

CONTROL DE UN MODELO AERODINAMICO APLICANDO SISTEMAS DIFUSOS

Marco A Pineda Cando., Atal K. Vivas Paspuel, Yadira L Bravo Narváez.
ing_mapc@hotmail.com, yadibravoec@yahoo.com.mx

RESUMEN: Este trabajo se presenta el diseño, la implementación y los resultados En de un controlador PI que utiliza como herramienta principal la lógica difusa, es decir, un Controlador Difuso PI, desarrollada para el control de un Sistema Aerodinámico. Dicho sistema esta compuesto por una lámina de acrílico suspendida, cuyo ángulo de elevación es controlado a través de un ventilador cuyo accionamiento esta dado por un motor de DC. Sistema esta compuesto por una lámina de acrílico suspendida, cuyo ángulo de elevación es controlado a través de un ventilador cuyo accionamiento esta dado por un motor de DC. Para la implementación del controlador se uso el paquete LabVIEW 8.5, además de técnicas de control PWM para el accionamiento del motor DC

I. INTRODUCCION

En los últimos años, los sistemas difusos se han ido consolidando como una poderosa herramienta para el tratamiento y control de sistemas cada vez más complejos, como son los sistemas no lineales o los sistemas con múltiples entradas y salidas [1].

El Control Difuso se introdujo a comienzos de los años 70 como un intento para diseñar controladores para sistemas que son estructuralmente difíciles de modelar, debido a su naturaleza no lineal y otras complejidades en la obtención del modelo. Durante los últimos años los sistemas de control con Lógica Difusa (FLC) se han venido consolidando como una herramienta útil para tratar y modelar sistemas complejos y no lineales, así los FLC han sido incorporados en un gran número de productos y procesos [2].

Las principales razones para tal proliferación de aplicaciones quizás sean la sencillez conceptual de los Sistemas basados en Lógica Difusa, su facilidad para adaptarse a casos particulares con pocas variaciones de parámetros, su habilidad para combinar en forma unificada expresiones lingüísticas con datos numéricos, y el no

requerir de algoritmos muy sofisticados para su implementación [3].

Para el control optimo de un sistema, necesitamos conocer su funcionamiento, y si vamos a emplear el control clásico; las ecuaciones que rigen dicho sistema. Sin embargo, hay sistemas en los que se vuelve complicado el desarrollo de un modelo matemático que lo describa; como en el caso de sistemas no lineales o sistemas en los que no se tiene acceso a sus componentes.

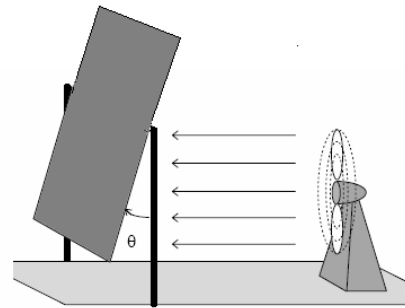


Figura 1. La planta del sistema

Para el caso presente se tiene que controlar el ángulo de elevación de una lámina de acrílico suspendida, a través, de un ventilador accionado por un motor DC. La Figura 1 se muestra la planta del sistema descrito.

El modelo matemático de la planta queda determinado por la ecuación:

$$\ddot{\theta} = \frac{K_L}{J} * \text{sen} \theta + \frac{1}{J} * T_{Fvd}$$

Donde:

θ = ángulo de elevación de la lamina

T_{Fvd} = Torque debido a F_{vd} , es decir debido al actuador.

J = Momento de inercia de la lamina

K_L = constante de la lamina

El modelo matemático del actuador (Motor DC) es:

$$T_{Fvd} = a * V_{ina}$$

Donde:

V_{ina} = voltaje de entrada al actuador.

a = constante

Por lo que, el modelo matemático del sistema completo nos queda:

$$\ddot{\theta} = \frac{K_L}{J} * \text{sen}\theta + \frac{a}{J} * V_{ina}$$

Como se puede observar, el modelo de la planta es no lineal, y si se desearía implementar un control clásico, se tendría que linealizar el modelo alrededor de un punto de operación y aplicar los conceptos de control clásico.

