

Sistema de Control de Lógica Difusa Aplicado a un Motor de C.D.

M. en C. Romeo Urbieto Parrazales
Profesor e Investigador del CINTEC-IPN.

El presente artículo describe el diseño y simulación de un Sistema de Control de Lógica Difusa aplicado a la variable de posición de un motor de C.D. de 1/15 de H.P. En el diseño se utilizó el método de Sistemas de Estructuras Variables para obtener la estabilidad de la variable de posición. La simulación presenta gráficos de la superficie de Control de Lógica Difusa, y la variable de posición para 25 y 11 reglas.

Introducción

Recientemente se ha desarrollado un gran interés en el uso de la teoría de los conjuntos difusos para modelar sistemas de control complejos, debido a que los conjuntos difusos son empleados por los seres humanos cotidianamente en el manejo de su cuerpo y de su entorno [1].

Los términos: *pequeño*, *medio*, *grande*, etc. son expresiones humanas usadas cotidianamente para modelar las variables de entrada y salida de un sistema a manejar [2].

Este manejo queda formulado por un modelo de reglas en lenguaje humano. Por ejemplo, si se quiere mover una carga una cierta distancia, la regla sería: Si la distancia es

pequeña, la fuerza necesaria debe ser *pequeña*. Dicho en términos de control, si la variable controlada de posición es *pequeña*, la variable manipulada de posición es *pequeña*.

La metodología de trasladar el modelo de las reglas a una estrategia de control con conjuntos y lógica difusa se conoce bajo el nombre de *Control de Lógica Difusa (FLC)* [3].

Un FLC consiste de tres partes principales: las variables de entrada, la base de reglas, y las variables de salida.

La base de reglas origina la estabilidad de la variable de posición y se determina por medio del método de Sistemas de Estructuras Variables.

Descripción

El FLC básicamente está constituido por dos componentes [4] como se muestra en la **figura 1**.

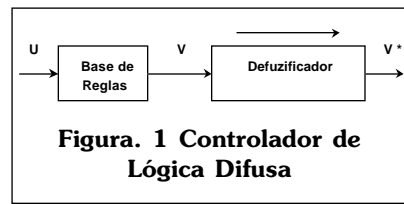


Figura. 1 Controlador de Lógica Difusa

Base de Reglas

El conocimiento del controlador viene expresado por un conjunto de reglas de tipo granular, de la manera siguiente: Si $f: X \rightarrow Y, y = f(x)$, donde X y Y son bases de los conjuntos U y V , entonces, se puede representar el mapeo como una relación F en $X \times Y$, tal que $(x,y) \in F$ si $f(x) = y$.

$$F = \{ (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n) \} \quad (1)$$

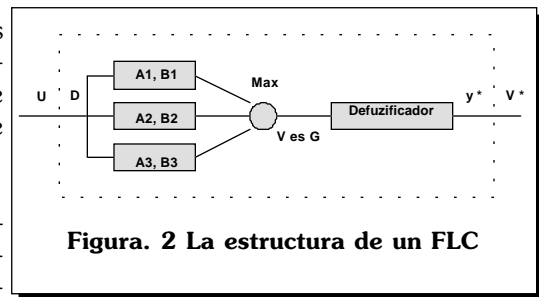


Figura. 2 La estructura de un FLC

donde cada par (x_i, y_i) es una solución de $f, f(x_i) = y_i$, **figura 2**.

Si se denota el par como P_i

$$P_i = \{(x_i, y_i)\} = A_i \times B_i = (A_i \cap B_i) = \text{Min}(A_i(x), B_i(y)) \quad (2)$$

Entonces la relación F se puede denotar como una unión de pares P_i

$$F = \cup_i P_i, \quad (3)$$

Cada módulo P_i puede interpretarse semánticamente en la forma

Cuando U es A_i , este es el caso de que V es B_i .

donde A_i y B_i son los conjuntos difusos de entrada y salida del FLC. Si la entrada es una proposición, D es U , y el mapeo se puede representar por una variable H .

$$H = (U, V) = \cup_i P_i \cap D = \text{Max}_i [A_i(x) \wedge B_i(x) \wedge D(x)] \quad (4)$$

A fin de tener el valor de V se puede tomar la proyección en V , de esta manera, la salida V es G .

$$G(y) = \text{Max}_x [H(x, y)] = \text{Max}_x [\text{poss}[A_i | D] \wedge B_i(y)] \quad (5)$$

Defuzificación

La defuzificación es el paso final del FLC, y es el uso de la salida G para seleccionar un "singleton" o punto de membresía $y^* \in Y$, como la salida del controlador.

