

Diseño de un Controlador de Temperatura basado en Lógica Difusa para una Incubadora de Huevos de Aves de Corral



Colaboración

Jaime Castañeda Delgado; María del Refugio Molina Wong; Abraham Esquivel Salas, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Norte

Fecha de recepción: 13 de noviembre de 2024

Fecha de aceptación: 18 de marzo de 2025

RESUMEN: Una incubadora es un mecanismo artificial que imita el proceso de incubación de las aves, controlando los factores ambientales para que un embrión en el huevo se desarrolle. Es imprescindible asegurar que la temperatura se mantendrá en los límites de la temperatura ideal.

Como propuesta, en una primera etapa se hace énfasis en un control de temperatura basado en lógica difusa utilizando el método de centros máximos (COM). Los resultados observables en el prototipo son alentadores, y se considera en una segunda etapa, controlar de igual manera la humedad.

PALABRAS CLAVE: Control Automático, Lógica Difusa, Control de Variables Ambientales.

ABSTRACT: An incubator is an artificial mechanism that replaces the incubation process of birds, controlling environmental making the development of an embryo possible. It is essential to ensure that the temperature will be kept within the limits of the ideal temperature.

As a proposal, was developed a temperature control based on fuzzy logic using the maximum center method (COM). The prototype encouraging results, and in a second stage, it is considered to control the humidity in the same way.

KEYWORDS: Automatic Control, Fuzzy Logic, Environmental Variables Control.

INTRODUCCIÓN

En la región norte del estado de Zacatecas, según INEGI en el Censo 2022, la producción de gallos, gallinas, pollos y pollitos, en unidades de producción fue del 96.40 % mientras en las viviendas tan solo del 3.60%. La producción de pollo en la vivienda puede ser una opción económica viable para mejorar la economía familiar.

Una incubadora es un dispositivo capaz de controlar factores ambientales, como la temperatura y la humedad, además, debe permitir la renovación del aire y proporcionar mecanismos para cambiar la posición del huevo [1].

El diseño de una incubadora requiere de un sistema electrónico que consta de un microcontrolador, sensores y programas de control para la regulación de las variables ambientales, con el propósito de mantener los huevos en el rango de temperatura y humedad deseables, que propague el calor de manera uniforme, cambiando de posición el huevo hasta que eclosione.

Es posible encontrar incubadoras con un sistema de control ON/OFF. Como ventaja es el tipo de control más sencillo, pero este tipo de control es incapaz de mantener la variable de temperatura estable en situaciones donde se presentan cambios bruscos [2].

Otro sistema de control es el PID (proporcional-integral-derivativo), que es el más usado en las aplicaciones industriales, y consiste en aplicar un control proporcional que actúa en tiempo real, un control integrativo que toma en cuenta el comportamiento en tiempo pasado de la variable, y un control derivativo que es capaz de estimar la naturaleza de la variable en el futuro inmediato, lo que revelan que el sistema PID mantienen de forma eficaz los valores de temperaturas deseados[2].

Por lo tanto, en este trabajo de investigación se propone diseñar una incubadora con un sistema de control de temperatura basado en lógica difusa utilizando el método de centros máximos (COM). El algoritmo utiliza funciones de pertenencia para el control de la variable de temperatura, permitiendo tomar decisiones en función de grados intermedios de cumplimiento de una premisa.

De alcanzar el resultado esperado, permitirá el control de otras variables ambientales que afectan el proceso de incubación de los huevos, como la ventilación y la calidad del aire, para aumentar la tasa de supervivencia de los embriones.

A continuación, se presenta un estado del arte, seguido por la propuesta de control de temperatura, el diseño, resultados y finalmente las conclusiones de la investigación.

Estado del arte

Un sistema de control difuso es una técnica de inteligencia artificial que utiliza lógica difusa para tomar decisiones y controlar sistemas.

Los sistemas de control difuso son particularmente útiles en situaciones en las que es difícil definir reglas o parámetros exactos para la toma de decisiones, como en entornos complejos o dinámicos.

