

Diseño e implementación de un control de temperatura y humedad para un prototipo de incubadora artificial de pollos

Josué González Morales,
Departamento de Electrónica y Ciencias de la Computación,
Pontificia Universidad Javeriana Cali
Calle 18 No 118 – 250 Cali.
Josue_gonzalezm@hotmail.com, jgonzalez80@javerianacali.edu.co

Resumen- En este proyecto de grado se explora el mundo de la incubación artificial de pollos, partiendo del proceso natural, estableciendo las variables, condiciones y aspectos críticos del proceso, con el fin de poder desarrollar un sistema de incubación artificial a pequeña escala, que diferente a los procesos usados en ella, garantice un aumento representativo en su eficiencia, es decir, en el número de pollitos vivos obtenidos. Se desarrolla adicionalmente un modelo matemático capaz de simular sistemas de incubación a diferentes escalas y un estudio integral teórico que abarca los procesos previos, durante la incubación y posteriores, que permitan construir una base sólida de conocimiento aplicable a este proceso.

Palabras Clave- Control, incubación, modelo matemático

I. INTRODUCCIÓN

El mundo se encuentra en un punto donde la automatización de procesos industriales es de vital importancia para su crecimiento, este es el caso de la industria avícola donde la automatización es clave para su desarrollo a gran escala, permitiendo alcanzar sistemas con un alto nivel de eficiencia.

Los avicultores Colombianos de pequeña o mediana escala, en su mayoría tienen sistema que no son eficientes debido a la utilización de incubadoras que no cuentan con la suficiente tecnología, causando haya una tasa de nacimientos baja con respecto a sistema de gran escala. Debido a que los rendimientos son bajos, los campesinos dejan de recibir millones de pesos al año impidiendo tener una mejor calidad de vida y deteniendo indirectamente el desarrollo del sector avícola Colombiano. Motivados por esta problemática, este artículo desarrolla un prototipo con el cual se logre atacar uno de los problemas del sector, diseñando un sistema de incubación que logre controlar las condiciones ideales de una incubadora artificial de pollos de manera automática con el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso.

Las siguientes secciones se encuentran organizadas de la siguiente manera: la segunda sección introduce al proceso natural de incubación y las condiciones necesarias de un proceso de incubación artificial. La tercera sección propone un modelo matemático para el análisis y estudio de sistemas de incubación a diferentes escalas. La cuarta sección desarrolla el control propuesto y los resultados en simulación. La quinta sección desarrolla y analiza las pruebas realizadas con un sistema de incubación convencional y el sistema de incubación propuesto. Finalmente, la séptima sección expone

las conclusiones de la investigación y sugerencias para trabajos futuros.

II. INCUBACIÓN

El proceso de incubación natural es el proceso normal de las aves para reproducirse, es importante tener un entendimiento del proceso natural con el fin de tener un mejor manejo en el proceso de incubación artificial. Podemos definir que el proceso de incubación es la suma de varios factores; Temperatura, humedad, ventilación y volteo de los huevos, entre otros.

El ave presenta varios cambios físicos cuando la cloquera comienza a funcionar, como la elaboración de vasos sanguíneos para subir la temperatura.

La gallina logra el control de todas las variables necesarias para el éxito del proceso de incubación durante los 21 días. Ella se humedece el lomo cuando va a tomar agua logrando el porcentaje de humedad requerido, sale y entra al corral sentándose en los huevos el tiempo necesario para mantenerlos en una temperatura adecuada y mueve los huevos para evitar principalmente que la yema se adhiera a la cascara. En la etapa de eclosión, la gallina se come o saca del nido las cascara de los huevos, mientras cubre con sus alas los pollitos hasta que se les seque los pulmones y recuperen fuerza perdida en el proceso de eclosión. Después de esto el pollito está listo y el proceso de incubación ha terminado[1].

El proceso de incubación de huevos por otro lado, es un proceso artificial que simula las condiciones naturales de una gallina para que se desarrolle el embrión y se llegue hasta el nacimiento del pollito.

