

Control PI difuso aplicado en tiempo real para la regulación de Caudal

William Torres Hernández¹, Rosalío Farfán Martínez¹, Luz del Alba Cambrano Brabata¹

**¹Universidad Tecnológica de Campeche, Carretera Federal 180 s/n, San Antonio Cárdenas, Carmen, Campeche. México. C.P. 24381. Tel: 01 (938) 3816700, ext. 121
{williantorreshernandez, farfan678}@hotmail.com**

I. Resumen

En este trabajo se muestra el diseño y la aplicación de un controlador Pi difuso, el cual es probado primero en simulación y posteriormente en tiempo real con una pequeña perturbación, finalmente el controlador PI difuso es comparado con un controlador PI clásico demostrándose su buen funcionamiento.

Palabras Claves: Lógica, Difusa Controlador PI, Caudal.

II. Introducción

Los sistemas basados en lógica borrosa o difusa emulan la manera en la que el cerebro razona o piensa ya que permite tratar información imprecisa como, temperatura elevada, estatura media en términos de conjuntos difusos. Estos conjuntos se combinan en reglas para definir acciones, de esta manera los sistemas de control basados en lógica borrosa combinan unas variables de entrada por medio de grupos de reglas que producen uno o varios valores de salida (Martín del Brío & Sanz Molina, 2011). Esta lógica presenta grados de membresía dentro de un intervalo entre cero y uno, a diferencia de la lógica convencional en la que el rango se limita a dos valores cero y uno (Ponce Cruz, 2012). Los conjuntos difusos fueron introducidos por Lofti. A. Zadeh profesor de ciencias de la computación en la Universidad de Berkeley California, a mediados de los años

sesenta (Zadeh, 1965) para procesar datos afectados de incertidumbre no probabilística.

El empleo de la lógica difusa en los sistemas de control da lugar a lo que se llama sistemas de control difuso en el cual se utiliza la experiencia de un operador humano para construir un controlador que emule el comportamiento de tal persona, comparado con el control tradicional el control difuso tiene dos ventajas prácticas una es que el modelo matemático del proceso no es requerido y otra es que se obtiene un controlador no lineal desarrollado empíricamente sin complicaciones matemáticas.

En el caso particular de este trabajo lo que se pretende es diseñar un controlador PI difuso que permita regular el caudal de un fluido, el controlador difuso determinará los valores de la ganancia proporcional K_p y de la ganancia Integral K_i teniendo como entrada la señal del error y la integral del error, esto es el controlador difuso sintonizará sus valores de acuerdo a la base de reglas difusas tipo Mamdani que permiten expresar el conocimiento que se conoce sobre la relación entre antecedentes y consecuentes.

III. Descripción del equipo

En la figura 1 se muestra un diagrama a bloques de la interconexión equipo empleado en este trabajo, estos son: un módulo regulador de voltaje PWM, una bomba de agua centrifuga, un sensor de caudal y una tarjeta de adquisición de datos la DAQ PCI6071E Esta conexión es realizada para obtener datos de entrada y salida del proceso.

