

CONTROL CLIMÁTICO EN INVERNADERO

FULGENCIO PUJANTE

1. CONTROL CLIMÁTICO. DESCRIPCIÓN GENERAL

1.1. Física del invernadero

Los procesos que contribuyen al crecimiento y la producción de las plantas son la fotosíntesis, la respiración y la transpiración. Estos procesos son condicionados a corto y largo plazo por factores como la radiación local, la concentración de CO_2 , la temperatura y la presión de vapor de agua del ambiente y a su vez en nuestro caso éstas condiciones son afectadas por la existencia de la cubierta o el cerramiento del invernadero y por el propio cultivo. La fotosíntesis y la respiración gobiernan el balance en la producción de carbohidratos en la planta en uno y otro sentido, proveyendo de energía a la planta y de elementos para la formación de los tejidos. La transpiración gobierna el balance del estado hídrico de la planta, siendo el responsable del transporte de las sales minerales en el interior de la planta y de la provisión del agua necesaria para el crecimiento y formación del vegetal.

Esta cubierta produce una atmósfera cerrada, reduciendo en el intercambio de aire entre el ambiente del cultivo y el ambiente exterior y una reducción muy marcada de la velocidad del aire en el interior. La energía captada y el vapor de agua transpirado son a su vez alterados por el cerramiento, limitando el intercambio de forma que son acumulados ambos en el ambiente interior. La radiación solar parte se transmite a través del cerramiento y parte es reflejada, mientras que la radiación térmica emitida desde el interior no es transmitida a través del cerramiento hacia el exterior. La concurrencia de los cultivos en invernadero durante épocas forzadas con bajas condiciones de radiación, obligan en muchos casos a mejorar notablemente el resto de condiciones que afectan al cultivo con objeto de obtener una elevada producción.

En términos generales las condiciones ambientales del cultivo en el invernadero han de ser cuantificadas para la determinación del impacto sobre la producción del cultivo. Los distintos procesos responsables de la transferencia de energía y masa (vapor de agua y dióxido de carbono) son calculados según las condiciones de ambiente exterior, la construcción física del invernadero y su equipamiento para la cuantificación de la producción del cultivo en invernadero (potencia térmica instalada de la instalación de calefacción, descarga de la instalación de riego, renovaciones del invernadero según posición de ventana y velocidad del viento, % de

sombreado de la instalación de pantalla, aportación de humedad según descarga de la instalación de humidificación, descarga de CO₂ de la instalación de gas carbónico instalada).

1.2. Manejo general del control climático

Para el control climático en invernadero se establecen 4 períodos a lo largo del día, que básicamente son dos, período diurno y período nocturno, y la transición entre ambos. Las consignas o referencias o valores ideales se determinan para los parámetros temperatura de calefacción (máxima y mínima temperatura del agua de la instalación), temperatura de ventilación, posición de ventilación, déficit de humedad ambiente y nivel de CO₂.

Modificación de las consignas según valores de radiación solar instantánea y/o acumulada

Las consignas anteriores son corregidas dependiendo de la radiación solar instantánea (intensidad W/m²) de forma proporcional a un valor umbral y de forma positiva o negativa. De igual forma las consignas son corregidas en función de la radiación solar acumulada (Wh/m²) y en igual sentido, ésta consigna es reiniciada cada amanecer.

Modificación de las consignas según déficit de humedad

Las consignas de temperatura mínima del sistema de calefacción y de la consigna de ventilación (temperatura) son corregidas dependiendo la humedad relativa (%) (o el déficit de humedad gr/m³).

Retardo del enfriamiento y calentamiento del invernadero

En función de los períodos establecidos para las 24 horas y de las distintas consignas, el cambio de un período a otro se hace progresivo (horas/°C) positiva o negativamente. A partir de ésta acción y de sólo 2 períodos se pueden establecer 4.

1.3. Control de la temperatura ambiente

Consignas

Se establece el valor deseado de la temperatura ambiente del compartimento climático estableciendo el valor de la temperatura de calefacción y el valor de la temperatura de ventilación en hasta 4 períodos de 24 horas de ciclo.

Diferenciales y límites

Se establecen para la instalación de la calefacción de impulsión del agua mínimas y máximas, calefacción de agua modulante o histéresis sobre la temperatura ambiente con calefacción todo/nada (generadores de aire caliente).

Para la ventilación la posición máxima y mínima de la ventana es determinada según las condiciones exteriores (viento, radiación y temperatura) y la temperatura interior del compar-

timiento climático. Si la instalación de ventilación cuenta con ventanas orientadas en dos direcciones (sotavento y barlovento), se establecen límites en ambas direcciones.