Usando el procedimiento de defuzificación de Area Central, se llega finalmente a la ley de control $u(k)$, donde m es el no. de reglas empleadas.

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^m G(y_i) y_i}{\sum_{i=1}^m G(y_i)} = u(k) \quad (6)$$

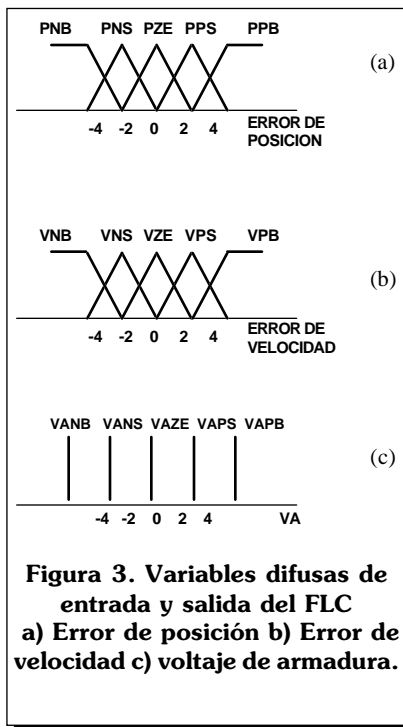
Diseño

El diseño del FLC se plantea de la siguiente forma:

Las funciones de membresía del FLC tienen un universo de -4 a 4 (error de posición {-377 a 377 rad}, error de velocidad {-675 a 675 rad/seg}, voltaje de armadura -24 a 24 voltios), **figura 3**.

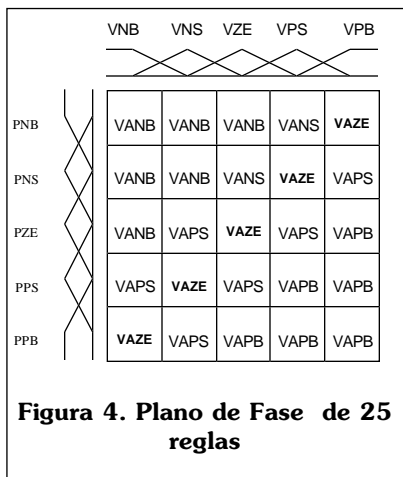
Base de Reglas

La base de reglas se presenta como las relaciones difusas, R_i : Si



(A_i, B_i) entonces C_i , donde A_i y B_i , son variables difusas de entrada (error de posición difuso y error de velocidad difuso) que determinan la ley de control difuso C_i (voltaje de armadura difuso) [5]. La base de reglas R_i constituye una "estructura" del FLC que se cambia de acuerdo a los estados del proceso.

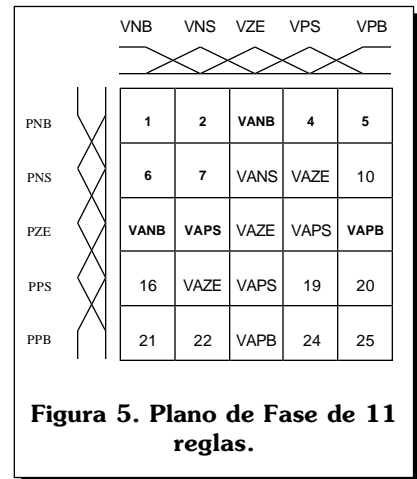
El plano de fase queda determinado por las dos entradas y la salida. La matriz formada es de 5x5 o sea



25 reglas **If-Then**. En el plano de fase anterior se repiten las reglas: 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 16, 19, 20, 21, 22, 24 y 25. Observe la **figura 4**.

