

## Modelizado De Una Cámara De Ambiente Controlado

Andrea URIBE, Juan C. MONSALVE, Marisol OSORIO

Facultad IEE, Universidad Pontificia Bolivariana, Cir 1 #70-01, Medellín, Colombia,  
andrea.uribe@alfa.upb.edu.co.

Resumen: En este artículo se presenta un análisis del proceso para obtener un modelo aproximado de una cámara de ambiente controlado. Se hace una breve descripción de la cámara, se detallan los pasos para obtener modelos en función de transferencia por medio de la herramienta System Identification Toolbox (Ident) del programa Matlab® , y se compara el comportamiento de algunos modelos obtenidos con el comportamiento real de la cámara. *Copyright © 2015 UPB*

Palabras clave: Cámara de ambiente controlado, Modelizado de sistemas, Función de transferencia, Matlab®.

Abstract: This paper adressed analysis of the process to find a model of a controlled environment chamber. Controlled environment chamber is described, transfer functions obtained using the tool (*Sistem Identification Toolbox (Ident)*) of Matlab® are detailed and the behavior of some models are compared with the actual behavior of the chamber.

Keywords: Controlled environment chamber, Modeling systems, Transfer function, Matlab®.

2013-07-19, s2013-07-18

## 1. INTRODUCCIÓN

El Grupo de Investigaciones Agroindustriales (GRAIN) y el Grupo de Automática y Diseño (A+D) de la Universidad Pontificia Bolivariana, se encuentra ejecutando acciones y desarrollos de investigación para mejorar los equipos con los que se cuenta en el laboratorio que se llevan a cabo en el laboratorio, por ejemplo, la cámara de ambiente controlado que allí se encuentra.

Las cámaras de ambiente controlado son recintos en los que se crean de forma artificial las condiciones necesarias para que se lleven a cabo algunas funciones de los seres vivos, como por ejemplo el envejecimiento acelerado, la micropropagación y el crecimiento de plantas. Además de realizar algunos procedimientos como el control de calidad, la investigación de materiales y sistemas, la estabilidad de productos, el acondicionamiento en húmedo, entre muchas otras aplicaciones, Maestro (2009).

Las cámaras de ambiente controlado se diseñan en función de cada aplicación, teniendo en cuenta variables fundamentales tales como la capacidad de enfriamiento; la capacidad de calentamiento; la capacidad de humidificación; las dimensiones del recinto de ensayo; el formato, compacto o por paneles ensamblables; la masa sometida al tratamiento, conservación o ensayo; la disipación térmica del contenido; y variables adicionales tales como la existencia de gases controlados (contaminación, renovación de emanaciones y atmósferas inertes, entre otros) y simulación solar; entre otros, Maestro (2009).

En el proyecto de grado previo llamado "Cámara de Ambiente Controlado para la Supervivencia de Plantas e Insectos" fue

adaptada dicha cámara, usada en principio para la maduración de cárnicos, en un recinto de control biológico contra el ácaro *Tetranychus Urticae* Koch, Pazos, J. et al. (2013).

En la sección 2 se hace una descripción de la cámara de ambiente controlado con la que se trabaja, en la sección 3 se detalla el proceso para obtener un modelo aproximado de la cámara de ambiente controlado y en la sección 4 se dan las conclusiones.

## 2. CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO

La cámara de ambiente controlado de la Universidad Pontificia Bolivariana está conformada por un sistema de refrigeración por compresión mecánica, un sistema de calefacción por resistencia eléctrica, un sistema de humidificación por resistencia eléctrica sumergida, un sistema de ventilación y un sistema de control de iluminación, Orjuela, B. (2012). A continuación se describen los elementos que componen la cámara de ambiente controlado:

### 2.1. Sensores

- Un sensor integrado de temperatura y humedad relativa con grandes escalas, que determinen el grado de calentamiento o enfriamiento de la cámara generado por los sistemas de calefacción o de refrigeración y el sistema de humidificación.
- Un detector de nivel asociado al proceso de humidificación.

## 2.2. Actuadores

- Un conjunto de lámparas configurables para la iluminación interna del recinto. Con las lámparas es posible simular la luz de la mañana, el día y la tarde para un proceso en específico.
- Una válvula solenoide para abastecer el nivel de agua requerido en el recipiente del sistema de humidificación.
- Un compresor para desplazar el fluido refrigerante por toda la cámara.
- Una resistencia para el proceso de humidificación y otra para el sistema de calefacción.
- Un Ventilador para el sistema de ventilación.