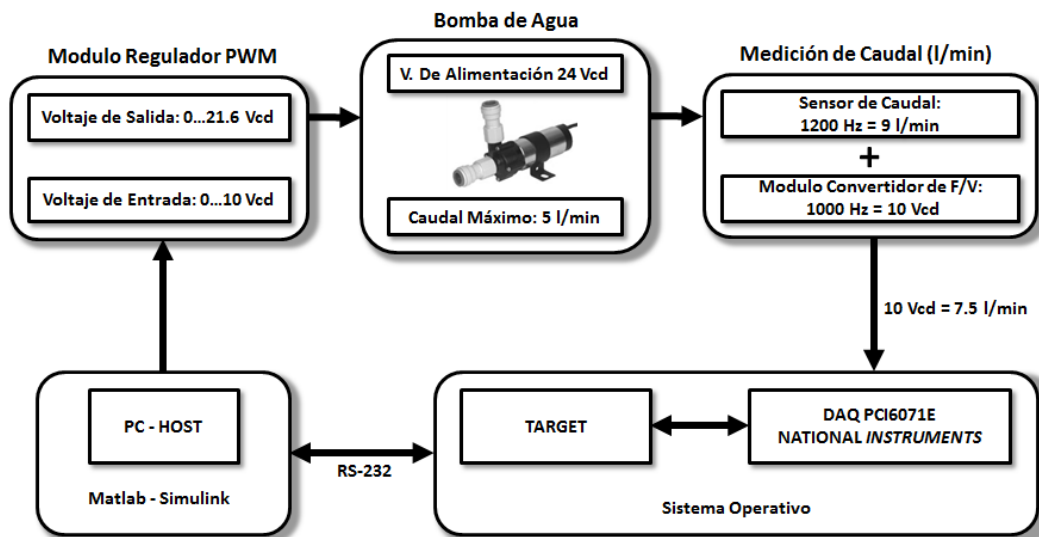


Figura 1. Diagrama a bloques de la conexión del equipo regulador de caudal.

El proceso a controlar corresponde a un sistema de primer orden cuya función de transferencia en lazo abierto se muestra en la ecuación (1):

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0.441e^{-0.12s}}{1.254s + 1} \quad (1)$$

Esta función de transferencia es empleada para probar en simulación el controlador PI difuso.

IV. Diseño del Controlador PI Difuso

Los sistemas expertos de control difuso basado en reglas, conocidos como controladores difusos o FLC (fuzzy Logic Controllers), o también, sistemas de inferencia difusa o FIS (fuzzy Logic Systems) son los más empleados en la lógica difusa.

El método de Ziegler-Nichols es empleado para calcular las ganancias pero en este caso estas son calculadas a través de un controlador difuso que utiliza como entrada el error y la integral del error (Ponce, 2010) esto se puede ver en el diagrama a bloques de la figura 2.

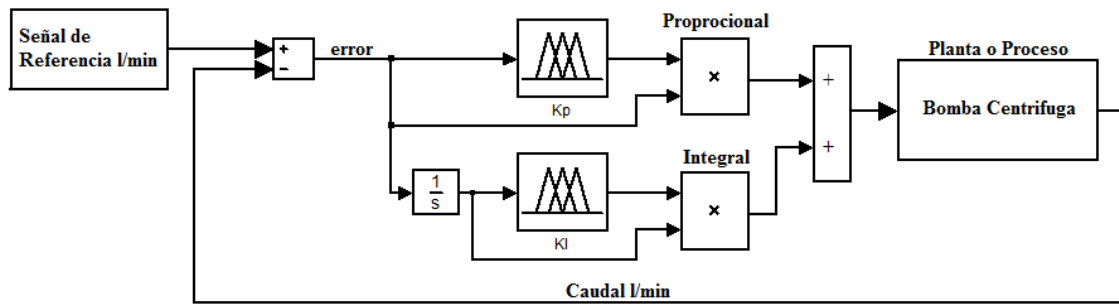


Figura 2 Diagrama a bloques del controlador PI difuso.

El controlador proporcional difuso usa como entrada el error y como salida el valor de K_p , la función de Membresía del error emplea 5 funciones gaussianas en un universo de discurso de -1 a 4 etiquetadas como negalto, negmed, cero, posmed y posalto y para la salida K_p tres funciones triangulares con un universo de discurso de -1 a 30 etiquetadas como cero, medio alto ver figura 3.

