

METODOLOGÍA PARA EL APRENDIZAJE DEL CONTROL AUTOMÁTICO DEL PROCESO DE DESTILACIÓN BINARIA, HACIENDO USO DE MATLAB® Y MOODLE

JOSÉ LEONARDO BENAVIDES MALDONADO

Universidad Nacional de Loja

jose.benavides@unl.edu.ec

DIÓGENES MANUEL DE JESÚS BUSTAN JARAMILLO

Instituto Técnico Superior DAB

genobust@hotmail.com

JOSÉ FRANCISCO OCHOA ALFARO

Universidad Nacional de Loja

ochoaalfaroj@yahoo.es

Recibido: 10/01/2018

Aprobado: 20/06/2018

Resumen

En este trabajo se propone mejorar la enseñanza del control automático del proceso de destilación binaria, haciendo uso de una metodología, basada en MATLAB® y Moodle, considerando lo complejo del proceso que se aborda, se analiza por separado, al ser parte de las dos prácticas con las que cuenta el Macrolaboratorio de Formación Conjunta de la Universidad Nacional de Loja (red de universidades que se unen en este Macrolaboratorio para la enseñanza de control automático). Para esto, se consideran datos de un evento IFAC en el espacio de estados, es decir, en matrices, lo cual exige analizar la controlabilidad de las funciones de transferencias que se generan, ya que se está trabajando con un modelo MIMO (Múltiples entradas, 3, Múltiples salidas; seguidamente se simula su comportamiento con la ayuda de MATLAB®, por tal razón esta práctica se habilitó desde la plataforma de la UNL, en forma teórica, hasta que se cuente con el proceso real. Principalmente lo que hace es cerrar el lazo de control con MATLAB® y así reforzar el conocimiento de los estudiantes en un ambiente conocido por los educandos. Luego también se analizaron trabajos similares desarrollados en otros lugares, para comparar los resultados con los obtenidos por este proyecto. Finalmente se escogen los dos algoritmos de control desarrollados, y que son: PID, Lógica Difusa. El que mejor resultados dio al considerar los siguientes parámetros: Máximo pico, Tiempo de levantamiento, Tiempo de estabilización y error en estado estable es el basado en Lógica Difusa.

Palabras clave: petróleo, destilación binaria, prácticas virtuales, PID, lógica difusa.

METHODOLOGY FOR LEARNING THE AUTOMATIC CONTROL OF THE BINARY DISTILLATION PROCESS, MAKING USE OF MATLAB® AND MOODLE

Abstract

In this work we propose to improve the teaching of the automatic control of the binary distillation process, making use of a methodology, based on MATLAB® and Moodle, considering the complexity of the process that approached, it analysed separately. Being part of the two practices that the Macrolaboratorio of Joint Training of the National University of Loja has (the network of universities that join in this Macrolaboratorio for the teaching of automatic control). For this, data of an IFAC event considered in the state space, that is, in matrices, which requires analysing the controllability of the transfer functions that generated, since we are working with a MIMO model (Multiple entries, 3, Multiple outputs, 3). Then its behaviour is simulated with the help of MATLAB®, for this reason, this practice was enabled from the platform of the UNL, in theoretical form, until the real process is available. Mainly what it does is close the control loop with MATLAB® and thus reinforce the knowledge of students in an environment known to students. Later, similar works developed in other places also analyzed to compare the results with those obtained by this project. Finally, it chosen from the two control algorithms generate, which: PID, Fuzzy Logic, which gave the best results when considering the following parameters: Maximum peak, Time of rising, Stabilization time and error in the stable state.

Key words: petróleo, destilación binaria, prácticas virtuales, PID, lógica difusa.