## 2.3. Pulsadores e indicadores

- Un Dos pulsadores, uno para el arranque y el paro de la máquina y un botón para el paro de emergencia de la misma.
- Tres leds indicadores, uno para indicar funcionamiento normal de la cámara, otro para indicar estado de emergencia o evento inesperado y finalmente uno para ver si el compresor está o no en funcionamiento.

## 2.4. Controlador Lógico Programable (PLC)

Se cuenta con un PLC marca Unitronics y de referencia Vision 230 TM. Este PLC comprende una pantalla gráfica de 128 x 64 píxeles y un teclado personalizable. Las I/O se pueden agregar simplemente incorporando un módulo en la parte posterior del PLC y los módulos Snap- I/O vienen en varias configuraciones.

Los módulos de expansión de I/O permiten integrar hasta 316 I/O. El PLC ofrece una amplia gama de funciones embebidas tal como múltiples lazos PID autosintonizables, Intrave (2015).

Para realizar las pruebas en la cámara, se adecua con un control en lazo abierto para el sistema de calefacción, al cual se le cambiará la señal de entrada, el sistema de refrigeración encendido todo el tiempo, un sistema de detección de nivel para llenado automático del recipiente de humidificación, un control por lazo abierto para el sistema de lámparas, simulando la luz del sol en la mañana, al medio día y en la tarde, y el sistema de ventilación encendido todo el tiempo, Osorio M., et al. (2005) .

## 3. MODELIZADO DE LA CÁMARA

Lo primero que se hace es obtener un modelo aproximado de la cámara de ambiente controlado. Se busca el modelo de la cámara con todos sus sistemas en funcionamiento, el sistema de calefacción, el sistema de refrigeración, el sistema de humidificación y el sistema de ventilación, excepto el sistema de iluminación, pues el encendido y apagado de las lámparas varían en función de la hora del día y como las pruebas duran mucho tiempo, es necesario garantizar un sistema constante para modelizar, cuando la cámara de ambiente controlado esté en funcionamiento, el encendido o apagado de las lámparas se tomará como una perturbación, K. Ogata (1998).

Para modelizar la planta se busca una señal adecuada para la entrada del sistema de calefacción y que la salida proporcione toda la información necesaria del comportamiento del

sistema en general, con la entrada y la salida correspondiente, se identificará el modelo por medio de la herramienta *System Identification Toolbox (Ident)* del programa Matlab®, The MathWorks, Inc. (2015).

La señal de entrada se elige tipo escalón, ya que esta proporciona mucha información en la respuesta. Si la señal de entrada fuera un solo escalón, la salida sería pobre de información para hacer un adecuado reconocimiento del modelo, entonces se hace una excitación que proporcione más información y esto se logra con una señal de pulsos pseudoaleatorios. La riqueza de señal consiste en que la entrada sea cambiante para tener mucha información de la correlación entre la entrada y la salida. Es necesario garantizar que el sistema entre en la zona lineal y de ahí en adelante se realizan los cambios en la entrada, no es necesario esperar que el sistema se estabilice, lo que se necesita es poder ver cambios en la salida. En la Figura 1 se puede ver los pulsos pseudoaleatorios seleccionados para el ciclo útil de la resistencia de calefacción y la respuesta de temperatura dentro de la cámara de ambiente controlado. La zona lineal está entre 30% y 50% del ciclo útil de la resistencia de calefacción, por eso se elige 40% como punto de polarización. Primero se proporciona una entrada de 40% por 120 min, esto para garantizar que el sistema entre en la zona lineal, después se generan los pulsos pseudoaleatorios de periodo grande debido a que el sistema es lento.

La herramienta *Ident* permite importar los datos de la entrada y la salida del sistema y arroja la función de transferencia de un modelo válido para el sistema. El modelo que arroja es un modelo de la cámara de ambiente controlado en general, incluye el modelo de los sensores y el modelo de los actuadores.