Defuzificación

La defuzificación de la variable

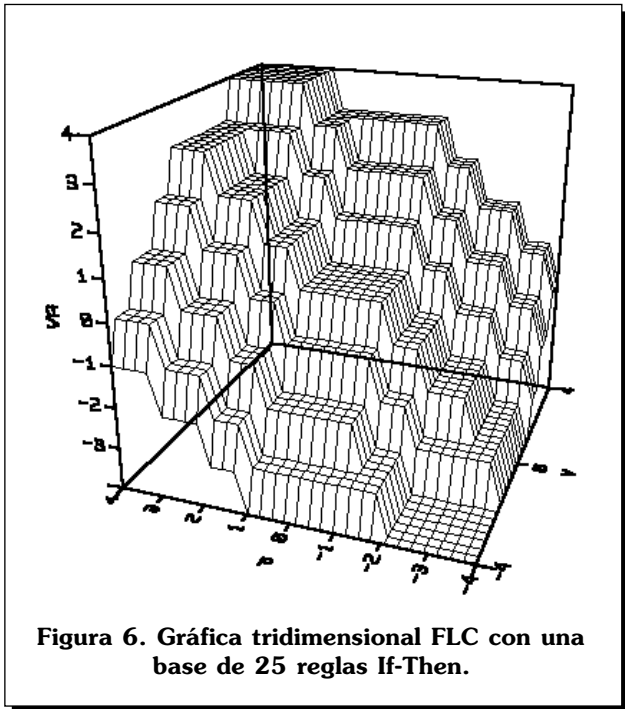


VA se obtiene aplicando la formula (6), en la que los pesos de VA son "puntos" (singletons) unitarios.

Simulación

La simulación del FLC se muestra en las **figuras 6** y **7**. Estas gráficas se obtuvieron por medio de un programa de simulación de controladores FLC, el FLD (Fuzzy Logic Designer). En las gráficas se pueden observar las dos variables entrada difusas y la salida difusa del controlador de Lógica Difusa. En la **figura 6** se observa una superficie de cambio mas fina, no así en la **figura 7**, donde el cambio es mas abrupto.

El FLD genera un programa y un archivo de encabezado de la operación del controlador, codificado en lenguaje C++, los cuales son Motor.C y Motor.h Las subrutinas importantes en motor.C son:



Conclusiones

El diseño de los parámetros del sistema de control difuso de posición resulta sumamente simple para su cálculo e implantación en una computadora personal.

Los resultados de la simulación determinan que las respuestas de la posición de la flecha del motor de c.d. se estabilizan muy bien en el rango de operaciones de posición deseados.

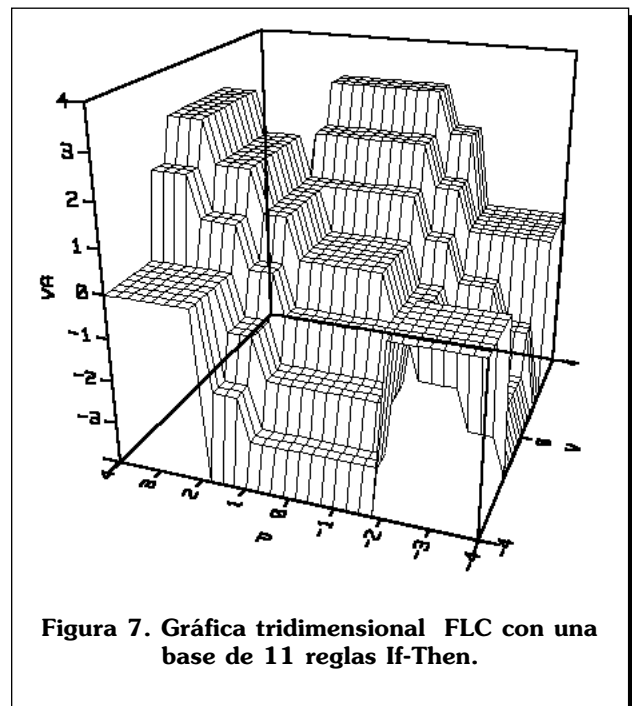
`fld_fuzzy_inputs`(float pos, float vel)
`fld_fuzzy_outputs` (float pos, float vel)

La primera evalúa los parámetros de la variables difusas de entrada. La segunda calcula los parámetros de salida del controlador.

Resultados de la Simulación

Las subrutinas antes mencionadas se insertan en un programa de simulación que incluye también el modelo matemático del motor de c.d. [6,7] y su respectiva retroalimentación, conformando de esta manera un sistema de control FLC de lazo cerrado.