Introducción

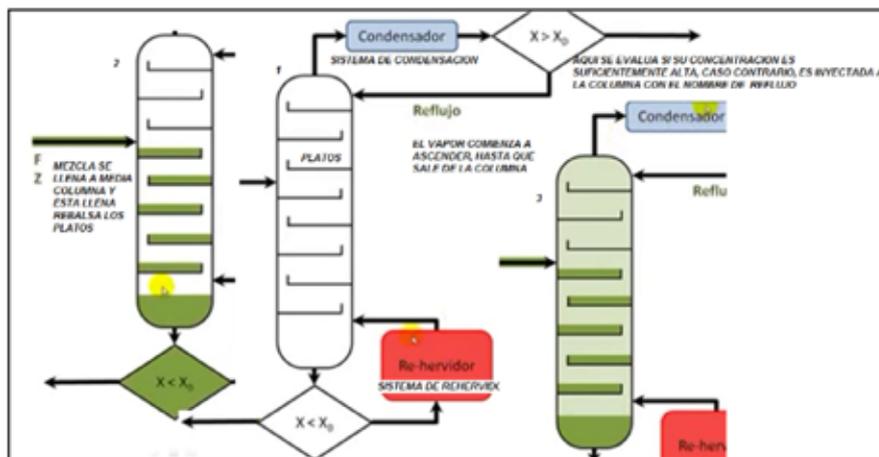
El objetivo de una columna de destilación binaria, es el de separar una mezcla líquida de dos sustancias, con distintos grados de volatilidad, obteniéndose como producto dos flujos a los que se les llamará destilado (D) y sedimento (B, por la denominación en inglés de fondo que es bottom).

1. Concentración de una mezcla.

Es la fracción molar o másica del componente más volátil, es decir, en qué porcentaje está presente en la mezcla el elemento más volátil. El destilado es el que tiene una concentración muy alta cercana a 1, por lo que es casi el elemento más puro volátil. El sedimento tiene una concentración cercana a cero, y es casi el elemento menos puro volátil.

Como ejemplo se puede mostrar la mezcla de separación de alcohol con agua, en donde se deja caer la mezcla de plato en plato, para que se evapore paulatinamente, mientras el vapor sube y sale por la parte superior. Dado que la evaporación del líquido depende del área de contacto y de la evaporación, en cada plato, se busca maximizar esta área de contacto.

Se llena de mezcla desde el fondo hasta rebosar la media columna, y se evalúa si su concentración es suficientemente baja, de no ser así pasa al re-hervidor para ser evaporada, el vapor es forzosamente devuelto a la columna. De igual forma sucede con el reflujo que entra a la columna, repitiéndose nuevamente el ciclo, esto se puede apreciar en detalle en la Gráfica 1 (Hely Jurado Hurtado, 2010).



Gráfica 1. Esquema de una torre de destilación binaria.

Fuente: Hely Jurado Hurtado, 2010.

La destilación es una técnica común para la separación de corrientes líquidas con dos o más componentes y es una de las operaciones unitarias más importantes en la industria química (Luyben, 2014). El diseño y control de una columna de destilación es de gran importancia, ya que permite obtener corrientes de producto con la pureza requerida, ya sea para la venta o para su utilización en otros procesos químicos (Bequette, 1988).

En la mayoría de las industrias las columnas de destilación presentan esquemas de control lineal y generalmente corresponden a controles tipo cascada (Rovaglio, 1999), los cuales deben ser planteados por la dinámica no lineal presentada por este tipo de sistemas (Alzate Ibañez, 2010).

Hay aplicaciones como la que se hace para calcular la presión del pozo en perforación de petróleo, que es esencial para evitar la inestabilidad. En estos casos propone (Hard, B., Sia, H., Huiyn, J., & O.Safonor, 2012), un control PID adaptativo usando el procedimiento sin falsificaciones para regular la presión. Se eligen los parámetros del PID en base a la medición de los datos, en lugar de cualquier modelo hipotético. El sistema elimina las dificultades de sintonizar el PID, incluso sin ningún conocimiento previo del procedimiento para regular y entonces los resultados son rápidos. Además, el enfoque hace que sea un muy prometedor, no solo para la estabilización de la presión, sino también para cualquier problema que requiere que se controle la perforación automáticamente. A modo de ejemplo para mostrar el grado de eficiencia de este método, se aplica el controlador PID adaptativo sin falsificaciones de regular la presión, en un punto determinado en el pozo por medio de un actuador, que es una válvula de estrangulación en la parte superior conocida como adaptador del regulador.

En el trabajo de investigación que se presenta en esta tesis, se plantea el control de algunos de los parámetros más importantes de una columna binaria de destilación, se sugiere abordar el tema del control por desacoplo y su aplicación. En el artículo de (Morilla, F., Garrido, J., & Vázquez, 2013), se resumen todos los aspectos básicos del control por desacoplo y su aplicación a dos procesos representativos: una planta experimental de cuatro tanques acoplados y un modelo 4x4 de un sistema experimental de calefacción, ventilación y aire acondicionado. La interacción entre las variables es una característica inherente de los procesos multivariados, que dificulta su operación y el diseño de sus sistemas de control. Bajo el paradig-

ma de control por desacoplo se agrupan un conjunto de metodologías, que tradicionalmente han estado orientadas a eliminar o reducir la interacción, y que recientemente algunos investigadores han reorientado con objetivos de solucionar un problema tan complejo como es el control multivariable.

