagado/encendido, de forma análoga. Cuando se dispone de varias unidades de calefacción por aire caliente, una forma de ahorrar energía

Control térmico en invernadero mediante pantallas protectoras en Holambra, Brasil. Cultivo de ciclamen (foto Polysack).



es arrancarlas por grupos, de forma escalonada, a medida que va disminuyendo la temperatura del aire.

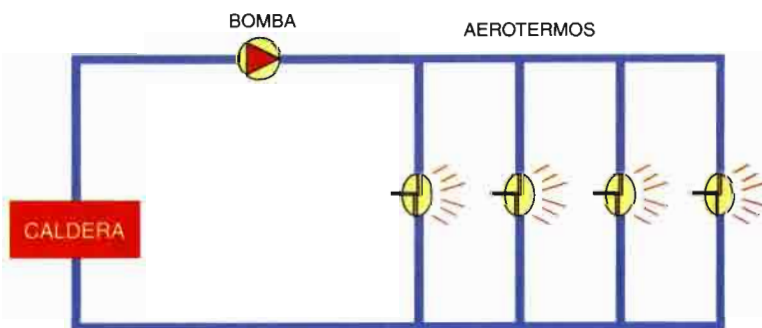
Como complemento a la calefacción se utilizan a veces ventiladores que mueven el aire y consiguen una mayor uniformidad de temperaturas. En este caso, otra estrategia para ahorrar energía es arrancar los ventiladores minutos después de que se haya conectado la calefacción.

Calefacción por agua caliente

En cuanto a la calefacción por agua caliente, la salida del control suele actuar sobre una válvula de tres vías a la que llega agua caliente procedente de la caldera y agua fría de retorno del invernadero. La apertura y cierre de la válvula de tres vías puede ser todo/nada o proporcional, en ambos casos en función de la consig-

En algunos invernaderos, la caldera y la bomba arrancan a determinada hora de la tarde, mientras que los ventiladores de los aerotermos funcionan o no en función de la temperatura interior.

Figura 3: Sistema de calefacción por aerotermos





na marcada y de la temperatura del aire en el invernadero que indique el sensor correspondiente.

Si la válvula de tres vías es todo/nada, el control se realizaría de forma similar al descrito para sistemas por aire caliente con control todo/nada, utilizando una temperatura de consigna y un diferencial. Cuando la temperatura interior desciende por debajo de la consigna, la válvula de tres vías en-

vía al invernadero agua caliente desde la caldera. Cuando la temperatura interior asciende por encima de la consigna más el diferencial, la válvula de tres vías pasa a enviar al invernadero agua procedente del retorno del propio invernadero, de forma que el agua no circula a través de la caldera. La bomba funciona de forma continua, impulsando a partir de este momento agua que proviene del retorno. La caldera, al no recibir flujo de agua, aumenta su temperatura y generalmente suele apagarse por un automatismo propio.

Si la válvula de tres vías puede actuar de forma proporcional, el control habitualmente actúa enviando más agua caliente al invernadero cuanto más baja sea su temperatura, es decir, cuanto mayor sea la diferencia entre la consigna y la temperatura real del invernadero. El control proporcional consigue, en principio, que la temperatura del invernadero esté más próxima a la consigna, más que con control todo/nada. En Holanda se utiliza también un control proporcional-integral (PI) más sofisticado.

Sistemas por agua caliente de pequeñas dimensiones podrían ser controlados mediante un termostato simple, con una consigna sin diferencial. La desventaja, ya comentada, es el aumento del número de actuaciones, lo que hace disminuir la vida útil del equipo, pero el efecto es menos acusado en agua caliente que en sistemas

Si el invernadero precisa calefacción, la válvula de tres vías cierra total o parcialmente (según el control sea todo/nada o proporcional) el punto B, bombeando agua caliente desde la caldera. Si el invernadero no precisa calefacción, se cierra el punto A, con lo cual la bomba envía agua fría del retorno. La bomba funciona de forma continua porque las paradas y arranques reducen su vida útil.

Si en el invernadero existe más de un sistema de calefacción, es conveniente que el más eficiente esté programado para funcionar un mayor número de horas

por aire caliente, porque la inercia térmica es mayor y los cambios de temperatura más lentos.

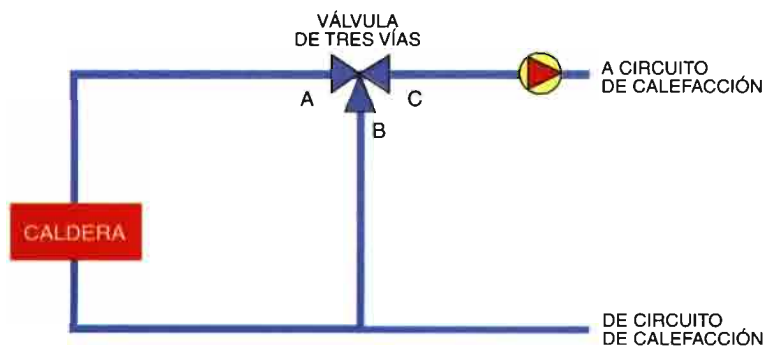
Frente al control convencional basado en la temperatura interior se están investigando las ventajas del control *feed-forward*, utilizando una combinación de temperatura interior y temperatura exterior para el control. La inclusión de la temperatura exterior en el control puede permitir reaccionar más rápidamente ante descensos súbitos de temperatura en el exterior, lo que parece ser útil en sistemas de calefacción de actuación lenta, como los de agua caliente.

Igualmente se plantea, como un nuevo algoritmo a estudiar, la variación de la temperatura de consigna en función de las condiciones exteriores, con vistas a un posible ahorro energético. Esta estrategia consiste en forzar la calefacción cuando las condiciones son favorables (por ejemplo, sin viento exterior) subiendo la temperatura de consigna, y bajando la consigna en condiciones desfavorables. Este tipo de control se basa en la integración térmica que realiza la planta dentro de determinados márgenes, lo que permite variar la temperatura de consigna por encima y por debajo de un valor fijo si el valor medio es equivalente.

Combinación de sistemas de calefacción

Cuando en el invernadero existen varios sistemas de calefacción (por ejemplo calefacción localizada en mesas de cultivo junto con aerotermos), es recomendable que la temperatura de consigna del sistema más eficiente sea su-

Figura 4:
Esquema de calefacción por tuberías de agua caliente



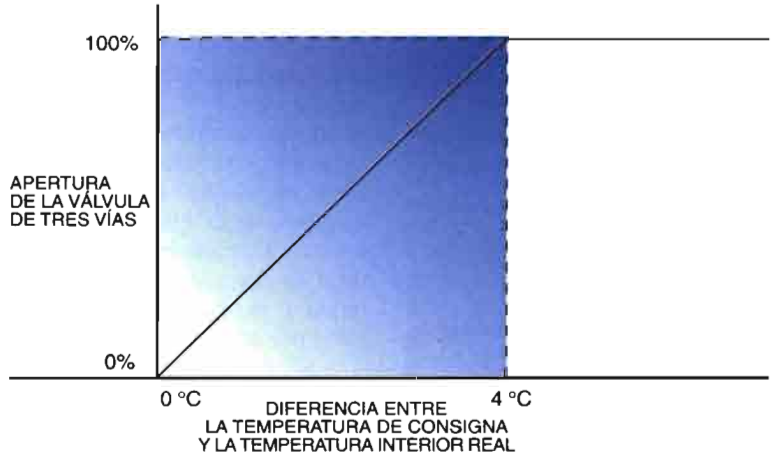
perior, de forma que funcione un mayor número de horas. Sólo cuando el sistema más eficiente (en este ejemplo, la calefacción localizada) no sea suficiente, entraría en funcionamiento el segundo sistema. En general, los sistemas por agua caliente son más eficientes que los sistemas de aire caliente; consumen menos energía para conseguir las mismas temperaturas.

Ahorro energético: pantallas térmicas

El objetivo de las pantallas térmicas es distinto en invierno y en verano. En invierno, se extienden de noche y se recogen de día, para ahorrar energía en calefacción; en verano se recogen de noche y se extienden de día, para sombrear y reducir la radiación y la temperatura. Con estas premisas, el control de las pantallas puede ser temporizado, con un control

Si el control del agua caliente es proporcional, la válvula de tres vías envía más agua caliente cuanto más frío esté el invernadero, es decir, cuanto mayor sea la diferencia entre la consigna y la temperatura real. Según el esquema de la figura, si la diferencia es 4°C o mayor, la válvula envía todo el caudal (100%) desde la caldera y nada desde el entorno; si la diferencia es 1°C, sólo envía un 25% del caudal desde la caldera.

Figura 5:
Esquema de control proporcional



II curso internacional

tecnología

para cultivos de

alto rendimiento

del 20 de marzo al 6 de abril de 2001

España

CONTENIDOS

MATRICULA

IRIEGO Y FERTIRRIEGACION
NUTRICION MINERAL
SUBSTRATOS Y CULTIVOS SIN SUELO
INFRAESTRUCTURA Y AUTOMATIZACION
MATERIAL VEGETAL Y MANEJO DE CULTIVOS HORTICOLAS

Bloque Teórico: 7 días de formación teórica en el invernadero y en el campo.
Bloque Práctico: 7 días de formación práctica en el invernadero y en el campo.
Visitas técnicas: 7 días de visitas técnicas a empresas y centros de investigación.

Matricula: 700 USD
 Incluye: 7 días de formación teórica y práctica en el invernadero y en el campo.
 7 días de formación práctica en el invernadero y en el campo.
 7 días de visitas técnicas a empresas y centros de investigación.

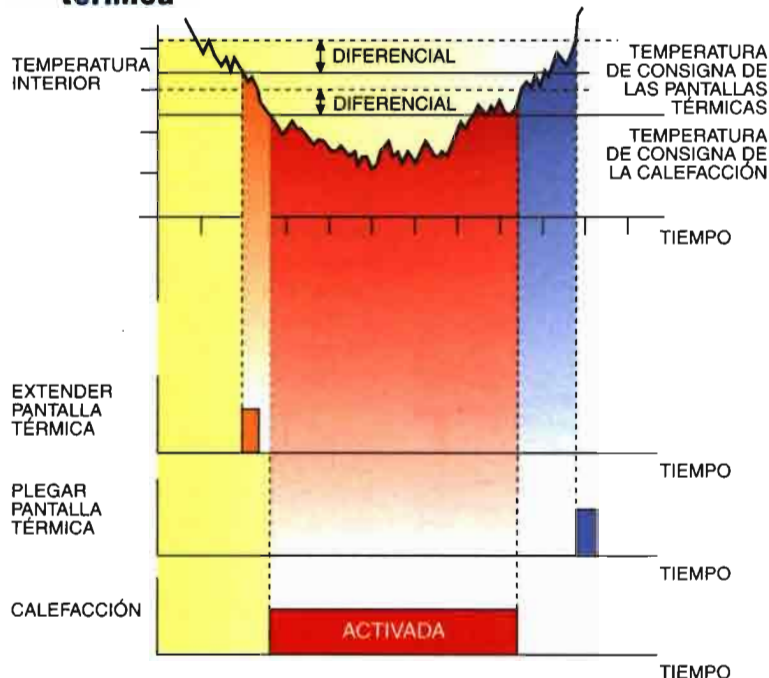
Alojamiento en régimen de pensión completa: 1000 USD
 (P.A.C.S. instalada en el invernadero. Alojamiento por habitación compartida con desayuno incluido).

Web: www.novedades-agricolas.com
esther@novedades-agricolas.com
Teléfono: +34 968 579138

NOVEDADES AGRICOLAS
 Dpto. de Formación

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA

Figura 6:
Control coordinado de calefacción y pantalla térmica



Al descender la temperatura en el invernadero, tras la puesta de sol, se extiende la pantalla térmica para ahorrar energía. Esta acción puede ser suficiente para mantener la temperatura. Si la temperatura continúa descendiendo, se enciende la calefacción. Cuando la temperatura aumenta sucesivamente se apaga la calefacción y se pliega la pantalla térmica.

horario en invierno y otro distinto en verano. Algunos equipos de control pueden calcular la hora de salida y puesta del sol, lo que se puede utilizar para el control; si esto no existe, se puede establecer cada mes una hora de plegado y otra hora de extendido de la pantalla. La alternativa al control temporizado es utilizar un sensor de temperatura en combinación con un horario de actuación; o combinar un sensor de temperatura y uno de radiación solar. En cualquiera de los casos la salida del control actúa sobre los relés o interruptores de los motores de la pantalla térmica.

Si se combina la actuación del sensor de temperatura con un horario (marcado por un temporizador o introducido periódicamente por el usuario), el control puede ser todo/nada con un diferencial:

a) Si es de día y la temperatura supera la consigna, se extien-

La mejor fórmula

- Asimilación rápida por la planta.
- Aportador de NPK y microelementos.
- Complejante de micronutrientes.
- Reactivador de la planta en situaciones de stres.
- Aportador de materia orgánica.
- Mejorador de las cualidades organolépticas.



- Rapid plant intake.
- NPK and micro element provider.
- Complexing Micronutrient.
- Restores plant activity in stress situations.
- Organic matter provider.
- Improves organoleptic qualities.



JISA
S.A. S.A.
INDUSTRIAL S.A.
Agronutrientes

FABRICA: Antigua Azucarera, s/n.
Tel. +34 978 86 00 11 • Fax +34 978 86 00 30 • E-mail: jisa.fab@edih.es
44100 SANTA EULALIA DEL CAMPO (Tarragona), España
OFICINA COMERCIAL: Consta Carreres, 5, 1º, 41
Tel. +34 96 251 79 01 • Fax +34 96 251 79 01 • E-mail: jisa@edih.es
Web: http://www.jisa.es • 46100 VALENCIA - España

Estamos por la labor.

grupo
azucarera
ebro agrícolas



de la pantalla; si cae por debajo de la consigna menos el diferencial, se recoge. La consigna de las pantallas para sombreo debería ser superior a la consigna de las ventanas, de forma que las ventanas actúen primero. Hay que tener en cuenta que la malla resta radiación solar, y puede disminuir la producción.

b) Si es de noche y la temperatura cae por debajo de la con-

Calefacción por agua con conducción metálica en "Cultius La Vinya". Planta madre de *Hibiscus rosasinensis*. Observese también la pantalla protectora recogida en la parte superior.

signa, se extiende la pantalla; si supera la consigna más el diferencial, se recoge. Esta consigna nocturna, cuyo objetivo es el ahorro energético, será distinta de la diurna, en la que el objetivo es la ventilación y refrigeración.

Si se utilizan sensores de temperatura interior y radiación exterior, el control puede ser también todo/nada con diferencial, tanto en temperatura como en radia-

ción, con las siguientes premisas:

a) Si la radiación solar exterior supera la consigna de radiación se extiende la pantalla térmica para sombrear; si desciende por debajo de la consigna menos el diferencial se recoge.

b) Si la radiación solar exterior es próxima a cero el control de la pantalla térmica se realiza en función de la temperatura. Si la temperatura del invernadero desciende por debajo de la consigna de temperatura se extiende la malla para disminuir las pérdidas de energía; si aumenta por encima de la consigna más el diferencial se recoge. La consigna de la pantalla térmica para ahorro de energía debería ser superior a la de los sistemas de calefacción, para que primero actúe la pantalla y después la calefacción.

Los invernaderos holandeses utilizan algunas técnicas de control específicas para las pantallas. En invierno, recomiendan recoger gradualmente la pantalla térmica por las mañanas, si el sistema de control lo permite, para evitar cambios bruscos de temperatura. Durante la noche recomiendan medir la humedad relativa en el interior de la pantalla y abrir unos centímetros la pantalla si la humedad se aproxima a la saturación, para ventilar y evitar condensaciones. Este último problema se debe a que las pantallas utilizadas normalmente en el norte de Europa son continuas y no permiten el paso de vapor de agua, mientras que las utilizadas en zonas mediterráneas son discontinuas y sí permiten el intercambio gaseoso.

La presente revisión ha sido realizada dentro de los siguientes proyectos de investigación:

- Proyecto europeo FAIR6-CT98-4310: Management and control for quality demonstration (MACQUD).

- Proyecto CICYT AGF97-0979: Desarrollo de un sistema de control integral de invernaderos para cultivos realizados sobre sustratos autóctonos con reciclaje de nutrientes.