

Estación de desarrollo de control difuso (EDCD)

Haydée Patricia. Martínez Hernández¹, Germán A. Muñoz Hernández²,
José Federico Ramírez Cruz³.

^{1,3}Instituto Tecnológico de Apizaco.

Av. I. Tecnológico de Apizaco s/n, Apizaco, Tlaxcala, Tel 241-4172010

². Instituto Tecnológico De Puebla.

Av.Tecnológico S/N, Puebla, Puebla, Tel. (22) 29-88-24

¹.hpmartinez@itapizaco.edu.mx, ³.framirez@itapizaco.edu.mx

Resumen: En este trabajo se describe el diseño y la implementación de una Estación de Desarrollo de Control con Lógica Difusa mediante el Microcontrolador MC68HC912B32. La interfaz de usuario reside en una computadora PC con un ambiente visual amigable al usuario. El software proporciona la capacidad de variar los parámetros de control y el punto de ajuste, esto es, permite cambiar la base de conocimiento; es decir, las reglas lingüísticas del control y las funciones de pertenencia difusas, las cuales ajustan y sintonizan el sistema. Además, realiza la comunicación vía serial hacia el microcontrolador, el cual ejecuta las acciones necesarias para mantener el sistema controlado. El sistema se probó diseñando un controlador PD difuso para controlar la velocidad de un Motor de C.D.

Keywords: Sistemas de Control Difuso, Estación de desarrollo, Prototipos didácticos, Microcontradores,

1 Introduction

En años recientes los sistemas de control han asumido un papel cada vez más importante en el desarrollo y avance de la civilización moderna y la tecnológica. Así que se han desarrollado numerosos sistemas de control, los cuales han sido clasificados de acuerdo a diferentes parámetros como a la presencia o ausencia de retroalimentación (Lazo Abierto o Lazo Cerrado), al proceso (continuo o discontinuo y manual o automático), a la naturaleza de los componentes de control (neumáticos y eléctricos o electrónicos y digitales), en esta última clasificación de controladores electrónicos y digitales, se vuelven a reclasificar y encontramos al Control Digital Directo (DDC), Control supervisor, Control distribuido, Control avanzado, Control con sistemas expertos, Control por Redes Neuronales y Control por Lógica difusa [1].

Haciendo referencia a la lógica difusa, en 1965, el Dr Lofti A. Zadeh, profesor de Ingeniería Eléctrica y Ciencias Computacionales de la Universidad de Berkeley,

basado en el un trabajo de Lukasiewicz; propone que es posible conectar el lenguaje matemático con la inteligencia humana, argumentando que muchos conceptos son mejor definidos por palabras que sólo por signos matemáticos, construyendo así mejores modelos de una realidad, de esta manera es como Zadeh define el concepto de conjunto difuso y crea a partir del mismo la teoría de subconjuntos difusos.[2].

Una de las razones principales del uso de la lógica difusa es que el algoritmo por naturaleza permite procesar información de forma semejante al cerebro humano; esta característica desde el punto de vista de control difuso, tiene varias ventajas:

- La primera y principal es que no requiere del modelo matemático del sistema a controlar.
- La segunda es que el diseño del control es simple, es decir, se requiere de menores herramientas matemáticas para el diseño de un controlador que por técnicas clásicas (esta característica es importante debido a que diseñar un controlador que sea robusto y adaptable puede llegar a ser muy complejo) y,
- La tercera consiste en que es posible conocer exactamente su funcionamiento interno ya que la acción que ha de realizar el sistema difuso se encuentra descrita por un conjunto de reglas de inferencia, de manera que puede determinarse el estado del sistema en cada instante.