1.1. Lógica difusa

Una de las características más importantes de la lógica borrosa, es que permite la utilización del lenguaje natural para representar el conocimiento sobre un sistema mediante lo que se denominan variables lingüísticas. Estas variables toman valores borrosos, valores definidos mediante conjuntos borrosos, los cuales son caracterizados por una etiqueta lingüística. De esta forma, el significado de una variable lingüística puede ser interpretado como una restricción elástica de su valor, es decir, un valor dotado de imprecisión. Esta característica permite la realización de modelos cualitativos de gran valor en diferentes campos del saber, debido fundamentalmente a su capacidad de reflejar de forma fácilmente interpretable fenómenos muy complejos y difícilmente modelables de forma analítica (Grande, J. A., Aroba, J. M., De La Torre, M. I., & Beltran, 2005), (Andújar, J., Aroba, J., Torre, M. L., & Grande, 2006), (Jiménez, A., Aroba, J., De La Torre, M., Andújar, J., & Grande, 2009) (G., 2002), (Ponce Cruz, 2010), (Zadeh, 1973), (Takagi, T., & Sugeno, 1983), (Villeta, M., Lahera, T., Merino, S., Zato, J., Naranjo, J., & Jiménez, 2012).

Desde el punto de vista del control, S. Assilian y E. H. Mamdani, del Queen Mary College de Londres, establecieron en 1974 el primer hito en cuanto a aplicación industrial de la lógica borrosa, el ya histórico primer controlador borroso basado en reglas lingüísticas de un generador de vapor (Mamdani, E., & Assi-

lians, 1975). Este sistema de control basado en lógica borrosa fue uno de los frutos de la Tesis Doctoral de S. Assilian(Assilian, 1974), y supuso uno de los grandes impulsos que recibió la lógica borrosa en sus inicios, los cuales le permitieron pasar de un marco teórico a aplicaciones industriales reales en solo unas décadas.

Importancia del problema

En la actualidad se hace sentir la ausencia de un centro de investigación, desarrollo e innovación en el sur de Ecuador que esté basado en laboratorios virtuales. Este tipo de laboratorio no convencional permitiría la enseñanza de un control más eficaz y especializado en instalaciones de petróleo. Por las razones antes mencionadas es importante y sigue siendo actual, el diseño de laboratorios virtuales en la enseñanza de la ingeniería y su inserción adecuada y didácticamente intencional en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Además se debe destacar que la falta de profesionales capacitados en este proceso hace que las empresas dedicadas a estas actividades contraten mano de obra calificada de otros países, es decir, existe poca inserción laboral de los egresados, de la UNL, en esta área.

Metodología

El beneficio es enorme para las universidades, incluso las más desarrolladas, ya que por su alto costo y su diversidad no pueden contar en muchos casos con todos los laboratorios reales que necesitarían. Especialidades como las ingenierías vinculadas al control automático, mucho menos pueden realizarlo pues al acercarse al proceso industrial con todos sus medios técnicos de automatización al laboratorio se vuelve casi imposible(Ana Isabel González, 2016). Otra razón importante es que el estudiante podrá practicar más desde sus propios domicilios o lugares de trabajo, con las ventajas económicas y de tiempo que esto significa.

1.2. Macrolaboratorio de formación conjunta para sistemas de control automático

Este tiene como finalidad, crear una propuesta de Macrolaboratorio de Control Automático, orientado a permitir el ingreso de los estudiantes de las 5 universidades (Universidad Central de las Villas, en Cuba, Universidad Nacional de Loja, en Ecuador, Universidad de Talca, Universidad de la Frontera y la Universidad del Bio Bio en Chile), y con la colaboración del CEAI_SENA-Regional Valle, Cali-Colombia.

Se crearían grupos conformados por estudiantes de cada una de las instituciones, para que puedan trabajar en forma colaborativa. Esto no solo permitirá crear lazos de amistad, sino también desarrollar actividades conjuntas entre las instituciones involucradas, tanto en la modalidad presencial (el estudiante que está en la institución y que cuenta con el equipo de trabajo) como en la remota (los estudiantes que se encuentran en otra institución).