La evolución del proceso de incubación se caracteriza por un importante desarrollo científico y tecnológico. En la

actualidad, se hace énfasis en el control de las condiciones térmicas de incubación, aunque tal y como lo plantea Boleli et al. [1], es necesario plantearse que tan efectivas son las condiciones físicas actuales de incubación para promover una mayor incubabilidad.

En un esfuerzo por mejorar la eficiencia y la precisión de la eclosión, Auliafitri et al. [3] presenta una máquina para incubar huevos. La máquina está equipada con sensores para medir en tiempo real la temperatura y humedad dentro de la incubadora. Los datos obtenidos de los sensores se utilizan como entrada para un sistema de control basado en lógica difusa que regula la temperatura y humedad de la incubadora. Como resultado, el modelo difuso de Mamdani puede calcular las variaciones de temperatura y humedad en la máquina de incubación y brindar recomendaciones para la potencia óptima de la lámpara. Como trabajo futuro, incluirán un análisis más exhaustivo de otras variables ambientales que afectan el proceso de incubación de los huevos, como la ventilación y la calidad del aire, para aumentar la tasa de supervivencia de los embriones.

Aldair et al. [4] presenta una idea similar, que utiliza un sistema de control difuso para controlar la temperatura, humedad y posición del huevo. Su prototipo, construido con Arduino pretende en un futuro usar tecnología de IoT para monitorear desde remoto, las variables ambientales de la incubadora.

Okpagu y Nwosu [5] controlan la temperatura de una incubadora usando un controlador PID implementado en un microcontrolador. Como resultado de sus simulaciones, su controlador PID puede garantizar la estabilidad de la temperatura en la incubadora.

METODOLOGÍA

El enfoque que se aplicara para esta investigación es mixto ya que se pretende realizar una incubadora con un sistema de control de temperatura basado en lógica difusa, donde se observa y analiza el comportamiento de la variable en un tiempo determinado.

Se construyó un prototipo de madera y puede fabricarse de forma sencilla mediante técnicas y herramientas disponibles.

Se eligió como fuente de calor durante la incubación una bombilla de 100 watts que se controla a través de su intensidad, esto por su facilidad instalación y su bajo costo. Considerando que este tipo de fuentes generan calor residual e incrementan rápidamente la temperatura a 37 grados centígrados, también disminuye la humedad en el interior. Para esto, se planea mejorar el diseño como trabajo futuro, utilizando focos de 50 Watts o bien otras alternativas como las resistencias eléctricas [6].

El calentamiento de los huevos durante la incubación se logra mediante el intercambio de calor entre el aire y los

huevo. La temperatura óptima de incubación se encuentra en el rango de 37 y 38°C.

Hoy en día las incubadoras cuentan con los más modernos sistemas de control de temperatura, humedad, volteo y ventilación, entre lo que destacan es el control ON/OFF, PID y lógica difusa.

El sistema ON/OFF, es aquel que solo ocupa una de las dos posibles posiciones sin estados intermedios por lo que no es posible mantener la variable estable ante los cambios en corto tiempo.

El algoritmo de control PID consiste de tres modos básicos, el proporcional, el integral y el derivativo. Generalmente los algoritmos básicos usados son P, PI o PID, y existiendo una amplia variedad de formas y métodos de ajuste de este esquema de control. Sin embargo, a medida que se exige una mayor precisión en el sistema, el ajuste de este tipo de control se hace más difícil sobre todo por el ruido y cuando se presentan retardos, además cuando los procesos a controlar son no lineales y el control debiera tener la capacidad de compensar esas no-linealidades, el control PID no tiene la capacidad de responder porque asume relaciones lineales [7].