En la mayoría de las instituciones de educación superior en el área de control electrónico en nuestro país existe una necesidad de contar con prototipos didácticos para la enseñanza de las nuevas técnicas de control inteligente; sin embargo, estas técnicas han sido poco difundidas pues prevalece la enseñanza en control clásico. Además, la enseñanza sobre estos temas es en su mayoría teórica, por tal motivo se observa la necesidad de contar con herramientas prácticas que nos permitan aprender a desarrollar sistemas de control inteligente. Existen propuestas de herramientas didácticas y de desarrollo de sistemas de control inteligente para simular estos sistemas mediante una computadora personal, pero no proporcionan la capacidad de llevar a término el control de un sistema real sensando las variables físicas y actuando con dispositivos electromecánicos. En este trabajo presentamos una implementación de una Estación de Desarrollo con Lógica Difusa, la cual tiene una interfaz de usuario mediante una computadora personal misma que permite interactuar de manera amigable con el diseñador de sistemas de control difuso. La computadora personal se comunica con un microcontrolador MC68HC912B32 a través del puerto serie, y actúa como controlador del sistema. La elección de este microcontrolador se debe a que posee internamente las instrucciones de control difuso como el proceso de fusificación, evaluación de reglas y defusificación. Para probar el sistema EDCD se realizó un control PD difuso para controlar la velocidad de un motor de c.d. utilizado como planta piloto, con el cuál pueden hacerse diversas pruebas en tiempo real, fijando un punto de consigna. Se diseñó un control difuso que tiene como entradas el error en la velocidad del motor y el cambio del error, y como salida la variación de corriente que llega al motor lo cual se ve reflejado en una variación de su velocidad. Los parámetros de control fueron establecidos a un conjunto de 5 funciones de pertenencia difusas del tipo trapezoidal por cada variable de entrada, 5 funciones de pertenencia difusas del tipo singleton para la variable de salida y 25 reglas de control.

2. Descripción general de un Controlador Difuso.

Un sistema de control es un arreglo de componentes diseñado para alterar, regular y manipular un sistema físico a través de la acción del control, y los podemos encontrar de dos tipos: *sistema de control de lazo abierto*; en el cual la acción de control es independiente de la salida del sistema físico, y los *sistemas de control de lazo cerrado* en el cual la acción de control depende de la salida del sistema físico. Este último será mostrado en la Fig. 1.

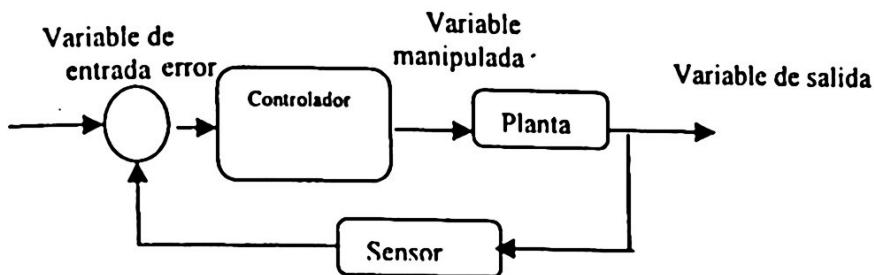


Fig. 1 Sistema de control de lazo cerrado

El problema del diseño de un sistema de control PID clásico, es cómo obtener la ganancia proporcional (k_p), el tiempo integral (T_i) y el tiempo derivativo (T_d) para poder desarrollar la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

El paradigma de los sistemas difusos es una disciplina desarrollada para controlar sistemas no lineales. Estas describen los algoritmos de procesos de control como un conjunto de relaciones difusas proporcionadas por un experto humano entre la información acerca del funcionamiento de los procesos a ser controlados, y las acciones a efectuar para llevar a cabo el control.

Una característica principal de los sistemas de control difuso es la existencia de dos niveles distintos de conocimiento tales como: 1) Reglas cualitativas o expresiones condicionales de la forma: *Sí "antecedente" entonces "consecuente"*; y 2) Términos difusos o imprecisos de las variables de entrada y salida tales como muy pequeña, pequeña, mediana, grande, muy grande. Las reglas difusas son expresadas en términos lingüísticos de los conjuntos difusos correspondientes a los valores de entrada y salida pueden escribirse de la siguiente manera:

Si a es pequeña y b es grande, entonces c es mediana.

Si a es grande y b es mediana, entonces c es grande.

donde a y b son las entradas y c es la salida. Los controladores difusos son contruidos por estas reglas de control, y cuando una entrada es dada, la salida es calculada por medio de la *inferencia difusa*.