1.3. Práctica del proceso de destilación de mezclas binarias en la industria del petróleo

La práctica que se va a usar para explicar este proceso tiene que ver con el refinamiento de petróleo, pero para mejor comprensión de los estudiantes, se va a analizar una columna de destilación binaria, que representa una forma simplificada de este proceso. Para esto se van a emplear datos de un evento IFAC que con la ayuda de MATLAB®/Simulink permite conocer su comportamiento.

1.4. Diseño del experimento relacionado con la industria de petróleo, usando Moodle

Se considera para esto, datos de un evento IFAC en el espacio de estados y se simula su comportamiento con la ayuda de MATLAB®, es decir, esta práctica se habilitó desde la plataforma de la UNL. Principalmente

lo que hace es cerrar el lazo de control con MATLAB® y así reforzar el conocimiento de los estudiantes en un ambiente conocido por los estudiantes.

1.5. Planteamiento del problema a estudiar

Los datos de la columna de destilación considerada posee 8 platos, una única etapa de alimentación, un condensador y un re-hervidor, los datos que se utilizan están en el espacio de estados y se pueden apreciar en el siguiente capítulo, que trata acerca de sistemas de control automático y metodología de trabajo para las prácticas de: trituration y de la columna de destilación binaria.

El siguiente ejemplo describe un problema bastante realista de una torre de destilación binaria, y tiene la característica de que la variación de presión está incluida en la descripción del modelo. En el Gráfico 2, se muestra una representación de la columna de destilación a controlar.

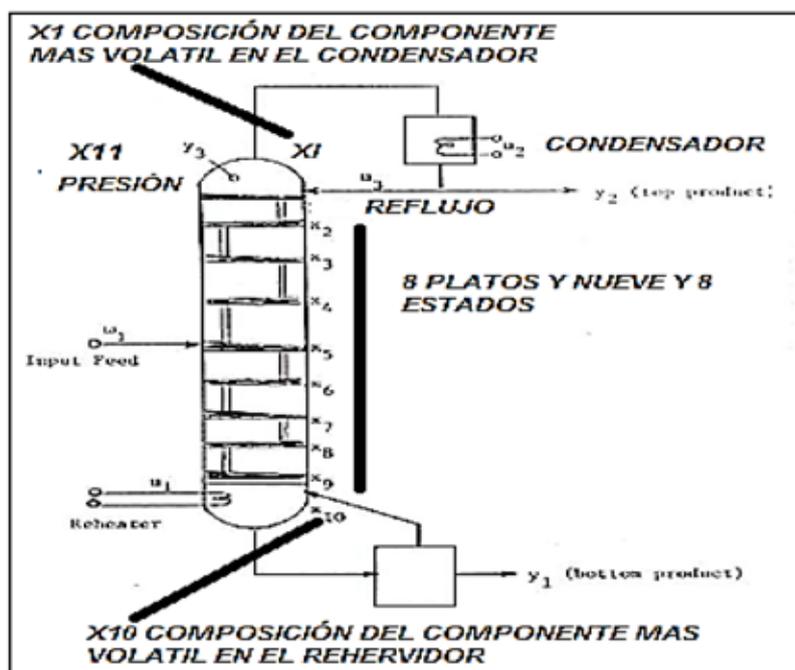


Figura 1. Columna de destilación binaria con variación de presión.

Fuente: E.J.Davison, 1967.

En este problema se escoge la salida medida a usar en el controlador y debe ser considerado a ser parte de la declaración del problema. En general un controlador que usa el menor número de salidas medidas es deseable (E.J.Davison., 1967).

1.6. Implementación de la plataforma con la ayuda de SolidWork y MATLAB®/Simulink.

Se sigue usando la herramienta Moodle para diseñar los ambientes educativos, en este caso el relacionado con la destilación de una mezcla binaria. Así mismo, como en el caso de la trituradora en que se efectuó

un dibujo en SolidWork y luego se importó a MATLAB®/Simulink. En este proceso se hizo lo mismo con la finalidad de realizar una animación en 3D, lo más parecida al sistema real, que le permita al estudiante controlar este proceso. Al adicionar los algoritmos de control que mejores resultados hayan alcanzado. Estas prácticas se realizan en la plataforma Moodle de forma más interactiva con la ayuda de la animación del proceso, tal como se muestra en la Gráfica 3, donde se puede apreciar una captura de pantalla de la columna de destilación binaria.