Esta incubación es posible gracias a que se sigue una metodología donde se toma el huevo fertilizado y se ingresa en un recinto donde se cuenta con un ambiente controlado, en donde después de un periodo aproximado de 21 días, se logra desarrollar el embrión hasta que eclosione. Este proceso involucra diversas variables que deben ser controladas para garantizar el éxito del proceso.

- Temperatura = $37.5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- Humedad relativa = [55 -65]% primeros 18 días, [65-75]% últimos 3 días.

La eficiencia y el éxito de los nacimientos están directamente relacionado con el control de estas variables, en el que el aumento o la disminución excesiva de la temperatura y/o la humedad por un lapso de tiempo suficiente, causa una disminución significativa en el número de nacimientos. Por ejemplo las temperaturas altas pueden ocasionar el nacimiento de los polluelos prematuramente y las temperaturas bajas un nacimiento tardío, de cualquier manera, el mal control reduce el número de nacidos.

La rotación de los huevos es la variable que evita que la yema se adhiera a la cascara, como también ayuda a la formación de la membrana de la vesícula vitelina y vasos sanguíneos, el suministro de nutrientes a los órganos extraembrionarios y eliminar el calor embrionario [2].

Finalmente la ultima variable impórtate es la ventilación debido a que mientras el embrión se esta desarrollando, hay un flujo constante de bióxido de carbono y oxigeno por medio de la cascara.

III. MODELAMIENTO MATEMATICO

Para el desarrollo del sistema de control, se desarrollo un modelo matemático con el fin de entender el comportamiento de la humedad y temperatura dentro del sistema de incubación artificial. Las dos ecuaciones que interactúan para simular la relación inversa de la temperatura y la humedad, son dos ecuaciones altamente no lineales desarrolladas en base a balances de agua y ecuaciones termodinámicas tratando así de dar la mayor realidad y precisión al modelo desarrollado. Las dos ecuaciones están descritas como[3]:

$$m_a C_p \frac{dT_b}{dt} = Q_f + Q_h - Q_c - Q_H - Q_v - Q_{fog} \quad (1)$$

$$\rho V_H \frac{dD_b}{dt} = D_{fog} - D_a + D_v \quad (2)$$

Donde: m_a es la masa de aire al interior de la incubadora en kg; C_p es el calor especifico del aire en $\text{kJ kg}^{-1}\text{°C}$; V_H es el volumen efectivo de humedad en m^3 que se puede aproximar al volumen total al interior de la incubadora V ; Q_f es el calor emanado por el sistema de calefacción en kW; Q_c , Q_h , Q_H , Q_v y Q_e es el flujo de calor perdido a través de las paredes, flujo de calor cedido por los huevos, flujo de calor requerido por el cambio entálpico del aire, calor perdido por el intercambio de aire al interior de la incubadora y calor perdido debido a la humedad por el flujo de calor para evaporización del agua; T_b es la temperatura al interior de la incubadora en °C ; ρ es la densidad del aire en kg m^{-3} ; D_{fog} es la rata de humedad suministrada por el sistema de evaporización $\text{kg}[\text{H}_2\text{O}] \text{m}^3[\text{Aire}]^{-1}$; D_a es el flujo de humedad hacia el exterior debido al intercambio de aire por el sistema de ventilación; D_v y D_e es el flujo de humedad ganada desde el exterior y la tasa de humedad transferida por el proceso de humidificación; D_b es la humedad contenida en el aire dentro de la incubadora $\text{kg}[\text{H}_2\text{O}] \text{m}^3[\text{Aire}]^{-1}$.

El modelo matemático fue simulado con la herramienta de Simulink® de Matlab®, con el cual se pudo analizar cada uno de los términos de las ecuaciones por separados y la respuesta del modelo a 21 días. La figura 1 muestra el diagrama de bloques implementado.