Un controlador lógico difuso es un sistema que nos provee de un algoritmo de control automático basado en una estrategia de control lingüístico implementado con ayuda de reglas de inferencia y funciones de pertenencia. Para realizar un sistema de control

difuso deben considerarse cuatro elementos principales tales como: 1) Un módulo de *fuzificación*, el cual mide el valor de las variables de entrada, realiza una normalización que mapea el rango de los valores de las variables de entrada en una escala de valores preestablecidos, y convierte la información obtenida a valores de pertenencia. 2) La *Base de conocimientos*, la cual consiste en un conjunto de datos y un conjunto de reglas que son el conocimiento del control en la aplicación; el conjunto de datos contiene las definiciones de los términos que serán usados en las variables lingüísticas o de pertenencia, y el conjunto de reglas difusas contiene la caracterización de las metas y políticas de control manejados por un humano experto. 3) *Lógica de toma de decisiones o inferencia difusa*, esta es la parte medular del control y tienen la capacidad de simular la toma de decisiones del razonamiento humano, ayudándose de los términos difusos, de álgebra de conjuntos difusos y de algunos métodos matemáticos. 4) El módulo de *Defuzificación*, la cual convierte los valores difusos emitidos por la inferencia difusa en información precisa (numérica), realiza una equivalencia que mapea los valores proporcionados por el control en un rango preestablecido a valores apropiados para las variables de salida. La figura 2 muestra el diagrama a bloques del control lógico difuso simple.

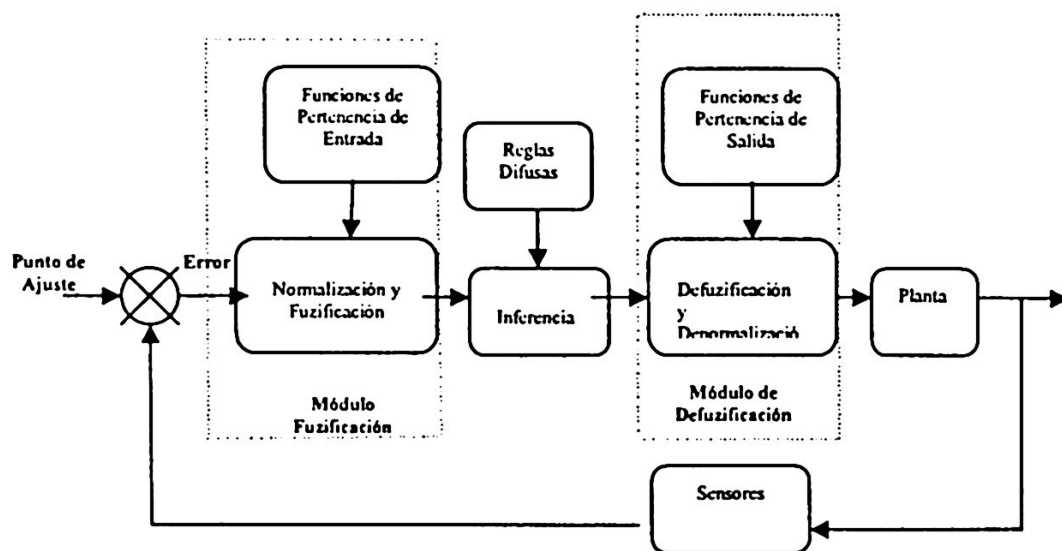


Fig. 2 Diagrama de bloques de control lógico difuso simple.

3. Implantación del Sistema

La EDCD es un sistema basado en el microcontrolador M68HC912B32, con una interfaz contenida en una computadora personal. La estación tiene la función de controlar un sistema mediante un controlador difuso. El microcontrolador monitorea las señales eléctricas recibidas del sistema a controlar y ejecuta las acciones de control necesarias en tiempo real. El sistema proporciona la capacidad para que el usuario pueda diseñar su control lógico difuso desde la PC modificando los parámetros de control. La computadora interactúa con el microcontrolador enviándole la información de las actualizaciones de dichos parámetros. El microcontrolador actúa también como

una terminal de monitoreo que manda la información del estado de la variable a controlar a la PC cuando se lo solicita.

Para llevar a cabo la implantación del sistema nosotros utilizamos la tarjeta de evaluación MC68HC912B32 de motorola, la cual posee las siguientes características: una memoria flash EEPROM de 32 k, una memoria EEPROM de 768 bytes, una memoria RAM de 1k, 1 convertidor analógico digital de 8 canales, 1 temporizador y acumulador de pulsos de 8 canales, 1 modulador-demodulador de pulso de 4 canales, una interfaz de comunicación serial asíncrona, 1 interfaz de periférico serial síncrono y un bus multiplexado de 16 bits. La figura 3 muestra el esquema general de la EDCD.

Para probar el sistema EDCD se realizó la implementación de un sistema de control difuso para regular la velocidad de un motor de c.d. mediante un modulador de ancho de pulso (PWM). Para variar la velocidad del motor de c.d. se utilizó la relación existente entre la tensión aplicada al motor y la velocidad de giro; a este motor se le acopló un codificador óptico incremental (encoder) para detectar el número de revoluciones por minuto cerrando el lazo de control. En la figura 4 se muestra el diagrama a bloques del control de velocidad del Motor de CD.

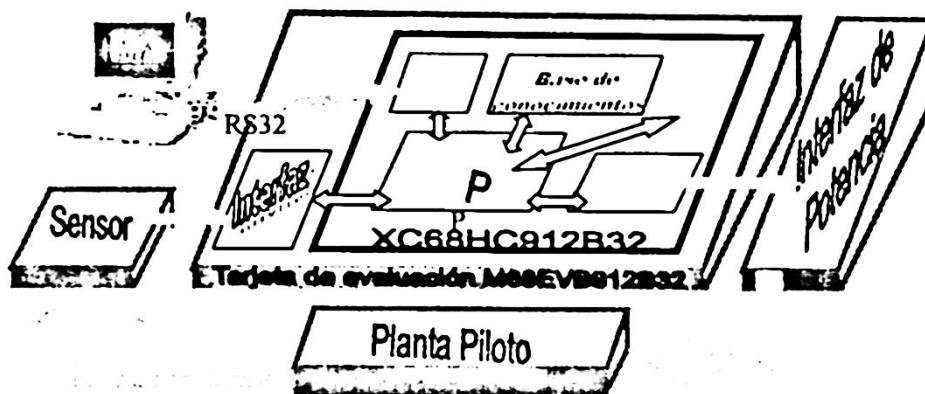


Fig. 3 Esquema de la Estación de Desarrollo de Control Difuso.

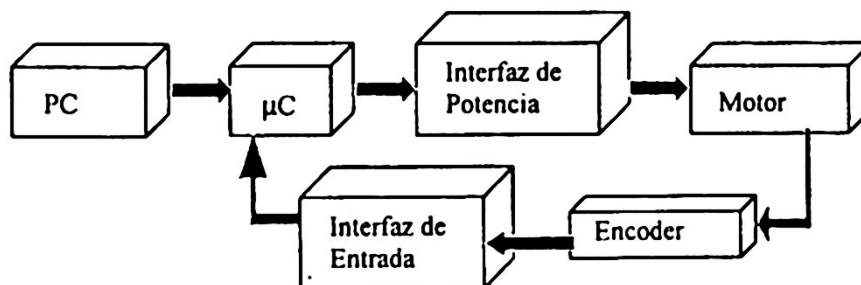


Fig. 4 Diagrama a bloques del control de velocidad de un motor de c.d.

3.1 Interfaz de salida

Para el variar el voltaje suministrado al motor se utilizó la técnica de control por interrupción de voltaje, la cual se basa en la conmutación del voltaje promedio suministrado por una fuente fija de c.d. [10]. La conmutación es un método Encendido-Apagado, también denominado *conmutación de corriente* [11]. Existen tres técnicas comúnmente usadas para variar la proporción de la conmutación en el tiempo de encendido (t_{ON}) y la conmutación en tiempo de apagado (t_{OFF}) de la forma de onda de salida "interrumpida" durante el tiempo total de trabajo (Duty Cycle), estas son: 1) modulación de ancho de pulso; 2) modulación por velocidad de pulso, y 3) combinación de ancho de pulso y velocidad de pulso. En este trabajo utilizamos la primera (Fig. 5). El *Porcentaje Duty Cycle* es definido como la proporción de la longitud de la forma de onda en el tiempo de encendido del periodo contra el periodo total de un ciclo de la señal (tiempo de encendido más el tiempo de apagado) [12], como se puede observar en la siguiente fórmula:

$$\text{Duty Cycle (\%)} = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} \times 100$$

El porcentaje total de trabajo corresponde al voltaje de carga promedio que circula sobre el motor y que se visualiza en la disminución o aumento de flujo de corriente sobre el dispositivo.

