



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -  
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

*Booklets*



**RENIECYT**

Registro Nacional de Instituciones  
y Empresas Científicas y Tecnológicas

2015-20795

**CONACYT**

RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar  
DOI - REBID - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

**Title:** Diseño de un control de temperatura con técnicas de control clásico, para optimizar el proceso de deshidratado en un deshidratador solar

**Author:** Alejandro PARTIDA CASTAÑEDA

**Editorial label ECORFAN:** 607-8324  
**BCIERMIMI Control Number:** 2017-02  
**BCIERMIMI Classification (2017):** 270917-0201

**Pages:** 15  
**Mail:** [partida.alejandro@uabc.edu.mx](mailto:partida.alejandro@uabc.edu.mx)  
**RNA:** 03-2010-032610115700-14

**ECORFAN-México, S.C.**  
244 – 2 Itzopan Street  
La Florida, Ecatepec Municipality  
Mexico State, 55120 Zipcode  
Phone: +52 1 55 6159 2296  
Skype: ecorfan-mexico.s.c.  
E-mail: [contacto@ecorfan.org](mailto:contacto@ecorfan.org)  
Facebook: ECORFAN-México S. C.

**Twitter:** @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**Holdings**

Bolivia	Honduras	China	Nicaragua
Cameroon	Guatemala	France	Republic of the Congo
El Salvador	Colombia	Ecuador	Dominica
<b>Peru</b>	<b>Spain</b>	<b>Cuba</b>	<b>Haití</b>
Argentina	Paraguay	Costa Rica	Venezuela
Czech Republic			

# Introducción

En este trabajo se presenta el diseño de un control de temperatura para automatizar un deshidratador solar; se realizó por medio de técnicas de “Control clásico PID” con el fin de controlar una temperatura superior a 50 °C, variable indispensable para un deshidratado óptimo de jitomates (González, 2016).

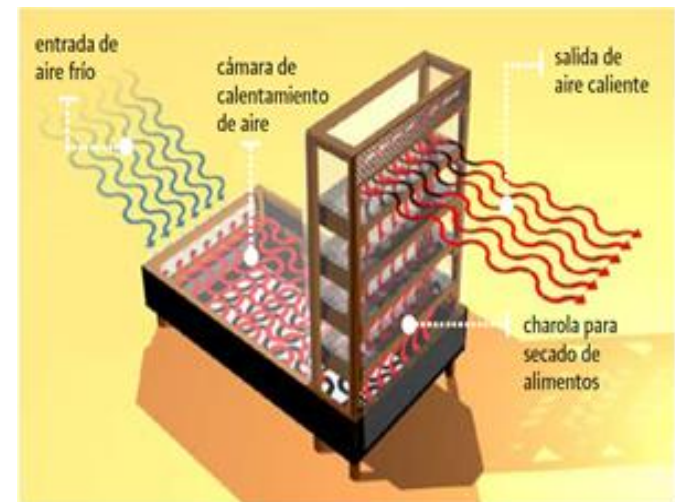


# Secado de alimentos

El mercado mundial para el secado de alimentos puede ser dividido fundamentalmente en tres segmentos (Costales, 2010):