Por otra parte, un controlador con lógica difusa es un sistema que puede ser expresado mejor como un control a través de palabras que interpretan el sentido común, en lugar de números, o bien, sentencias en lugar de ecuaciones. Es un sistema matemático que analiza los valores de entrada analógica en términos de variables lógicas que toman valores continuos entre 0 y 1. Con estos podemos lograr que un sistema pueda ajustarse a condiciones cambiantes que son algunas veces imposibles de predecir, tales como los cambios ambientales o las condiciones de desgaste en sus componentes físicos. Un control de lógica difusa puede igualar y exceder el rendimiento de un controlador PID estándar [8].

Mientras el controlador PID puede parecer más simple, el control difuso presenta mejor respuesta a las perturbaciones. Cuando la perturbación desaparece, el control difuso estabiliza de manera más rápida la temperatura.

Materiales y métodos

Es necesario que la fuente de calor simule el calor que una gallina proporciona al huevo. Se eligió como fuente de calor una bombilla de 100 watts, controlada a través de su intensidad. Como microcontrolador, se eligió el microcontrolador Atmega 328 de Arduino Uno.

El control de la intensidad del foco, fue realizado por medio de un triac, que conectado al foco y a un MOC (optoacoplador), envía una señal al microcontrolador para modificar la intensidad del foco. El diseño se realizó en dos etapas: emisor y receptor.

Para la detección de la temperatura dentro de la incubadora, se instalaron 4 sensores de temperatura LM35 (véase la Figura 1. Este prototipo mantiene comunicación con el receptor (etapa de potencia), ubicada dentro de la incubadora, para monitorear y optimizar la temperatura del entorno.

Además, el prototipo cuenta con una pantalla LCD 16x2, que muestra la temperatura dentro de la incubadora.

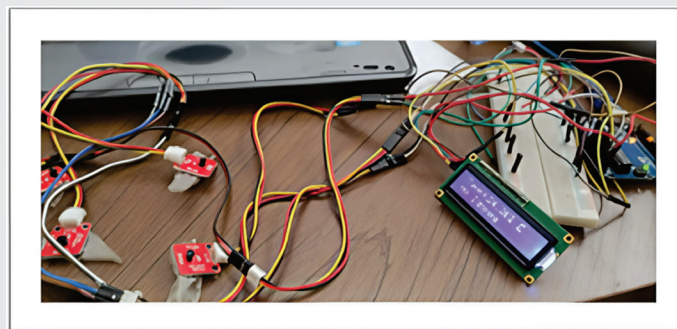


Figura 1. Conexión de sensores en físico.

Fuente: Elaboración propia.

La etapa de potencia, fue integrada por el microcontrolador Arduino Uno, que envía una señal PWM (modulación de ancho de pulso) al circuito de control de carga para el encendido de la bombilla en base a la lectura registrada por el emisor.

Un control difuso, será el encargado de hacer que la temperatura se aproxime, en medida de lo posible, a la temperatura ideal.

La etapa de potencia está diseñada por un microcontrolador de Arduino Uno. y un circuito de control de carga formado por un mosfet BTB12 600B, teniendo un MOC 3021 para la manipulación de corriente contando con una resistencia de 220Ohms y una de 500Ohms manipulando un foco incandescente de 100 WATTS véase la Figura 2.



Figura 2. Diagrama de potencia en físico.

Fuente: Elaboración propia.

El control de la temperatura es un sistema basado en lógica difusa y está dado por un controlador de lazo cerrado de tipo Proporcional-Derivativo, de dos entradas y una salida. Las entradas físicas del sistema son la temperatura

deseada y la temperatura actual, hablando de la máquina de inferencia, las entradas son el error y la derivada del error. La salida de la máquina de inferencia genera una señal PWM que activara un triac para suministrar la energía de encendido que tendrán los focos véase la Figura 3.

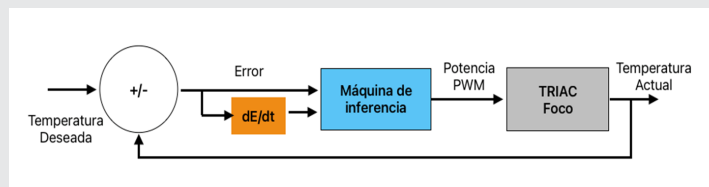


Figura 3. Esquema del control de temperatura difuso PD.
Fuente: Elaboración propia.

