

Sistemas para la automatización de los invernaderos

La aplicación de cualquiera de estos sistemas permite el control riguroso del proceso de cultivo

Las condiciones climáticas favorables en invernadero permiten aumentar la producción y la calidad. Por ello, los invernaderos están equipados con tecnologías cada vez más sofisticadas de calefacción y refrigeración y con sistemas de automatización y control cada vez más complejos. El objetivo de este artículo es describir los niveles de automatización que se pueden emplear en el control de los sistemas de un invernadero (ventanas, equipos de calefacción, refrigeración), así como las nuevas tendencias hacia las que avanza este tipo de tecnologías.

Benavente, R.M.; García, J.L.; Pastor, M.; Luna, L. y Nolasco, J.

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

- Control por ordenador.

En las siguientes páginas describimos con mayor amplitud las ventajas e inconvenientes de cada uno de los automatismos descritos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que no siempre un nivel superior de automatización es preferible; en cada instalación puede ser suficiente un determinado nivel, de acuerdo con sus exigencias y presupuesto.

Interruptores horarios

El control por horario supone un primer paso en la automatización de la instalación; se trata de un paso importante, porque permite al usuario desentenderse del encendido y apagado de un determinado equipo, o ausentarse de la instalación durante determinados períodos, sabiendo que el equipo va a actuar en el horario establecido. Es habitual utilizarlo en el control del riego, y puede usarse con otros sistemas (nebulización, pantalla térmica).

Este tipo de control puede realizarse con muchos automatismos, desde los más sencillos a los más complicados. En el mercado existen interruptores horarios (también denominados programadores horarios o relojes de programación) de pequeño coste que permiten encender y apagar un receptor eléctrico en el horario establecido. De forma más específica existen programadores de riego que activan una serie de electroválvulas en los intervalos que fije el usuario. También puede realizarse un control por horario programando autómatas y controladores o con control desde ordenador.

Si el receptor eléctrico sobre el que se opera es de pequeña potencia (menos de 0.5 amperios, o según el automatismo, hasta menos de 16 amperios) se puede abrir y cerrar el circuito del receptor o actuador directamente desde el automatismo utilizado (interruptor horario, contactos de sali-



Termostato-higrostató (cortesía de la empresa de automatización Cromoelectra, S.L.; Luis Braille,15, P.O. Box 365, 50013 Zaragoza).

da del autómat, etc.). Sin embargo, esto no es habitual en invernaderos; lo más frecuente es utilizar elementos intermedios (contactores y/o relés) entre el automatismo que marca el encendido/apagado y el actuador.

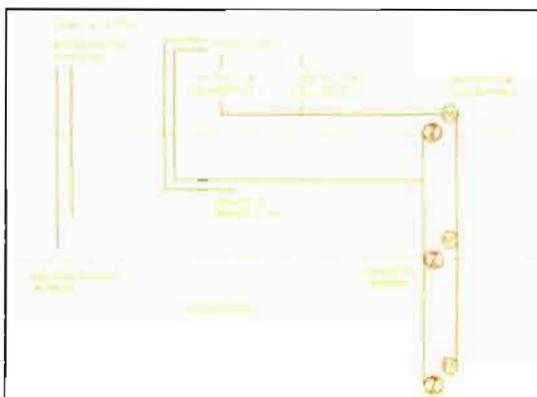
Los contactores son interruptores automáticos que, al recibir una señal eléctrica de pequeña intensidad abren o cierran una serie de circuitos de mando o de potencia (de hasta cientos de amperios), abriendo o cerrando sus contactos correspondientes. Los relés funcionan de manera similar, abriendo o cerrando uno o varios circuitos al recibir una señal eléctrica. La diferencia entre los contactores y los relés estriba en que los segundos funcionan con niveles de intensidad eléctrica más pequeños, pero pueden incorporar funciones adicionales más complicadas, como retardos a la conexión o a la desconexión.

Es muy habitual que el automatismo correspondiente envíe una señal de intensidad pequeña a un relé o a un contactor; estos elementos, al recibir la señal, cierran o abren el circuito correspondiente y arrancan o paran el actuador (por ej. una electroválvula o bomba de riego). A veces se usan ambos; el automatismo actúa sobre un relé y éste sobre un contactor, que finalmente es el que arranca el actuador.

