

CONTROL FUZZY DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE

Ph.D. Aldo Pardo García*

Ing. Jair Enrique Sanjuan Villadiego**

Ing. Mildred Johana Gómez Mongua***

Universidad de Pamplona

Grupo de Investigación: Automatización y Control A&C.

Ciudadela Universitaria El Buque Km 1 vía a Bucaramanga,

*apardo13@hotmail.com

**jesanjuan@yahoo.com

***miljoha@yahoo.com

Abstract: El proyecto consiste en el diseño e implementación de un controlador difuso para el proceso de pasterización de la leche, basándonos en las especificaciones de la planta piloto de la Universidad de Pamplona.

Para su desarrollo se utilizó el Microcontrolador PIC16F877, el controlador difuso posee dos entrada, y una salida (MISO) con las que se controla el suministro de agua caliente al tanque de doble camisa o Pasterizador y como principal propósito mantener constante (63°C) durante 30 minutos la temperatura de la leche.

Keywords: Fuzzy, CLF, Pasterización, Automatización, Control, Adquisición, Microcontrolador.

1. INTRODUCCIÓN

El gran auge que ha tenido en la última década la investigación en el uso de técnicas de Inteligencia Artificial para el control de procesos industriales, con el fin de construir Sistemas de Control Inteligentes, ha motivado la explotación de técnicas hasta hace poco tiempo subutilizadas. La LOGICA FUZZY es una de estas técnicas que ha generado con su uso los Controladores Lógicos Fuzzy (CLF). La Universidad de Pamplona como entidad generadora de aplicaciones basadas en nuevas

tecnologías, debe ser una institución vanguardista en las nuevas tendencias de control.

En este marco surge esta propuesta de desarrollo e implementación a escala de una aplicación basada en Lógica Fuzzy totalmente operativa, que demuestre la optimización en el proceso de pasterización de la leche en la planta de la Universidad.

Actualmente, los sistemas de control de procesos son una combinación de computadoras (incluyendo las personales), estaciones de trabajo,

software gráfico y diversos algoritmos de control, tarjetas de adquisición de señales digitalizadas de propósito general y específico, redes de comunicación, etc. El proyecto se basa en aplicar estos últimos conceptos en una réplica a escala de la etapa de tratamiento térmico de un proceso de pasteurización industrial, en el cual se eleva a una temperatura constante durante un corto tiempo, el fluido del proceso, en este caso la leche que requiere tratamiento térmico para propósitos bacteriológicos.

La leche es un producto de gran aceptación y demanda por parte de los consumidores a nivel mundial, por lo tanto el proceso de pasteurización debe realizarse para garantizar la eliminación de bacterias patógenas.

Por esta razón es muy importante optimizar el proceso de control de pasteurización que garantice una reducción en los costos de elaboración y garantizar una calidad uniforme y elevada de los productos obtenidos mediante la utilización de sistemas avanzados de control en las industrias de procesamiento de alimentos. La utilización de sistemas avanzados de control también puede ayudar a dirigir a las industrias hacia estos objetivos.

El control y la automatización de procesos no son aspectos nuevos en la industria alimentaria. De todos modos la optimización de los lazos de control aún queda mucho trabajo que hacer.

2. DISEÑO DEL CONTROLADOR DIFUSO

La figura 1 muestra el diagrama en bloques del controlador de

temperatura, consiste en el elemento a controlar, un sensor de temperatura y controlador difuso.

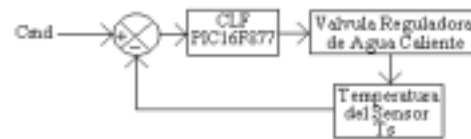


Fig. 1. Diagrama en bloques.

Cmd = Temperatura Ideal.

Ts = Temperatura proveniente del sensor.

Procesamiento de la señal de entrada.

Antes del análisis fuzzy la señal es muestreada, se toman dos datos importantes los cuales son el error $x(t) = Cmd - Ts$ y la variación del error o razón de cambio $y(t) = dx(t)/dt$.

Establecimiento de las subfunciones.

Este es el primer paso en el análisis fuzzy. Para esta aplicación en particular, el dominio de $x(t)$ y $y(t)$, puede ser subdividido en tres subdominios Negativo (N), Cero (Z) y Positivo (P).

Definición de las funciones de membresía para cada entrada.

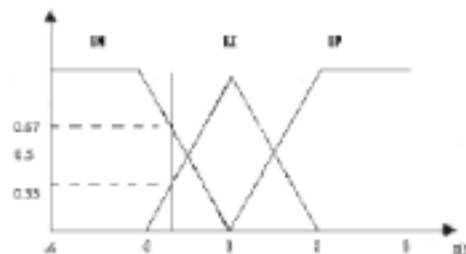


Fig. 2. Gráfica de las funciones de membresía de la variable Error.