1.4. Control de la humedad ambiente

Consignas

El control se hace estableciendo consignas durante las 24 horas y en hasta 4 períodos distintos.

Ajuste de la humedad relativa ambiente

El ajuste se realiza modificando las consignas de temperaturas de ventilación, temperaturas de calefacción y posición de la ventana del compartimento.

1.5. Control de pantallas

El control se lleva a cabo según prioridad del sistema de pantalla empleado:

Pantalla de fotoperíodo: su control es establecido según período horario, y puede ser influenciado por la radiación solar concurrente o influenciado según el inicio o el final de la puesta del sol o el amanecer.

Pantalla de ahorro energético: es controlada según condiciones de radiación, temperatura exterior, diferencia entre la temperatura de calefacción calculada y la temperatura exterior.

Pantalla de sombreo: es controlada según radiación solar instantánea o temperatura ambiente excesiva (se establecen retardos y diferenciales).

Pantalla de humedad: es controlada según la humedad ambiente del compartimento con objeto de mantener el valor deseado durante el día.

1.6. Control de la concentración de CO₂

La dosificación se lleva a cabo según un período de tiempo y escoger entre la fuente (escapes de caldera, gas licuado en depósito). La concentración es establecida según dos niveles que dependen de la radiación solar, la velocidad del viento, la posición de la ventana y la humedad relativa.

1.7. Control del riego

Se lleva a cabo según las siguientes variables: tiempo, radiación, temperatura ambiente, humedad relativa ambiente, bandejas de demanda, radiación acumulada según tasa de drenaje, transpiración acumulada y máxima frecuencia de riego.

2. CONSIGNAS Y MEDICIONES

2.1. Estación climática

Sensor de lluvia (lluvia)

Establece la posición de ventana en caso de lluvia.

Se consigna el retardo al detectarse lluvia (5 seg), así como, el retardo mínimo a desactivar el inicio de la acción lluvia (5 min) y el retardo máximo (5 min).

Sensor de velocidad y dirección de viento (tormenta)

Si se inicia situación de tormenta, establece la posición de la ventilación en todos los compartimentos, con tratamiento diferente para la orientación sotavento y barlovento.

Se consigna el retardo del inicio de la acción tormenta (5 seg), el retardo final mínimo (5 seg) y el retardo final máximo (5 min).

Sensor de temperatura exterior (temperatura mínima/helada)

Si se inicia situación temperatura mínima/helada, la posición de la ventilación en todos los compartimentos es cerrada completamente hasta que ésta situación desaparezca. Así se consignan retardos al inicio de la acción (8 min) y, mínimos (4 min) y máximos (8,5 min) para el receso de la acción temperatura mínima.

Sensor de radiación solar (temperatura mínima/helada)

A partir del valor de radiación solar la temperatura mínima es afectada negativamente o positivamente. Para ello se consigna una franja de radiación instantánea y una banda proporcional de temperatura.

2.2. Humedad relativa

Unidades

Se puede utilizar el valor del tanto por ciento de la presión de vapor sobre saturación, humedad relativa (%) o el valor del déficit de humedad sobre saturación en gr/m^3 .

La humedad ambiente condiciona las siguientes acciones:

- Reproduce alarmas en el sistema por exceso o defecto.
- Corrige el valor de temperatura de calefacción (golpe de calor) en caso de exceso.
- Corrige el valor de temperatura de ventilación en caso de exceso o defecto.
- Acciona la instalación de pantalla por humedad en caso de defecto.
- Corrige el valor de concentración de CO_2 en caso de exceso.
- Activa la instalación de humidificación en caso de defecto.
- Acciona la instalación de riego en caso de defecto.

2.3. Alarmas en las mediciones

Los sistemas reproducen alarmas sobre los siguientes parámetros ambientales del invernadero:

- Temperatura máxima y mínima del compartimento.
- Humedad relativa máxima y mínima del compartimento.
- Concentración de CO₂ máxima y mínima del compartimento.
- Protección contra excesos de CO₂.
- Desviación entre la temperatura de calefacción calculada y la concurrente.
- Desviación entre la temperatura de ventilación y la temperatura concurrente.

2.4. Calefacción

Para el control de la calefacción se tienen en cuenta el alcance de los siguientes factores que habrá de definirse para calcular el balance energético y consecuentemente la potencia a aportar:

- Potencia instalada (temperatura mínima y máxima del circuito, salto térmico en el circuito).
- Radiación solar.
- Coeficiente de variación térmica del invernadero (temperatura exterior).
- Renovaciones del invernadero según posición de la ventilación (velocidad del viento).
- Dimensiones del compartimento (superficie y volumen).
- Existencia de métodos de ahorro como pantallas, sistemas de iluminación.