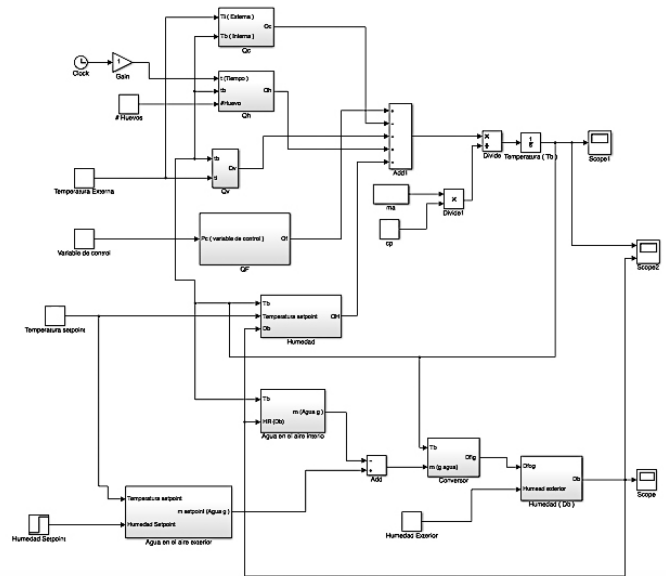


Figura 1. Diagrama de bloques en Simulink

Al utilizar el modelo matemático con todas las características del prototipo implementado se pudo simular una aproximación del comportamiento real del sistema.

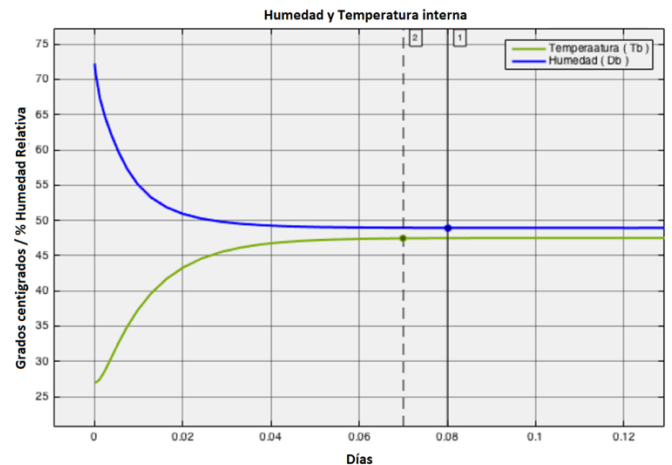


Figura 2. Respuesta del modelo en el inicio del proceso

Finalmente en la figura 2 se analiza el comportamiento de la humedad interna D_b y la temperatura interna T_b la cual podemos ver representada en la figura 23, donde la temperatura comienza en una condición inicial de 27.5°C igual a la temperatura promedio en Cali y finaliza en un valor aproximado de 47.45°C en un tiempo aproximado de 0.07 días equivalente a 100.8 minutos. La humedad inicia en una condición de 72.25% HR igual a la humedad promedio en Cali y finaliza en 48.95% HR en un tiempo aproximado de 0.08 días equivalente a 115.6 minutos.

Para finalizar el capítulo y como parte importante del desarrollo del modelo matemático, se realizó una validación del comportamiento del modelo con respecto al

comportamiento real del sistema, esto con el objetivo de poder determinar cual es margen de error entre los datos obtenidos y los datos reales y finalmente poder establecer si la aproximación del modelo matemático es confiable.

Para la validación de la temperatura se utilizo la respuesta del modelo a una entrada de 110 voltios hacia el resistor con una condición inicial de 27.51 °C . En la figura 25 se puede muestra la salida del modelo matemático a la simulación de la prueba de lazo abierto, donde se observa un tiempo de estabilización aproximado de 0.073 días lo que equivale a 105.12 minutos para un valor final de 50.08 °C, la humedad inicia en las mismas condiciones que la prueba de lazo abierto de humedad alrededor de los 60% para finalizar a un valor de 40% a los 0.09 días equivalentes a 129.6 minutos.