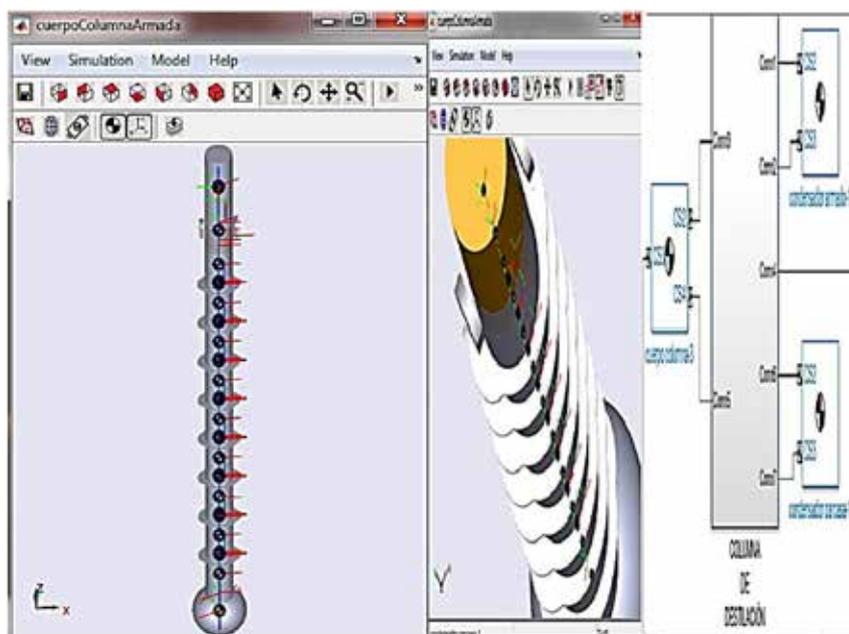


Gráfico 2. Captura de imagen de la pantalla de la trituradora.

Fuente: autor, 2018

Resultados

A continuación, se muestra en la Tabla 1 el resultado que se ha obtenido, cuando se aplican al proceso 2 técnicas diferentes de control avanzado, con una entrada escalón de 100 segundos de simulación, en el caso del control Fuzzy y de 1000 segundos en el caso del regulador basado en LQR. Debido principalmente a esta diferencia de tiempo, es la causa por la cual se demora mucho más tiempo en estabilizarse el proceso con esta última estrategia.

Revisando los resultados obtenidos el control que mejor requisitos cumple es el basado en lógica Fuzzy, ya que el control fundamentado en LQR tiene un gran tiempo de estabilización, sobrepasando los 1000 segundos, excepto en la presión que está alrededor de 290 segundos.

Tabla 1. 7 Resultado de aplicar un controlador Fuzzy y LQR para el lazo de control.

	<i>Controlador I (Fuzzy)</i>									<i>Controlador II (LQR)</i>
	<i>I Grupo de Variables</i>			<i>II Grupo de Variables</i>			<i>III Grupo de Variables</i>			
	Comp. Fondo	Comp. Tope	Presión	Comp. Fondo	Comp. Tope	Presión	Comp. Fondo	Comp. Tope	Presión	
Máximo sobrepico	10%	10%	0%	0%	13.33%	0%	0%	0 %	99%	Es demasiado bajo para ser tomado en cuenta.
Tiempo de estabilización	30 seg	3 seg	0 seg	100 seg	0 seg	0 seg	0 seg	0 seg	113 seg	Sobrepasa los 1000 segundos excepto para la presión que en 290 se estabiliza
Tiempo de subida o levantamiento	1.5 seg	9 seg	0 seg	23 seg	0 seg	0 seg	0 seg	0 seg	2 seg	Es muy pequeño para los 11 estados
Error en estado estable	0.02 atm	0.05 atm	0 atm	0.02 atm	0 atm	0 atm	0 atm	0 atm	0.02	Es muy bajo pequeño en fracción molar

Fuente: autores, 2018

Discusión

Identificar el mejor algoritmo de control, entre los propuestos utilizando datos experimentales encontrados en trabajos anteriores de columnas de destilación binaria y compararlos con datos obtenidos por simuladores que existen en el mercado.

Desarrollar las metodologías de trabajo para cada una de las prácticas implementadas.

Con la validación de los modelos seleccionados, se puede asegurar la selección de la mejor estrategia de control entre las propuestas y que no han sido implementadas en el control de este proceso.

Conclusión

Es importante indicar que el controlador basado en LQR da muy buenos resultados, pero que su implementación es más compleja, ya que es necesario en las simulaciones conocer el valor de los estados intermedios, para su implementación real se necesita de métodos de estimación complejos como los Observadores de Luenberger o los filtros de Kalman, esta es una de las razones por lo que los controladores han encontrado pocas aplicaciones en la práctica y una de las razones más importantes para que no se le tome en cuenta en este trabajo.