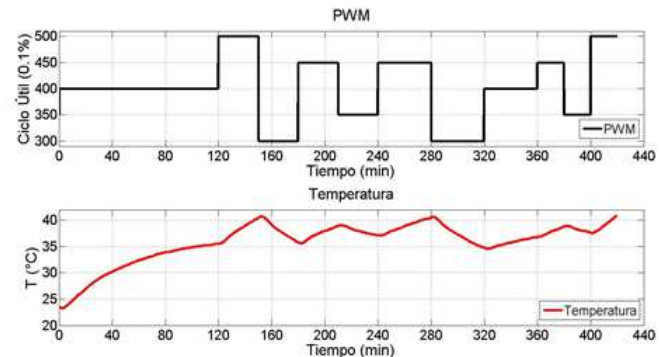


Figura 1. Entrada de pulsos pseudoaleatorios y salida de temperatura

El modelo que se obtiene por medio de la herramienta es un modelo en función de transferencia.

Los pulsos pseudoaleatorios se diferencian en tres intervalos, de 120 min a 240 min hay un cambio en la referencia cada 30 min lo que permite tener cuatro valores diferentes en la referencia, de 240 min a 360 min hay un cambio en la referencia cada 40 min lo que permite tener tres valores diferentes en la referencia y de 360 min a 420 min hay un cambio en la referencia cada 20 min lo que permite tener tres valores diferentes en la referencia del sistema.

La prueba en general y los tres intervalos diferentes, de 120 min a 420, de 120 min a 240 min, de 240 min a 360 min y de 360 min a 420 min respectivamente (ver Figura 1), se sometieron de manera separada a la herramienta de identificación *Ident*. Para todos los casos se obtenían modelos candidatos de primer orden, primer orden con retardo, segundo orden y de tercer orden y todos los modelos obtenidos satisfacían el comportamiento real de la cámara. Por lo que se puede decir que si se realizan pruebas de pulsos pseudoaleatorios, después de haber polarizado el sistema, de cualquiera de los intervalos utilizados, los modelos obtenidos serán adecuados.

Del trabajo de grado realizado previamente en la cámara, se tienen dos modelos,

$$G_1(s) = \frac{0,0495}{2388,75s + 1} e^{-185,25s},$$

$$G_2(s) = \frac{0,0495}{4,099 \times 10^7 s^3 + 4,597 \times 10^5 s^2 + 2574s + 1}.$$

$G_1(s)$  y  $G_2(s)$  satisfacen el comportamiento del sistema sin tener en cuenta el sistema de humidificación y el sistema de iluminación. Para los datos obtenidos a partir de la señal completa de los pulsos pseudoaleatorios se seleccionan dos candidatos, uno de primer orden y otro de tercer orden,

$$G_3(s) = \frac{0,097091}{3360,7s + 1},$$

$$G_4(s) = \frac{0,09749}{670,5s^3 + 3898s^2 + 3360s + 1}.$$

### 3.1. Respuesta al escalón de los sistemas

Para verificar el comportamiento de los modelos, cada uno se somete a diferentes pruebas en las que se pueda comparar su respuesta. En la Figura 2 se puede ver la respuesta al escalón de los modelos, las repuestas se obtuvieron usando el comando `step()` de MatLab®. La respuesta al escalón permite conocer el comportamiento de los modelos ante un fuerte cambio en la entrada, también se puede ver y medir el tiempo de estabilización en la salida. Es posible observar como la respuesta de los modelos  $G_1(s)$  y  $G_2(s)$  tiene un menor tiempo de estabilización y una menor ganancia que la respuesta de los modelos  $G_3(s)$  y  $G_4(s)$ , en todos los modelos el sistema tarda mucho tiempo en estabilizarse, este tiempo es del orden de los 5000 s, que sería igual a 83,33 min.

### 3.2. Respuesta al impulso de los modelos

En la Figura 3 se puede ver la respuesta al impulso de los modelos. La respuesta al impulso se da cuando a la entrada se produce el caso límite de un pulso infinitamente corto en el tiempo y que mantiene su área igual a uno, la respuesta se obtiene usando el comando de Matlab®. Con una entrada tipo impulso es equivalente a someter los modelos a una cantidad muy grande de señales sinusoidales en un amplio rango de frecuencias. La respuesta de los modelos  $G_1(s)$  y  $G_2(s)$