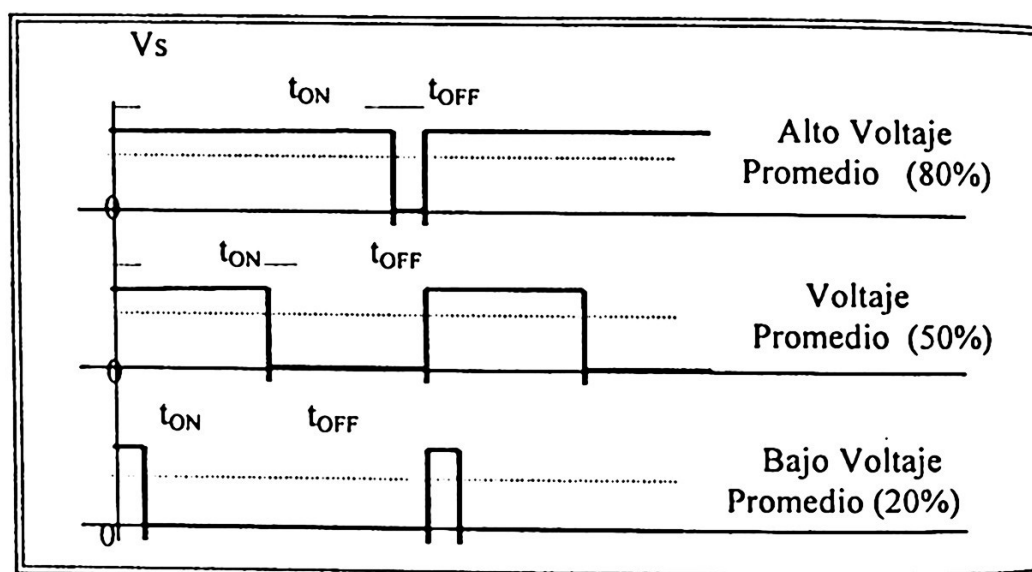


Fig. 5 Formas de onda por modulación de ancho de pulso.

La figura 6 muestra la interfaz de potencia que se utilizó en este trabajo la cual se encarga de proporcionar el voltaje y la corriente de c.d. necesaria para hacer funcionar el motor. Esta interfaz consta de un transistor utilizado como un interruptor en circuitos electrónicos digitales, que permite el paso de la corriente de c.d al motor cuando se tiene un pulso de salida en la compuerta "and" lógica e inhibe el paso de la corriente cuando se no existe señal a la salida de dicha compuerta[11].