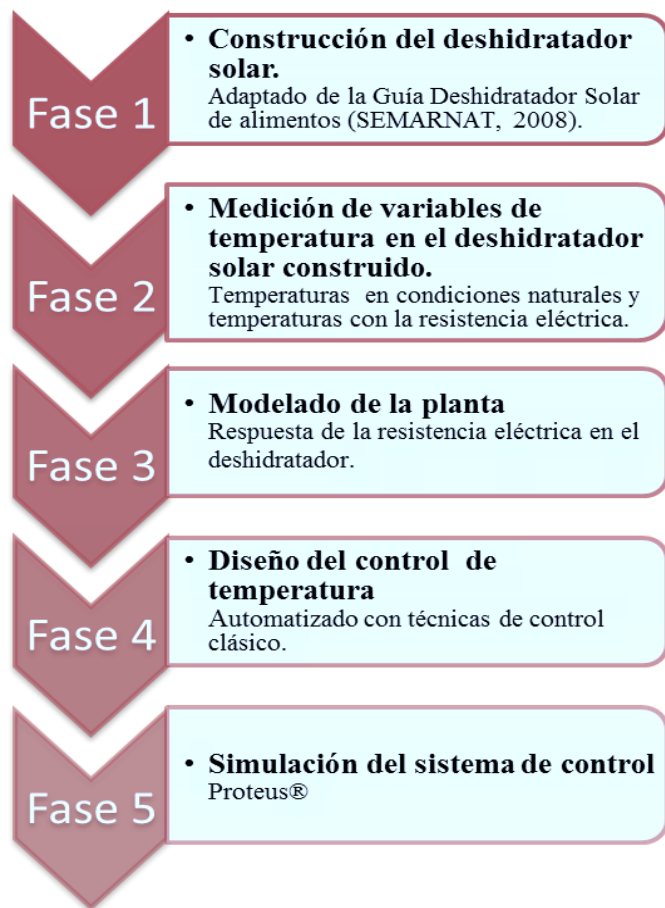
- ❖ Secado mecánico para temperaturas menores de 50 °C.
- ❖ Secado mecánico para temperaturas superiores a los 50 °C.
- ❖ Secado al sol, conocido como deshidratador solar.

## Deshidratador solar



*Fuente: Adaptado de la Guía  
Deshidratador Solar de  
Alimentos (SEMARNAT, 2008)*

# Metodología desarrollada



# Fase 1: Construcción del deshidratador solar

Las características de construcción se pueden revisar en la Guía Deshidratador Solar (SEMARNAT, 2008).



*Fuente: Elaboración propia*

## Fase 2: Medición de temperaturas en el deshidratador

Resultados de las temperaturas medidas con el termómetro FLUKE 971 (tipo láser):

- ❖ Temperatura fuera del deshidratador: 30 °C.
- ❖ Temperatura dentro del colector solar: 38.8 °C.
- ❖ Temperatura donde se colocan las charolas: 33.13 °C.
- ❖ Temperatura dentro del área donde se colocan las charolas al colocar la resistencia eléctrica: 56.11 °C en un periodo de tiempo de 40 segundos (tiempo donde la temperatura se estabilizó).

Deshidratador solar

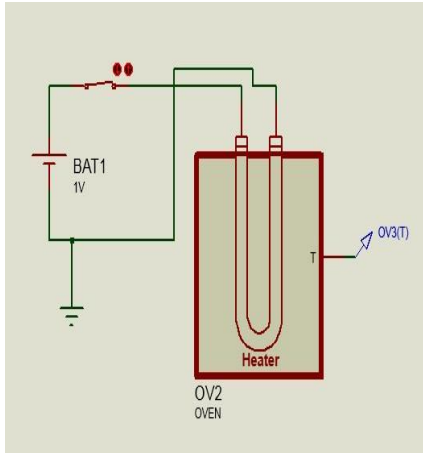


FLUKE 971

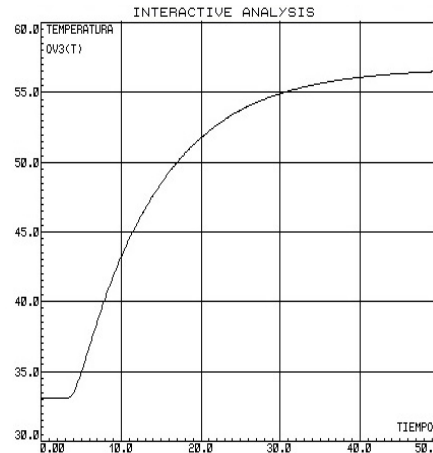


Resistencia 1875 W

## Fase 3: Modelado de la planta



Simulación de la resistencia en bucle abierto  
(Oven Proteus®)



Respuesta entrada escalón en bucle abierto.