Un interruptor horario con una salida puede valer entre 3.000 y 10.000 pts.; con dos salidas, entre 6.000 y 20.000 pts. Cada relé puede costar entre 2.000 y 3.000 pts.; cada contactor, dependiendo de la potencia, entre 3.000 y 10.000 pts. En definitiva, la automati-

En la automatización de un invernadero (y muchos casos, en cualquier instalación agraria) se pueden utilizar los siguientes tipos de automatismos:

- Interruptores y programadores horarios.
- Termostatos e higrostatos.
- Autómatas programables (PLC) o controladores similares.



► **Figura 1.** Ejemplo de esquema en planta de un invernadero, mostrando en detalle los automatismos del cuadro eléctrico. El invernadero cuenta con dos electroválvulas de riego, controladas por un interruptor horario. Además, las ventanas están controladas por un termostato, que actúa sobre dos contactores (interruptores automáticos), uno de apertura y otro de cierre. Los contactores detienen el funcionamiento de los motores de las ventanas cuando éstas están completamente abiertas o cerradas, gracias a los finales de carrera.

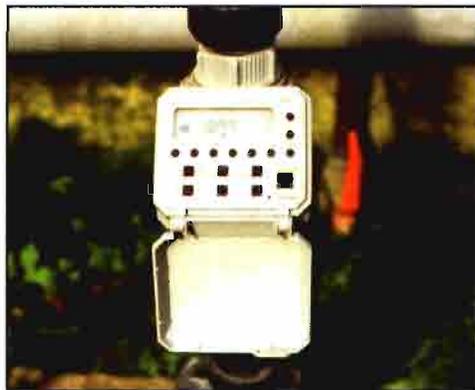
zación de dos equipos con interruptores horarios puede tener un coste entre 10.000 y 40.000 pts, incluyendo instalación y cableado.

Termostatos

Los termostatos son automatismos que, en función de la temperatura, abren o cierran uno o varios relés de salida propios.

Pueden actuar con o sin diferencial (solapamiento o histéresis). Si el control se realiza con un termostato sin diferencial, el actuador arranca o para en función de la temperatura medida por el termostato, cuando esta temperatura cambia por encima o por debajo de la consigna fijada. La consigna es el valor de temperatura, fijado por el usuario, que se desea en el invernadero. Los termostatos sin diferencial se pueden utilizar, por ejemplo, en el control de sistemas de calefacción por agua caliente de pequeña potencia.

Otros termostatos cuentan con un diferencial, es decir, hay una diferencia entre la temperatura a la que se abre y se cierra el circuito de actuación. Como entre las dos temperaturas no se para ni se arranca el sistema, el diferencial reduce el número de arranques y para-



Programador de riego.

das, lo que alarga la vida útil del equipo. Pueden utilizarse para operar sobre cualquier tipo de generador de calor o frío, o sobre la ventilación. Los termostatos más sofisticados (termostatos programables) permiten introducir, además del diferencial, una curva de consigna variable a lo largo del día; esta curva también se puede programar en muchos sistemas de control con autómatas u ordenadores.

Todos los tipos de termostatos actúan, al menos, sobre un relé de salida, que opera directa o indirectamente (a través de un relé ex-

terno adicional o un contactor) sobre el actuador correspondiente (válvulas de tres vías, ventiladores, bombas, etc.). Algunos pueden operar sobre dos o más relés de salida con consignas independientes (por ejemplo, un termostato con un solo sensor de temperatura, y una salida para las ventanas y otra para la calefacción, con dos consignas diferentes).

Las ventajas de la utilización de termostatos, respecto al control por horario, derivan de que el equipo calefactor o refrigerador sólo se pone en marcha cuando el invernadero lo necesita, en función de su temperatura. Esto evita pérdidas innecesarias de energía por operar, dentro del horario marcado, cuando la temperatura del invernadero no necesita cambios.