Las funciones de membresía son una representación gráfica de los grados de membresía para cada una de las entradas de un espacio fuzzy, en consecuencia el numero de funciones de membresía asociadas a cada entrada equivale al numero de sub-dominios definidos para cada entrada en particular. Es de notar que cada figura presenta la representación gráfica de la función de membresía asociadas a cada sub-dominios (Negativo, Cero, Positivo).

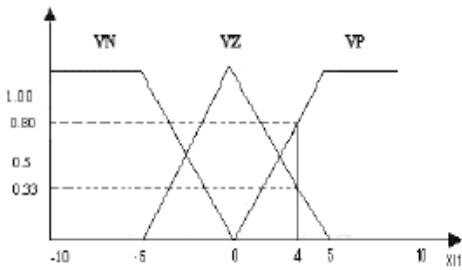


Fig. 3. Gráfica de las funciones de membresía de la variable Variación.

Definición de las funciones de membresía para la salida.

En este caso el dominio o rango es de 0-255, esta expresado en funciones singleton para mayor precisión; Bajo =15, Medio =110 y Alto =200.

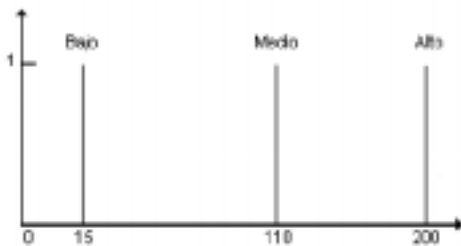


Fig. 4. Funciones de membresía para la función de salida.

Reglas Matriciales.

La parte de las reglas delimitada por **if** y **then** se denomina consecuencia de la regla y siempre contiene una referencia del estado de la entrada. La parte de las reglas después de **then** es llamada consecuente y siempre describe el estado de la salida del sistema. A, B, C son sentencias lógicas.

El número total de reglas que describen el sistema es igual a N*M, donde N es igual al numero de sub-dominios que tiene x(t) y M el número de sub-dominios asociados a y(t), es decir para nuestro caso 9.

Para mayor claridad:

x(t) y(t)	EN	EZ	EP
VN	A: x = N B: y = N	A: x = Z B: y = N	A: x = P B: y = N
VZ	A: x = N B: y = Z	A: x = Z B: y = Z	A: x = P B: y = Z
VP	A: x = N B: y = P	A: x = Z B: y = P	A: x = P B: y = P

Tabla 1. Antecedentes.

La correspondiente consecuencia:

x(t) y(t) Z=Out	EN	EZ	EP
VN	Bajo	Medio	Alto
VZ	Bajo	Medio	Medio
VP	Bajo	Medio	Medio

Tabla 2. Consecuencias.

Evaluando los grados de membresía para las entradas bases, en las funciones de membresía definidas. Para explicar el procedimiento a seguir, se recurre a la siguiente situación; suponga que x(t)=-2 y

$y(t) = 4$. Basándose en la función de membresía de la figura 2 y 3 se obtienen los valores correspondientes. **La notación: $A|x=N|0.25$** . Quiere decir: Sentencia A “x es negativa” es verdadera en una proporción del 25%.

x(t) y(t)	EN	EZ	EP
VN	A: $ x=N 0.67$ B: $ y=N 0.00$	A: $ x=Z 0.33$ B: $ y=N 0.00$	A: $ x=P 0.00$ B: $ y=N 0.00$
VZ	A: $ x=N 0.67$ B: $ y=Z 0.20$	A: $ x=Z 0.33$ B: $ y=Z 0.20$	A: $ x=P 0.00$ B: $ y=Z 0.20$
VP	A: $ x=N 0.67$ B: $ y=P 0.80$	A: $ x=Z 0.33$ B: $ y=P 0.80$	A: $ x=P 0.00$ B: $ y=P 0.80$

Tabla 3. Valores de verdad de los antecedentes

El Proceso de Inferencia

Esto consiste en “combinar” las reglas para obtener el valor de salida por medio de la defuzzificación. Varios métodos de inferencia han sido desarrollados. Para esta aplicación se usa el simple algoritmo, llamado algoritmo de MIN-MAX.

Los siguientes pasos son requeridos:

1. Asignar a la sentencia (A_i and B_i) los valores de verdad $z_i = \min(A_i, B_i)$, donde A_i y B_i son los valores de verdad (o grados de membresía) de las sentencias A y B, como extraer las funciones de membresía asociadas a las entradas.