- ❖ El sistema con el que se trabajó obedece a las características de un sistema de 1er. Orden con un retardo de transporte:

$$G(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{T_s+1}$$

- ❖ En base a los parámetros de las ecuaciones según el método de los dos puntos de Smith (Alfaro 2001) se obtuvo la ecuación:

$$G(s) = \frac{22.87e^{-4s}}{10.1s+1}$$

## Fase 4: Diseño del control de temperatura

En base a la respuesta de la señal escalon la sintonización del controlador se realizó por medio de las reglas de sintonía de Ziegler-Nichols: métodos basado en la curva de reacción y métodos de los dos puntos.

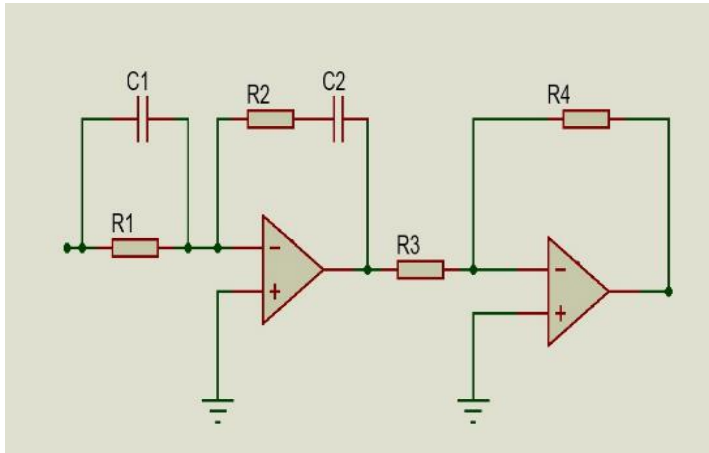
Método	Sintonización
Método Smith	$K_p= 2.21$ , $T_i= 10.31$ y $T_d= 2.58$
Método de Alfaro	$K_p= 2.36$ , $T_i= 9.66$ y $T_d= 2.4$
Método de Ho et al.	$K_p= 1.68$ , $T_i= 10.58$ y $T_d= 2.64$

Cálculos por reglas de sintonía y método de los dos puntos  
(Ogata, 2008; Alfaro, 2001)





## Controlador PID electrónico



Solución:

$$K_p = \frac{R_4(R_1C_1 + R_1C_2)}{R_3R_1C_2} = 1 + \frac{C_1}{C_2} = kp$$

$$K_i = \frac{R_4}{R_3R_1C_2} = \frac{1}{RC_2} = \frac{kp}{ti}$$

$$K_d = \frac{R_4R_2C_1}{R_3} = RC_1 = kp + Td$$

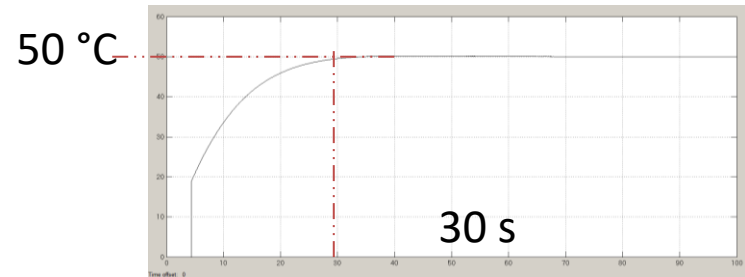
Valores calculados de : Kp, Ki y Kd y componentes electrónicos

Método	Sintonizado	Componentes
Smith	Kp=2.21 Ki=0.21 Kd=5.70	R=100 kΩ, C1=60.4 uF C2=27 uF
Alfaro	Kp=2.36 Ki=0.24 Kd=5.66	R=100 kΩ C1=56 uF C2=41.66 uF
Ho et al.	Kp=2.21 Ki=0.158 Kd=4.43	R=100 kΩ C1=44.3 uF C2=63 uF