Con los resultados obtenidos anteriormente se ha dado solución a varias interrogantes planteadas en esta investigación y que son el controlar las tres salidas que se plantearon en este ejemplo. Esto se logró con la ayuda de un programa elaborado con MATLAB®/Simulink., destacando que ambas estrategias aplicadas como son: LQR y Lógica Fuzzy, brindan resultados muy favorables, pero el control Fuzzy es más flexible a los cambios de parámetros, una vez que se tiene el controlador.

Referencias

- Alzate Ibañez, A. M. (2010). *Modelado y control de una columna de destilación binaria*.
- Andújar, J., Aroba, J., Torre, M. L., & Grande, J. A. (2006). Contrast of evolution models for agricultural contaminants in ground waters by means of fuzzy logic and data mining. *Environmental Geology*, 49(3). <http://doi.org/doi:10.1007/s00254-005-0103-2>
- Assilian, S. (1974). *Artificial intelligence in the control of real dynamical systems*. University London.
- Bequette, B. (1988). *Process Dynamics Modeling analysis and simulati3n*. (Prentice Hall International in the Physical and Chemical Engineering Sciences, Ed.).
- E.J. Davison. (1967). *Control of a distillation column with pressure variation*. (T. I. of C. Engineers, Ed.) (Vol. 45). Toronto, Ontario, C3nada.
- G., M. (2002). *Introducci3n a la l3gica difusa*. In IPN (Ed.) (I). M3xico D.F., M3xico.
- Gonz3lez, A. (2016). *Modelo para la evaluaci3n del informe de oponente*. La Habana.
- Grande, J. A., Aroba, J. M., De La Torre, M. l., & Beltran, L. (2005). Precipitation pH and metal load in AMD river basins an application of fuzzy clustering algorithms to the process characterization. *Journal of Environmental*, 7(4), 325–334. <http://doi.org/doi:10.1039/b410795k>
- Hard, B., Sia, H., Huiyn, J., & O.Safonor, M. (2012). An Adaptive Switching Controller for Pressure Regulation in Drilling. In En P. o. IFAC (Ed.) (Ed.) (pp. 90-94). Prodheim-Norway: Workshop on Automatic Control in offshore Oil and Gas Production.
- Hely Jurado Hurtado, b. e. (2010). *Columna de destilacion binaria*. Retrieved from <http://www.youtube.com/watch?v=sYI-kyDQVTzA&list=PL995A30D46244C35B>
- Jim3nez, A., Aroba, J., De La Torre, M., Andújar, J., & Grande, J. A. (2009). Model of behaviour of conductivity versus pH in acid mine drainage water, based on fuzzy logic and data mining techniques. *Journal of Hidroinformatics*, 2(11). <http://doi.org/doi:10.2166/hydro.2009.015>
- Luyben, W. (2014). *Process Modeling and Control for Chemical Engineers*. (Mc-Graw Hill Intenational, Ed.).
- Mamdani, E., & Assilians, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with fuzzy logic controller. *International Journal of Man Machine Studies*, 7(1), 1-13.
- Morilla, F., Garrido, J., & V3zquez, F. (2013). Control multi-variable por desacoplo. *RLAI (Revista Iberoamericana de Autom3tica e Inform3tica Industrial)*, 10(1), 3-17. <http://doi.org/ISSN:1697-7912>
- Ponce Cruz, P. (2010). Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingenieria. In Alfaomega (Ed.). M3xico D.F., M3xico.
- Rovaglio, M. R. (1999). Rogorous dynamics and feed forward control design for destillation process systems simulation and experimental results computer and chemical engineering., 14.
- Takagi, T., & Sugeno, M. (1983). Derivation on Fuzzy control rules from human operator's control actions. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/showciting?cid=1449901>
- Villeta, M., Lahera, T., Merino, S., Zato, J., Naranjo, J., & Jim3nez, F. (2012). Modelo para la ejecucion eficiente y sostenible basado en L3gica Borrosa. *RLAI (Revista Iberoamericana de Autom3tica e Inform3tica Industrial)*, 9(3), 261.
- Zadeh, L. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3(1), 28–44. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/28725704/2-1973-Outline-of-a-New-Approach-to-the-Analysis-of-Complex-Systems-and-Decision-Processes>