En la figura 3 podemos observar el comparando de la temperatura obtenida en el modelo y la temperatura real. Con base a los datos se obtuvo:

- Rango de error relativo [0.3% - 4.6%]
- Error promedio 2%
- Índice de error 1.055
- Error absoluto máximo de 1.65°C
- Error absoluto mínimo de 0.12°C
-

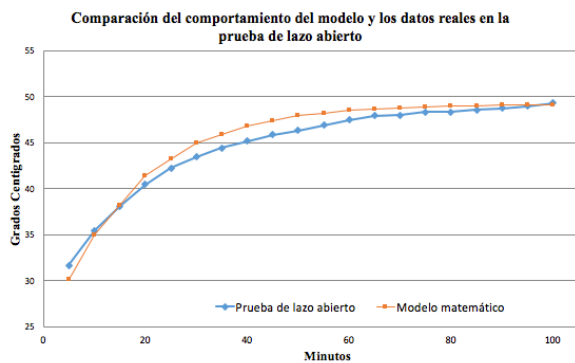


Figura 3. Comparación del comportamiento del modelo y los datos reales en la prueba de lazo abierto de temperatura.

Al igual que la temperatura se utilizo la respuesta del modelo a una entrada de 12 voltios hacia el sistema de humidificación con una condición inicial de 38% HR. En la figura 27 se puede observar la salida del modelo matemático a la simulación de la prueba de lazo abierto en donde se muestra un tiempo de estabilización aproximado de 0.022 días lo que equivale a 31.68 minutos para un valor final de 66.75% de humedad relativa, la temperatura inicia de 27.5°C y un valor final de 25°C a los 0.03 días equivalentes a 43.2 minutos.

En la figura 4 podemos observar el comparando de la temperatura obtenida en el modelo y la temperatura real. Con base a los datos se obtuvo:

- Rango de error relativo [0.1% - 10.69%]
- Error promedio 1.9%
- Índice de error 0.73763
- Error absoluto máximo de 5.69%
- Error absoluto mínimo de 0.1%

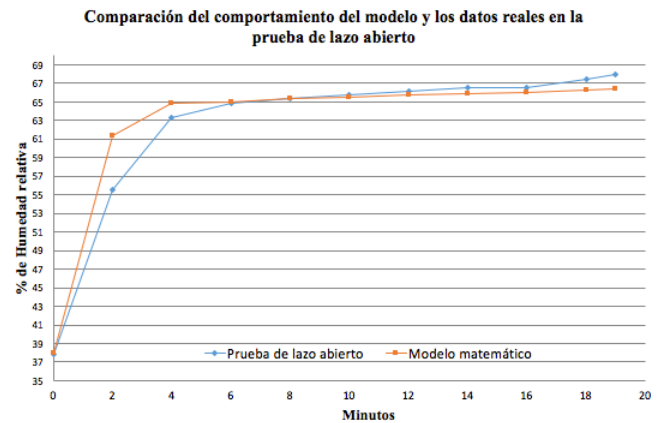


Figura 4. Comparación del comportamiento del modelo y los datos reales en la prueba de lazo abierto de temperatura.

Finalmente como se puede observar, la media del error de la respuesta de la temperatura y la humedad es 1.9% y 2% respectivamente, para la humedad el proceso permite una variación de las condiciones de incubación alrededor de los 5% de humedad relativa que equivalente a una banda de error permitida del 7.2% con respecto a los puntos de consigna de la humedad, por lo cual se puede concluir que el modelo de humedad da una aproximación aceptable para nuestro margen de error. Por otro lado la temperatura permite una variación de 1°C que equivale a una banda de error permitido de 2.7%, que al igual que la humedad el valor obtenido se puede considerar aceptable para el modelamiento de la temperatura. Finalmente con el índice de error, podemos determinar que dado que el valor numérico de la humedad es menor, la aproximación de la humedad es mas precisa que la aproximación de la temperatura.