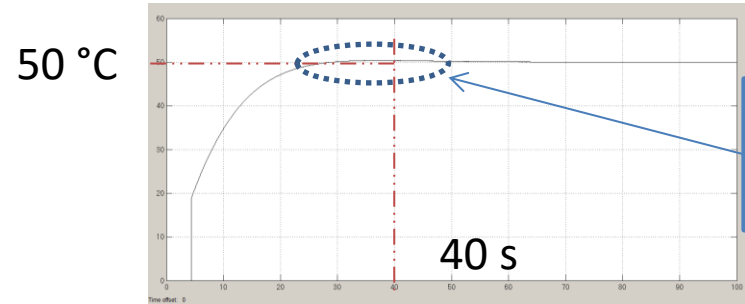


# Fase 5: Resultados de los métodos de sintonización (Matlab®)

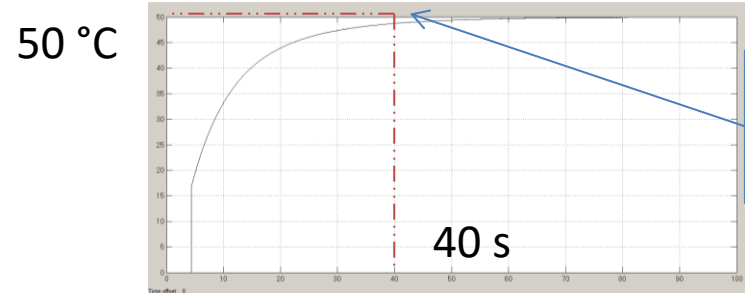
Respuesta del sistema de control  
Método Smith.



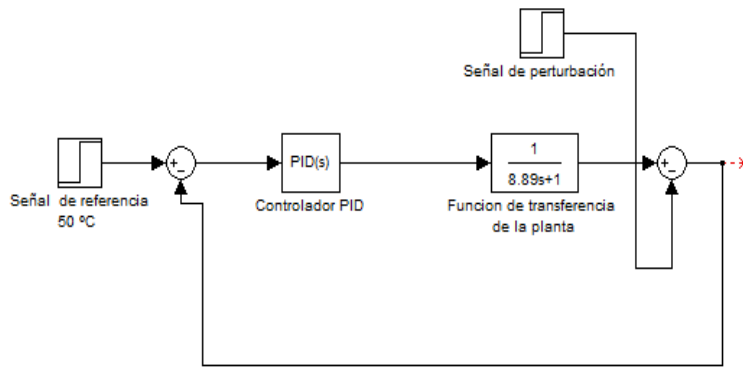
*Respuesta del sistema de control  
Método Alfaro.*