La variable simulada es la posición de la flecha en un tiempo de 500 mseg. El transitorio se observa hasta los 100 mseg. Las gráficas presentes son para un FLC con una base de 25 y 11 reglas, **figuras 8 y 9**.



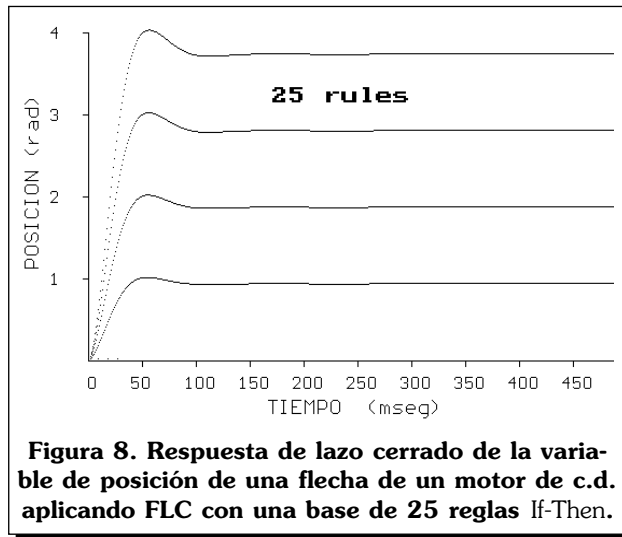


Figura 8. Respuesta de lazo cerrado de la variable de posición de una flecha de un motor de c.d. aplicando FLC con una base de 25 reglas If-Then.

Referencias

- [1] Witold Pedrycz. Fuzzy Control and Fuzzy Systems. Research Studies Press Ltd., 1993, ch.4, pp. 103-106.
- [2] Li-Xi Wang. Adaptive Fuzzy Systems and Control. Prentice Hall. Cap.1,2 pp. 1-28.
- [3] Shigeyasu Kawaji and Nobutomo Matsunaga. "Fuzzy Control off VSS and its Robustness". Kandel and Langholz. Fuzzy Control Systems. CRC Press, 1994, ch. 10, pp.223-242.
- [4] Ronald R. Yager. "Alternative Structures for Knowledge Representation in Fuzzy Logic Controllers". Fuzzy Control Systems. CRC press. pp 100-136.1993.

- [5] Arthur Ramer. "Information Complex and Fuzzy Control". Fuzzy Control System. CRC press. pp.76-95.1993.
- [6] Romeo U. Parrales. "Simulación de la Posición de un Motor de d.c. de 1/15 de H.P Controlador por un Algoritmo PI usando una Microcomputadora IPNe16-m." Revista Polibits. Vol1. Num.9 .pp 49-62, CINTEC IPN. 1992.
- [7] Timothy A. Adcock. Digital Signal Processing. Semiconductor Group. Texas Instrument Incorporated. pp 1-37.1993.

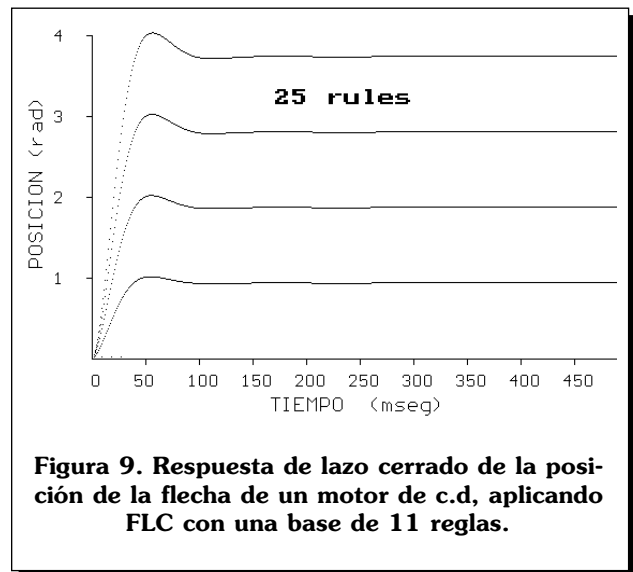


Figura 9. Respuesta de lazo cerrado de la posición de la flecha de un motor de c.d. aplicando FLC con una base de 11 reglas.