

PROTOTIPO PARA LA SOLUCIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN DE UNA CALDERA PIROTUBULAR MEDIANTE COMPUTACIÓN INTELIGENTE

PROTOTYPE FOR THE SOLUTION OF PRESSURE CONTROL THROUGH AN INTELLIGENT COMPUTER shell boiler

Resumen

Con la presente investigación se promulga el estudio de la inteligencia computacional aplicada al control inteligente que es la disciplina en la cual se desarrollan algoritmos de control que emulan ciertas características de los organismos biológicos inteligentes. Dentro del campo de computación inteligente desarrollado en la maestría se estudió la lógica difusa, como un paradigma de programación que tiene aplicación en sistemas de toma de decisiones con gran incertidumbre, por esta razón se aplica en el diseño de un control de presión y finalmente se comparó con los controles convencionales PID.

Palabras clave— control inteligente, controles PID, inteligencia computacional, lógica difusa.

Ricardo Navarro AI

Universidad Distrital

Msc Ingeniería Industrial

r11navarroa@hotmail.com

Joaquín Javier Meza

Universidad distrital

Msc. Ingeniería Sistemas

jjmeza@gmail.com

Tipo de artículo: Reflexión

Recibido: 2014-04-05

Aceptado: 2014-06-05

ABSTRAT

With this research promulgating the study of computational intelligence applied to intelligent control is the discipline in which they develop control algorithms that emulate certain characteristics of intelligent biological organisms. Within the field of intelligent computing expertise developed in the study is fuzzy logic as a programming paradigm that has application in decision making systems with uncertainty, therefore we applied in the design of a pressure control and finally compared with conventional PID control.

Key Word — computational intelligence, fuzzy logic, intelligent control, PID control.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que debe resolver la industria nacional para ser competitiva a nivel mundial, es el control y la automatización de los equipos y procesos productivos y para que sea de una manera

eficiente estos se deben controlar de acuerdo a las últimas tecnologías. [1].

Se podrá determinar las ventajas que tienen los controles que utilicen el paradigma de lógica difusa, tanto en la eficiencia de los mismos, como la facilidad para utilizar dichas técnicas en el control de sistemas.

Para el desarrollo del software se conceptualiza el problema, se plantea su modelo y finalmente se realiza la simulación del modelo para poder analizar los resultados y hacer las comparaciones con los sistemas PID convencionales.

2. CONTENIDO

2.1 SISTEMAS DE PRESIÓN [2]. Función de transferencia.

Considérese el sistema de presión de la figura 1. Si sólo se suponen desviaciones pequeñas en las variables a partir de sus valores en estado estable respectivos, este sistema se considera lineal.

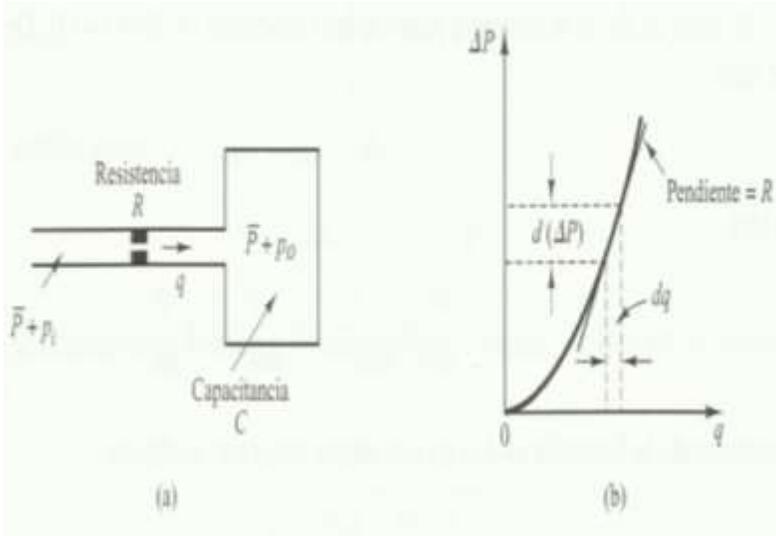


Figura1. Diagrama esquemático de un sistema de presión, Fuente: Katsuhiko Ogata, Ingeniería de control moderna.

Si p_i y p_o se consideran la entrada y la salida, respectivamente, la función de transferencia del sistema se muestra en la ecuación (2-1)

$$\frac{P_o(s)}{P_i(s)} = \frac{1}{RCs+1} \quad (2-1)$$

Donde RC tiene la dimensión del tiempo y es la constante de tiempo del sistema.