La máquina de inferencia difusa está formada por tres partes esenciales. la Difusión, el Razonamiento o Reglas difusas IF-THEN y la Desdifusión.

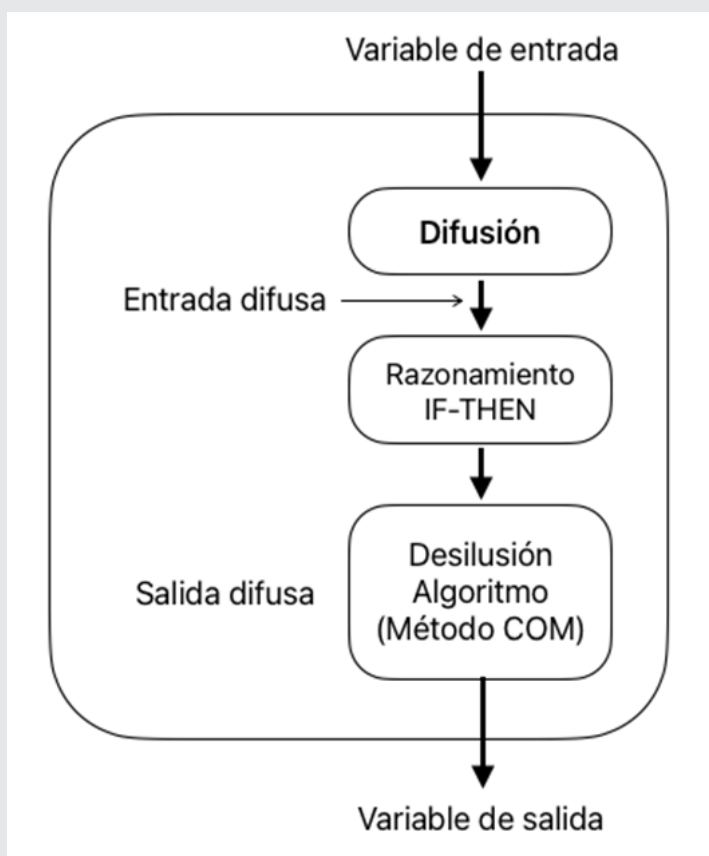


Figura 4. Máquina de inferencia difusa.
Fuente: Elaboración propia.

La difusión es un proceso en el cual las variables físicas son convertidas en entradas difusas, el valor de las variables es evaluado y se les asigna un grado de pertenencia dentro de los conjuntos difusos que define el diseñador. Para hacer este proceso se usan las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos.

El razonamiento dentro de una máquina de inferencia difusa es el que se encarga de evaluar las reglas propuestas por el diseñador. Las reglas relacionan las entradas difusas y

generan la salida difusa; estas reglas son llamadas "Reglas Difusas" posteriormente esta salida difusa es convertida en una salida real mediante el proceso de desdifusión, con la salida real el sistema realizará la acción deseada.

El razonamiento en las reglas difusas de Mamdani se realiza de la manera siguiente:

$$\text{if } (X_1 \text{ is } A \text{ AND } X_2 \text{ is } B) \text{ then } (U_1 \text{ is } C) \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde X_1 y X_2 son las variables de entrada, A y B son las funciones de membresía de entrada, U_1 es la salida difusa y C es la función de membresía de salida.

La primera parte del enunciado "if (X_1 is A AND X_2 is B)" se conoce como antecedente y "then (U_1 is C)" es el consecuente.

Como ventajas se puede decir que es intuitiva, con amplia aceptación, adaptada a la incorporación de conocimiento y experiencia.

La desdifusión es la conversión de la salida difusa de la máquina de inferencia a una variable de salida, es decir, el resultado obtenido de las reglas dentro de la máquina de inferencia será traducido en una señal física real para el sistema de control.

