

Control por adelanto de bajo orden de la temperatura en un invernadero mediante ventilación natural

A.P. Montoya ¹, J.L. Guzmán ², F. Rodríguez ², J.A. Sánchez ² y J.C. Moreno ²

¹ Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Colombia. Calle 49 N°59A-63
Bloque 21-115, Medellín, Colombia.; e-mail: apmontoy@unal.edu.co

² Departamento de Informática, Universidad de Almería, Carretera Sacramento s/n,
Edificio CITE III, CP-04120, Almería, España. CEIA3-CIESOL

Resumen

En este trabajo se emplean modelos reducidos de la dinámica de la temperatura al interior de un invernadero. Dichos modelos son utilizados para sintonizar una estrategia de control basadas en PI (Proporcional-Integral) junto con controladores por adelanto para el problema de regulación frente a perturbaciones conocidas como temperatura externa, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa. La sintonía de los controladores por adelanto se realiza haciendo uso de reglas de diseño recientemente publicadas en la literatura. Se analiza el desempeño de la estrategia de control propuesta frente a un controlador PI+ Antiwindup sin compensador por adelanto en simulación, mostrando que la estrategia de control por adelanto es una opción aceptable para realizar el control de la temperatura por medio de ventilación natural.

Palabras clave: control realimentado, control por adelanto, invernadero, ventilación natural

Low-order feedforward control for the inside greenhouse temperature using natural ventilation

Abstract

This work uses low-order models to represent the inside greenhouse temperature. These models are considered to tune a control strategy based on PI control plus feedforward compensators to face the regulation problem against several measurable disturbances, outside temperature, solar radiation, wind speed, and relative humidity. Recent tuning rules for feedforward compensators are used in this work. The proposed control scheme is compared through simulations with a PI controller without feedforward. The results show that, with a proper tuning of the feedforward compensators, promising control results for the inside greenhouse temperature control problem can be obtained.

Keywords: Feedback control, feedforward control, greenhouse, natural ventilation.

Introducción

El control de temperatura por medio de ventilación natural juega un papel importante en la regulación climática de invernaderos, ayudando a prevenir condiciones que disminuyan su producción (Rodríguez, et al., 2001). La estrategia de control realimentado ha sido

empleado ampliamente para el control de la temperatura en invernaderos. La técnica de control por adelanto (*FF*) es un buen complemento para la estrategia realimentada ya que permite compensar las perturbaciones medibles, antes que éstas afecten la respuesta del sistema (Guzmán, et al. 2015).

El diseño de controladores *FF* ideales es rara vez realizable. El método de sintonía propuesto en (Guzmán y Hägglund, 2011) permite incluir la dinámica de un controlador *PI* en la obtención de la ley final de control *FF*, de forma que se mejore la respuesta final del sistema en los casos donde existen problemas de inversión y se minimice el valor absoluto de la integral del error (*IAE*), buscando una respuesta sin sobreimpulso. Se empleará dicho método de sintonía para la obtención de controladores *FF* de primer orden que compensen las perturbaciones temperatura externa, radiación, velocidad del viento y humedad relativa. Dichos controladores serán usados de manera conjunta con un controlador *PI* para la regulación de la temperatura al interior del invernadero por medio de ventilación natural. Se analizan los resultados de simulación obtenidos con datos climáticos reales de un invernadero.

Material y Métodos

Usando la técnica de identificación de sistemas y empleando datos reales, se obtuvieron modelos Autorregresivos de alto orden de la dinámica de un invernadero (Ljung, 1999). Dicho modelo fue reducido con fines de control usando la técnica propuesta por (Rivera, 2007), resultando en un conjunto de modelos de primer orden con retardo de la dinámica de la temperatura y las perturbaciones que la afectan, como se aprecia en la Tabla 1. Usando dichos modelos se sintonizaron cuatro controladores *FF* por medio del método propuesto en (Guzmán & Hägglund, 2011), para compensar las perturbaciones mostradas en la Tabla 1. Se desarrollaron controladores tipo *lead-lag* con y sin retardo, usando un controlador *PI*, diseñado con el método λ (Åström y Hägglund, 2005), con $K_p = -62.77 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{seg}$ y $T_i = 43.51$ segundos, con el fin de controlar la temperatura del aire del invernadero por medio de ventilación natural.

Resultados y Discusión

El esquema se ha simulado para analizar el desempeño de los controladores con datos de reales de 21 días del mes de agosto del año 2008. La Figura 1 muestra los aportes realizados por los controladores, donde se observa la acción preventiva de cada uno los controladores por adelanto y la acción correctiva del controlador *PI + Antiwindup (PI+)*. También se aprecia que se generan acciones de control sin que sobrepase la referencia, esto debido a los controladores por adelanto y su compensación de las perturbaciones medibles. En la Figura 2 se compara el desempeño del controlador desarrollado frente a una estrategia *PI* para compensar la saturación del actuador. Se observa que la temperatura controlada con la estrategia *FF* presenta menor desviación de la referencia que el control *PI+*. Se aprecia igualmente que la acción por adelanto previene que la temperatura sobrepase la referencia constantemente y disminuyendo la acción de control *PI+*.