2.2 Lógica difusa.

La lógica difusa puede ser descrita como un sistema interpretativo, en el cual los objetos o elementos son relacionados con conjuntos de fronteras no nítidamente definidas, otorgándoles un grado de pertenencia relativa o graduada y no estricta como es de

costumbre en la lógica tradicional. En un sentido más amplio se podría decir que existe una especie de interpolación entre una frontera y otra, o bien, entre un conjunto y otro, este sistema se desarrolla totalmente en la parte que describe la metodología.

3. Metodología. (MATLAB) [3].

Para el desarrollo de la presente investigación, se asume una metodología correspondiente a la investigación proyectiva, donde el objetivo general es proponer un programa de software, que realice el control de la variable propuesta.

Se procede a diseñar un s*-sistema en base a lógica difusa mediante el cual se puede controlar de buena forma el caudal del sistema y de manera indirecta la presión que esta genera. Para ello, se emplea un controlador que recibe como entradas el error e , definido como la diferencia de la presión medida en un instante y el punto de referencia deseado (125 PSI) $e = p_{ajuste} - p_{instantanea}$; la derivada del error $\delta e / \delta t$, y la acumulación del error $\int e(t) \delta e$. Este controlador entrega una salida proporcional a la variación del caudal e indirectamente a la variación de la presión. Para este diseño se emplearon tres conjuntos

difusos para cada variable de entrada al controlador, cinco conjuntos difusos para la variable de salida, nueve reglas de control con estructura IF – THEN, funciones de pertenencia triangulares, implicación mediante el operador min y defusificación mediante el método del centroide.

Para implementar este controlador, se utilizó el toolbox de lógica difusa (*Fuzzy logic toolbox*) de MATLAB 10.0. Para ingresar a él se emplea el comando *fuzzy*, el cual permite trabajar en la ventana *FIS Editor*, donde se puede seleccionar el número de entradas y salidas del controlador, así como también se permite rotular dichas variables, tales como se aprecia en la figura 2.

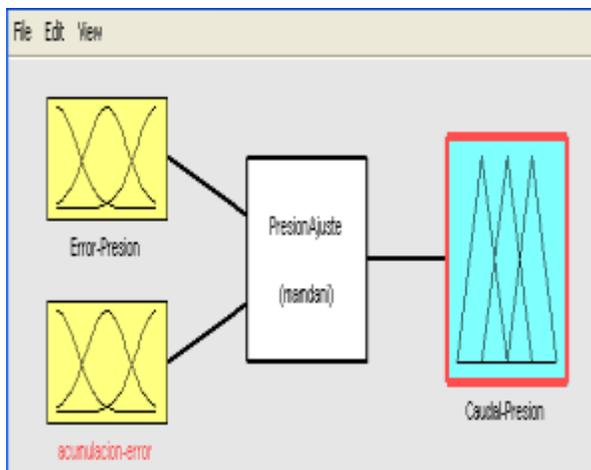


Figura 2. Diagrama de bloques del controlador fuzzy.

El universo de discusión empleado de acuerdo a la experiencia del técnico para la variable de entrada, el error de la presión fue de 0 a 125 PSI, que es el rango de funcionamiento de la caldera, inicia en cero PSI y dependiendo del caudal de combustión va aumentando la presión hasta alcanzar la presión máxima de funcionamiento de 125 PSI. En este caso se emplearon funciones de pertenencia triangulares, con valor bajo entre 0 PSI y 62 PSI, valor medio entre 0 PSI y 125 PSI y valor alto entre 62 PSI y 125 PSI, como se aprecia en la figura 3.

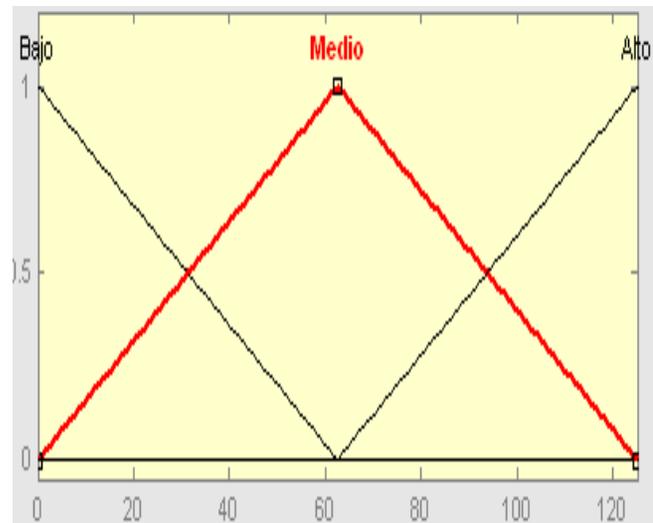


Figura 3. Funciones de pertenencia para la variable error presión

En el caso de la acumulación del error en función del tiempo el universo de discusión es

de 0 PSI a 125 PSI, que se basa en el criterio de que la caldera no genere una presión superior a esta. En este caso se emplearon funciones de pertenencia triangulares, con valor bajo entre 0 PSI y 62 PSI, valor medio entre 0 PSI y 125 PSI y valor alto entre 62 PSI y 125 PSI, como se aprecia en la figura4.