Para la desdifusión existen dos métodos, el método de centroide y el método centro de máximos (COM). Para este prototipo se utilizó el método COM por ser más eficiente y por su bajo costo, pues utiliza funciones simétricas y puede obtener valores de salida reales usando recursos computacionales limitados.

Diseño del control

Hablando del controlador, sus entradas están dadas por el Error de temperatura obtenida del invernadero (Temperatura ideal - Temperatura actual) y la Derivada del error de temperatura (dE/dt), que viene a ser la diferencia entre el error actual y el anterior.

Las entradas difusas, compuestas por el Error de la Temperatura y la Derivada de la Temperatura, pasan por un proceso de difusión, asignándoles valores de pertenencia.

Con un intervalo de 29 a 45 grados, de acuerdo al rango de temperatura de una incubadora de huevos, se definieron una función lambda, tres funciones triangulares y una gamma.

Muy Positivo (MP) Lambda

$$(u; 29, 33) \begin{cases} 1, \text{ si } u \leq 29; \\ \frac{33 - u}{33 - 29}, \text{ si } 29 \leq u \leq 33; \\ 0, \text{ si } u > 33. \end{cases} \quad \text{Ec. (2)}$$

Positivo (P) Triangular

$$\Lambda(u; 29, 33, 37) = \begin{cases} 0, & \text{si } u \leq 29; \\ \frac{u - 29}{33 - 29}, & \text{si } 29 \leq u \leq 33; \\ \frac{37 - u}{37 - 33}, & \text{si } 33 \leq u \leq 37; \\ 0, & \text{si } u > 37. \end{cases} \quad \text{Ec. (3)}$$

Cero (Z) Triangular

$$\Lambda(u; 33, 37, 41) = \begin{cases} 0, & \text{si } u \leq 33; \\ \frac{u - 33}{37 - 33}, & \text{si } 33 \leq u \leq 37; \\ \frac{41 - u}{41 - 37}, & \text{si } 37 \leq u \leq 41; \\ 0, & \text{si } u > 41. \end{cases} \quad \text{Ec. (4)}$$

Negativo (N) Triangular

$$\Lambda(u; 37, 41, 45) = \begin{cases} 0, & \text{si } u \leq 37; \\ \frac{u - 37}{41 - 37}, & \text{si } 37 \leq u \leq 41; \\ \frac{45 - u}{45 - 41}, & \text{si } 41 \leq u \leq 45; \\ 0, & \text{si } u > 45. \end{cases} \quad \text{Ec. (5)}$$

Muy Negativo (MN) Gamma

$$\Gamma(u; 41, 45) = \begin{cases} 0, & \text{si } u \leq 41; \\ \frac{u - 41}{45 - 41}, & \text{si } 41 \leq u \leq 45; \\ 1, & \text{si } u > 45. \end{cases} \quad \text{Ec. (6)}$$

La Derivada del error tiene un intervalo que va de -1 a 1, donde -1 indica que la temperatura de la incubadora es fría respecto de la temperatura ideal, por lo tanto, los focos deben permanecer encendidos. Por el contrario, 1 indica que la temperatura ha subido, por lo tanto, los focos deben estar apagados. Para mantener la temperatura de la incubadora idónea.

Derivada Negativa (DN) Función Lambda

$$L(u; -1, 0) = \begin{cases} 1, & \text{si } u \leq -1; \\ \frac{0 - u}{0 + 1}, & \text{si } -1 \leq u \leq 0; \\ 0, & \text{si } u > 0. \end{cases} \quad \text{Ec. (7)}$$

Derivada Cero (DC) Función Triangular

$$\Lambda(u; -0.5, 0, 0.5) = \begin{cases} 0, & \text{si } u < -0.5; \\ \frac{u + 0.5}{0 + 0.5}, & \text{si } -0.5 \leq u \leq 0; \\ \frac{0.5 - u}{0.5 - 0}, & \text{si } 0 \leq u \leq 0.5; \\ 0, & \text{si } u > 0.5. \end{cases} \quad \text{Ec. (8)}$$