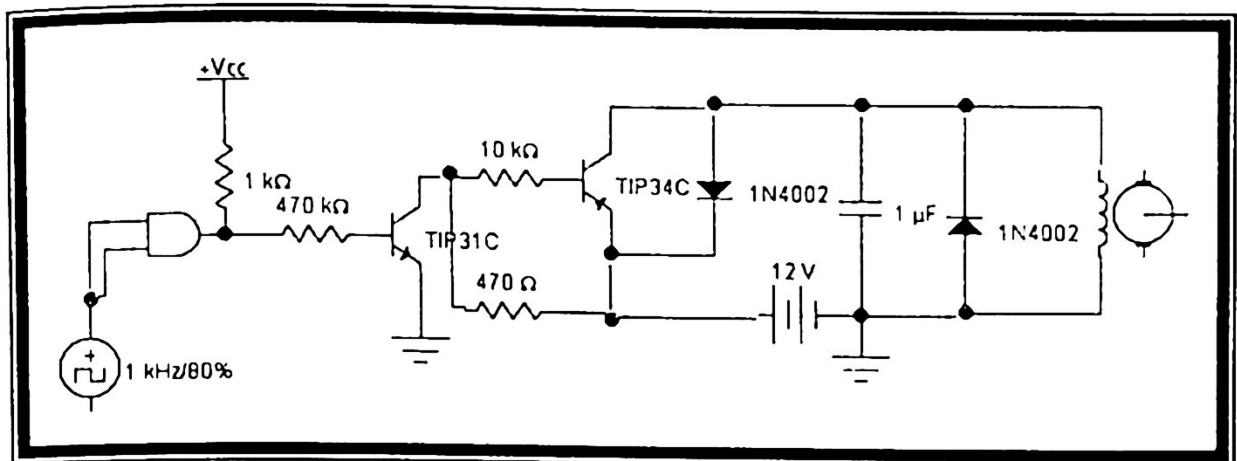


Fig. 6 Diagrama de la interfaz de potencia para el motor de CD

3.2 Interfaz de entrada

Para obtener la medición de la velocidad del motor se utilizó un codificador óptico incremental que consta de un disco metálico con una serie de perforaciones colocadas radialmente y equidistantes entre sí. La funcionalidad de este dispositivo consiste en detectar un tren de pulsos proporcionados por un sistema de transmisión óptica formado por un fototransmisor y un fotorreceptor como se observa en la figura 7.

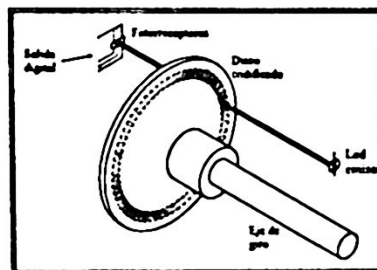


Fig. 7 Diagrama de la disposición de un codificador óptico (encoder) incremental.

La interfaz de entrada al microcontrolador por el puerto A consta de dos contadores binarios de ocho bits y dos buffers para manipular 16 bits multiplexados en 8 bits como se muestra en la figura 8. Estos dispositivos son controlados por el microcontrolador a través del puerto B.

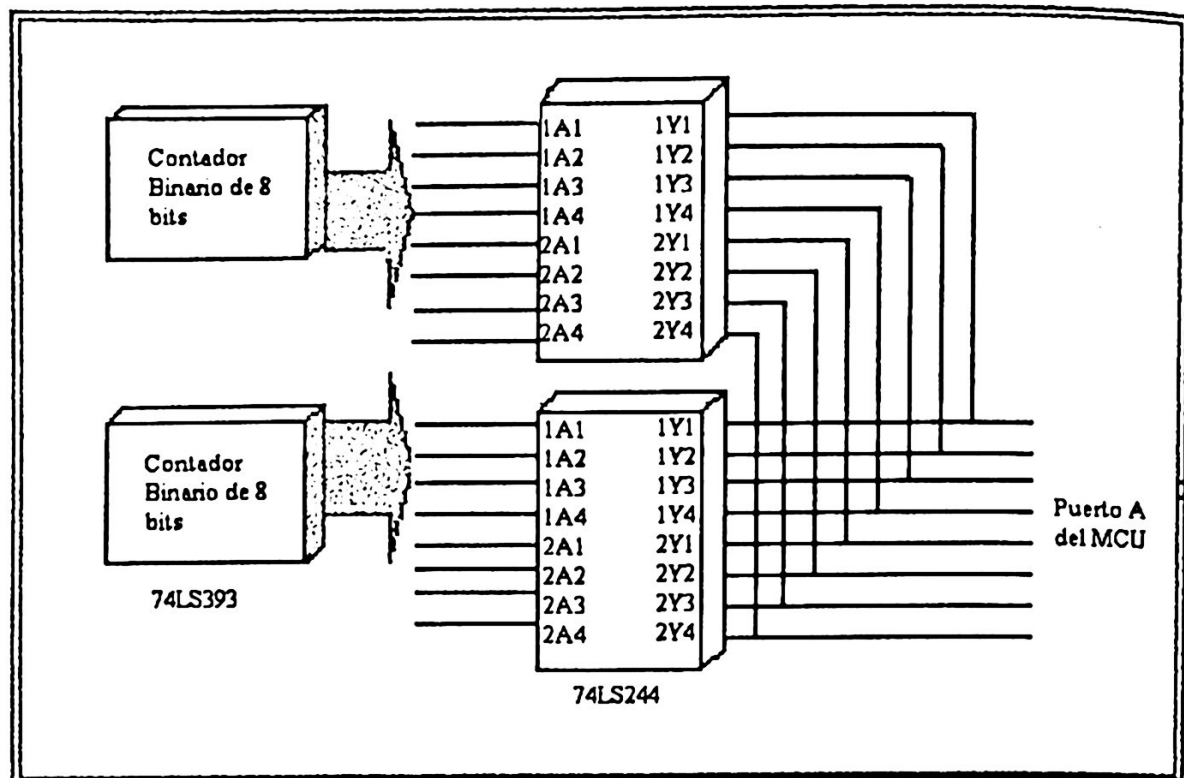


Fig. 8 Contador binario que entrega al Puerto A del MCU.