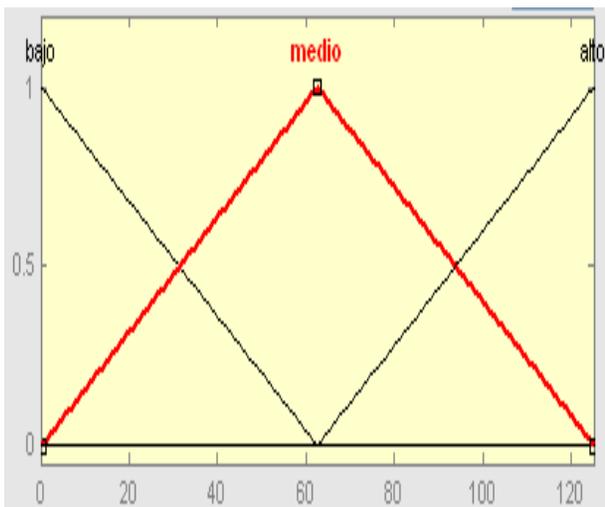


Figura4. Funciones de pertenencia para la acumulación del error

Para la salida del controlador Fuzzy, se empleó un universo de discusión de 0 PSI a 125 PSI.

Esta presión es la que suministra el simulador y se determinaron funciones de

pertenencia triangulares definidas en los rangos: muy bajo entre 0 PSI a 30 PSI, bajo entre 0 PSI a 62 PSI, medio entre 30. PSI a 96 PSI, alto entre 62 PSI a 125 PSI y muy alto entre 96 PSI a 125 PSI con las variaciones descritas en la figura 5.

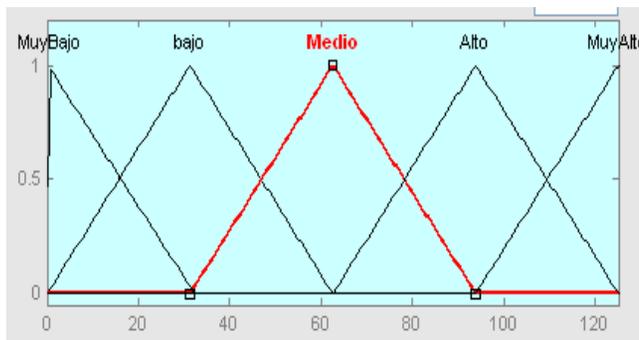


Figura 5. Funciones de pertenencia para la salida del controlador fuzzy

3.2 Reglas de control

Al combinar las variables de entrada y determinar las posibles salidas de una manera matemática se define el siguiente procedimiento.

Tabla 1.Reglas de control

		Acumulación del error		
		$\int e(t)dt$		
		Bajo	Medio	Alto
error $e = p - pi$	Bajo	Medio	Medio	Alto
	Medio	Bajo	Bajo	Medio

	Alto	Muy Bajo	Muy Bajo	Bajo
--	------	----------	----------	------

Una vez que se han definido las funciones de pertenencia correspondientes, se puede ingresar el conjunto de reglas que se muestra en la tabla 1 en la ventana *Rule Editor*, tal como se muestra en la figura 6.

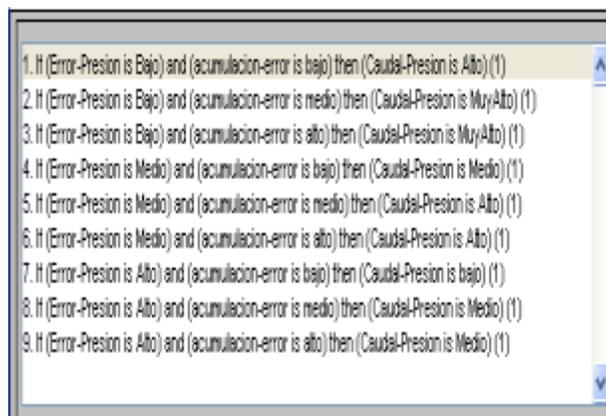


Figura 6. Reglas de control en la ventana Rule Editor

3.3 Método de defusificación

La salida que genera el mecanismo de inferencia es una salida difusa, lo cual significa que no puede ser interpretada por un elemento externo que solo manipule información numérica. Para lograr que la salida del sistema difuso pueda ser interpretada por elementos que solo procesen información numérica, hay que convertir la salida difusa del

mecanismo de inferencia en un valor puntual; este proceso lo realiza el defusificador, como se describe en la figura 7.