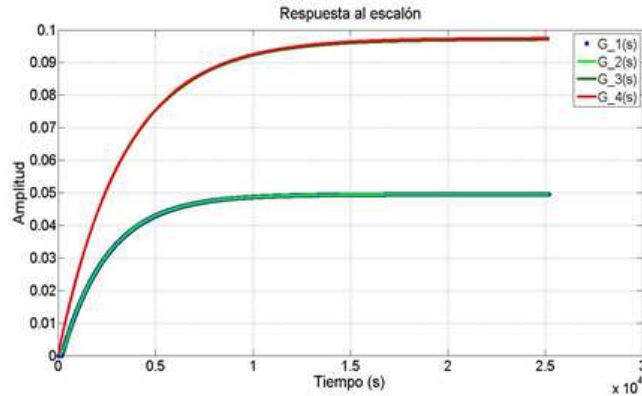


Figura 2. Respuesta al escalón

tiene menor ganancia que la repuesta de los modelos  $G_3(s)$  y  $G_4(s)$ .

### 3.3. Comparación entre la respuesta de los modelos y la respuesta real de la cámara

Ahora, para verificar si el comportamiento de los modelos satisface el comportamiento del sistema real, se superpone la repuesta de temperatura de la cámara de ambiente controlado experimental con la respuesta de cada modelo ante la misma entrada.

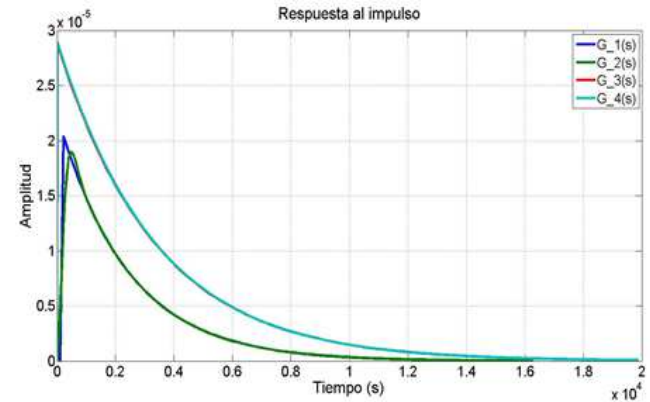


Figura 3. Respuesta al impulso

En la Figura 4 se pueden ver todas las respuestas superpuestas, se ve como las respuestas de las funciones de transferencia  $G_1(s)$  y  $G_2(s)$  son muy parecidas entre sí, pues su comportamiento es muy similar en el tiempo, solo se diferencian en la forma de cambiar de estado de enfriando a calentando o viceversa,  $G_2(s)$  suaviza más el cambio. Las respuestas de los modelos  $G_3(s)$  y  $G_4(s)$  también son similares entre sí, más no se superponen perfectamente.

Comparado la respuesta de los modelos con la respuesta experimental de la cámara de ambiente controlado, las respuestas de los modelos  $G_3(s)$  y  $G_4(s)$  se parecen más a la respuesta real,

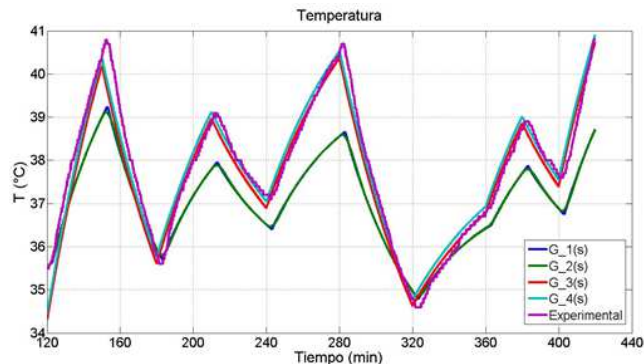


Figura 4. Superposición de las respuestas de los sistemas ante la misma entrada

ya que sus comportamientos son iguales ante cambios en la entrada. Para la respuesta de los modelos  $G_1(s)$  y  $G_2(s)$  son similares con respecto a la respuesta real del sistema, pero se diferencia en la ganancia, pues en la respuesta de los modelos  $G_1(s)$  y  $G_2(s)$  ante cambios en la entrada responde adecuadamente, pero cuando cada paso se prolonga en el tiempo, la respuesta carece de ganancia, esto debido a que los modelos  $G_1(s)$  y  $G_2(s)$  se obtuvieron sin tener en cuenta el sistema de humidificación, pero para los sistemas  $G_3(s)$  y  $G_4(s)$  se tomaron todos los sistemas en general.

