

Jean Alejandro Cubillos Rojas
Docente investigador
Institución Universitaria Tecnológica de
Comfacauca
email: jcubillos@unicomfacauca.edu.co
Sede Popayán - Cauca

Modelamiento de un Prototipo de Cámara de Incubación con Ambiente Controlado.

Resumen: el presente artículo aborda el análisis del proceso en una cámara con ambiente controlado, la identificación de las variables críticas y el planteamiento de un modelo para el posterior diseño de los bucles de control automático. En la primera parte se definen las variables y se modela la relacionada con la temperatura. En la segunda parte, se estudia el modelo del actuador, de las demás variables y del disturbio.

Palabras clave: biotecnología, humedad, incubación, modelo, temperatura.

6

INTRODUCCIÓN

El uso de la tecnología para mejorar los procesos de producción en el ámbito agroindustrial ha crecido significativamente en nuestro entorno, por ejemplo, el control automático aporta los medios para la generación de ambientes artificiales que simulan las condiciones naturales.

En este sentido, un laboratorio de biotecnología consta de la implementación de varias áreas donde se realizan diferentes tipos de procesos. Esta investigación se ha centrado en el área del laboratorio conocida como el área de incubación, en donde se deben regular las condiciones climáticas. Realizando el control de la temperatura, la humedad y la iluminación se optimizan los procesos allí realizados, garantizando la obtención de resultados exitosos de investigación y producción, los cuales no dependen sólo de las técnicas biológicas, sino de que éstas se realicen en el ambiente adecuado. La incubación se puede hacer en un cuarto de grandes dimensiones hasta una pequeña cámara incubadora. En este "reporte de caso", se plantea el estudio alrededor de un prototipo de cámara controlada sobre

el cual se realizará el análisis para el modelado del sistema.

Se simulará el Área de Incubación del laboratorio mediante una cámara de aire, dicho prototipo es una estructura de vidrio con dimensiones de 67 cm de largo por 35 cm de ancho y 27 cm de alto. Por encima de ella se ubican luminarias para simular el día y la noche artificialmente, por períodos predeterminados según la etapa del cultivo. Además, se debe proporcionar la forma para disminuir y aumentar la temperatura según al requerimiento del cultivo, mientras se mantiene una humedad relativa que garantice el medio de germinación apropiado. Bajo los argumentos expuestos, el presente documento abordará, especialmente, el comportamiento de la variable temperatura para el futuro diseño de los sistemas de regulación, necesarios para controlar las variables críticas.

VARIABLES Y RANGOS

Temperatura: la temperatura debe controlarse en un rango entre 20°C y 25°C de manera general,

pero pueden ser deseables otros valores o rangos si el objetivo es proporcionar diferentes ambientes climáticos. En un rango entre 12°C y 40°C se pueden simular casi todos los ambientes climáticos productivos. Es importante tener en cuenta que para el control de temperatura se requiere de un actuador que esté en capacidad de aumentar y disminuir la variable. Ni un aire acondicionado ni un calefactor brindan esta posibilidad simultáneamente. Un posible actuador, a utilizar en este caso, podría ser una bomba de calor, que es un equipo que permite controlar la temperatura en ambos sentidos y resulta muy eficiente en cuanto a consumo energético. En el prototipo se cuenta con un aire acondicionado.

Humedad: teniendo en cuenta que el material a procesar es orgánico, de tipo vegetal, es ideal un valor de humedad relativa entre un 70% y 80%. Valores por debajo impedirían el crecimiento y desarrollo, valores por encima de este rango podrían producir descomposición o deterioro del material. Se sabe que un aire acondicionado seca el medio y el calentamiento ambiental producirá incremento de la humedad.

Se debe considerar que el laboratorio requiere de unas condiciones de asepsia, por lo que para deshumidificar es conveniente utilizar una rueda desecante, la cual no hace uso de sustancias nocivas para el ambiente artificial. Para humidificar deberá usarse un actuador por aspersión de microgotas en el flujo de aire. El prototipo no cuenta aún con ninguno de estos actuadores.

Iluminación: la cantidad de iluminación deberá ser variable desde 2000 a 7000 luxes, de acuerdo a la etapa de crecimiento del material, aumentado proporcionalmente con el tiempo. Los actuadores del sistema de control de iluminación son una carga térmica bastante alta para el sistema de control de temperatura, razón por la cual sería conveniente utilizar bombillas fluorescentes de luz fría, las cuales imponen menos carga térmica al proceso.

Se sabe que dichas bombillas trabajan con un valor fijo de voltaje de entrada, por tanto es complicado realizar control de la cantidad de luz variando el voltaje de alimentación, como sucede con las bombillas incandescentes. Debido a esto, se ha pensado que la variable iluminación se puede controlar con un

sistema de control discontinuo, variando la cantidad de luminarias encendidas para diferentes niveles de iluminación.

La siguiente figura representa un mímico de la cámara en cuestión.