IV. CONTROL

Después de tener un modelo que satisfaga nuestras necesidades, se implementa el control el cual puede ser desarrollado bajo muchos distintos tipos de teorías de control que existen actualmente. El controlador PID es con mucho el algoritmo de control más utilizado, en donde casi todos los lazos realimentados se controlan a través de este. El algoritmo de PID puede ser descrito como [4]:

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3)$$

IV-A. Temperatura

El control de la temperatura es uno de los controles mas estudiados y desarrollados de la historia, basados en la necesidad de controlar la temperatura de manera muy precisa garantizando así una alta eficiencia , el control seleccionado es un control PI ya que garantiza teóricamente un error de estado estacionario igual a cero. El diagrama de bloques que representa el lazo cerrado del control de temperatura esta descrito en la figura 5.

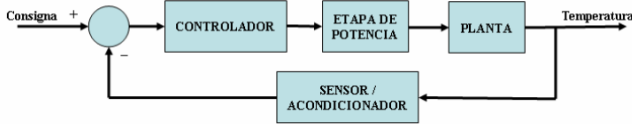


Figura 5. Sistema de lazo cerrado con control proporcional e integral temperatura [4].

La ecuación que representa el control PI puede ser descritas como:

$$C_S(s) = K_p + \frac{K_i}{s} = \frac{K_p s + K_i}{s} \quad (4)$$

Para finalmente con un desarrollo matemático utilizando una planta de primer orden, la función de transferencia de la salida y el punto de consigna y la ecuación canónica de segundo orden se pueden despejar los términos K_p y K_i como:

$$K_p = \frac{1}{M} \left(\frac{-2 \ln(\epsilon) \tau}{\tau_s} - 1 \right) \quad (5)$$

$$K_i = \left(\frac{-\ln(\epsilon)}{\xi \tau_s} \right)^2 \frac{\tau}{M} \quad (6)$$

Definiendo cada uno de los términos según los requerimientos del proceso de incubación como el tiempo de estabilización de la señal, la ganancia en lazo abierto, entre otros, se calculo los valores K_p y K_i obteniendo:

$$K_p = 11.56$$

$$K_i = 958.45$$

IV-B. Simulación del control de temperatura

Para realizar un prueba confiable se hayo la planta del sistema en lazo abierto con el fin de poder hacer la simulación del control Para realizar esta simulación se utilizo Simulink® como se puede observar en la figura 6.

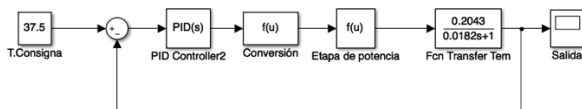


Figura 6. Simulación del control PI del modelo vs la prueba real con Simulink®

El resultado de la simulación se puede ver en la figura 7, donde se observa que el tiempo de donde el sistema entra al rango de estabilización permitido es de 0.042 días equivalente a 61.92 días y un tiempo final de estabilización de 0.057 días equivalente a 82.08 minutos.

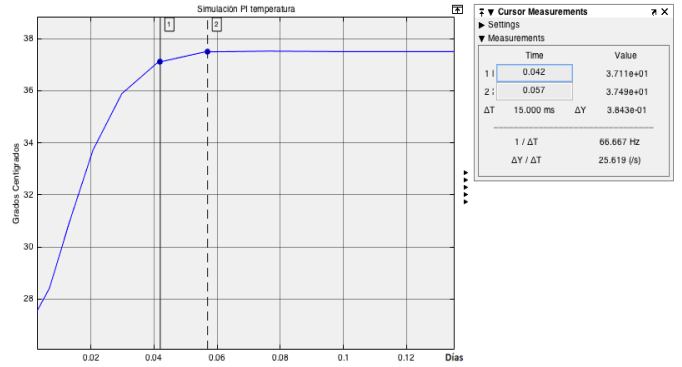


Figura 7. Valores dentro del rango de estabilización de la temperatura del modelo vs función de transferencia Simulink®

IV-C Humedad

Una de las variables físicas mas difíciles de controlar es la humedad relativa y mas aun cuando se encuentra dentro de un sistema que varia su temperatura, debido a que tienen un comportamiento inversamente proporcional, lo que hace que mantener las condiciones del sistema en las condiciones de consigna sea mas complicado.