La secuencia del pseudo código del control se basa en la interrelación de todos los elementos que se han mencionado en esta sección. El temporizador del microcontrolador es programado para que cada 50 ms se realice un escrutinio del estado de la variable de control y se ajusta el ancho de pulso de acuerdo a la decisión tomada por el controlador difuso. Las actividades realizadas para modificar el error y encontrar el punto de ajuste son: 1) el conteo en la interfaz de entrada le proporciona un dato al controlador; 2) el controlador lo recibe y lo normaliza en un rango preestablecido; 3) se calcula la velocidad del motor y se obtiene el error; 4) se calcula el cambio en error con la muestra anterior y se normalizan para ser asignados al control; 4) el controlador calcula el ancho del pulso y se denormaliza en el rango establecido por el modulador de ancho de pulso (PWM); 5) se ajusta el ancho de pulso para corregir el error.

3.3 Sistema de comunicación

El sistema de comunicación que se desarrollo para el EDCD, se basa en el intercambio de información entre la PC y el MCU [19], las funciones que se llevan a cabo son las siguientes: 1) Consulta y modificación de los datos de las variables de entrada y salida difusas, las funciones de pertenencia y el conjunto de reglas; 2) Transmisión y recepción del las modificaciones realizadas en la interfaz de usuario a la tarjeta MC68HC912B32; 3) Recepción del punto de ajuste.

El enlace físico utilizado en este proyecto fue el estándar RS-232C desde la computadora hacia la interfaz de comunicación en serie (SCI) del tipo NRZ, el cual es compatible con la norma RS-232.

El protocolo de enlace de datos corresponde a una combinación entre BYSINC y el SDLC de IBM (protocolos de comunicación entre computadoras), considerando que el protocolo está orientado a caracteres. La relación entre los elementos de comunicación está definida de acuerdo al protocolo SDLC donde se describe un elemento maestro que controla la comunicación y un elemento esclavo que responde a las indicaciones del maestro [19].

El protocolo de enlace de datos es responsable de la encapsulación de mensajes en tramas y de controlar la transferencia de las tramas sobre el enlace físico, también la detección y corrección de errores cuando es factible.

4 Resultados experimentales preliminares

Para probar el sistema EDCD, se realizó la implementación de un sistema de control difuso para regular la velocidad de un motor de c.d. como se mencionó en la sección anterior. En la figura 9 se muestran las pruebas preliminares de nuestro sistema. Para tener una mejor respuesta consideramos realizar una optimización en el sistema de control.

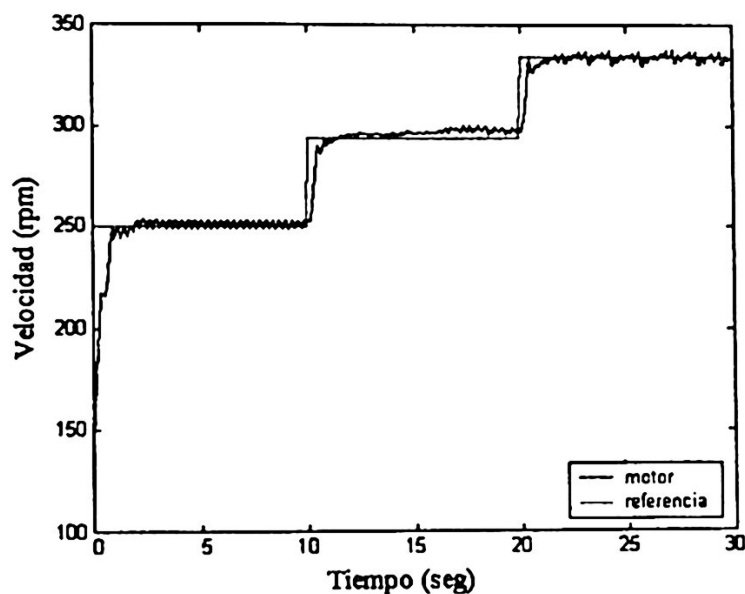


Fig. 9 Respuesta del EDCD para controlar un motor de c.d.