El análisis de errores muestra que el controlador que incluye compensación *FF* presenta una media de error menor que el control *PI+*. Al comparar el desempeño de este

controlador con controladores por adelanto tradicionales en lazo abierto, no se encuentran diferencias en los errores medios, obteniendo desempeños muy similares.

Conclusiones

El controlador *PI+FF* sintonizado por el método propuesto en Guzmán y Hägglund, 2011 presenta mejor desempeño y rechazo a perturbaciones que el controlador *PI+* tradicional, permitiendo rechazar perturbaciones antes que éstas afecten la respuesta del sistema. Para este tipo de sistemas dinámicos, la estrategia de sintonía de controladores *G-H* requiere ser modificada de forma que se incluya la formulación matemática *Antiwindup* para apreciar mejoras sustanciales sobre métodos de sintonía tradicionales.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido realizada dentro del proyecto “Controlcrop” P10-TEP-6174 financiado por el Ministerio de Economía, Innovación y Ciencia de Andalucía, y el Proyecto del Plan Nacional DPI2014-56364-C2-1-R del Ministerio de Economía y Competitividad y Fondos FEDER.

Bibliografía

- Åström, K.J., Hägglund, T. 2005. Advanced PID Control. ISA, USA. 461pp.
 Guzmán, J. L., Hägglund, T. 2011. Simple tuning rules for feedforward compensators. J. of Process Control. 21:92-102
 Guzmán, J. L., Hägglund, T., Veronesi, M. y Visioli, A. 2015. Performance indices for feedforward control. J. of Process Control. 26:26-34
 Ljung, L. 1999. System Identification Theory for the user, second edition. Prentice Hall. New Jersey.
 Rivera, D.E. 2007. Una metodología para la identificación integrada con el diseño de controladores IMC-PID. Revista Iberoamericana de automática e informática industrial 4: 5-18
 Rodríguez, F., Berenguel, M. y Arahal, M. R. 2001. Feedforward controllers for greenhouse climate control based on physical models. European control conference (ECC), Porto, Portugal, 4-7sep. p 2158-2163.

Tabla 1. Modelos reducidos y controladores por adelanto

| Variable | Modelo Reducido | Controlador FF G-H |
|----------------------|---|--|
| Temperatura externa | $\frac{T_{inv}}{Text} = \frac{1}{42.26s + 1} e^{-s}$ | $FF_Tex = -2.979 * \frac{43.51s + 1}{39.31s + 1}$ |
| Velocidad del viento | $\frac{T_{inv}}{Vv} = \frac{-0.218}{17.52s + 1} e^{-s}$ | $FF_Vv = 0.694 * \frac{43.51s + 1}{14.579s + 1}$ |
| Radiación | $\frac{T_{inv}}{Rad} = \frac{0.0193}{48.4s + 1} e^{-s}$ | $FF_Rad = -0.0573 * \frac{43.51s + 1}{45.449s + 1}$ |
| Humedad | $\frac{T_{inv}}{HR} = \frac{0.0445}{43.7s + 1} e^{-s}$ | $FF_HR = -0.133 * \frac{43.51s + 1}{40.759s + 1}$ |
| Ventilación | $\frac{T_{inv}}{Ven} = \frac{-0.014}{43.51s + 1} e^{-6s}$ | |