Para resolver la problemática planteada, en este trabajo se propone un Controlador Difuso o Controlador de Lógica Difusa (FLC), para el control del modelo aerodinámico propuesto.

La ventaja de un Controlador Difuso sobre un controlador convencional, es que se puede implementar una estrategia de control no lineal usando reglas lingüísticas. En este tipo de control solo se considera la tendencia del error, para, al aplicar las reglas, el error se vuelva pequeño.

Los componentes de los sistemas convencionales y difusos son bastante similares, difieren principalmente en que el sistema difuso contiene dos etapas más, la “Fusificación” y la “Defusificación” (Figura 2) [4].

En un Controlador Difuso, el valor de entrada real (proveniente de sensores) es convertido a un valor difuso vía el proceso de Fusificación, este valor es enseguida introducido al proceso lógico difuso comúnmente llamado Mecanismo de Inferencia, en donde es continuamente evaluado en un conjunto de reglas en donde esta depositado el conocimiento del experto; este proceso genera un valor de salida difuso, el cual es transformado a un valor de salida real a través del proceso de Defusificación [5].

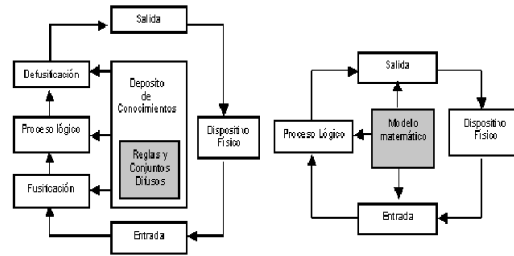


Figura 2. Diferencia entre controlador clásico y difuso.

FUNDAMENTOS DE LOGICA DIFUSA

Como ya se dijo Control Difuso es una herramienta para diseñar controladores para sistemas que son estructuralmente difíciles de modelar, debido a su naturaleza no lineal y otras complejidades en la obtención del modelo. Durante los últimos años los sistemas de control con lógica difusa (FLC) se han venido consolidando como una herramienta útil para tratar y modelar sistemas complejos y no lineales, así los FLC han sido incorporados en un gran número de productos y procesos [6].

En este trabajo se presenta el desarrollo de un controlador difuso, para controlar indirectamente la posición angular de una lámina de acrílico en función de manejar la velocidad del motor que tiene el ventilador.

LOGICA DIFUSA

Básicamente, los sistemas de lógica difusa emulan la manera en que el cerebro razona o piensa.

La llamada lógica difusa permite tratar información imprecisa, como mucho calor, poca iluminación o fuerza media, por medio de conjuntos difusos. A su vez estos conjuntos difusos se combinan de tal manera de definir acciones.

La teoría difusa parte de la teoría clásica de conjuntos, añadiendo una función de pertenencia al conjunto, definida ésta como un número real entre 0 y 1 [7].

Entonces se introduce el concepto de conjunto o subconjunto difuso asociado a un determinado valor lingüístico A. Para cada conjunto o subconjunto difuso se define una función de membresía o inclusión $\mu_A(t)$, que indica el grado en que la variable t esta incluida en el concepto representado por la etiqueta A.

Como se puede ver en la Figura 3 para el valor lingüístico “estatura de una persona” se pueden

definir 3 subconjuntos difusos, cada uno identificado por una etiqueta $\{bajo, medio, alto\}$, y con una función de inclusión o membresía $\{\mu_{bajo}(t), \mu_{medio}(t), \mu_{alto}(t)\}$, que en la figura se muestra a la izquierda, centro y derecha, respectivamente.