Parece razonable utilizar un control por termostatos en invernaderos que tengan pocos equipos actuadores (por ejemplo, si el único equipo que se quiere automatizar son las ventanas; o las ventanas y la calefacción), y sólo se pretende que operen en función de la temperatura. En estas condiciones, se puede controlar con uno o varios termostatos incluso grandes superficies. Si se desea que intervengan más parámetros climáticos (la humedad o el viento) o hay que controlar muchos equipos

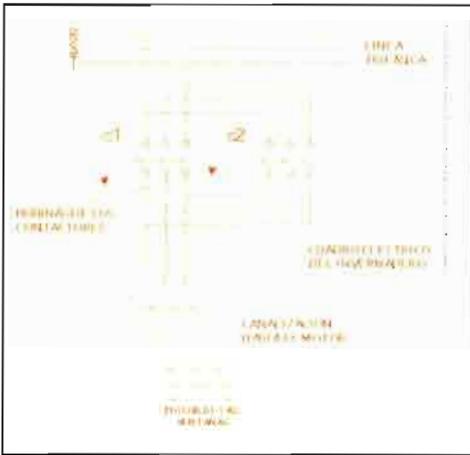
Desde siempre, SANDEI significa la mejor tecnología a precio justo.

La continua investigación en el campo tecnológico nos permite dar siempre una respuesta eficaz y puntual a todos los problemas de nuestro sector.

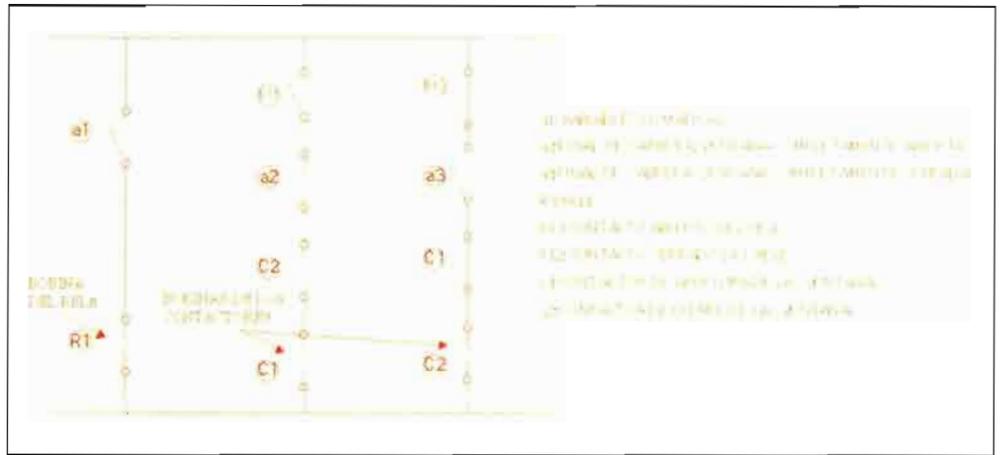
La asistencia técnica y de postventa, siempre puntal en todos los componentes de nuestras máquinas es un punto del que nos sentimos orgullosos en nuestro trabajo. Nuestra presencia, es útil para garantizarles la realización del cosechado en el tiempo y forma más conveniente, con un alto rendimiento en la calidad del producto. SANDEI es, desde siempre sinónimo de calidad, capacidad y confianza, es el punto exacto de referencia en el mercado.

Cosechadoras semovientes SERIE SL





▼ **Figura 2.** Control del motor de apertura y cierre de las ventanas. Se suele realizar con dos contactores (interruptores automáticos), uno de apertura y otro de cierre, conectados al motor trifásico de las ventanas. Cambiando uno de los cables (fases) de la línea trifásica en uno de los contactores se invierte el sentido de giro del motor. Cuando se cierra C1, la ventana se abre; cuando se cierra C2, la ventana se cierra. Cada contactor se cierra cuando su bobina tiene tensión; la tensión de las bobinas depende del esquema de mando de la instalación.