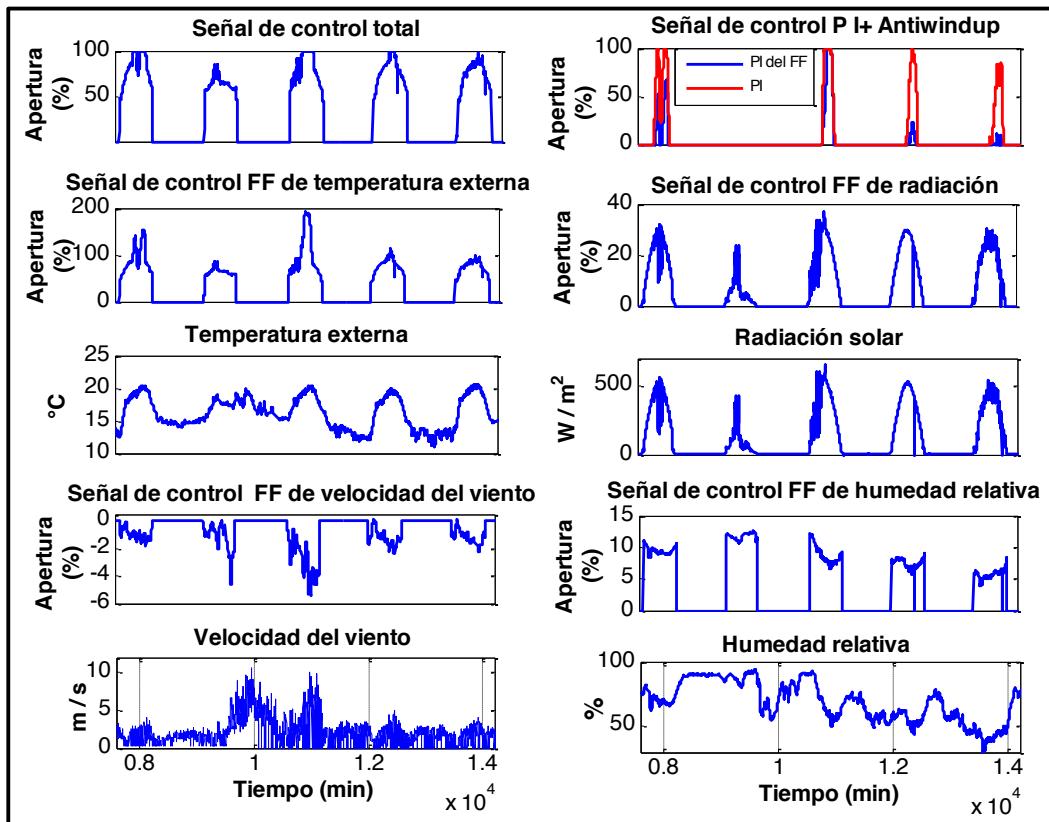


Figura 1. Señales de control por adelanto + $PI +$

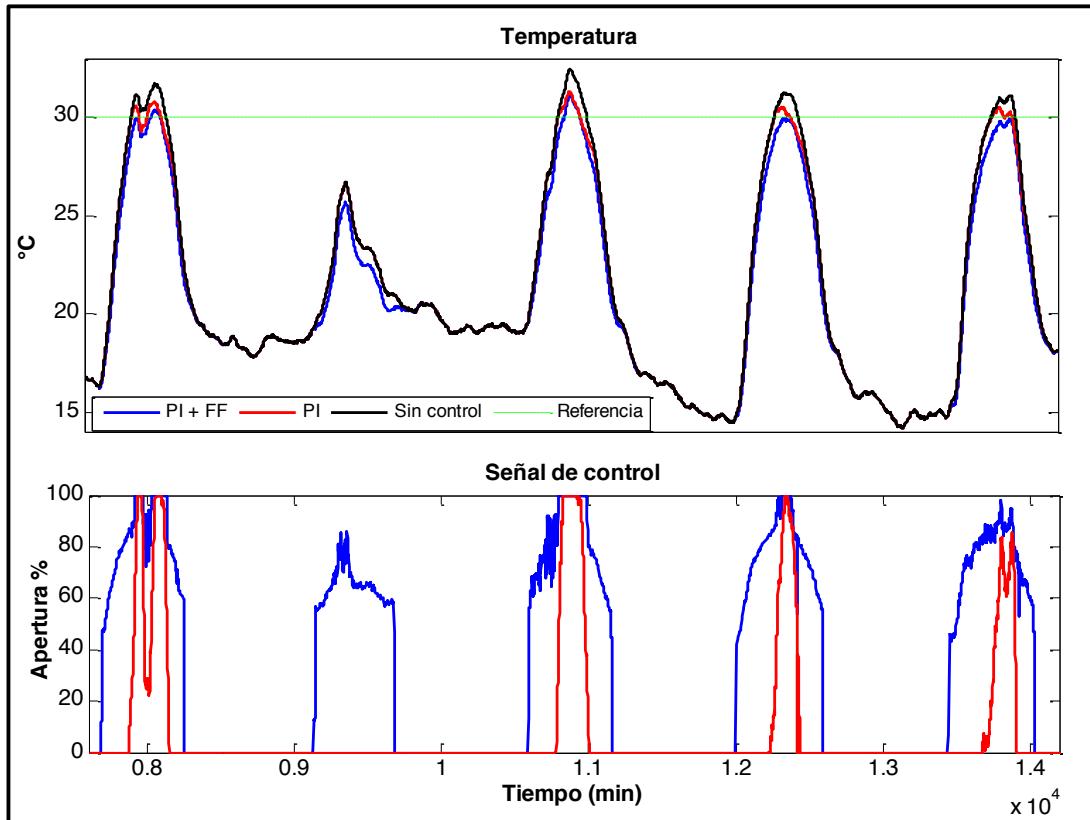


Figura 2. Comparación de control $PI +$ y $FF + PI +$ por el método $G-H$