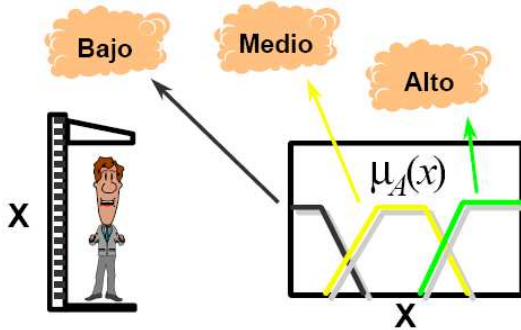


Figura 3. Visión de Lógica Difusa

FUNCIONES DE MEMBRESIA

La función de inclusión o pertenencia es un conjunto de pares ordenados $F = \{(u, \mu_F(u)) / u \in U\}$ si la variable es discreta, o una función continua si no lo es. Las funciones de inclusión más comunes son la de tipo trapezoidal, singletón, triangular, S, exponencial y tipo π . Aquí las funciones más comunes:

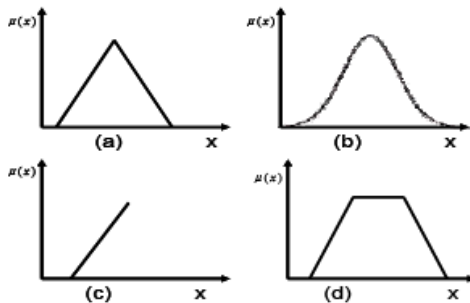


Figura 4. Funciones de membresía más comunes: (a) Triangular, (b) Campana, (c) Monotónica (d) Trapezoidal.

OPERACIONES DE CONJUNTOS DIFUSOS

Sean los subconjuntos borrosos A y B asociados a una variable \mathcal{X} , se puede definir tres operaciones básicas: complemento, unión e intersección. En términos de las funciones de pertenencia de los conjuntos borrosos A y B tenemos:

Complemento

$$\mu_{\bar{A}}(\mathcal{X}) = 1 - \mu_A(\mathcal{X})$$

Unión

$$\mu_{A \cup B}(\mathcal{X}) = \max[\mu_A(\mathcal{X}), \mu_B(\mathcal{X})]$$

Intersección

$$\mu_{A \cap B} = \min[\mu_A(\mathcal{X}), \mu_B(\mathcal{X})]$$

INFERENCIA DIFUSA

Un análisis especial debe hacerse con el operador lógico de implicación \Rightarrow , que combina dos proposiciones con la expresión *Si... Entonces... (If... Then...)*, y que es el fundamento de las inferencias realizadas en sistemas de lógica difusa.

El operador lógico de implicación \Rightarrow , nos permite encontrar un camino matemático para evaluar proposiciones como las siguientes: "Si las vibraciones son altas Entonces el rodamiento está desgastado", o "Si los ingresos del cliente son bajos Entonces su capacidad de endeudamiento es poca". A la relación entre dos proposiciones a través del operador lógico de implicación, se las llama también reglas, las mismas que nos servirán en lo posterior para definir la base de reglas de los sistemas de control difuso.

La inferencia lógica consiste en la combinación de proposiciones y reglas para producir nuevas proposiciones. Así, al combinar la proposición "X es A" con la regla "IF X es A THEN Y es B"; se puede inferir la proposición "Y es B". Con lo que:

Como vemos las reglas expresan un tipo de relación entre dos o más variables difusas y representa una implicación lógica, donde el conocimiento se expresa por reglas.

SISTEMA DE LOGICA DIFUSA

La estructura básica de un Sistema de Lógica Difusa se muestra en la figura 5. El sistema recibe varias entradas numéricas y entrega varias salidas numéricas. El bloque de Fusificación se encarga de convertir las entradas en conjuntos difusos, que son entregados al bloque Máquina de Inferencia; este bloque, apoyado en un conjunto de reglas de la forma *If... Then...* almacenadas en la Base de Reglas, produce varios conjuntos difusos para que el bloque de Defusificación los tome y los convierta en salidas numéricas concretas.