▼ **Figura 3.** Control del motor de apertura y cierre de ventanas: esquema de mando. Es habitual utilizar dos contactores (una de apertura C1 y otro de cierre C2) accionados por un relé intermedio R1. Cuando, en función de las variables climáticas, se debe abrir la ventana, un automatismo (por ejemplo un termostato) cierra el contacto a1, activando el relé R1; éste, al activarse, cierra su propio contacto R11, que da tensión al contactor C1, y la ventana se abre. Completamente abierta, la ventana toca el final de carrera a2 correspondiente, que abre el circuito del C1, con lo cual el motor acaba su recorrido de apertura y se para. Para el cierre de la ventana, de forma análoga, sucesivamente se abre a1, se desactiva R1 cerrando R12, y el contactor C2 cierra la ventana, hasta que finalizado el recorrido de cierre el final de carrera a3 para el motor.

lidas, que no se puede ampliar. Son en general los más sencillos y económicos. Otros autómatas, por el contrario, pueden ampliar el número de entradas y salidas.

distintos en función del clima, parece recomendable pasar a utilizar un control con autómatas o controladores.

En invernaderos con varios sectores y distintas necesidades de temperatura (por ej., en calefacción) sería necesario utilizar un sensor de temperatura, un termostato y una consigna distinta para cada sector, o pasar a un esquema de control más complejo con autómatas.

En determinadas situaciones puede ser necesario utilizar higróstatos, aparatos que funcionan igual que los termostatos pero operando en función de la humedad relativa del aire. En este caso, el sistema de control activaría un sistema de humidificación del aire (por ejemplo, nebulización) si la humedad baja por debajo de un determinado valor de consigna.

Un termostato electrónico con una salida puede valer alrededor de 12.000 pts.; con dos salidas, entre 20.000 y 40.000. La automatización de dos equipos con termostatos puede tener un coste entre 25.000 y 60.000 pts.

Autómatas programables (PLC) o controladores analógicos

Un autómata programable es un equipo electrónico diseñado para controlar en tiempo real procesos secuenciales, en un medio industrial (o agrícola). Recibe también el nombre de PLC o Controlador Lógico Programable. Estos equipos pueden realizar una gran variedad de funciones lógicas (temporizaciones, conteos, cálculos y regulaciones). Disponen de terminales de entrada (entradas) a los que se conectan sensores, finales de carrera o pulsadores, y terminales de salida (salidas) a los que se conectan bobinas de contactores o relés, electroválvulas o lámparas; en función de la in-

formación que recogen en las entradas y de su programación, estos equipos actúan de una forma u otra sobre las salidas.

Las salidas y entradas, en principio, pueden ser digitales o analógicas. Si son digitales sólo pueden dar o recibir dos valores (circuito abierto/cerrado, SI/NO). Si son analógicas, pueden dar o recibir cualquier valor de forma continua o casi continua, entre 0 y 100% de su escala. Con estas definiciones, un termostato normal sería un automatismo con una entrada analógica (la temperatura) y una salida digital (su relé de salida). Los autómatas programables más sencillos y baratos tienen sólo entradas y salidas digitales. Con un nivel superior de coste, pasan a tener entradas analógicas; los más sofisticados y caros tienen también salidas analógicas.

En el sector de invernaderos existen equipos similares a los autómatas con funciones específicas para el control de invernaderos, diseñados por casas comerciales. A estos equipos se les suele llamar controladores, aunque su estructura física es análoga a la de un autómata.

Un grupo de autómatas programables tienen un número determinado de entradas y sa-



Cuadro eléctrico para el control de un invernadero.

Las ventajas de los autómatas programables sobre un control basado en termostatos son varias, lo que no quiere decir que siempre sean preferibles. En general, cuanto más complejo sea el sistema y el tipo de control, más ventajas tendrá un autómata frente a un termostato:

- Si los programas de actuación son relativamente complicados, por ejemplo una pantalla térmica que opere en función de la temperatura y la radiación solar, resulta más complejo realizar el control con termostatos y circuitos eléctricos, mientras que es relativamente sencillo realizar la programación con un autómata.

- Si el invernadero tiene muchos actuadores con distintas consignas de temperatura (varios sistemas de calefacción, pantallas, ventanas, varios sistemas de refrigeración) será necesario un termostato para cada uno (o al menos varios termostatos), mientras que un autómata con un solo sensor de temperatura puede actuar sobre todos los actuadores. En este caso un autómata puede resultar incluso más económico.