5 Conclusiones y perspectivas de desarrollo

Para el estudio de sistemas de control convencional, es necesario desarrollar prácticas, simularlas y posteriormente implementarlas físicamente para entender su comportamiento, así mismo, es importante continuar con esta metodología de aprendizaje ahora con el control con lógica difusa. Es por eso que la estación de desarrollo de control difuso EDCD mediante la EVBMC68HC912B32, ofrece la interacción física entre el usuario y el sistema a controlar en tiempo real.

El propósito de esta estación de desarrollo es ofrecer un control automático basado en una estrategia de control lingüístico, con algunas características sobresalientes con respecto a las técnicas de control convencional, es decir, para generar un esquema de control difuso únicamente se requiere tener conocimientos del proceso en sí y no de la matemática asociada a él, ni de la programación en bajo o alto nivel; pero sobre todo hace fácil la tarea de expresar el razonamiento natural de comprender las políticas y las metas del control difuso.

Con el uso de este sistema podemos mejorar el aprendizaje de los sistemas de control difuso, así como diseñar nuevos sistemas con solo cambiar los elementos de sensado y el tipo de planta a controlar.

Al momento nos encontramos en la experimentación de diferentes sistemas de control y la automatización de los parámetros de control mediante algoritmos de aprendizaje automático.

Referencias

- [1] Antonio Creus Solé. "Instrumentación Industrial." Alfaomega marcombo 6a. edición 1998. pp 487-554, 574-586.
- [2] José R. Hilerá; Víctor J. Martínez, "Redes Neuronales Artificiales fundamentos, modelos y aplicaciones" ADDISON-WESLEY IBEROAMERICANA Ed. ra-ma. pp 322-369.
- [3] Dimitri Driankov, Hans Hellendoorn and Michel Reinfrank, "An Introduction to Fuzzy Control", Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1993.
- [4] Toshiro Terano, Kiyoji Asai, and Michio Sugeno, "Fuzzy Systems Theory and its Applications", English edition copyringht 1992, by Academic Press,
- [5] Inc. Chuen Chien Lee. "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller". IEEE Transactions, man and cybernetics, Vol. 20 No. 2. March/April 1990.
- [6] R. Haber. Julio Antonio Mella "Apuntes de Control Borroso." Instituto Superior Politécnico
- [7] Bart Kosko. "Neural Networks and fuzzy Systems". Prentice Hall, 1992
- [8] Dubois, D., and Prade, H., "Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications" Orlando, FL, Academic Press, 1980.
- [9] Timothy J. Ross, "Fuzzy Logic with Engineering Applications" Mc Graw Hill 1995.
- [10] Antonio Barrientos. Luis Felipe Peñín. Carlos Balaguer. Rafael Aracil. "Fundamentos de robótica", Mc Graw Hill 1997.

- [11] Charles A. Schuler and William L. McNamee. "Industrial Electronics and Robotics". McGraw Hill Book Company United States of America, 1986.
- [12] William Kleitz. "Digital Electronics a Practical Approach". Second Edition Prentice Hall, Inc. USA, 1990.
- [13] Joseph Vitlayathil. "Power Electronics Principles and Applications." McGraw-Hill series in Electrical and Computer Engineering. United States of America, 1995.
- [14] Motorola. Fuzzy Microcontroller Development System Technical Summary 16-Bit Microcontroller.
- [15] M68EVB912B32 Evaluation Board USER'S MANUAL MOTOROLA
- [16] *Luis Suárez Bernaldo VISUAL BASIC - Guía del Estudiante. Junio de 1998*
- [17] www.guille.costasol.net
- [18] www.ciudadfutura.com/ *Luis Suárez Bernaldo' VISUAL BASIC*
- [19] Andrew S. Tanenbaum, "Redes de computadoras", Pearson Education, Abril 1998

