

Controles electrónicos en

invernaderos

Los sensores envían la información al sistema de control que responde mediante los actuadores

Los controles electrónicos son actualmente de uso generalizado en los invernaderos. Inicialmente se aplicaron para gestionar el aporte de agua y nutrientes a las plantas, optimizando el fertirriego, y hoy en día se utilizan también para control de los trabajos de los operarios y, esencialmente, para el control ambiental de los invernaderos.

D.L. Valera, F.D. Molina,
A. Peña y J. Gil.
Universidad de Almería.

Para el aporte correcto de agua y nutrientes (solución nutritiva) los controladores procesan las señales proporcionadas por sensores de conductividad eléctrica, pH, volumen drenado (**foto 1**), y en algunos casos también radiación; y gestionan el aporte de solución a las plantas, y la composición de la misma, mediante electroválvulas. Son dispositivos muy contrastados, no específicos de cultivos forzados bajo plástico, y de uso general en agricultura.

Hoy día se están introduciendo,

con gran éxito fundamentalmente en grandes explotaciones, los controladores de los trabajos que realizan los operarios dentro de los invernaderos. Estos equipos registran la labor que está realizando cada individuo, despunte, recolección, etc., las líneas de cultivo en las que está trabajando, el tiempo empleado, etc. Suponen una herramienta adecuada para mejorar los costes de mano de obra, que en los invernaderos tienen una importancia muy relevante, superando el 40% del total.

La tecnología también ha lle-

gado a otros aspectos de esta agricultura, como son la mejora de los elementos que componen el armazón estructural. Un elemento clave de ellos es la cimentación, e históricamente se han producido fallos en este esencial componente de la estructura. Actualmente existe una máquina (**foto 2**), diseñada y construida en la Universidad de Almería, para el ensayo de cimentaciones. El dispositivo proporciona la curva fuerza-deformación de la cimentación cuando ésta se somete a un esfuerzo similar al provocado por el viento. Posee gran au-



FOTO 1

tonomía, se acciona por el sistema hidráulico del tractor, estando acoplada al tripuntal trasero del mismo. La gestión del dispositivo se realiza por ordenador, proporcionando salidas tanto gráficas como en ficheros de datos. Mediante esta máquina y aplicando técnicas de cálculo numérico, se han puesto a punto técnicas para el diseño óptimo de las cimentaciones de los invernaderos.

Pero donde los controles electrónicos tienen cada vez más importancia es en la gestión del clima de los invernaderos. Todos los equipos de control climático requieren sistemas informáticos para su gestión, debido al gran número de variables e interacciones que se han de tener en cuenta para su manejo. Así, actualmente estos equipos disponen de sensores capaces de medir las diferentes variables climáticas, principalmente temperatura, humedad relativa o absoluta, radiación solar incidente, concentración de CO₂, velocidad y dirección del viento, etc. Todos esos datos se registran y representan gráficamente en un ordenador, que además es el encargado de verificar las consignas de control introducidas por el usuario y de enviar las señales pertinentes para que se pongan en funcionamiento o se detengan los distintos equipos de control climático. Por su especial importancia actual, nos vamos a detener en los sensores, actuadores y sistemas de control utilizados.

Sensores

Los diferentes parámetros necesarios para realizar el control climático de un invernadero se miden con sistemas electrónicos que transforman las magnitudes físicas en señales eléctricas para que puedan ser interpretadas por el equipo de control. Los parámetros más utilizados son los siguientes:

Temperatura

Las medidas de la temperatura del aire, tanto en el interior como en el exterior del invernadero,



FOTO 2

ro, se realizan por medio de termorresistencias, termopares o termistores, situados dentro de una cápsula ventilada a una velocidad superior a 3 m/s y no expuesta a la radiación solar. La absorción de energía radiante por exposición de la sonda a la radiación puede provocar sobrevaloraciones de la temperatura del aire.

Las termorresistencias son sensores basados en la variación de la resistencia eléctrica de un conductor con la temperatura. Como elemento resistivo se suele utilizar un hilo de platino, debido a la pureza con que se obtiene y a la constancia de sus propiedades físicas y químicas a lo largo del tiempo. Su rango de medida suele ser de -10 a 60 °C, con una precisión de 0,1 °C. Necesitan una fuente de alimentación externa para su funcionamiento. Sensores de este tipo, muy utilizados en los invernaderos, son las termorresistencias de platino de 100 y 1000 Ω, denominadas como sondas Pt-100 y Pt-1000.