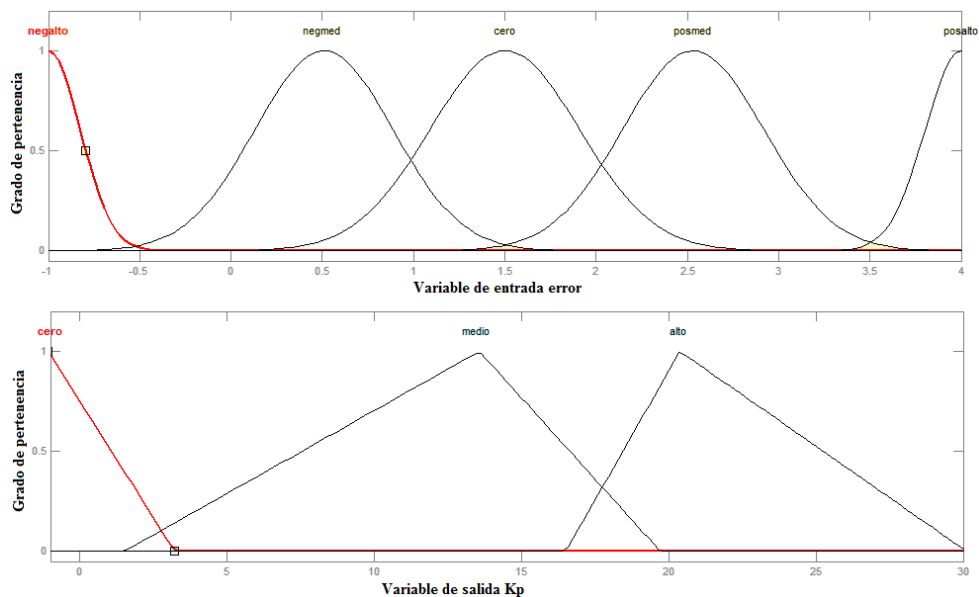


Figura 3. Funciones de membresía del controlador proporcional difuso.

El controlador integral difuso usa como entrada el error y como salida el valor de K_i , la función de membresía de la integral del error emplea 5 funciones gaussianas en un universo de discurso de -1 a 4 etiquetadas como negalto, negmed, cero, posmed y posalto y para la salida K_i tres funciones triangulares con un universo de discurso de 0 a 20 etiquetadas como cero, medio alto ver figura 4.

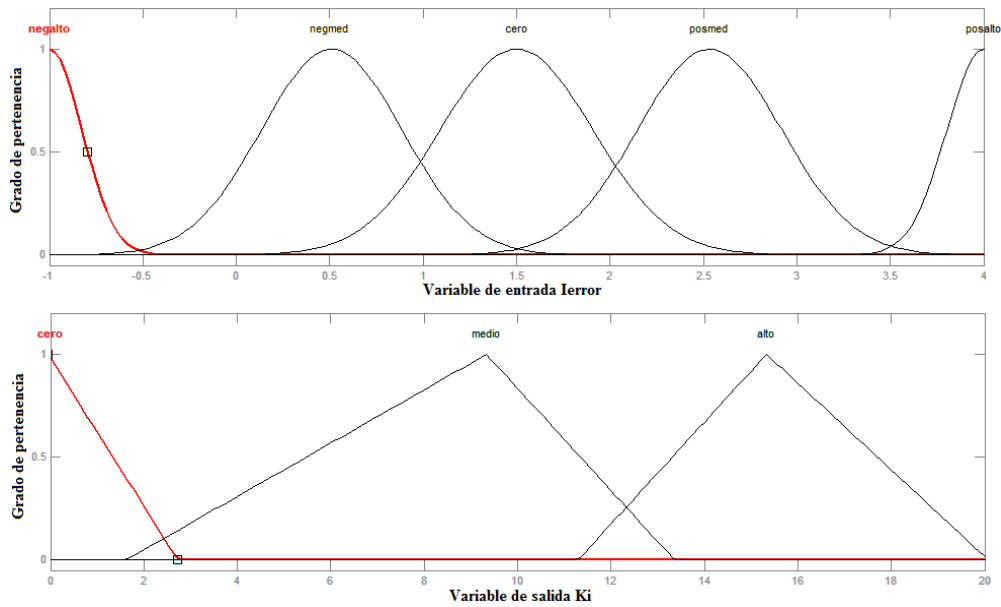


Figura 4. Funciones de membresía del controlador integral difuso

Las reglas difusas para las ganancias K_p y K_i se pueden ver en la tabla 1 y 2:

		K_p
Error	negalto	alto
	Cero	cero
	posalto	alto
	negmed	medio
	posmed	medio

Tabla 1. Reglas difusas del controlador Proporcional

		K_i
Error	negalto	alto
	Cero	cero
	posalto	alto
	negmed	medio
	posmed	medio

Tabla 2. Reglas difusas del controlador Integral

V. Controlador PI Difuso aplicado en tiempo real con perturbación.

En la figura 5 (a) se muestra la respuesta de la planta para una señal de referencia de 3 l/min, se le aplica un perturbación. La señal de control se puede observar en la figura 5 (b) el voltaje aplicado a la bomba aumenta cuando se presenta la perturbación, la señal de error se aprecia en la figura 5 (c).

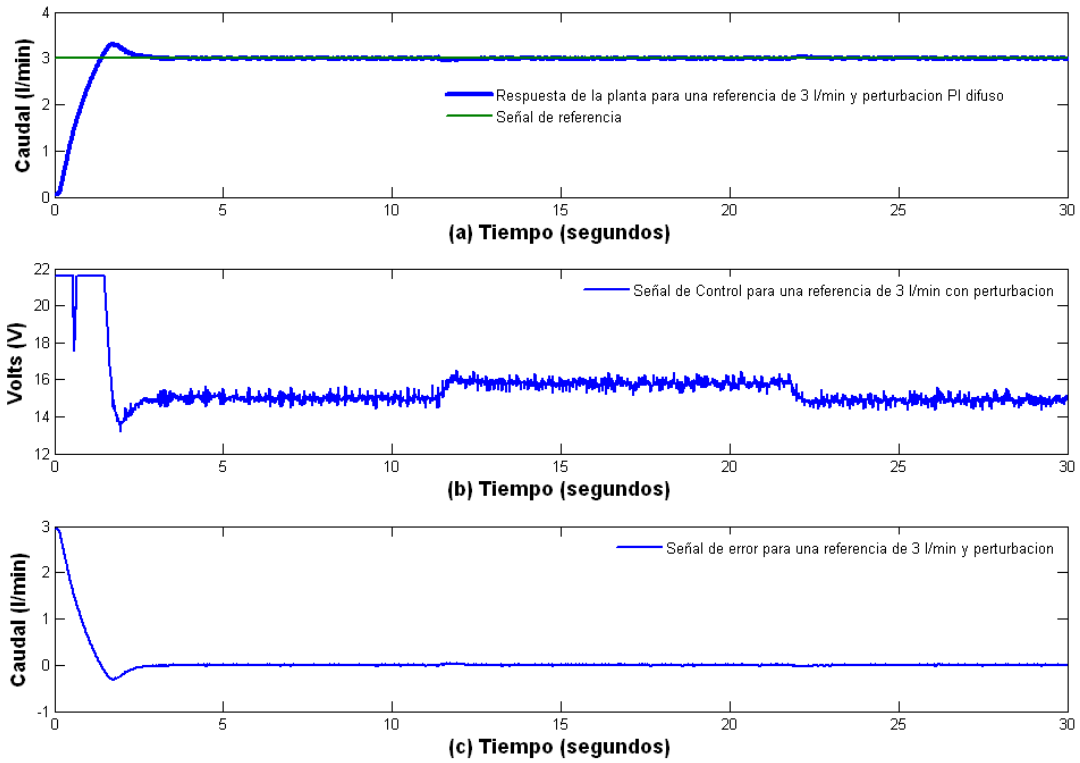


Figura 5. Respuesta de la planta con control PI difuso en tiempo real y aplicando una perturbación.

En la figura 6 se muestran el comportamiento de la planta cuando se le aplica un controlador PI clásico debidamente sintonizado y el controlador PI difuso.