Derivada Positiva (DP) Función Gamma

$$\Gamma(u; 0, 1) = \begin{cases} 0, & \text{si } u < 0.5; \\ \frac{u - 0.5}{1 - 0.5}, & \text{si } 0.5 \leq u \leq 1; \\ 1, & \text{si } u > 1. \end{cases} \quad \text{Ec. (9)}$$

Las reglas difusas realizadas con la arquitectura de Mamdani, generadas a partir de la experiencia en campo que sigue la máquina de inferencia, se pueden apreciar en una memoria difusa Véase la Tabla 1.

Es preciso mencionar que las salidas con (*) son señaladas de esa forma, debido a que nunca se presentaron el caso de pertenencia entre las funciones del Error de Temperatura y la derivada del Error. En el caso de la salida N, se presenta de esta manera, porque no se genera ningún movimiento, debido a que se llega a la temperatura deseada (set point).

Tabla 1. Memoria difusa.

	MP	P	Z	N	MN
DN	ET	EA	EM	EB*	A*
DC	ET*	EA	N	EB	A*
DP	ET	EA*	EM	AB	A

Fuente: Elaboración propia.

La defusificación de la salida (focos) se puede presentar en la Tabla 2 y Figura 5.

Tabla 2. Niveles de intensidad.

ET	ENCENDIDO TOTAL	100%
EA	ENCENDIDO ALTO	80%
EM	ENCENDIDO MEDIO	60%
EB	ENCENDIDO BAJO	40%
AB	APAGADO BAJO	20%
A	APAGADO	0%

Fuente: Elaboración propia.

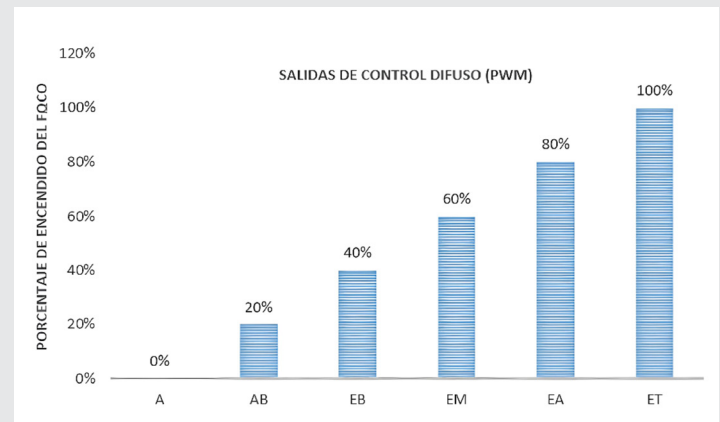


Figura 5. Salida del Control Difuso, ciclo de trabajo de señal PWM. Porcentaje de encendido del foco.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción de las salidas de control Difuso mediante funciones singleton:

Apagado (A)

$$\mu(u) = \begin{cases} 1, & \text{si } u = 0 \\ 0, & \text{si } u \neq 0 \end{cases} \quad \text{Ec. (10)}$$

Apagado Bajo (AB)

$$\mu(u) = \begin{cases} 1, & \text{si } u = 20 \\ 0, & \text{si } u \neq 20 \end{cases} \quad \text{Ec. (11)}$$

Encendido Bajo (EB)

$$\mu(u) = \begin{cases} 1, & \text{si } u = 40 \\ 0, & \text{si } u \neq 40 \end{cases} \quad \text{Ec. (12)}$$

Encendido Medio (EM)

$$\mu(u) = \begin{cases} 1, & \text{si } u = 60 \\ 0, & \text{si } u \neq 60 \end{cases} \quad \text{Ec. (13)}$$

Encendido Alto (EA)

$$\mu(u) = \begin{cases} 1, & \text{si } u = 80 \\ 0, & \text{si } u \neq 80 \end{cases} \quad \text{Ec. (14)}$$

Encendido Total (ET)

$$\mu(u) = \begin{cases} 1, & \text{si } u = 100 \\ 0, & \text{si } u \neq 100 \end{cases} \quad \text{Ec. (15)}$$

Aplicando el método COM para la Desdifusión, a partir de los máximos de la Derivada del Error y Error de la temperatura, mediante la expresión:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(ui) * ui}{\sum_{i=1}^n \mu(ui)} \quad \text{Ec. (16)}$$

Nos arrojará el valor Z que representa el porcentaje de encendido del foco (señal PWM o ciclo de trabajo).