Un par termoeléctrico es un circuito constituido por dos conductores metálicos unidos por sus extremos, cuyas soldaduras se mantienen a temperaturas distintas. En estas condiciones aparece una fuerza electromotriz

(efecto Seebeck), que depende de los metales utilizados y de la diferencia de temperatura de las soldaduras. Basándose en este efecto se mide la temperatura del aire.

Humedad

Los sensores permiten mediante lecturas de humedad, o combinadas con otras de temperatura, obtener índices tan importantes como la humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, déficit hídrico y déficit de presión de vapor.

El higrómetro es un instrumento que mide directamente el grado de humedad relativa del aire. El tipo más antiguo, denominado higrómetro de cabello, lo hace por medio de materias higroscópicas que, al absorber la humedad ambiente, se alargan proporcionalmente a la humedad relativa del aire.

Uno de los sensores más utilizados en control climático de invernaderos son los psicrómetros, que miden simultáneamente la temperatura del aire seco y la temperatura de termómetro húmedo, obtenida mediante una mecha de algodón que permanece siempre mojada por medio de un pequeño depósito de agua. Al

evaporarse el agua de la mecha, enfría el termómetro proporcionalmente a la humedad del aire ambiente. El termómetro seco indica, por el contrario, la temperatura del aire independientemente de su estado higrométrico. La diferencia existente entre la temperatura de ambos instrumentos permite deducir la humedad relativa del aire conocida la presión atmosférica.

Actualmente existen en el mercado sondas de humedad relativa de tipo capacitivo que utilizan materiales higroscópicos cuya resistencia eléctrica disminuye de forma proporcional a la cantidad de vapor de agua absorbida. Presentan la ventaja con respecto a los psicrómetros de no necesitar mantenimiento riguroso, aunque es muy importante el que se realice de forma regular una correcta calibración de la sonda.

Radiación

La medida de la radiación solar global incidente sobre un plano horizontal, exterior al invernadero, se realiza mediante un pirómetro, colocado a una altura de dos metros sobre el terreno, en las proximidades del invernadero, aunque generalmente se sitúa sobre la cubierta del mismo. La medida de la radiación solar global incidente sobre un plano horizontal, interior al invernadero, se debe realizar a la altura de la masa foliar de las plantas, aunque normalmente se coloca muy por encima del dosel vegetal.

El sensor quantum permite la medida de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), mediante un diodo semiconductor de silicio, en el cual los rayos luminosos incidentes provocan variaciones en la corriente eléctrica, ya que su resistividad experimenta un descenso muy importante cuando se proyecta un haz luminoso cerca de la punta o electrodo montado en su base. Su rango de medida está comprendido entre 380 y 780 nm y su precisión es de menos de un 5% de la radiación medida. Tiene gran sensibilidad y rapidez de respuesta,

aunque se ven afectados fácilmente por perturbaciones externas.

Aunque su uso en invernaderos está poco extendido, también es posible determinar la radiación neta y la radiación difusa, mediante sensores similares a los descritos anteriormente.

Velocidad y dirección del viento

La lectura de la velocidad del viento se suele realizar mediante un anemómetro de cazoletas, que incorpora una dinamo tacométrica o alternador, cuya salida analógica depende de la velocidad de giro de las cazoletas. Esta velocidad de rotación es proporcional a la del viento al cuadrado y al coeficiente de forma de las cazoletas. El sensor necesita un valor mínimo de velocidad del viento para comenzar a funcionar, normalmente entre 0,5 y 1 m/s. Para velocidades de viento pequeñas, por ejemplo para medir velocidad de viento en el interior del invernadero, se utilizan sensores basados en anemometría de hilo caliente, aunque su uso está limitado a trabajos de investigación.

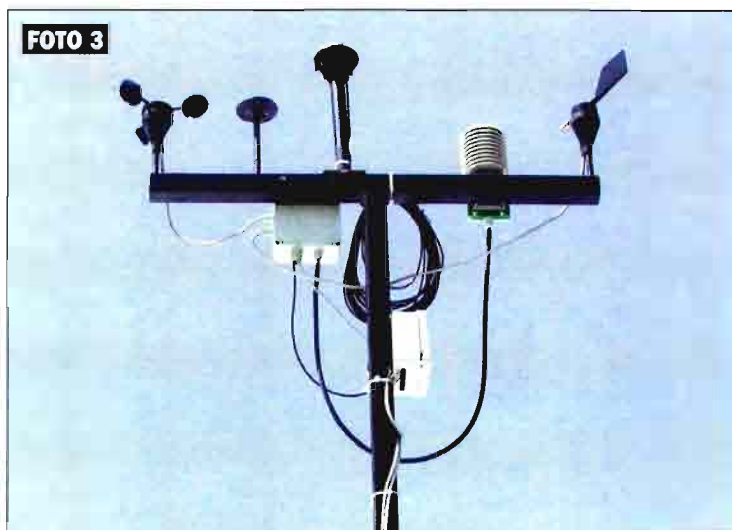
La dirección del viento se puede medir con una veleta que envía una señal eléctrica proporcional al ángulo que ésta forma con el Norte. Para la medida en el exterior, los sensores han de situarse próximos al invernadero (**foto 3**).

Concentración de CO₂

La concentración de CO₂ se mide mediante analizadores de gases en el infrarrojo (IRGA) dado que la absorción de radiación infrarroja que se produce en una muestra de aire es proporcional a su concentración en CO₂. La precisión de los sensores por absorción de infrarrojos es de decenas de partes por millón y varía cuando la humedad relativa es elevada, debido a la alta absorción que también origina el vapor de agua.

Actuadores

La regulación automatizada del clima del invernadero se reali-



za a través de los equipos de control. En función de las diferentes señales enviadas por los sensores y mediante los algoritmos y funciones registrados en la memoria del equipo de control, éste determina las modificaciones que se deben producir en los diferentes sistemas de climatización disponibles en el invernadero. Para ello envía una serie de órdenes a los diferentes actuadores (bombas, válvulas, motores, etc.) en forma de señales eléctricas que actúan directamente sobre los elementos mecánicos o a través de relés eléctricos.

Los actuadores son los dispositivos, equipos, etc., sobre los que actúa el controlador. Estos actuadores modifican y gestionan las condiciones del cultivo, según las premisas preestablecidas.

Equipos de ventilación

La principal función de los equipos de ventilación, ya sea mediante simples aberturas, ventanas o mediante extractores, es de mantener un valor de la temperatura en el interior del invernadero por debajo de un valor máximo de consigna. Otras funciones de la ventilación pueden ser la regulación del nivel de humedad dentro del invernadero y de la concentración de CO₂.

Los motorreductores se utilizan en el caso de la ventilación natural para variar de forma progresiva la posición de las ventanas del invernadero. Estos actuadores son motores eléctricos que transmiten un movimiento de rotación a un eje situado perpendicularmente al de giro del motor.

Los motores enrollables se

utilizan para el accionamiento de ventanas situadas verticalmente en los frontales o laterales del invernadero. Al igual que en el caso anterior, se trata de motores eléctricos. A diferencia del tipo anterior, este actuador convierte directamente su movimiento de rotación en una apertura o cierre de las ventanas.

En las instalaciones de ventilación forzada el aire circula dentro del invernadero debido principalmente al impulso generado por el movimiento rotatorio de las aspas de los extractores alrededor de su eje.

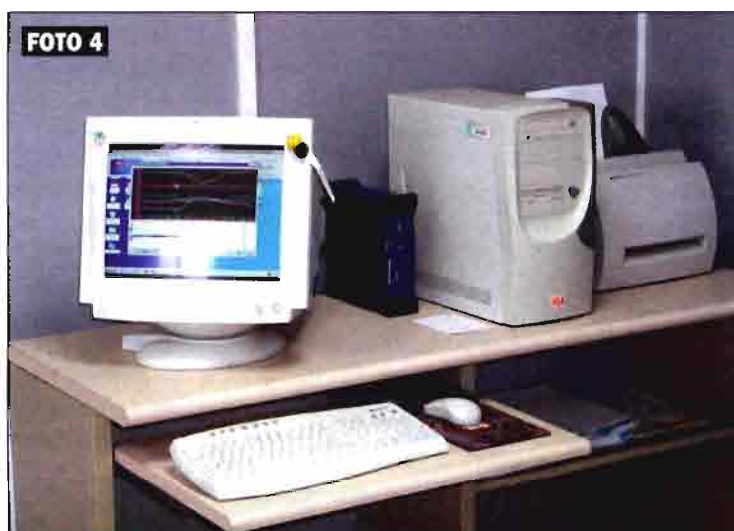
Pantallas térmicas y mallas de sombreo

En las instalaciones de interceptación de radiación, el equipo de control regula solamente dos operaciones, extensión y recogida de las pantallas o mallas. Los actuadores utilizados para accionar el despliegue o repliegue de los diferentes paños son el mismo tipo de motorreductores eléctricos usados para los equipos de ventilación. En este caso el movimiento de giro de la barra de mando a la que se une el eje del actuador se transforma en un movimiento lineal horizontal mediante un conjunto piñón-cremallera o mediante cables y poleas.

Equipos de calefacción

La regulación del funcionamiento de los equipos de calefacción puede implicar uno o varios actuadores en función del tipo de instalación y de su grado de sofisticación y capacidad de control. En los equipos de calefacción por aire caliente se puede controlar el aporte de calor en función del caudal de combustible que se quema. En las instalaciones de calefacción por agua caliente el control de la energía calorífica transmitida al aire del invernadero se puede realizar mediante la regulación de varios parámetros, como los caudales de agua circulante en los circuitos primario y secundario, o las temperaturas del agua de entrada y salida en el invernadero.

Tanto en el caso de los cale-



factores de aire como en el de los quemadores de las calderas, se puede regular el caudal de combustible que se quema mediante una electroválvula. Este actuador transforma una señal eléctrica en la abertura o cierre de una válvula de forma que el equipo de control puede determinar el grado de apertura en función del caudal que es necesario quemar. En las instalaciones de calefacción por agua caliente se utilizan una o varias bombas eléctricas para impulsar el agua y regular su circulación a lo largo de los circuitos primario, o de elevada temperatura, y secundario, o de baja temperatura. Las bombas pueden ser de caudal fijo o variable. En el primer caso el equipo de control envía una señal eléctrica que permite poner en marcha o parar la bomba. En el segundo, el controlador puede actuar modificando el caudal que impulsa la bomba.

Las electroválvulas de tres vías son actuadores que se utilizan para regular la mezcla de agua a dos temperaturas diferentes, con el fin de modificar la temperatura de entrada en el circuito secundario dentro del invernadero. Así se puede controlar el aporte de calor que permitirá variar la temperatura y humedad relativa del aire del invernadero.

Equipos de refrigeración por evaporación de agua

Tanto en el caso de instalaciones de nebulización como de pantallas evaporadoras, la capacidad de refrigeración es función del caudal de agua evaporado. En los paneles evaporativos intervienen además los extractores que determinan el flujo de aire a través de las pantallas humidificadoras.

Al igual que en el caso de los circuitos de calefacción, las bombas de impulsión permiten el accionamiento o paro de la circulación del agua a través de las pantallas evaporadoras o de las boquillas de nebulización.

Las electroválvulas permiten controlar el paso de agua por los diferentes sectores que forman el circuito de circulación del agua.

Normalmente sólo actúan cerrando o abriendo como respuesta a una señal eléctrica. Sin embargo, también se pueden utilizar válvulas reguladoras de caudal que permiten realizar un cierre progresivo y actuar así sobre el caudal de paso y sobre la presión del agua.

Equipos de enriquecimiento carbónico

En las instalaciones de inyección de CO₂ se regula la concentración del anhídrido carbónico mediante el aporte de mayor o menor volumen de gas dentro del invernadero. Para ello se puede actuar modificando el caudal de salida, que normalmente dependerá de la presión del CO₂ en el circuito. En este caso no es necesario utilizar bombas de impulsión para hacer circular el fluido hacia el invernadero, ya que al encontrarse el CO₂ a una elevada presión en el depósito, su salida

medida de la concentración de CO₂.

Sistemas de control

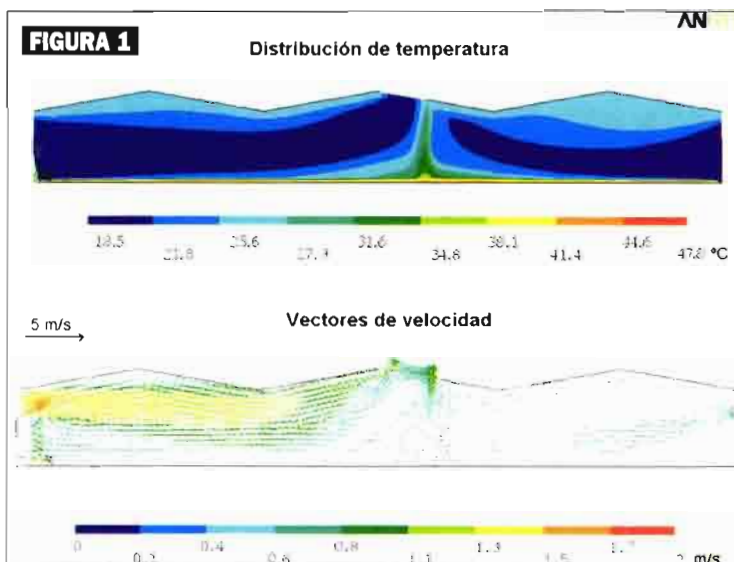
Para el control ambiental de los invernaderos es necesario modelar su comportamiento, teniendo en cuenta la diversidad de tipos de estructuras y de sistemas de calefacción o refrigeración. Igualmente hay que tener en cuenta los diferentes factores que intervienen: la penetración de la luz, las transferencias de masa y energía y el crecimiento de las plantas.

La ventaja esencial de los modelos es que pueden dar acceso a un juego de consignas de clima, capaces de anticipar el impacto que ejerce una acción sobre los medios de climatización en el proceso estudiado. Dentro de este aspecto, la modelación de la tasa de ventilación del invernadero es una herramienta esencial del

ro y que recibe las predicciones meteorológicas a través de una conexión vía módem.

Actualmente se utilizan programas informáticos de dinámica de fluidos computacional (CFD) basados en el cálculo numérico, para obtener la distribución de temperatura y el flujo de aire (vectores de velocidad) dentro del invernadero en función de las condiciones climáticas externas. La modelación del flujo de aire consiste en determinar en todos los puntos en los que se divide el invernadero las variables representativas del flujo (presión, densidad, velocidad, temperatura). De la variación de esas magnitudes características en el espacio y en el tiempo, se pueden deducir los intercambios de calor y de masa. Estos programas resuelven numéricamente las ecuaciones de Navier-Stokes y la ecuación de conservación de la energía. La aplicación del método de CFD para el análisis de la ventilación en invernaderos ofrece una importante información sobre la influencia del viento y de la temperatura exterior en la ventilación. Actualmente, permite el estudio sistemático de la influencia del diseño del invernadero, principalmente del tipo y situación de las ventanas, en el flujo de aire interior (figura 1).

Hasta la fecha, la aplicación de esta técnica se limita a la investigación y al estudio de la respuesta del invernadero a situaciones particulares y estables en el tiempo. Sin embargo, tanto el avance en los procesos de cálculo numérico como en el de los microprocesadores pueden hacer posible en un futuro no muy lejano la aplicación de la dinámica de fluidos computacional a la gestión del clima del invernadero, de forma cuantitativa y cualitativa mejorando sensiblemente la homogeneidad de los parámetros ambientales y el rendimiento de los equipos y sistemas disponibles en la instalación. ■



se produce simplemente por diferencia de presión con el interior del invernadero.

Generalmente la inyección de CO₂ se regula actuando sobre las electroválvulas que controlan la salida del gas. El equipo controlador envía una señal eléctrica a la electroválvula para que abra o cierre la salida. De igual forma es necesaria una válvula que controle el circuito de las muestras de gas que se envían al sensor de

control del clima, ya que toda acción sobre el nivel de apertura de la ventana modifica a la vez varias variables de salida (temperatura, humedad relativa y concentración en CO₂ del aire).

Se pueden utilizar algoritmos de optimización para el control de la calefacción en invernaderos comerciales. El algoritmo reside en un ordenador personal (foto 4) que se comunica con los controladores situados en el invernade-