- Los autómatas centralizan la información en un solo punto, por lo que es más sencillo coordinar la actuación entre los distintos equipos que operan sobre la temperatura.

- Si el autómata puede conectarse a un ordenador, es posible trasladar fácilmente la información centralizada al ordenador, de manera puntual o continua.

- Como desventajas, señalar que su coste suele ser superior al del control por termostatos. Los autómatas de gama baja, más sencillos y baratos, no suelen tener entradas analógicas; sólo cuentan con entradas y salidas digitales. En invernaderos suele ser necesaria al menos una entrada analógica para la medida



olé!



Teneis motivos para ser aficionados

Nueva MLT.

Cargar, ensilar, desensilar, distribuir, almacenar, remolcar, limpiar, vibrar...

En : cereales, granos, remolacha, patatas, paja, silos, algodón, estiércol, olivos...

Las Manitou han sido concebidas para ser el mejor auxiliar de su finca, de su ganadería, de su industria. Así, no resulta sorprendente que Manitou sea para miles de agricultores y ganaderos en todo el mundo, la Referencia.



MANITOU
 Teléfono
 91 622 13 24
 Fax
 91 622 17 49
 www.manitou.fr



EL EXPERTO EN MANUTENCION AGRICOLA

de temperatura. Los autómatas con entradas analógicas suelen ser de gama media o alta, y por tanto son de coste superior, aunque algunos autómatas pequeños ya incorporan este tipo de entradas. Además, los invernaderos, a partir de un cierto nivel, requieren también salidas analógicas, sobre todo para control proporcional de válvulas.

- La programación de los autómatas es en general complicada, más compleja en cualquier caso que con un termostato, y suele requerir un técnico especializado.

Los autómatas de gama más baja, sólo con entradas y salidas digitales, tienen un coste superior a las 15.000 pts. que sube al aumentar el número de entradas y salidas. Pueden utilizarse como programadores horarios; tienen gran flexibilidad y un número de salidas mayor que los interruptores horarios normales. Los autómatas con entradas analógicas pasan a tener un coste superior a las 50.000 pts.; los autómatas de gama alta, en función de su capacidad y número de entradas y salidas, pueden costar en torno a las 300.000 pts (o incluso más).

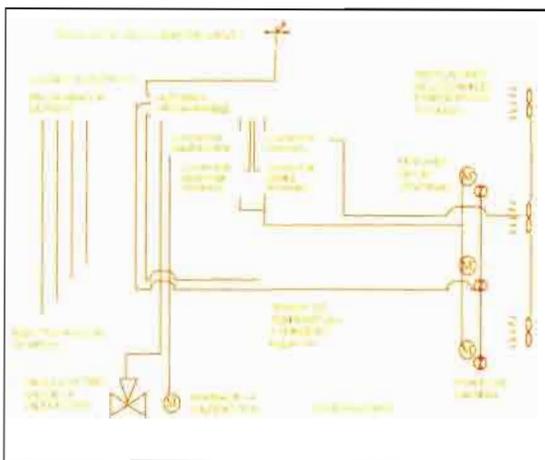
El tipo de invernadero donde puede ser más aconsejable utilizar un autómata o controlador, sin utilizar ordenadores, sería un invernadero pequeño con muchos equipos a controlar y con varios parámetros climáticos implicados en el control (temperatura, humedad relativa, viento). En invernaderos grandes con estas condiciones, de dimensiones superiores a una hectárea, probablemente pasaríamos a usar un ordenador en un esquema de control distribuido. El coste de la automatización de un invernadero grande o de uno pequeño, si tienen la misma variedad de equipos climatizados, es muy similar. En un invernadero de 500 m² y presupuesto aproximado de 5 millones de pesetas, el coste de autómata + ordenador (en torno a un millón de pesetas) puede ser excesivo; en un invernadero de 10.000 m² y presupuesto de 100 millones, ese coste no es particularmente importante.

Muchos invernaderos cuentan con un autómata o controlador para el riego, y otro para el clima, pero es posible utilizar un único autómata para controlar tanto el riego como el clima del invernadero.

