



Universidad Nacional de Loja (UNL)  
ECUADOR

# Metodología para el aprendizaje del control automático del proceso de destilación binaria,

**José Leonardo Benavides Maldonado**, Diogenes

Bustan Iaramillo, José Francisco Ochoa Alfaro

**MATLAB® y Moodle**

Jose.benavides@unl.edu.ec / jbenavides@hot  
@hotmail.com/ ochoaalfaroj@yahoo.es

Universidad Nacional de Loja - Ecuador

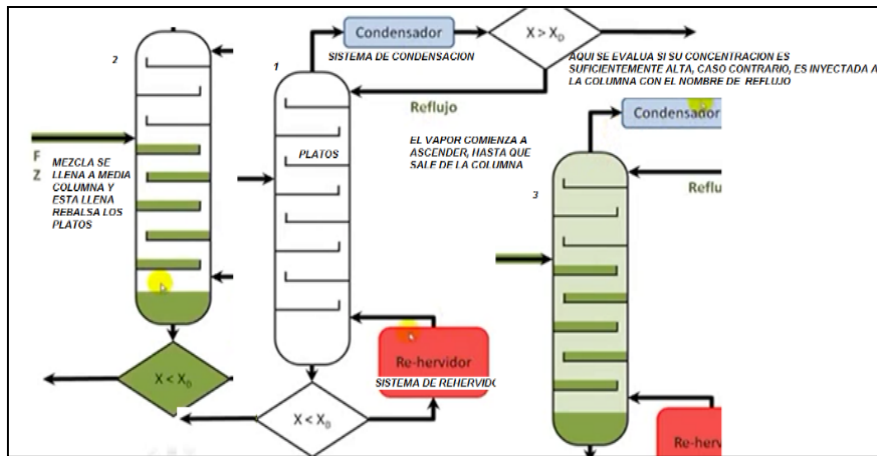
# Introducción

- 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).
- 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).

# El proceso de destilación

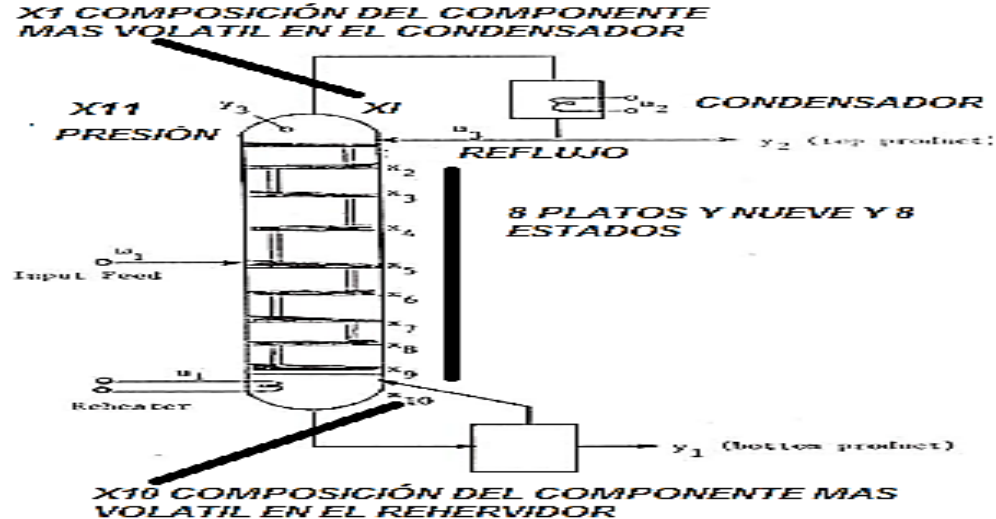
- Destilación binaria:
  - Rehervidor;
  - Condensado;
  - Columna por platos;
  - Válvulas de control de flujos;
  - Concentración;
  - Productos resultants, sediment y destilado.
- La principal función es la separación de una mezcla binaria, en una sustancia mas y menos volátil.

# El proceso de destilación



- El trabajo se hizo por una columna por platos como la que se muestra en la parte superior;
- 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)

# El proceso de destilación



- Los datos de la columna de destilación considerada posee 8 platos, una única etapa de alimentación, un condensador y un reboilador, 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: trituración 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.

# Lógica Difusa

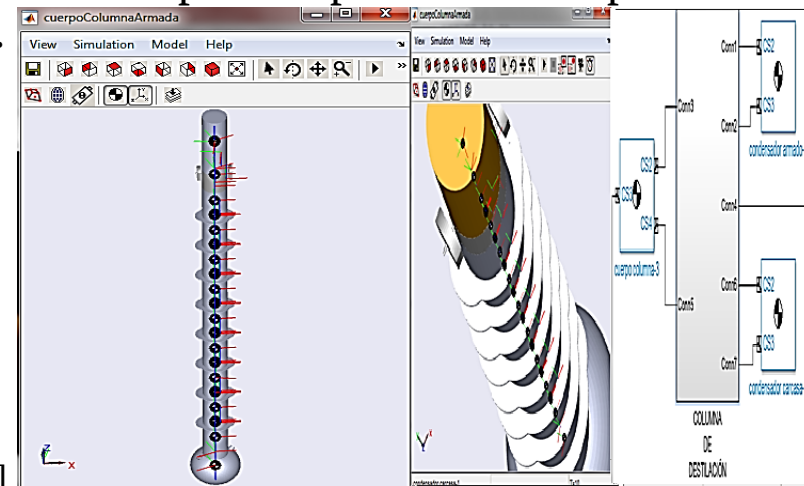
- Una de las características más importantes de la lógica borrosa, es que permite la utilización del lenguaje natural para representar el conocimiento sobre un sistema mediante lo que se denominan variables lingüísticas. Estas variables toman valores borrosos, valores definidos mediante conjuntos borrosos, 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

# PID

- Ganancia Proporcional, Integral y Derivativa

# Experimentos Resultantes

- 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 alcanzados. 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.



Metodología para el aprendizaje del proceso de destilación binaria, haciendo uso de MATLAB® y Moodle.



# 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 esta alrededor de 290 segundos.

# Resultados

	CONTROLADOR I (FUZZY)									CONTROLADOR II (LQR)
	I GRUPOS DE VARIABLES			II GRUPO DE VARIABLES			III GRUPO DE VARIABLES			
	COMP. FONDO	COMP. TOPE	PRES-IÓN	COMP. FONDO	COMP. TOPE	PRES-IÓN	COMP. FONDO	COMP. TOPE	PRES-IÓN	
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

Metodología para el aprendizaje del control automático del proceso de destilación binaria, haciendo uso de MATLAB® y Moodle.

# 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.

# Conclusions

- 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.

---

# Gracias!

## Contactos:

**José Leonardo Benavides Maldonado**

**Diogenes Bustan Jaramillo,**

**José Francisco Ochoa Alfaro**

**[jose.benavides@unl.edu.ec/](mailto:jose.benavides@unl.edu.ec)**

**[genobust@hotmail.com/](mailto:genobust@hotmail.com)**

**[ochoaalfaroj@yahoo.es](mailto:ochoaalfaroj@yahoo.es)**



Universidad Nacional de Loja (UNL)  
ECUADOR

---

Metodología para el aprendizaje del control automático del  
proceso de destilación binaria, haciendo uso de MATLAB®  
y Moodle.