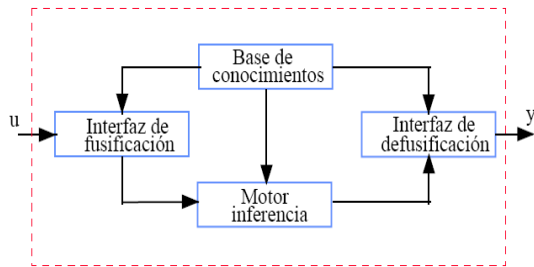


Figura 5. Sistema de Lógica Difusa

CONTROLADORES DIFUSOS

Un controlador difuso está compuesto de los siguientes tres pasos de cálculo: fusificación, inferencia difusa y defusificación. Las reglas lingüísticas integradas en la base de reglas del controlador, implementan la estrategia de control en base al conocimiento o experiencia de ingeniería que se tiene sobre la aplicación a controlar.

CONTROLADOR DIFUSO PI

La Figura 6 presenta el diagrama de un controlador PI difuso incremental, donde las señales de entrada son el error $e(t)$ y su derivada $e'(t)$, y la salida es el cambio incremental en la variable manipulada $u'(t)$ [9]. Si la señal de salida describe la diferencia necesaria entre el actual valor de salida, se necesita un subsecuente dispositivo integrador para construir el comando del valor de la variable [10].

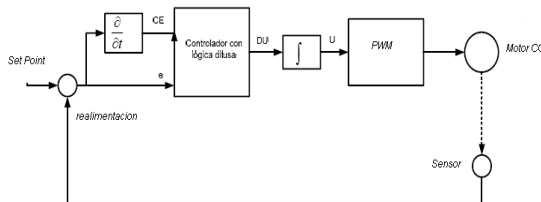


Figura 6. Sistema de control implementado.

II. IMPLEMENTACION DEL CONTROLADOR DIFUSO

En nuestro caso, hemos implementado un controlador difuso tipo PI, el desarrollo del algoritmo del controlador esta desarrollado en LabVIEW 8.5.

Además la señal acondicionada del sensor es tomada por la PC a través de una tarjeta de adquisición de datos. Esta señal es procesada para luego obtener el resultado a través de la misma tarjeta; esta señal, va asociada con un circuito PWM, el cual entrega la señal al actuador final (MOSFET de potencia).

DEFINICION DE LA BASE DE REGLAS

Para la elección del universo del discurso se tuvo en cuenta el máximo ángulo de elevación de la lamina que, dicho sea de paso es de 40° . Se realizó el diseño usando nueve funciones de membresía para el error y tres para la derivada del error. Donde éstos conjuntos difusos se abrevian con las letras VBN, BN, MN, SN, ZO, SP, MP, BP, VBP, donde las letras B, V, M, S, N corresponden a las variables lingüísticas (en ingles) grande, muy, medio, pequeño y negativo, N, ZE y P representan negativo, cero y positivo respectivamente.

Así los nueve conjuntos difusos que se desprenden para la etapa de control en la señal de error son:

- VBP : Positivo Muy Grande.
- BP : Positivo Grande.
- MP : Positivo Mediano.
- SP : Positivo Pequeño.
- Z : Cero.
- SN : Negativo Pequeño.
- MN : Negativo Mediano.
- BN : Negativo Grande.
- VBN : Negativo Muy Grande.

Los tres conjuntos difusos para la etapa de control en la señal de cambio de error son:

- P : Positivo.
- Z : Cero.
- N : Negativo.

Ahora las funciones de membresía para la variable de salida son:

- VBD : Decremente un valor muy grande
- BD : Decremente un valor grande
- MD : Decremente un valor mediano
- SD : Decremente un valor pequeño
- Z : Mantenga el valor de salida
- SI : Incremente un valor pequeño
- MI : Incremente un valor mediano
- BI : Incremente un valor grande
- VBI : Incremente un valor muy grande

FUNCIONES DE MEMBRESIA

El tipo de funciones de membresía escogido es la función triangular, debido a que ésta presenta la mayor facilidad para ser llevada a un sistema digital como es un CPU, por la simplicidad de su descripción. Así las funciones de membresía son:

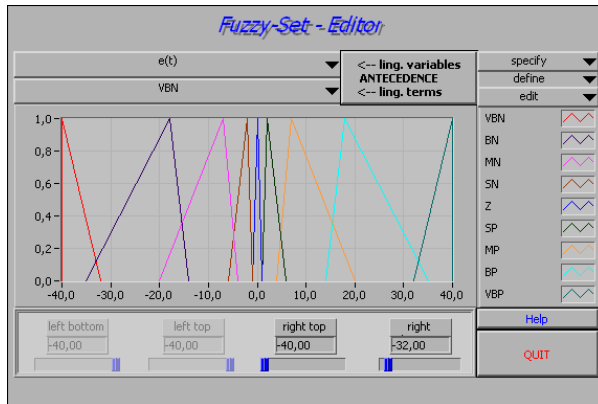


Figura 7. Funciones de membresía del error $e(t)$.

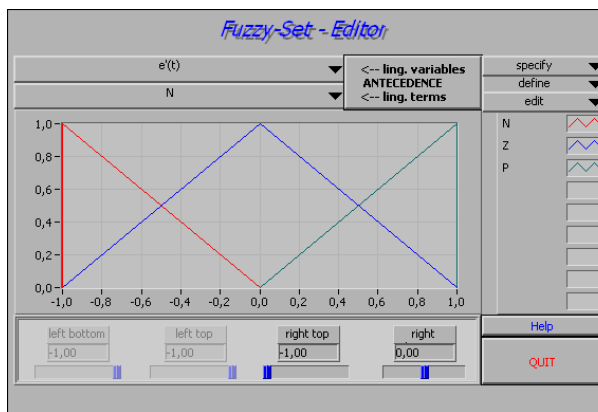


Figura 8. Funciones de Membresía de la derivada del error $e'(t)$.



Figura 9. Funciones de Membresía de la salida $u'(t)$.

CREACIÓN DE LA BASE DE REGLAS

La Tabla 1 muestra la base de reglas para la realización del control de velocidad del motor CC. La primera fila y la primera columna indican los conjuntos difusos de la variable E y de la variable CE, respectivamente, y las funciones de pertenencia de la variable de salida CU es mostrada en el cuerpo de la tabla.

Existen $9 \times 3 = 27$ reglas posibles que se pueden realizar con los conjuntos difusos de

entrada, donde la lectura de un valor de la tabla es:

SI E = VNB Y CE = N ENTONCES CU = VBD

Se puede dejar sin reglas algunos bloques de la tabla, para que los valores de salida sean activados con solo algunos conjuntos difusos de entrada.

| E \ CE | VBN | BN | MN | SN | ZO | SP | MP | BP | VBP |
|--------|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| N | VBD | BD | MD | SD | Z | SI | MI | BI | VBI |
| ZE | VBD | BD | MD | SD | Z | SI | MI | BI | VBI |
| P | VBD | BD | MD | SD | Z | SI | MI | BI | VBI |

Tabla 1. Reglas de control difuso

Para éste controlador se utilizó el método de defusificación del centroide, que es el método más usado en aplicaciones difusas usadas en control, en el que la salida final será el centro de gravedad del área total resultante, además contribuye a que la salida se mueva más suavemente a lo largo de la superficie de control, que además, en la simulación, brindó los mejores resultados.

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas básicas que se ensayaron fueron: La respuesta del sistema a la señal paso y la respuesta del sistema a las perturbaciones. La primera consiste en ingresar cambios rápidos de referencia y la segunda perturbar la carga del sistema.

RESPUESTA A LA SEÑAL PASO

Ésta prueba permite evaluar el comportamiento estático y dinámico del sistema. La prueba consiste en el análisis del sistema en lazo cerrado ante diferentes cambios de referencia. Las referencias fueron tomadas desde diferentes puntos, es decir, desde cero a un valor máximo, del valor máximo a cero, desde un valor medio al valor máximo. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

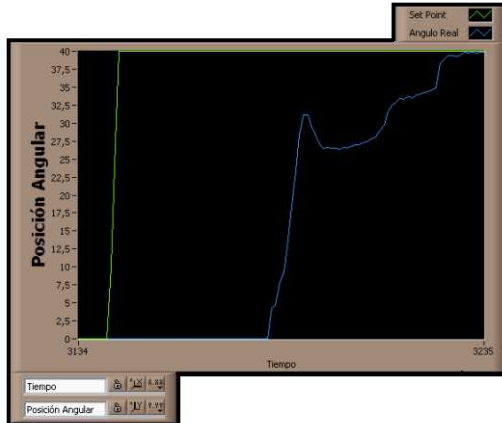


Figura 10. Respuesta del sistema a la señal paso, desde cero al valor máximo.