*Respuesta del sistema de control  
Método Ho el al.*

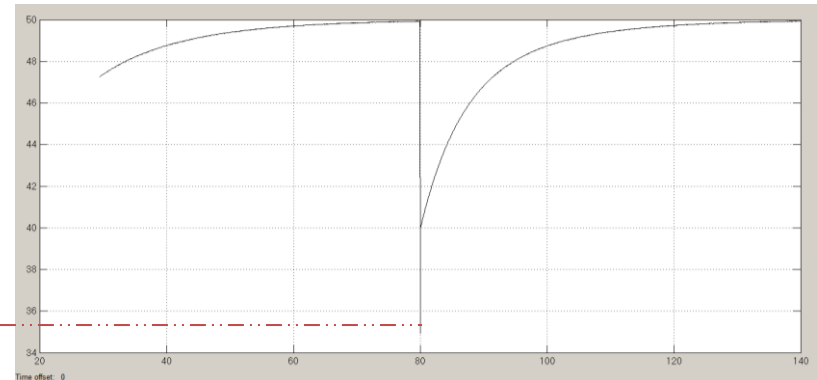


# Resultados a cambios bruscos de temperatura con la sintonización del método Ho et al. (Matlab®)



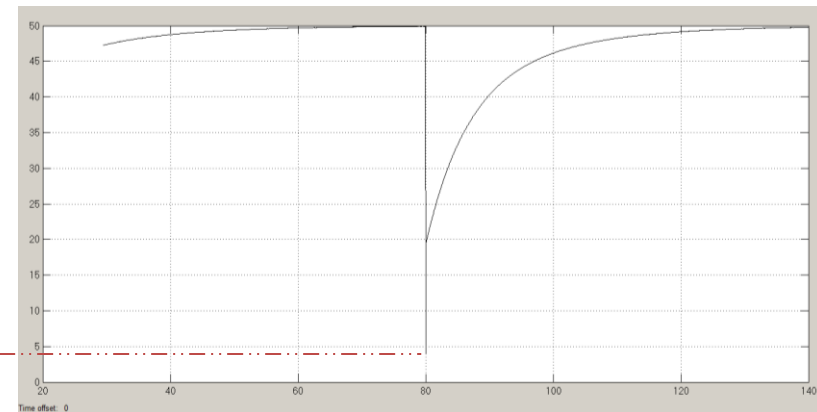
Simulación en Simulink Matlab®

25° C



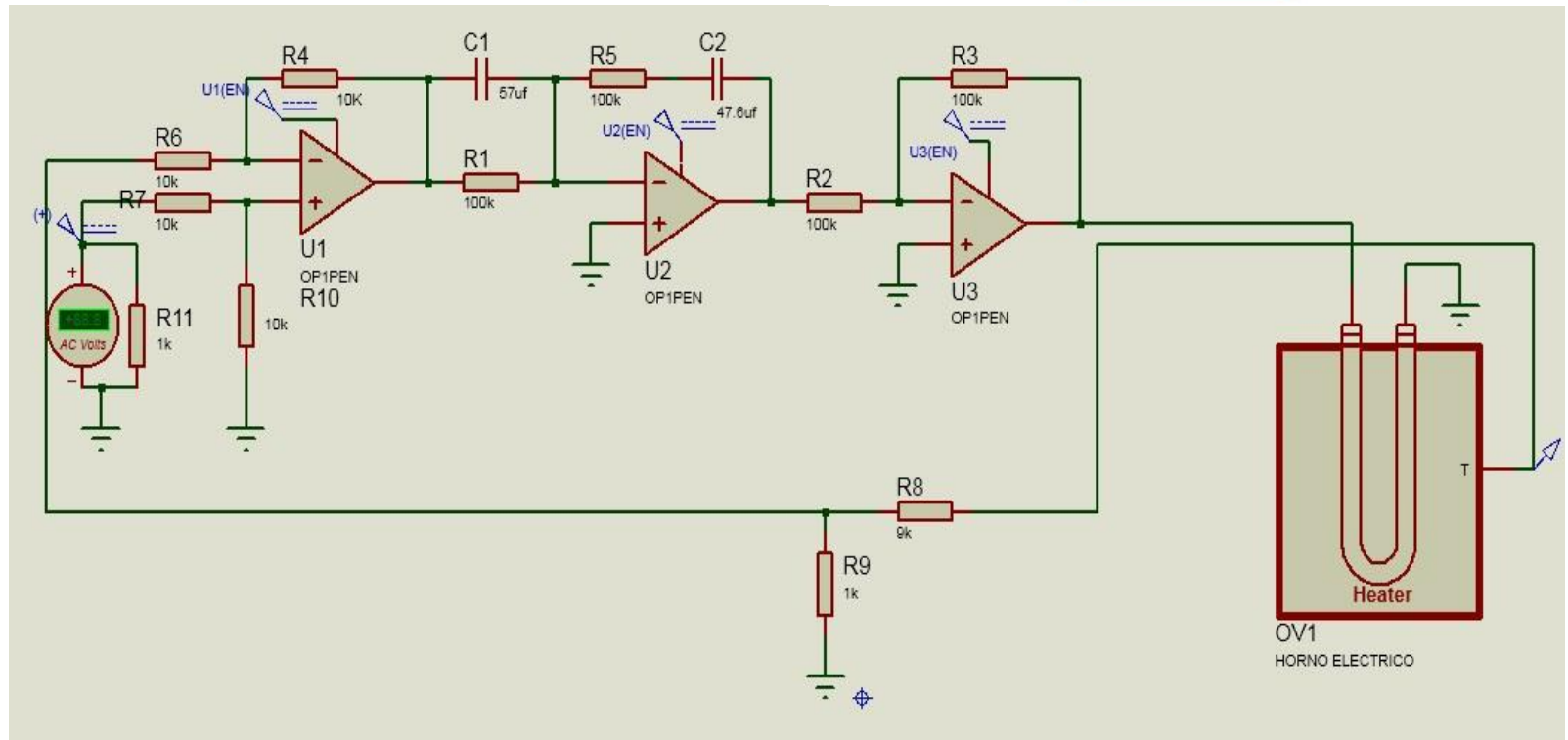
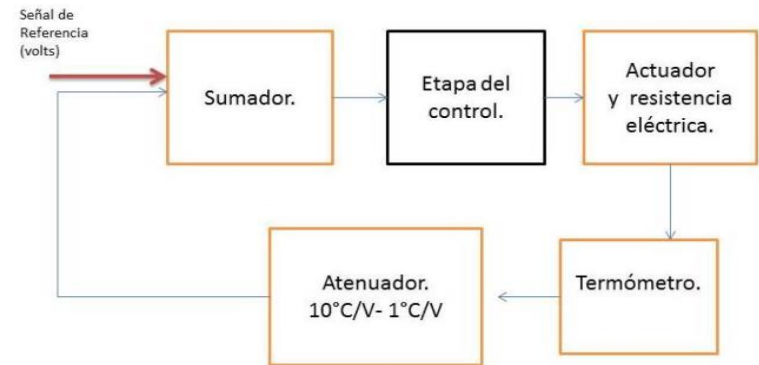
Señal de perturbación a 25 ° C