El control a utilizar es un control PI al igual que el control de la temperatura, por lo cual se va a utilizar todos los cálculos previamente desarrollados para el calculo de las constantes proporcional e integral con la variación de todas sus variable según las condiciones de incubación. Remplazando en las ecuaciones 5 y 6, se obtienen los valores de:

$$K_p = 1.460$$

$$K_i = 1631.6$$

IV-D Simulación de control de humedad

La función de transferencia que simboliza al sistema es una planta de primer orden que esta representada como

$$G(p) = \frac{2.5016}{0.0016764s + 1} \quad (7)$$

La respuesta del sistema a los dos puntos de consigna de humedad correspondientes al inicio del proceso y al día 18 se pueden observar en la figura 8 y 9.

En un estado inicial el sistema alcanza el primer punto de consigna de 60% a los 0.022 días equivalentes a 32 minutos y el segundo punto de consigna en el día 18 se alcanza a los 0.03 días equivalente a 41 minutos. Cabe resaltar que en simulación el controlador que se diseño cumple con las características que requiere el sistema.

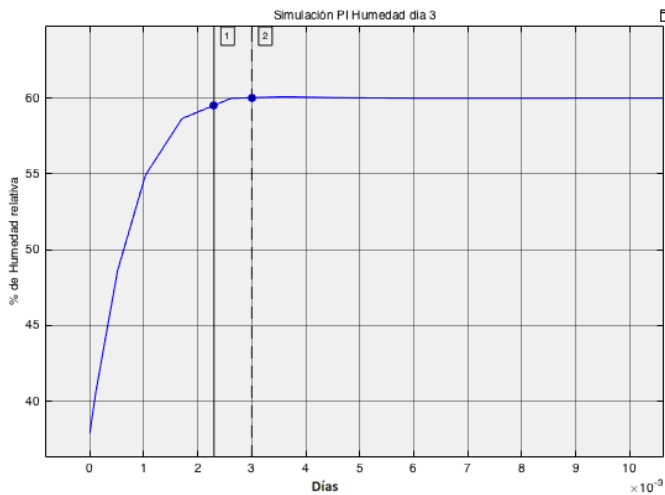


Figura 8. Simulación del control PI de humedad en el punto de consigna de 60% con Simulink®

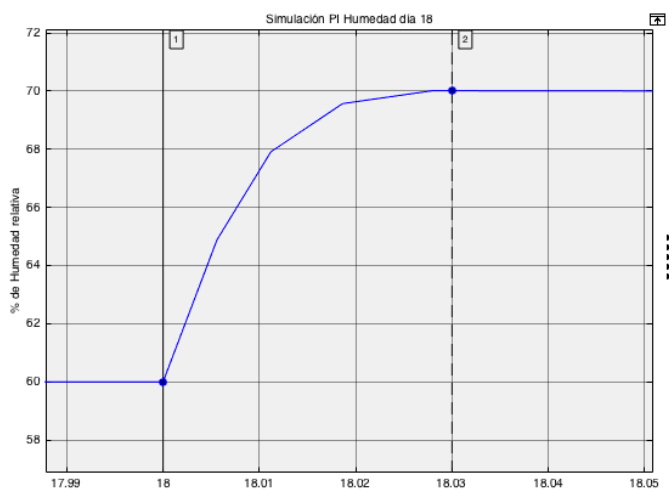


Figura 9. Simulación del control PI de humedad en el punto de consigna de 70% con Simulink®

V. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para este proyecto se realizaron 2 pruebas con el prototipo, la primera fue un sistema convencional de incubación y la segunda fue un sistema automático de incubación.