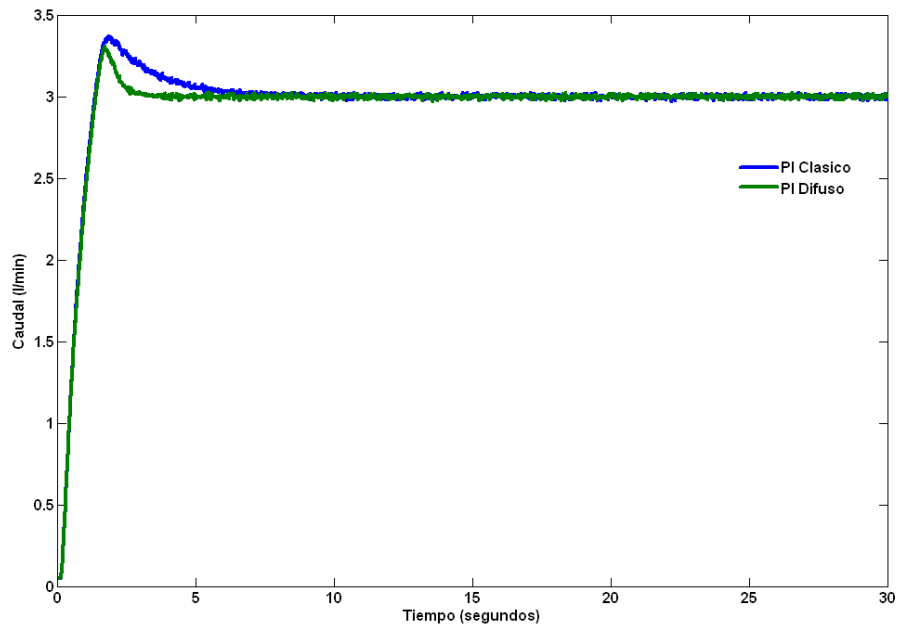


Figura 6. Se compara en tiempo real el controlador PI clásico con el controlador PI difuso.

Se utilizan un criterio de desempeño para evaluar el seguimiento, este es la integral del valor absoluto del error ((IAE) la cual está dada por la ecuación 2.

$$IAE = \int_0^{\infty} |e| dt \quad (2)$$

El valor del criterio de desempeño en simulación y en tiempo real se muestra en la tabla 3 demostrándose que el controlador difuso tiene mejor índice de desempeño.

	Controlador PI Clásico	Controlador PI Difuso
IAE Simulación	3.078	2.57
IAE Tiempo real	2.757	2.27

Tabla 3. Indices de desempeño IAE.

VI. Conclusiones

La lógica difusa es otra alternativa para resolver el problema de control de sistemas ya que demuestra ventajas significativas frente a los controladores clásicos tal como se demuestra en este trabajo al comparar el controlador PI difuso con un controlador PI clásico debidamente sintonizado.

Como trabajo futuro se tiene planeado diseñar un controlador Neuro-Difuso para ser aplicado en tiempo real.

VII. Agradecimientos

El primer autor agradece a la Universidad Tecnológica de Campeche su apoyo para realizar sus estudios de doctorado.

VIII. Referencias

- Martín del Brío, B., & Sanz Molina, A. (2011). *Redes Neuronales y Sistemas Borrosos*. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor S.A de C.V.
- Ponce Cruz, P. (2012). *Inteligencia Artificial con Aplicaciones a la Ingeniería*. México: Alfa Omega Grupo Editor S.A de C.V.
- Hao Ying. "Fuzzy Control and modeling: Analytical foundations and aplicaciones". IEEE press Series on Biological Engineering 2000.
- Smith, C. A., y Corripio, A. B. (2010). *Control Automático de Procesos Teoría y Práctica*. México: Limusa S.A de C.V.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and control*, 8, 338-353.
- PCI E series user manual, Multifunction I/O boards for PCI bus computer, January 1999, edition part number 320945D-01, National Instrument Corporation all rights reserved.
- Aguado, A. y Martínez, M., (2003); *Identificación y control adaptativo*, 1ª edición, 37-84, Prentice-Hall, Madrid, España.
- Hernández G. R. (2010). *Introducción a los Sistemas de Control: Conceptos, Aplicaciones y Simulación con MATLAB*. México: Pearson Educación.