Control por ordenador

En el control distribuido, una serie de automatismos, colocados en diferentes sectores, gestionan el control de su sector correspondiente. Cada uno puede funcionar de forma autónoma. Además, todos están conectados a un controlador central donde se centraliza la información, se coordinan las actuaciones, y se envían órdenes a los distintos sectores.

La disposición más habitual es la conexión



▼ **Figura 4.** Ejemplo de esquema en planta de un segundo invernadero, con mayor equipamiento. El invernadero cuenta con varias electroválvulas de riego, controladas por un programador de riego. Las ventanas, la calefacción y la refrigeración por paneles evaporativos (cooling) están controladas por un autómata programable, que actúa sobre los contactores de cada equipo. El autómata recibe información desde los finales de carrera de las ventanas, un sensor de temperatura y humedad relativa y un sensor de velocidad de viento. Con esta información, actúa sobre sus salidas: salidas todo/nada para las ventanas, la bomba de calefacción y los paneles evaporativos, y una salida analógica para la válvula de tres vías de la calefacción.

de un ordenador central a una serie de autómatas o controladores, colocados en cada sector. Cada autómata gestiona su sector, según el esquema descrito en el apartado anterior; pero además todos los autómatas envían de forma continua la información que reciben y las actuaciones que realizan al ordenador central. En ocasiones el esquema puede reducirse a un solo autómata y un ordenador.

Las ventajas de contar con un ordenador central son varias:

- La ventaja fundamental del control distribuido estriba en que, si el ordenador se bloquea, cada sector sigue funcionando con normalidad controlado por su propio controlador o autómata. Desde este punto de vista, el esquema posee todas las ventajas de los autómatas más las que se añaden a continuación, a cambio del coste del ordenador, programas y conexiones.

- La información de los diversos sectores está centralizada, lo que permite al usuario revisar la situación general de la explotación en un solo punto y en muy poco tiempo. La gestión de alarmas se simplifica.

- La comunicación del usuario con el sistema de control es mucho más fácil que en un autómata, porque el ordenador dispone de elementos (teclado, pantalla) que simplifican la tarea. Con autómatas, o se programa el sistema con consolas u ordenadores portátiles, o se debe contar con una pantalla táctil de visualización de coste elevado. Además, el ordenador suele contar con programas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) que facilitan la comunicación. Por ello, resulta muy sencillo para el usuario cambiar consignas, horarios o cualquier programa de actuación de los

equipos desde el ordenador, sin necesidad de una formación técnica específica.

- Las posibilidades de realizar programas de control complejos son incluso superiores a las de un autómata, y en general la programación es más fácil.

- La capacidad de almacenamiento de datos del ordenador es mucho mayor que la del autómata, en función del disco duro que contenga. Resulta interesante en muchos casos tener registros grabados del funcionamiento del invernadero en los últimos días o meses; con un ordenador es sencillo almacenar y consultar esta información. El autómata no está diseñado para esta función y su capacidad de almacenamiento es muy limitada.

- El ordenador da la posibilidad de acoplar fácilmente programas comerciales de ordenador (gestión económica, modelos climáticos o de producción) a la información que se recibe desde el invernadero, lo que simplifica la toma de decisiones.

- Se puede conectar el ordenador a los autómatas por cableado, o por teléfono o radio; además, se puede conectar el ordenador central con otros ordenadores también por internet, teléfono o radio.

Como se aprecia por sus ventajas, cuando el sistema es suficientemente grande y complejo, resulta más interesante utilizar un esquema de control distribuido en lugar de un único autómata o varios autómatas actuando aisladamente. Un sistema de control distribuido con un ordenador, dos autómatas y los sensores, conexiones y programas necesarios puede tener un coste desde medio millón a millón y medio de pesetas.

Los invernaderos grandes, que pueden asumir este tipo de costes, en general disponen de un equipo de riego automatizado que también incorpora un ordenador o sistema análogo. Por esta razón, muchos invernaderos cuentan con equipos separados para el riego y del clima, aunque se puede realizar un control integral con un solo equipo.

Aunque la disposición habitual consiste en un ordenador conectado a una serie de autómatas o controladores, también se puede diseñar un sistema de control distribuido con un ordenador central conectado a una serie de termostatos en cada sector.

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. ■