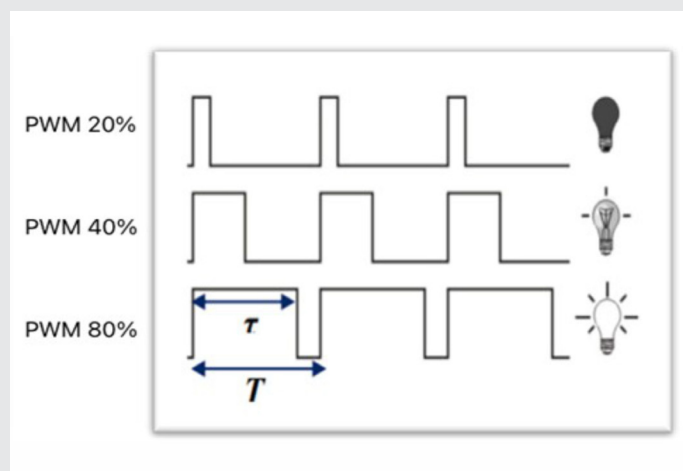


Figura 6. Modulación de ancho de pulso.

Fuente: Elaboración propia.

El PWM o Modulación por ancho de pulso es una técnica para modificar el ciclo de trabajo de una señal periódica, véase Figura 6. Para controlar la cantidad de energía que se manda al foco.

El ciclo de trabajo D está dado por la expresión.

$$D = \frac{\tau}{T} \quad \text{Ec. (17)}$$

Donde τ es la duración donde el pulso está en alto y T es el periodo del pulso.

RESULTADOS

Al aplicar el Método de Centros Máximos (COM), se obtiene la siguiente tabla que muestra la salida Z de la ecuación que representa el porcentaje promedio de encendido del foco para cada rango de temperatura medida en grados centígrados en el interior de la incubadora (véase la ecuación 16). Se puede apreciar que, para una temperatura menor de 26 grados, el foco deben estar encendidos al 100% para elevar la temperatura y para temperaturas mayores de 44 grados, el foco debe estar apagado para bajar la temperatura véase la Tabla 3.

Tabla 3. Valores para el encendido de la bombilla.

Descripción	Temperatura (T)	Valor Z
Muy caliente	$T > 44^{\circ} \text{C}$	0%
Caliente	$38^{\circ} \text{C} < T \leq 44^{\circ} \text{C}$	20%-15%
Idónea	$32^{\circ} \text{C} < T \leq 38^{\circ} \text{C}$	80%-40%
Fría	$26^{\circ} \text{C} < T \leq 32^{\circ} \text{C}$	100%-85%
Muy Fría	$T \leq 26^{\circ} \text{C}$	100%

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 7 muestra que, para una temperatura monitoreada de 37 grados centígrados (idónea), la bombilla debe estar encendida en un 40%, para mantener la temperatura.