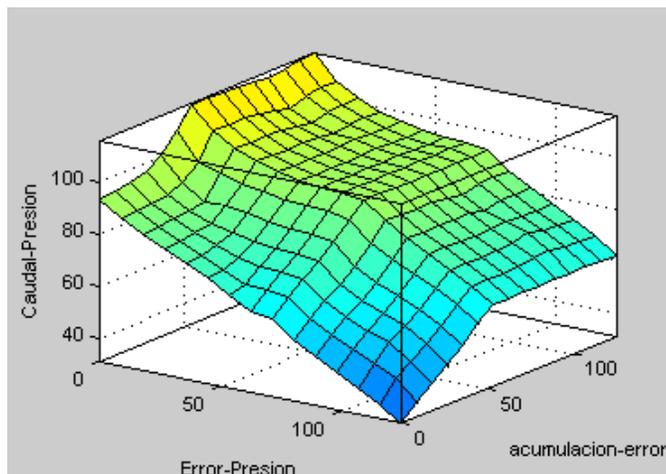
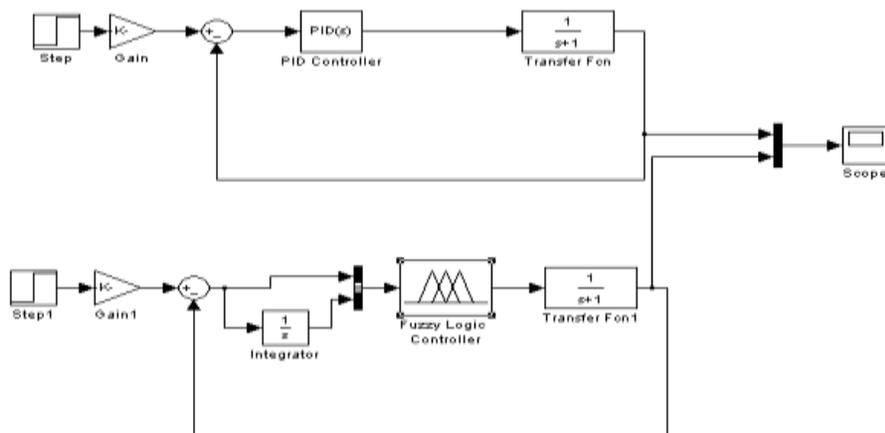


Figura 7 valores de salida del control.

3.4 Adaptación de la salida del controlador

Dado que la salida del controlador Fuzzy es proporcional a las variables de entrada error y acumulación del error y este valor debe modificar el comportamiento de la planta a



controlarse se crea un lazo de control cerrado para simular un sistema y poner a prueba el funcionamiento del control diseñado. El valor de salida puede ser normalizado entre 0 y 1 para el caudal o entre 0 PSI a 125 PSI para la medida de la presión siendo estas medidas inversas mayor caudal menor presión, en la figura 8 se observa como quedo diseñado el controlador Fuzzy

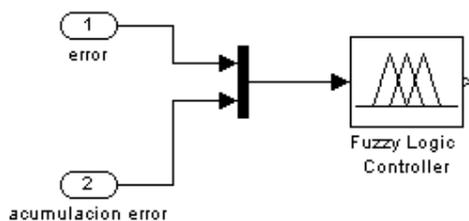


Figura 8. Esquema del controlador

3.5 Lazo de control

Para modelar sistemas, Simulink tiene una interface gráfica que sirve para construir modelos como diagramas de bloques. Para este propósito, simulink incluye una biblioteca de componentes lineales y no lineales, fuentes, sumideros y conectores. Además, el usuario puede crear sus propias componentes como en este caso que se creó un software de control fuzzy y se muestra en la figura 9.

Figura 9. Diagrama de bloques del lazo de control

4. Resultados.

En el esquema se puede observar el lazo de control cerrado empleado, donde se ve que la salida de la planta se compara con la referencia para determinar el error y también la acumulación del error, características intrínsecas del sensor de presión, estas señales ingresan al controlador FUZZY y este genera una salida que para esta simulación corresponde a la presión interna del sistema como se especifica en la tabla 1

reglas de control. El comportamiento de los dos sistemas se observa en la figura 10.