4° C



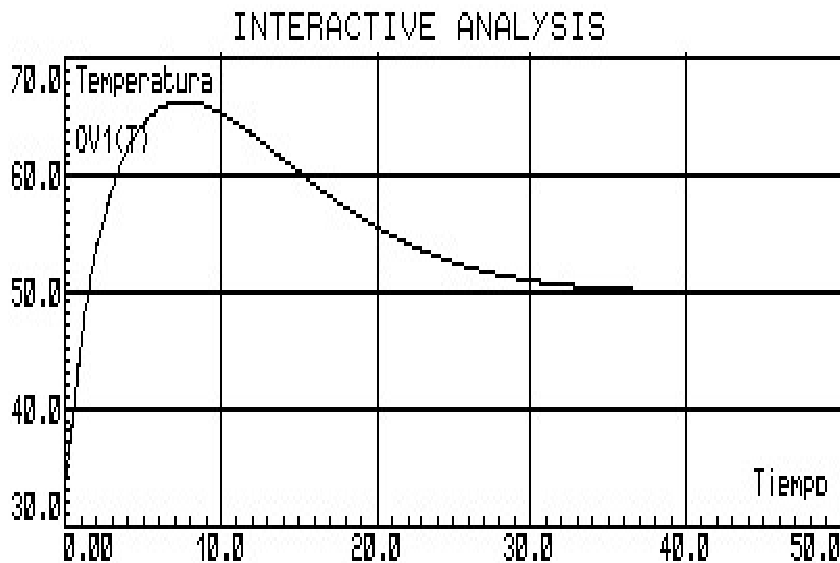
Señal de perturbación a 4° C

# Sistema completo en Proteus<sup>®</sup>



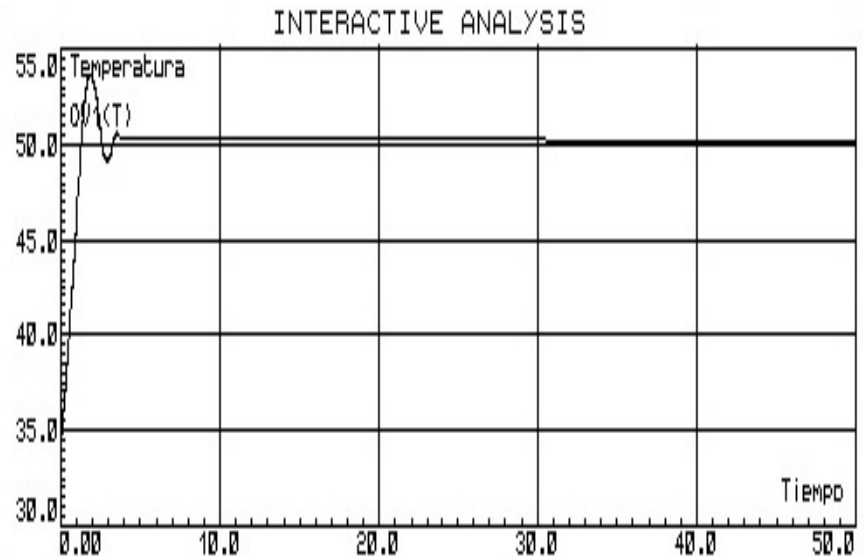
# Resultados del sistema completo (PROTEUS®)

*Respuesta del sistema de control con 5 V de referencia, sintonizado con el método de Ho et al.*



Máximo sobre paso del 33%  
Tiempo de retardo de 35 segundos

*Respuesta del sistema de control modificado con 4.8 V de referencia,  $K_p=1$ ,  $K_i=10$  y  $K_d=74$*



Máximo sobre paso del 6 %  
Tiempo de retardo de 4 segundos

# Conclusiones

- ❖ El sistema automático propuesto responde de manera eficiente a los cambios bruscos de temperatura, con un máximo sobre paso de 6% y un tiempo de retardo de 4 segundos (a nivel de simulación).
- ❖ Esta propuesta pretende sumarse a optimizar el proceso de deshidratador para productores de alimentos en un contexto de recursos limitados y producción a baja escala .



# Trabajos futuros

- ❖ Implementar y demostrar la viabilidad de este diseño de control en condiciones reales.
- ❖ Investigar la sustentabilidad del sistema: respecto a la demanda de potencia del sistema y sus costos



# Referencias

- ❖ Alfaro, V. (2001). Identificación de procesos sobre amortiguados utilizando técnicas de lazo abierto. Escuela de la Ingeniería, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica 2001
- ❖ Carpinteyro, L. T., & Argelia, B. S. (2016). Capacitación para la construcción y uso de un secador solar en la comunidad kumiai de San José de la Zorra. *Revista de Aplicación Científica y Técnica (ECORFAN)*, 2(5), 6-11.
- ❖ Costales, R. (2010). Aplicación de la energía renovable en el secado. *Redalyc*, 47-53.
- ❖ Durán, G. (2010). Secador solar híbrido para la producción continua a escala. *IV Conferencia Latinoamericana de Energía Solar*.
- ❖ Echeberriarza, M. (2005). Guía de uso de secadores solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. Fundación Celestina Pérez de Almada. Asunción Paraguay.
- ❖ Espinoza, J. (2016). Innovación en el deshidratado solar. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24(ESPECIAL), 72-80.
- ❖ Gómez, M. S. (2009). Deshidratador de Tomates Saladette en un secador de charolas giratorias. Huajuapán de León, Oaxaca: *Tesis para Ingeniero en Alimentos*.
- ❖ Gonzáles, Z., & Cindy, E. (2016). Evaluación del desempeño de un secador operado con energía solar y biogás para remoción de humedad en granos de café.
- ❖ Puertas, I. M. (2005). Modelado y construcción de un secadero solar híbrido para residuos biomásicos. Badajoz: *Tesis doctoral*.
- ❖ Ogata, K (2008). Ingeniería de Control Moderna. Riberta de Loira. Pearson.
- ❖ Rodríguez, B. (2013). Diseño de un sistema de control para un deshidratador solar híbrido de jitomates, automatizado con técnicas de control clásico. *Tesis Maestría*.
- ❖ SAGARPA. (2017). Aumenta 35 por ciento producción de jitomate "Hecho en México". Xochimilco, México: *Gobierno de la República*. Recuperado de [http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distrito\\_federal/boletines/Paginas/JAC\\_0055\\_10.aspx](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distrito_federal/boletines/Paginas/JAC_0055_10.aspx)
- ❖ SEMARNAT. (2008). Deshidratador solar de alimentos. Zapopan, Jalisco: *Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico*. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/manual-Deshidratador-Solar-de-Alimentos.pdf>





**ECORFAN®**

**© ECORFAN-Mexico, S.C.**

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/](http://www.ecorfan.org/) booklets)