2.4.1. Calefacción. Consignas y estrategia

Períodos

Se definen hasta 4 períodos diarios, donde la calefacción puede ser activada o no.

Consigna

Se define la temperatura ambiente de calefacción para cada compartimento, este valor puede ser influenciado por la radiación solar instantánea y la acumulada.

En caso de contar con calefacción todo/nada (generadores) se debe consignar el diferencial a partir del que la calefacción modulada ha de funcionar si la todo/nada no es capaz de proporcionar la potencia térmica precisada.

Ajuste por radiación

Se ha de definir la banda de temperatura que habrá de ajustar la concurrencia de un valor determinado de radiación instantánea o acumulada. Esta banda puede ser positiva o negativa.

Ajuste retardo para calentar o enfriar

En caso de establecer distintos períodos con distinta consigna de temperatura de calefacción, se debe establecer la tasa de incremento de la consigna por espacio de tiempo (°C/hora).

Ajuste por integración

Se puede definir una estrategia durante varios días (el cultivo responde a un valor medio de temperatura durante varios días), en caso de que concurren temperaturas mayores o menores que la consignada como calefacción en períodos cálidos o fríos.

Influencia de la humedad relativa

Se han de definir las temperaturas mínimas del circuito de calefacción con objeto de salvar la concurrencia de una humedad relativa alta o baja. La influencia es consignada con la ayuda de una tabla donde aumentos o decrementos sobre la temperatura mínima del circuito pueden establecerse en función del valor de humedad relativa concurrente.

Instalación de calefacción con circuitos de agua de cada compartimento

Válvula de 3 vías: es el elemento de la instalación de calefacción por agua que actúa para conseguir la temperatura del circuito. Al igual que con la consigna de temperatura ambiente de calefacción, las influencias de la radiación, el retardo en la transición para calentar o enfriar, afectan a los valores de temperatura máxima y mínima del circuito. A su vez se definen las consignas para el arranque de los recirculadores en función de la temperatura de circuito calculada y la temperatura ambiente concurrente. Se puede a su vez, programar el arranque de los recirculadores con objeto del mantenimiento de la instalación (anticorrosión) o el arranque en varias velocidades.

Instalaciones de calefacción todo-nada (Consignas, influencias y mediciones)

Se han de definir las consignas de temperatura ambiente de calefacción, durante hasta 4 períodos diarios con una banda proporcional o histéresis, retardos en las paradas y el arranque de la instalación, influencia sobre la humedad relativa determinando umbrales máximos y mínimos, horarios y retardos. La influencia sobre la temperatura ambiente de calefacción es definida como límite para apagar el sistema, a su vez, se establece límite sobre la concentración de CO₂ en el ambiente para parar por máximo. la radiación también es computada como influencia, y el sistema puede ser arrancado por necesidad de temperatura, necesidad de CO₂ y retardo a voluntad.

Si el actuador es conectado, la acción de cada factor es determinada.

Instalaciones de calefacción por pulsos (instalaciones de vapor)

Se definen las consignas de calefacción, los pulsos (duración y frecuencia), las influencias y pueden ser conocidas todas las mediciones y actuaciones de cada influencia.

2.4.2. Control de instalaciones energéticas

Instalación de calefacción: producción CO₂ / almacenamiento del calor / destrucción del calor.

Instalación de cogeneración: producción de electricidad / producción de CO₂ / almacenamiento del calor / destrucción del calor.

2.5. Ventilación

La estrategia que se sigue para el manejo de la ventilación consiste en determinar la temperatura de ventilación a lo largo de las 24 horas pudiendo dividir este ciclo en hasta 4 períodos. Dependiendo de la radiación instantánea y/o la acumulada, la consigna es incrementada. La humedad relativa también puede ejercer una influencia sobre la consigna. El paso de un período a otro del ciclo es progresivo determinando el incremento sobre el lapso de tiempo deseado. Por medio de un retardo, las ventilaciones con distinta orientación, en condiciones de viento, pueden ser maniobradas según la dirección del viento, abriendo primero a barlovento.

Consignas, estrategia e influencias

Se definen los hasta 4 períodos, las temperaturas de ventilación y las histéresis o bandas proporcionales, el ajuste por radiación, tanto instantánea como acumulada, en °C. Se define la influencia de la humedad relativa según tablas (hasta 4 puntos) aumentando la consigna de temperatura de ventilación, caso de defecto, o decrementándola, caso de exceso. El retardo en los cambios entre períodos es establecido en tiempo, y el controlador se encarga de llevar a cabo el cambio fraccionando el retardo en °C/horas. En el control de la ventilación también se puede influenciar la temperatura de ventilación integrando sobre un determinado período.