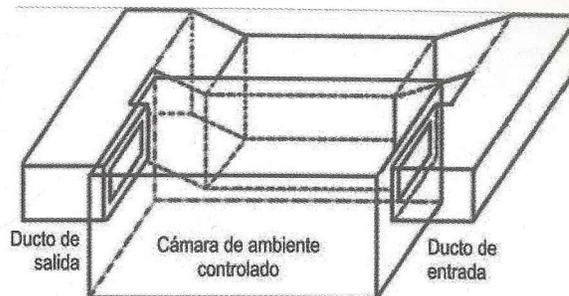


Figura 1. Representación de la cámara y ductos de recirculación de aire.

MODELO MATEMÁTICO DE LA VARIABLE TEMPERATURA.

La formulación del modelo matemático se plantea bajo las siguientes consideraciones: en la cámara sólo se considerará transferencia de calor por conducción, no se realizan renovaciones de aire, el flujo de aire circula en un ciclo cerrado y la masa de aire y la humedad absoluta se mantienen constantes.

Se considera que la planta puede tipificarse bajo los principios de modelado de un sistema térmico, la ley física empleada será la de conservación del calor, la cual plantea que el calor que entra menos el que sale es igual al calor que se acumula. Se plantean las siguientes ecuaciones para la planta:

$$C \frac{d\theta_3}{dt} = q_1(t) - q_2(t) - q_3(t) \quad (1)$$

Donde:

$q_1(t)$: flujo de calor que entra a la cámara

$q_2(t)$: flujo de calor que se pierde a través de las paredes.

$q_3(t)$: flujo de calor que sale de la cámara

$C d\theta_3/dt$: calor acumulado en la cámara. θ_3 es la temperatura del flujo de salida.

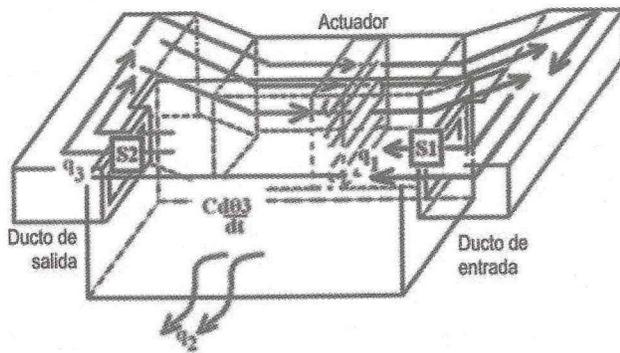


Figura 2. Flujos de calor en la cámara

En el modelado de sistemas térmicos se definen los siguientes parámetros:

- R: resistencia al paso de flujo de calor, dado por la relación entre calor acumulado y temperatura.
- C: capacitancia de la cámara, la cual depende de las dimensiones. Se refiere a la capacidad de almacenar calor, dado por la relación entre cambio de temperatura sobre flujo neto de calor.
- τ : constante de tiempo

Por definición:

$$C = M \times Cp$$

$$\tau_t = RC$$

Donde: M= Masa de aire en la cámara
 Cp = Calor específico del aire
 Ca = Velocidad del flujo en estado estable

Reemplazando:

$$C \frac{d\theta_3}{dt} = CaCp\theta_1 - CaCp\theta_3 - q_2$$

Como:

$$R = 1/CaCp$$

Entonces:

$$RC \frac{d\theta_3}{dt} = \theta_1 - \theta_3 - Rq_2$$

Aplicando transformada de Laplace, con $RC = \tau_t$

$$\theta_3(s) = \frac{\theta_1(s) - RQ_2(s)}{\tau_t s + 1} \quad (2)$$

Considerando que la cámara está aislada térmicamente del exterior no se estiman pérdidas, entonces $Q_2(s) = 0$, y se obtiene la siguiente función de transferencia

que relaciona las temperaturas de salida y de entrada a la planta:

$$\frac{\theta_3(s)}{\theta_1(s)} = \frac{1}{\tau_t s + 1} \quad (3)$$

La ecuación anterior muestra un sistema de primer orden, con un retardo τ_t y asumiendo una ganancia k se obtiene una función de la forma:

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_i(s)} = \frac{k}{s + 1/\tau_t} \quad (4)$$

Parametrización de la función que representa la temperatura.

Para encontrar τ_t y k se ubicaron dos sensores electrónicos de temperatura (LM35), S1 y S2, en el ducto de entrada y salida respectivamente, y se operó el aire acondicionado (actuador) en el ciclo de refrigeración. Una vez se puso en marcha el actuador se tomaron datos de los dos sensores cada 2 minutos. Con los datos del sensor, ubicado a la entrada, se observó un descenso de temperatura ambiental desde 23°C hasta 9,7°C y en el sensor ubicado a la salida un descenso desde 23°C hasta 12,7°C. Como se esperaba la variable temperatura tiene una dinámica lenta, pero después de 30 minutos la temperatura no registró cambios considerables. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos en esta prueba.

Tabla 1. Datos de temperatura en la cámara

T(min)	T° S1	T° S2
0	23,0	23,0
2	19,6	21,2
4	16,8	19,5
6	14,3	17,5
8	13,4	16,4
10	12,5	15,5
12	11,9	14,8
14	11,3	14,2
16	10,9	13,7
18	10,5	13,3
20	10,4	13,0
22	10,0	12,6
24	9,9	12,5
26	9,8	12,3
28	9,7	12,1
30	9,7	12,1

Se observa que la temperatura en el ducto de entrada es más baja, en promedio de 2,6°C que la temperatura en el ducto de salida. Esta variación indica que existen pérdidas de temperatura durante el transporte de la masa de aire, por lo cual se debe mejorar la aislación térmica para poder desprestigiar las pérdidas por las paredes y disminuir esta diferencia de temperatura. Graficando los datos de la tabla 1, se observa un comportamiento exponencial de la temperatura con respecto al tiempo.

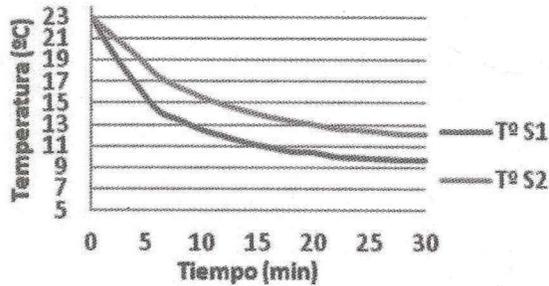


Figura 3. Temperaturas en ducto de entrada y salida

Basados en las gráficas y usando el criterio de $\pm 5\%$ del valor final (se selecciona 10,9°C que es la temperatura promedio en la que se estabiliza la variable) se identifica un tiempo de establecimiento (t_{ss}), 21 minutos. Asumiendo que este tiempo corresponde a 3 veces τt se tiene:

$$\begin{aligned}\tau_t &= t_{ss} / 3 \\ \tau_t &= 21 \text{ min} / 3 \\ \tau_t &= 7 \text{ min}\end{aligned}$$

De acuerdo al modelo de primer orden, obtenido para la planta, la señal de temperatura en el tiempo está definida por $T_{cal} = a + K e^{-t/\tau}$. Se requiere una única función que represente la planta. Promediando los datos de los dos sensores (o curvas) se define un valor final de 10,9°C y un τt promedio de 7 minutos.

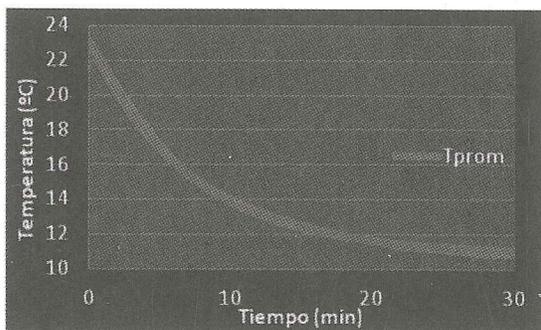


Figura 4. Curva de temperatura promedio y función de temperatura calculada para la planta.

La línea oscura en la figura 4 representa la curva promedio, y usando los parámetros definidos, la línea blanca grafica la función calculada que más se aproxima:

$$T(t)_{cal} = 10,9 \times \mu(t) + 12,1 e^{-t/7} \quad (5)$$

Se propone como función de transferencia para la planta:

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_i(s)} = \frac{10,9}{s} + \frac{12,1}{(s+1/7)} \quad (6)$$

Para confirmar la función de transferencia se aplican teoremas de valor inicial y final:

$$\begin{aligned}\lim_{s \rightarrow \infty} sF(s) &= \lim_{s \rightarrow \infty} s \left[\frac{10,9}{s} + \frac{12,1}{s+1/7} \right] \quad (7) \\ &= 10,9 + 12,1 \\ &= 23,0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lim_{s \rightarrow 0} sF(s) &= \lim_{s \rightarrow 0} s \left[\frac{10,9}{s} + \frac{12,1}{s+1/7} \right] \quad (8) \\ &= 10,9 + 0 \\ &= 10,9\end{aligned}$$

CONCLUSIONES

1. El conocimiento del proceso es fundamental para el modelamiento y la parametrización de los componentes del sistema.
2. La obtención del modelo matemático, aproximado y simplificado, es de gran ayuda para la siguiente fase de diseño de los sistemas de control.
3. El modelo de la planta, que relaciona las temperaturas de salida y de entrada a la cámara, corresponde a un modelo sencillo con ganancias y un retardo de proceso definidos.

REFERENCIAS

- [1] K. Ogata. *Ingeniería de Control Moderno*. 3ª edición. Prentice-Hall, 1998.
- [2] A. Creus. *Instrumentación Industrial*. 6ª edición. Marcombo, 1999.
- [3] J. Díaz. *Instrumentación Industrial. Conferencias de clase*. Popayán: Editorial Unicauca, 1999.
- [4] J.M. Ramírez y E. Rosero. *Sistemas de Control I. Guía de Clase*. Santiago de Cali: Univalle.