#### 4. CONCLUSIONES

Los modelos en función de transferencia obtenidos que satisfacen el comportamiento del sistema, de orden uno y de orden tres, respectivamente son:

$$G_3(s) = \frac{0,097091}{3360,7s + 1},$$

$$G_4(s) = \frac{0,09749}{670,5s^3 + 3898s^2 + 3360s + 1}.$$

Los modelos obtenidos en trabajos anteriores con la cámara ( $G_1(s)$  y  $G_2(s)$ ) tienen un comportamiento similar a la respuesta real del sistema, pero se diferencia en que la respuesta carece de ganancia, esto debido a que los modelos  $G_1(s)$  y  $G_2(s)$  se obtuvieron sin tener en cuenta el sistema de humidificación.

Los modelos obtenidos en el desarrollo del trabajo ( $G_3(s)$  y  $G_4(s)$ ) son modelos que satisfacen el comportamiento general de la cámara de ambiente controlado, ya que sus respuestas en el tiempo son parecidas a la respuesta real del sistema ante la misma entrada.

#### REFERENCIAS

- Maestro (2009). *Cámaras de ambiente controlado*. En línea, <http://ccicalidad.blogspot.com/2009/08/camaras-de-ambiente-controlado.html> [Consultado 10 Julio 2015].
- Pazos, J., J. Cardona, M. Osorio, C. Hincapié, and C. Isaza. (2013). *Cámara de ambiente controlado para la supervivencia de plantas e*

- insectos*. En línea, [http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/\(A\)\\_Ingeniar\\_2013\\_Camara.de.Ambiente.Controlado.para.la.Supervivencia.de.Plantas\\_e\\_Insectos\\_1324.pdf](http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/(A)_Ingeniar_2013_Camara.de.Ambiente.Controlado.para.la.Supervivencia.de.Plantas_e_Insectos_1324.pdf) [Consultado 10 Julio 2015].
- Orjuela B., J. Pablo, I. Roldán, and C. Alejandro (2012). *Diseño y construcción de una cámara de maduración de productos cárnicos a escala de laboratorio*. Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana [Consultado 10 Julio 2015].
- The MathWorks, Inc. (2015). *System Identification Toolbox, Create linear and nonlinear dynamic system models from measured input-output data*. En línea, En línea <http://www.mathworks.com/products/sysid/> [Consultado 10 Julio 2015].
- Unitronics (2015). *System Identification Toolbox, Create linear and nonlinear dynamic system models from measured input-output data*. En línea, En línea <http://www.intrave.com/unitronics.html> [Consultado 10 Julio 2015].
- Osorio, M. and Zuluaga, C. A. (2015). *Procesos Continuos*. U.P BolivarianaBolivariana, Ed.LibreriaU, 2005 [Consultado 25 Junio 2015].
- OGATA K. (2015). *Ingeniería de control moderna*. Pearson Educación, Cap. 2, 1998 [Consultado 2 Junio 2015].

## AUTORES



*Andrea URIBE RENDÓN*, Nació el 19 de Junio de 1991 en la ciudad de Medellín. Bachiller del colegio de la Universidad Pontificia Bolivariana y estudiante de séptimo semestre de Ingeniería electrónica. Actualmente hace parte del grupo de investigación de automática y diseño (A+D) desempeñándose como auxiliar de investigación.



*Juan Camilo MONSALVE MACHADO*, Nació el 12 de Marzo de 1992 en la ciudad de Medellín. Bachiller del colegio San Judas Tadeo promoción 2008 y estudiante de séptimo semestre de Ingeniería Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana. Actualmente hace parte del grupo de investigación de automática y diseño (A+D) desempeñándose como auxiliar de investigación.





*Marisol OSORIO CÁRDENAS*, Ing. Electrónica (UPB, 1993), M.Sc. en Ing. y Especialista en Automática, Dra. en Ing. Eléctrica de la Universidad Nacional Autónoma de México (2009). Profesora Titular e investigadora en la Universidad Pontificia Bolivariana, cofundadora del Grupo de Investigación en Automática (1998) luego fusionado en el grupo A+D, clasificado A1 en Colciencias (2014). Vinculada también al Grupo de Investigación en Gestión de la Tecnología y la Innovación (GTI). Intereses: sistemas no lineales,

observadores y sus aplicaciones, e historia y educación en ingeniería.