Correcciones sobre la instalación de ventanas

Se determinan las posiciones máximas y mínimas de las ventanas y retardos en caso de ventilaciones con distinta orientación (sotavento y barlovento) (tanto de porción de abertura de una orientación respecto de la otra, diferencial de temperatura de ventilación umbral para inicio de ventilación a sotavento...) en caso de viento o tormenta y en caso de lluvia.

La consigna de ventilación puede ser afectada en caso de velocidades de viento constante, y en caso de diferencias de temperatura entre el interior y el exterior marcadas, al aumentar tasa de ventilación bajo estas condiciones.

Límites

Temperatura exterior mínima: se define su valor bajo el que, sin influencias de radiación ni humedad relativa, las ventanas son cerradas completamente.

Instalación de calefacción: se define un retardo a la parada de la instalación de calefacción como ahorro energético para el control sobre la ventilación (calefacción todo/nada).

Humedad relativa mínima: se establece una limitación sobre la ventilación en caso de baja humedad relativa en la ventilación de barlovento.

Instalaciones de pantalla: se establecen límites de posición en caso de tener activado el programa de pantalla en el compartimento climático según umbrales de velocidad de viento como protección de la pantalla.

Ventilación con orientación Norte: se establecen límites según horario y valor radiación exterior.

2.6. Control fitosanitario

Para la realización de tratamientos fitosanitarios, los controladores climáticos actúan sobre la ventilación, la propia instalación de pulverización, el ventilador de la caja de medida, la dosificación de CO₂, el sistema de calefacción, la pantalla, los destratificadores, el sistema de humidificación y la instalación de apoyo de iluminación. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad umbrales son respetadas afectando sobre una mínima posición de la ventana.

2.7. Instalaciones de pantalla

Existen distintos tipos de pantalla susceptibles de ser instalados en invernadero: de sombreo, de ahorro energético, de fotoperíodo y de humedad.

Fotoperíodo

Se establece el horario del período «nocturno», y las influencias de la radiación solar (por exceso, se mantiene cerrada, o por defecto, se abre), temperatura y humedad relativa del compartimento umbrales (paréntesis horarios).

Temporizaciones y retardos.

De ahorro energético

Se operan según horario (astronómico), según temperatura exterior, según diferencia entre la temperatura de calefacción calculada y la temperatura exterior concurrente, según velocidad del viento (tasa de renovación) y según radiación solar. Temporizaciones y retardos.

De sombreo

Se operan según umbral de temperatura ambiente del compartimento y/o según radiación solar. Temporizaciones y retardos.

De humedad

Con objeto de reducir el volumen del invernadero, este tipo de pantalla es operado según la humedad relativa concurrente en el compartimento climático.

2.7. CO₂

El control de la dosificación del CO₂ se realiza teniendo en cuenta las condiciones exteriores de radiación y velocidad del viento, así como, la posición de la ventilación y la humedad relativa del compartimento.

Se definen hasta 2 niveles de concentración (si es tomado de los escapes de la caldera) en el ambiente según las condiciones de tiempo, radiación solar, velocidad del viento, posición de ventana y humedad relativa (baja humedad = cierre de estomas).

2.8. Instalación de humidificación

Se establecen hasta 4 períodos diarios y el nivel de humedad con la ayuda de una banda proporcional. Se puede activar el sistema por exceso de temperatura y accionar actuadores como destratificadores.

2.9. Instalación de destratificadores

Son activados según horario, y según condiciones (temperatura y humedad concurrentes) o estrategia acompañando a la instalación de control fitosanitario, de humidificación, de calefacción, de pantalla o según la posición de ventana.

2.10. Instalaciones de iluminación

De asimilación. Según radiación instantánea (baja densidad) o acumulada (baja).
De fotoperíodo.

2.11. Instalación de riego vs. Control climático

La instalación de riego puede ser operada condicionada en función de las condiciones climáticas según las siguientes influencias:

Frecuencia y dosis de riego

Temperatura ambiente: cuando ésta es superior al umbral por exceso o por defecto.

Humedad relativa ambiente: por exceso o por defecto.

Radiación solar instantánea: por valor umbral máximo.

Radiación solar acumulada/drenaje: se puede establecer la frecuencia de riego.

Transpiración acumulada/drenaje: es calculada según balance energético del invernadero (radiación solar acumulada, aporte de calor por la instalación de calefacción).

Frecuencia máxima de riego.

Estrategia: todas las condiciones de riego, o combinaciones de éstas, pueden ser computadas en hasta 4 períodos diarios.

Dosificación de fertilizantes

Dosificación vs radiación solar.

Otros

Control de la temperatura del agua de riego.