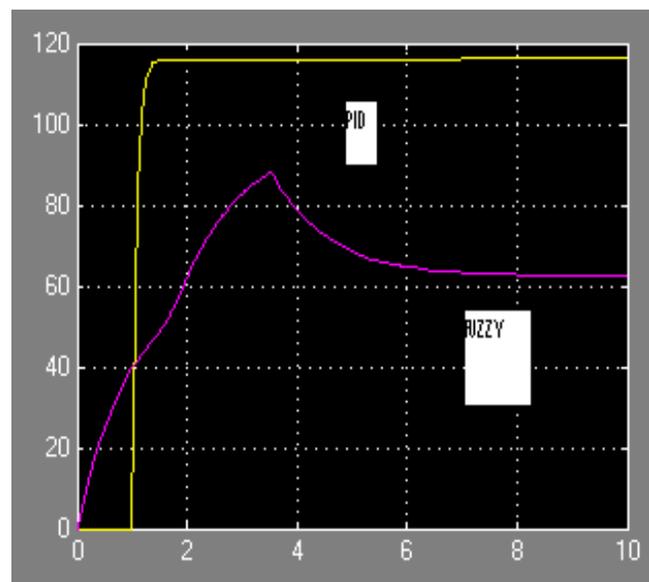


Figura 10. Comparación de las respuestas dinámicas entre el control PID clásico y el control Fuzzy

Para el control PID se tomó un valor de ancho de banda proporcional aproximado de 12,5, para el tiempo de integración se toma 0.08 segundos y para el factor RC se tomó un valor de 1, de los bloques transfer Fnc y transfer Fnc1.

Los resultados de ajustar las diferentes variables para establecer una comparación entre los dos sistemas de control, para este caso se observa que la curva del control PID tiene su comportamiento característico de donde alcanza un valor máximo de 115 PSI en un tiempo aproximado de 2 segundos y después el sistema se estabiliza en ese valor.

Para el control difuso se observa que tiene la curva característica pero más aplanada y el valor máximo lo alcanza en 100 PSI, gastando un tiempo de 5 segundos, luego descende y se estabiliza en 60 PSI.

Analizando la comparación entre la respuesta del sistema ajustado con control PID clásico y la respuesta con el controlador Fuzzy, la cual se aprecia en la figura 17, se observa que ambos métodos presentan dinámicas muy similares, por lo tanto si realiza el control sobre el sistema, sin embargo habría que determinar si la forma

del sistema Fuzzy se puede modificar para igualar el comportamiento PID o si la variación que se nota no es relevante para el uso de este control en el caso específico de sistemas de presión, tema para desarrollar en otra tesis de grado.

5 CONCLUSIONES

La respuesta del programa del control Fuzzy, tiene la característica de ascender hasta 95 PSI en 3 s y después caer a 63 PSI en 6 s y estabilizarse logrando el objetivo de control, se necesitan unos ajustes, tema que sería de otra tesis.

Las variables del control se especificaron de acuerdo al conocimiento del experto y con esto se programó el control Fuzzy que genere el control y la gráfica en discusión.

El paradigma de lógica difusa no requiera de un modelo riguroso de la planta a controlar lo que facilita en gran medida el proceso de diseño del controlador, sobre todo cuando la determinación cuantitativa de los parámetros del sistema se hace compleja frente al comportamiento del control PID, no lo reemplaza totalmente y en vista de que no resulta sencillo introducir modificaciones al controlador Fuzzy se tiene esta desventaja frente al controlador clásico, queda por demostrar si esta diferencia es relevante para la utilización del control en algunos casos específicos, tema de otra tesis.

La aplicación específica de los sistemas de control Fuzzy dependerá de la aplicación específica, si son relevantes las diferencias de tiempo, comparadas con la facilidad de diseñar los sistemas de control fuzzy, tema de tesis de investigación.

En lo que se refiere al valor máximo de funcionamiento, se puede ajustar con unos factores de construcción, como 1,2 que multiplique el valor deseado y así obtener el valor requerido, tema de una tesis de investigación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] CHENG, C.M. ; Rees, N.W, Hierarchical and heuristic fuzzy model based control of drum-boiler power plant, Pág. 629. IEEE. 1997

[2] OGATA Katsuhito, Ingeniería de control moderna, 5a edición, 2008, Pág. 109, ISBN 978-84-8322-660-

[3] Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide