

Modelado del sistema de nivel para la operación de sanitizado de lima persa



Colaboración

Rosalía Aguirre Solano; David Lara Alabazares; Mario Pérez Acosta, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

RESUMEN: En este artículo se presenta el desarrollo del modelo matemático y la simulación del sistema de nivel de líquidos de una tina de sanitizado de Lima Persa, usando el software Matlab (Simulink) y la función de transferencia obtenida mediante análisis matemático. Para el presente trabajo se realizaron dos simulaciones del sistema, ya que con estas es suficiente para determinar el valor de la variación de las características de desempeño (tiempo de asentamiento, tiempo de levantamiento, tiempo de retardo, entre otras) del sistema de control, ante una entrada escalón.

Teniendo como resultados un modelo matemático probado en forma general en Matlab que servirá como base para la implementación del sistema completo de control de nivel de la tina.

PALABRAS CLAVE: Automatización, Control, Lima Persa, Modelado, Simulink, Variable.

ABSTRACT: This article presents the development of the mathematical model and the simulation of the liquid level system of a sanitizing tub in Lima Persa, using Matlab software (Simulink) and the transfer function obtained through mathematical analysis. For the present work two system simulations are modified, since with these it is sufficient to determine the value of the variation of the performance characteristics (settling time, lifting time, delay time, among others) of the control system, before a step entrance. Having as a result a mathematical model generally tested in Matlab that serves as the basis for the implementation of the complete tub level control system

KEYWORDS: Automation, Control, Persian Lima, Modeling, Simulink Variables.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las tareas más importantes en el análisis y diseño de cualquier tipo de control es la modelación matemática. Los métodos que más se utilizan hoy en día para modelar sistemas lineales o no lineales son; el método de la función de transferencia y el método de las variables de estado, el último tiene la ventaja que puede ser aplicado a sistemas lineales o no lineales, mientras que el método de la función de transferencia solo se aplica a sistemas lineales (o linealizados) invariantes en el tiempo. [1]

Por lo que la tarea es más compleja, no solo se trata de determinar el modelo matemático, sino como realizar aproximacio-

nes y suposiciones correctas cuando así se requiera. Las simulaciones por computadora serán tan buenas como el modelo usado para realizarlas. Es por esto que dentro de la ingeniería de control moderna se pone especial interés en el modelo matemático de sistemas, para que, con esta herramienta, los problemas de análisis y diseño se puedan resolver de forma adecuada mediante el empleo de las computadoras. [2]

Para este trabajo se realiza la modelación de un sistema de nivel de una tina de sanitizado, por lo que a continuación se describe el proceso de sanitizado de Lima Persa, para comprender lo que se desea obtener y la forma en cómo se debe presentar la modelación.

El proceso de sanitizado de Lima Persa se lleva a cabo posterior a la operación de enjabonado y enjuague de la fruta, actualmente el sistema de sanitizado es manual en una tina de acero inoxidable con una capacidad máxima de 1000 Lts de agua, sin embargo, opera con 800 Lts de agua, que es llenada con una tubería de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, el tiempo de llenado es de 25 minutos aproximadamente.

Posteriormente se suministra manualmente el ácido peracético (450 ml) o cloro (2000 ml), la fruta debe tener un tiempo de inmersión de 1 a 2 minutos. [3]

Los parámetros a considerar para una desinfección eficaz son; nivel, temperatura, desinfectante y sólidos en suspensión [4], ya que al aumentar la cantidad de materia orgánica los microorganismos se adhieren más fácilmente al producto.

En el proceso de santizado el agua de la tina se utiliza durante 4 horas, desinfectando 25 Toneladas de fruta en el proceso.

El monitoreo de la operación lo realiza el encargado de inocuidad, cada hora se mide el nivel de concentración del sanitizante por medio del proceso químico de titulación las partes por millón del ácido peracético deben alcanzar los 80 ppm y el nivel de cloro por colorimetría, el cual debe alcanzar las 200 ppm [5], el nivel de pH se mide con tiras reactivas, por lo que de no obtener la concentración el encargado suministra una mayor dosis de desinfectante, este monitoreo es registrado en una bitácora.

En base al análisis anterior los problemas que se presentan, son debido a que no existe un control continuo de la operación, por lo tanto, no se sabe a ciencia cierta cómo varían los niveles de concentración, ya que depende de la cantidad de materia orgánica que arrastre la fruta además de otras variables, como temperatura del agua y el nivel del agua. Aunado a que no se cuenta con registros de porcentajes de

eficiencia de este proceso. Si el nivel del agua no es monitoreado ni controlado durante el lapso de tiempo de operación, existirá una pérdida de agua, generando una mayor degradación del ingrediente activo del desinfectante, lo que ocasiona que la cantidad de limones que entran al sanitizado no se sumerjan completamente debido al nivel insuficiente de agua por el arrastre que genera la fruta.

Las principales desventajas del proceso actual son:

- Aun con la desinfección se tienen arrastres de residuos y materia orgánica que llegan hasta el consumidor.
- La tecnología utilizada para el sanitizado controlado manualmente, no es suficiente para asegurar la inocuidad de la fruta, afectando la calidad del producto.
- Reclamos de clientes.

Por lo anterior se propone diseñar un sistema de control de nivel por medio de la función de transferencia, que permita visualizar el tiempo de retardo, la ganancia y el tiempo característico de llenado para alcanzar y mantener el estado estable. Para lograr lo anterior se debe obtener un modelo matemático simplificado que permita en forma rápida validar un algoritmo de control.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio abordará el modelado del sistema de control de nivel por medio de la función de transferencia.

Al analizar sistemas que implican el flujo de líquidos, resulta necesario dividir los regímenes de flujo laminar y turbulento, de acuerdo con la magnitud del número de Reynolds. Si el número de Reynolds es mayor que entre 3000 y 4000, el flujo es turbulento. El flujo es laminar si el número de Reynolds es menor que unos 2000. En el caso laminar, tiene lugar un flujo estable en las corrientes, sin turbulencia. Los sistemas que contienen un flujo laminar se pueden representar mediante ecuaciones diferenciales lineales.

Con frecuencia los procesos industriales implican un flujo de líquidos a través de tubos y tanques conectados. El flujo en tales procesos resulta a menudo turbulento y no laminar. Los sistemas que contienen un flujo turbulento se representan a menudo mediante ecuaciones diferenciales no lineales. Sin embargo, si la región de operación está limitada, tales ecuaciones diferenciales no lineales se pueden linealizar. Con el concepto de resistencia y capacitancia para tales sistemas de nivel de líquido, es posible describir en formas simples las características dinámicas de tales sistemas.

Resistencia y capacitancia de sistemas de nivel de líquido. Considérese el flujo a través de un tubo corto que conecta dos tanques. La resistencia R para el

flujo de líquido en tal tubo se define como el cambio en la diferencia de nivel (la diferencia entre el nivel de líquido en los dos tanques) necesaria para producir un cambio de una unidad en la velocidad del flujo; es decir,

$$R = \frac{\text{cambio en la diferencia de nivel, } m}{\text{cambio en la velocidad de flujo, } m^3/\text{seg}}$$

Como la relación entre la velocidad del flujo y la diferencia de nivel es distinta para el flujo laminar y el flujo turbulento, en lo sucesivo se consideran ambos casos.

Considérese un sistema de nivel donde el líquido sale a chorros a través de la válvula de carga a un lado del tanque. Si el flujo a través de esta restricción es laminar, la relación entre la velocidad del flujo en estado estable y la altura en estado estable en el nivel de la restricción se obtiene mediante.

$$Q = KH \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde

Q =velocidad del flujo del liquido en estado estable, m^3/seg

K =coeficiente, m^2/seg

H =altura en estado estable, m

Para el flujo laminar, la resistencia R_1 se obtiene como

$$R_1 = \frac{dH}{dQ} = \frac{H}{Q} \quad (\text{Ec. 2})$$

La resistencia del flujo laminar es constante y análogo a la resistencia eléctrica.

Si el flujo es turbulento a través de la restricción, la velocidad del flujo en estado estable se obtiene mediante

$$Q = K\sqrt{H} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde

Q =velocidad del flujo del liquido en estado estable, m^3/seg

K =coeficiente, $m^{2.5}/\text{seg}$

H =altura en estado estable, m

La capacitancia C de un tanque se define como el cambio necesario en la cantidad de líquido almacenado, para producir un cambio de una unidad en el potencial (altura). (El potencial es la cantidad que indica el nivel de energía del sistema.)

$$C = \frac{\text{cambio en el liquido almacenado, } m^3}{\text{cambio en la altura, } m}$$

Debe señalarse que la capacidad (m^3) son diferentes. La capacitancia del tanque es igual a su área transversal. Si esta es constante, la capacitancia es constante para cualquier altura.

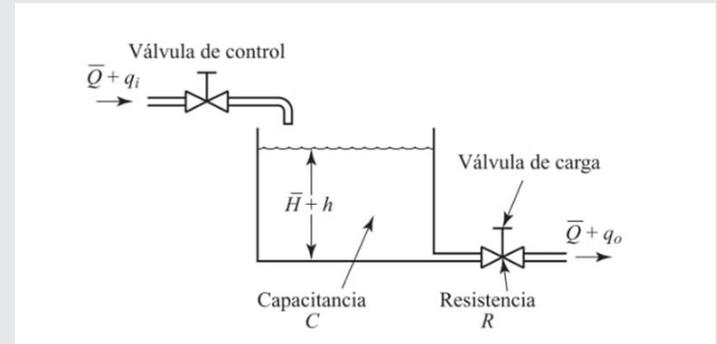


Figura 1. Sistema de nivel de líquidos.

Sistemas de nivel de líquido. Considere el sistema que aparece en la figura 1. Las variables se definen del modo siguiente:

\bar{Q} =velocidad de flujo en estado estable

(antes de que haya ocurrido un cambio), m^3/seg

q_i =desviación pequeña de la velocidad

de entrada de su valor en estado estable, m^3/seg

q_o =desviación pequeña de la velocidad

de salida de su valor en estado estable, m^3/seg

H =altura en estado estable

(antes de que haya ocurrido un cambio), m

h =desviación pequeña de la altura

a partir de su valor en estado estable, m

Como se señaló antes, un sistema se considera lineal si el flujo es laminar. Aunque el flujo sea turbulento, el sistema se puede linealizar si los cambios en las variables se mantienen pequeños. A partir de la suposición de que el sistema es lineal o linealizado, la ecuación diferencial de este sistema se obtiene del modo siguiente. Como el flujo de entrada menos el flujo de salida durante el pequeño intervalo de tiempo dt , es igual a la cantidad adicional almacenada en el tanque, se observa que:

$$C dh = (q_i - q_o)dt \quad (\text{Ec. 4})$$

A partir de la definición de resistencia, la relación entre q_o y h se obtiene mediante

$$q_o = \frac{h}{R} \quad (\text{Ec. 5})$$

La ecuación diferencial para este sistema para un valor constante de R se convierte en

$$RC \frac{dh}{dt} + h = Rq_i \quad (\text{Ec. 6})$$

Obsérvese que RC es la constante de tiempo del sistema. Si se toma la transformada de Laplace en ambos miembros de la Ecuación (4.2), y se supone la condición inicial de cero, se obtiene

$$(RCs + 1)H(s) = RQ_i(s) \text{ donde } H(s) = \int [h] \text{ y } Q_i(s) = \int [q_i] \quad (\text{Ec. 7})$$

Si q_1 se considera la entrada y h la salida, la función de transferencia del sistema es

$$\frac{H(s)}{Q_1(s)} = \frac{R}{RCs + 1} \quad (\text{Ec. 8})$$

No obstante, si q_0 se toma como la salida, y la entrada es la misma, la función de transferencia es

$$\frac{Q_0(s)}{Q_1(s)} = \frac{1}{RCs + 1} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde se ha usado la relación

$$Q_0(s) = \frac{1}{R} H(s) \quad (\text{Ec. 10})$$

RESULTADOS

Se llevaron a cabo dos simulaciones en Simulink de Matlab para mostrar gráficamente como varía la salida (H) con respecto a la resistencia R de la válvula del sistema de sanitizado.

Simulación 1

En la figura 2 se muestra la modelación con una resistencia $R=10$, y una capacitancia $C=0.1456$.

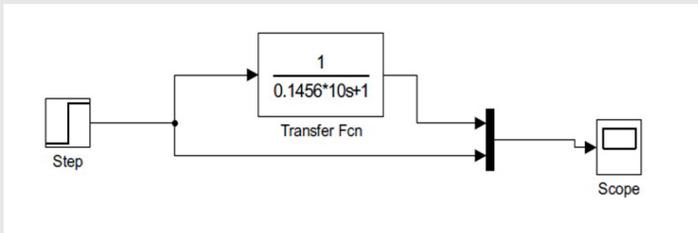


Figura 2. Diagrama esquemático del modelado de la función de transferencia con $R=10$. Elaboración propia.

A continuación, se muestra la gráfica de la respuesta escalón para el sistema anterior.

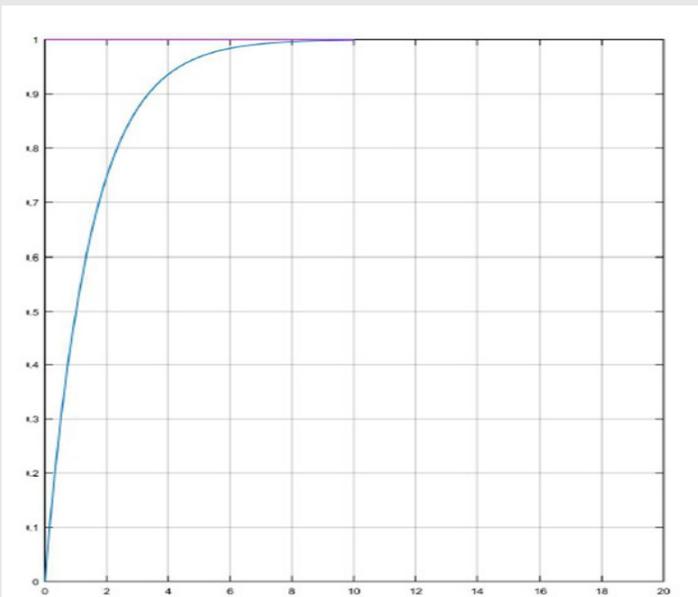


Figura 3. Gráfica de la función H con respecto al tiempo. Elaboración propia.

Simulación 2

En la figura 4 se muestra la modelación con una resistencia $R=30$, y una capacitancia $C=0.1456$.

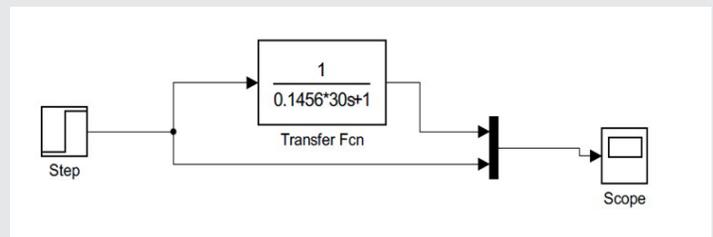


Figura 4. Diagrama esquemático del modelo de la función de transferencia con $R=30$. Elaboración propia.

A continuación, se muestra la gráfica de la respuesta al escalón para el sistema anterior.

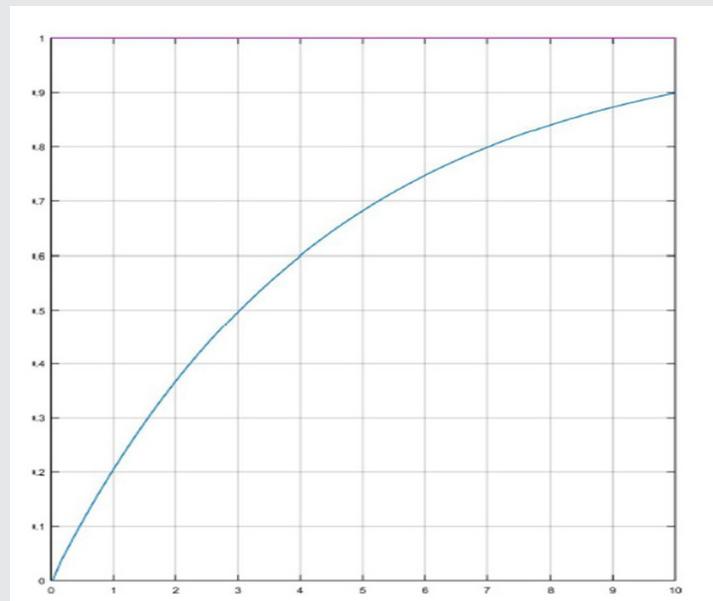


Figura 5. Gráfica de la función H con respecto al tiempo. Elaboración propia.

Puede observarse que en la gráfica de la figura 3 la función alcanza el valor máximo en $t=8$ seg, mientras la función 2 (gráfica 5) alcanza solo el 90% del valor de salida en $t=10$ seg, alcanzando el 100% hasta los 20 seg. Esto en la práctica indica que, si se tienen válvulas de drenado muy grandes, o abiertas a su máxima capacidad, el sistema de control de nivel tardará más tiempo en llegar al punto de consigna. Además, si existe un arrastre de agua considerable estas válvulas deberán permanecer cerradas a porcentajes que equilibren el líquido de entrada.

CONCLUSIONES

Al momento de obtener las gráficas, se observa que la ganancia, el tiempo característico y el retardo de llenado cambian en función de la resistencia, en la cual existe un cambio en la diferencia de nivel del agua, necesaria para producir un cambio en una unidad en la velocidad del flujo, en donde el tiempo de respuesta

aumenta en proporción al aumento de la resistencia, es decir el tiempo que la velocidad alcanza el estado estable depende del valor de la resistencia.

Trabajar con sistemas cuyos tiempos de retardo de transporte (tiempo muerto) y tiempos característicos son elevados implica mayor manejo de los métodos de sintonización de controladores digitales, puesto que el grado del denominador de la función de transferencia discreta aumenta.

Automatizar el nivel de líquidos dentro de cualquier sistema de operación es de vital importancia ya que al mantener controlado este parámetro permite que se obtenga una mayor eficiencia en el desempeño de todas las variables involucradas, además de facilitar el trabajo al operario al tener la opción de dar la instrucción al sistema para que este opere dentro del nivel deseado o requerido.

El desarrollo matemático de este trabajo es un sub-modelo que forma parte de un modelo general para el control automático de toda la operación de sanitizado, y se toma como base ya que en conjunto permitirá construir todo un sistema de retroalimentación de señales, controlando cada una de las variables.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Benjamin C., K. (1996). *Sistemas de Control Automático*. Ciudad de México: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.

[2] Ogata, K. (2003). *Ingeniería de Control Moderna*. Mexico: Pearson Educacion.

[3] Gabriela Garmendia, S. V. (2006). *Metodos para la Desinfeccion de Frutas y Hortalizas*. Horticultura, pp. 18-27.

[4] Rodgers, S., Cash, N., Siddiq, M., & Ryser, E. (2004). *A comparison of different chemical sanitizer for inactivating Escherichia coli 0157:H7 y Listeria monocytogenes in solution and in apple, lettuce, strawberries and cantaloupe*. *Jornal of Food Protection.*, 721-731.

[5] Sapers G.M. 2001. *Efficacy of Washing and Sanitizing Methods for Disinfection of Fresh Fruit and Vegetable Products*. *Food Technol. Biotech.*