Como se puede observar, la señal paso arranca desde cero hasta un valor máximo, la señal de salida responde adecuadamente, no existe sobreimpulso y el error en estado estable es prácticamente nulo, lo que corrobora la eficiencia de los controladores difusos.

RESPUESTA A PERTURBACIONES

Éste ensayo permite evaluar el comportamiento de la planta frente a la presencia de una perturbación. Para esto se modifica la carga estática del motor DC, consiguiendo una variación de la carga.

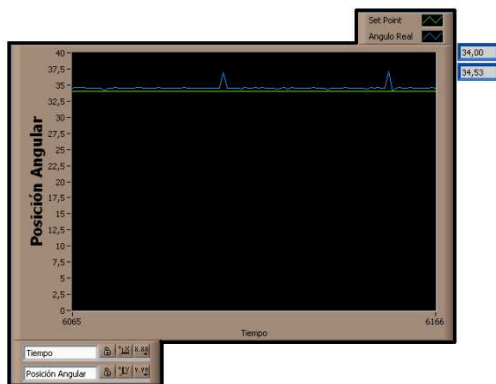


Figura 11. Respuesta del sistema a las perturbaciones.

En este caso se observa que la carga sufre una perturbación mientras el set point es constante, sin embargo el control hace que la salida se estabilice nuevamente en un corto tiempo.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la experiencia obtenida en este trabajo, vemos que en los resultados obtenidos, el control difuso provee una respuesta

satisfactoria, rápida y estable para el sistema cuando este se somete diferentes perturbaciones. Los resultados obtenidos muestran la eficiencia, validez y robustez del método de control propuesto en este artículo.

Las claras ventajas que presenta un controlador difuso, tanto en su funcionamiento, como en su implementación, nos permiten exaltar las bondades que tendría su implementación en diferentes aplicaciones de control, ya que una vez entendido el principio de funcionamiento de un controlador difuso, vemos claramente reflejada la facilidad que tuvimos en implementarlo y calibrarlo.

REFERENCIA

- [1] BRASLAVSKY, Julio. "Control Automático". Congreso de Ingeniería en Automatización y Control Industrial, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina 2002.
- [2] ALTROCK C. V, Fuzzy Logic and Neuro Fuzzy Applications explained, Prentice Hall, 1995.
- [3] ALTROCK C. V, Fuzzy Logic and Neuro Fuzzy Technologies in Appliances, Embedded Systems Conferences, 1999.
- [4] ANGEL CHRISTIAN ABUSLEME HOFFMAN. CONTROL DIFUSO DE VEHÍCULO VOLADOR NO TRIPULADO, Santiago de Chile, 2000
- [5] VELASCO Ramiro Aduviri, COMPARACIÓN DE CONTROLADORES CONVENCIONALES Y CONTROLADORES DIFUSOS, La Paz - Bolivia, 5 de Noviembre del 108
- [6] KASABOV, Nikola. Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems and Knowledge Engineering. MIT PRESS. 1998.
- [7] JUAN L. HERNÁNDEZ SÁNCHEZ Y CRISTIÁN CUADRA ALVARADO, FUZZY CONTROL STRATEGIES FOR A TWO-VARIABLE NONLINEAR SYSTEM, 2001
- [8] MANDANI, E. H. "Application of Fuzzy Algorithm for Control of Simple Dynamic Plant" Proc. IEE Vol 121, N° 12, pp 1585-1588, 1974.
- [9] National Instruments Corporation, Overview of Fuzzy Logic, pag. 5-18.
- [10] National Instruments Corporation, Overview of Fuzzy Logic, pag. 6-1.