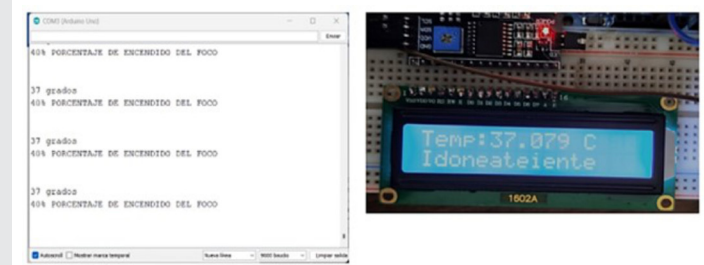


Figura 7. Al lado izquierdo, medición de temperatura y el porcentaje de encendido de la bombilla. Al lado derecho, su visualización en la pantalla LCD.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Se construyó un prototipo a partir de una caja de forma rectangular, acondicionada con un sistema de control de temperatura basado en lógica difusa; para el cual se investigaron los materiales para la fabricación, los dispositivos electrónicos, el lenguaje de programación del microcontrolador de Arduino Uno. También las entradas de este control como son los sensores analógicos de temperatura y la salida con su fase de potencia para la variación de la intensidad del foco.

Sin embargo, el prototipo presenta algunas limitaciones que necesitan ser consideradas en el futuro, tal como la influencia de otras variables que no fueron tomadas en cuenta y que aumentarían la exactitud del modelo construido con lógica difusa.

En lo posterior, se pretende implementar un controlador PID (Proporcional Integral, Derivativo), y emplear un puente H, para ajustar la cantidad de potencia en la carga, proporcionando un control más eficiente.

También se pretende remplazar algunos dispositivos para hacer mejoras al proceso de control, como son, una sonda de humedad y temperatura, una resistencia eléctrica industrial, y un inyector de ozono desinfectante. Por otra parte, retomar la idea de Sanjaya et al. [9] y mejorar la comunicación a través de un mecanismo de monitoreo remoto.

Finalmente, como trabajo a mediano plazo, dar continuidad a la implementación del control de humedad, así como el cambio de posición del huevo.

AGRADECIMIENTOS

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Zacatecas Norte.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Boleli, I., Morita, V., Matos Jr, J., Thimotheo, M., & Almeida, V. (2016). *Poultry Egg Incubation: Integrating and Optimizing Production Efficiency*. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 18(2), 1-16.

[2] Ramos, J. M. P., & Cedeño, E. A. L. (2020). *Estudio de las tecnologías de control utilizadas en las incubadoras avícolas*. *E-IDEA Journal of Engineering Science*, 2(4), 13-23.

[3] Auliafitri, D., RizkySuro, E., Kurniawan, T., Darmawan, M. D. M., Nurfadillah, F., & Octavia, N. (2024). *Chicken Egg Hatching Optimization with Automatic Control Using Fuzzy Logic*. *Journal of Applied Science, Technology & Humanities*, 1(3), 174-186.

[4] Aldair, A. A., Rashid, A. T., & Mokayef, M. (2018). *Design and implementation of intelligent control system for egg incubator based on IoT technology*. In *2018 4th International Conference on Electrical, Electronics and System Engineering (ICEESE)* (pp. 49-54). IEEE.

[5] Okpagu, P. E., & Nwosu, A. W. (2016). *Development and temperature control of smart egg incubator system for various types of egg*. *European Journal of Engineering and Technology*, 4(2).

[6] Canaza, F. I. E. (2019). *Construcción y evaluación del funcionamiento de un prototipo de incubadora para usos múltiples*, Chachapoyas, 2018. *Revista científica UNTRM: Ciencias Naturales e ingeniería*, 2(1), 26-32.

[7] Medina, M. A. P. L., Saba, M. G. H., de Guevara Durán, M. E. L., & Silva, M. J. H. (2011). *Con-*

troladores PID y controladores difusos. *Revista de ingeniería industrial*, 5(1).

[8] Ferreyra, A., & Fuentes, R. (2012). *Estudio comparativo entre control PID y difuso*. In *Memorias, XV Congreso Nacional de Instrumentación*. Ciudad de México, México (pp. 1-6).

[9] Sanjaya, W. M., Maryanti, S., Wardoyo, C., Anggraeni, D., Aziz, M. A., Marlina, L., ... & Kusumorini, A. (2018, March). *The development of quail eggs smart incubator for hatching system based on microcontroller and Internet of Things (IoT)*. In *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)* (pp. 407-411). IEEE.