2. Calcular el valor de salida del “Crisp”, según la formula de abajo:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^N z_i * S_i}{\sum_{i=1}^N z_i}$$

Donde $z_i = \min(A_i, B_i)$ y S_i son los valores singleton, asociados con los subdominios fuzzy de la salida.

x(t) y(t) Z	EN	EZ	EP
VN	Z=Min(A,B)	Z=Min(A,B)	Z=Min(A,B)
VZ	Z=Min(A,B)	Z=Min(A,B)	Z=Min(A,B)
VP	Z=Min(A,B)	Z=Min(A,B)	Z=Min(A,B)

Tabla 4. Algoritmo de MIN-MAX.

Los valores numéricos del ejemplo considerado:

x(t) y(t) Z=Out	EN	EZ	EP
VN	Z = 0.00	Z = 0.00	Z = 0.00
VZ	Z = 0.20	Z = 0.20	Z = 0.00
VP	Z = 0.63	Z = 0.33	Z = 0.00

Tabla 5. Valores resultantes del algoritmo de MIN-MAX.

Al llenar los valores singleton en la tabla de consecuente, obtenemos la siguiente matriz:

x(t) y(t) Z=Out	EN	EZ	EP
VN	15	110	200
VZ	15	110	110
VP	15	110	110

Tabla 6. Tabla singleton.

Aplicando la formula (1), se obtiene el valor de salida del CLF.

$$Z = (0*15 + 0*110 + 0*200 + 0.2*15 + 0.2*110 + 0*110 + .67*15 + 0.33*110 + 0*110) / (0.2 + 0.2 + 0.67 + 0.33) = 50.96$$

Este calculo luego es repetido con cada punto del rango de la función.

3. DISEÑO Y MONTAJE

Después de realizar el estudio del modelo fuzzy para el tanque Pasteurizador, se realizó el diseño del controlador real, compuesto para el trabajo óptimo del sistema de control, dos microcontroladores 16F877 y 16F84A, un sensor de temperatura LM335 y un LCD para la señalización del proceso, el diagrama en bloque encuentra en la siguiente figura 5.

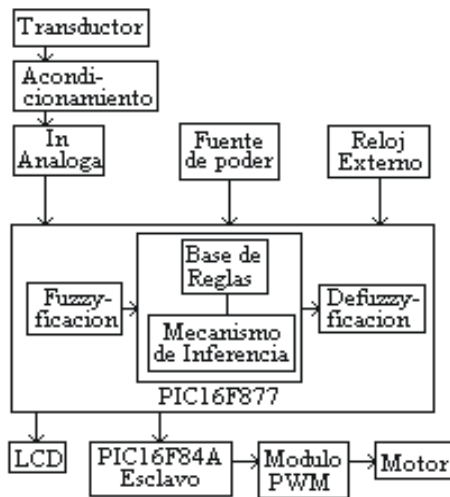


Fig. 5. Diagrama en bloques del CLF real.

Del PIC16F877 utilizamos un canal del convertor A/D para obtener datos del sensor de temperatura LM335 y su posterior procesamiento, la interrupción de RB0 para iniciar el proceso, la interrupción externa del TIMER0 en RA4/T0CKI para llevar el conteo de media hora necesario para el calentamiento de la leche, y la gran parte de los puertos para salida de dato y visualización de eventos en la LCD, los tres bits más significativos del

puertob son utilizados para controlar el PIC16F84A el cual es utilizado para controlar la velocidad del motor mediante un modulo PWM generado.

4. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en el diseño e implementación real en el prototipo, demuestran que el controlador lógico fuzzy cumple con las características exigidas en el proceso de pasteurización de leche.
2. Los controladores lógicos fuzzy son de gran aplicación en aquellos sistemas que requieren de algoritmos simples pero que no son de fácil caracterización y resulta muy difícil un modelo matemático.
3. El presente trabajo sirve como punto de partida para futuras investigaciones en el campo de la lógica fuzzy y su utilización en el control de procesos.
4. Cuando la implementación física sea mediante microprocesadores o microcontroladores, la acción de control se verá en cualquier caso ralentizada al depender del tiempo de ejecución del programa ensamblador, siempre de naturaleza secuencial, por tanto se aconseja utilizar microcontroladores fuzzy, PLDs (Dispositivos Lógicos Programables), FPGAs (Field Programmable Gate Arrays), memorias EPROM, Computadoras, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. MENESES F, Jorge Enrique. Seminario-Taller: Inteligencia Artificial en procesos de control.
2. CAMPOS Manuel, Fernando. Implementación de un sistema de desarrollo utilizando los microcontroladores PIC Microchip Technology. Universidad de Guadalajara México, 1998.
3. ANGULO, José María. Microcontroladores PIC16F87X Diseño Práctico de Aplicaciones. Mc GrawHill, España. Segunda Edición 2000.

<http://www.swin.net/usuarios/miguel/index.htm>
<http://www.national.com>
<http://www.geocities.com/grupoindustrialaisa/>