V-A. Sistema de incubación convencional

La primera prueba realizada consistió en el desarrollo de un sistema de incubación convencional semiautomático con el objetivo de poder primero tener un mayor acercamiento y entendimiento de un sistema de incubación convencional, segundo poder tener los datos suficientes para comprobar la efectividad entre el sistema semiautomático convencional y el sistema final desarrollado y por ultimo poder depurar errores de diseño o posibles errores de implementación del sistema de incubación que pudieran afectar el proceso de incubación.

La incubadora estaba construida originalmente con cuatro canales con capacidad de 4 huevos para un total de 16 huevos, contaba con un sistema de temperatura y humedad compuesto de una termocupla DS18B20 y un sensor de humedad relativa DHT22.

Para el control de humedad se tenía un recipiente con agua con un ventilador no controlado para humidificar el aire, una

resistencia eléctrica de 100W controlada por la activación de un contactor por medio de un control On- Off y por ultimo un sistema de giro automático programado para girar una vez cada hora.

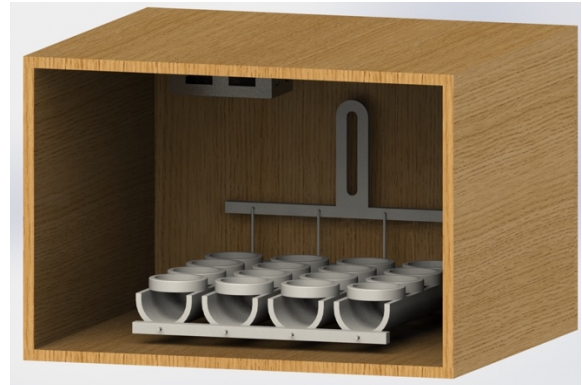


Figura 10. Primera incubadora diseñada en Solidworks®

Tabla I RESULTADOS DE LA PRIMERA PRUEBA		
Características	Cantidad	Resultado
Huevos totales	15	Cantidad de huevos al inicio
Huevos no fértiles	4	Prueba de fertilidad
Huevos posibles a nacer	11	Huevos posibles a nacer
Nacimientos exitosos	8	Pollitos nacidos en perfecto estado

En la tabla 1 se observan los resultados de la primera incubación con la cual se puede medir la eficiencia de la prueba remplazando los valor en la ecuación 8, obteniendo finalmente una eficiencia del 72.3% para la prueba.

$$\% \text{ Nacimiento fértiles} = \frac{\% \text{ Nacimientos}}{\% \text{ Fértiles}} \cdot 100 \quad (8)$$

Para tener una mayor de que los resultados son similares a los obtenidos por una incubadora convencional de pequeña escala se realizo la comparación con las eficiencias encontradas en la tabla 2 [5] [6] [7].

Tabla II COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS			
Incubadora	Fertilidad	Nacimientos	Eficiencia
Incubadora N.1	800	600	75%
Incubadora N.2	9	6	66.6%
Incubadora N.3	460	300	65.21%
Incubadora N.4	800	650	81.25%

V-B. Humedad y temperatura

Finalmente se analizo el comportamiento de la humedad y la temperatura durante la incubación los cuales se pueden ver representados en la figura 11, figura 12 y figura 13

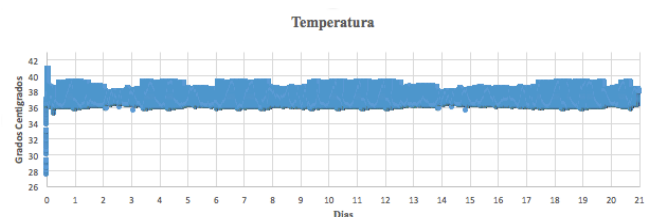


Figura 11. Temperatura interna durante 21 prueba inicial

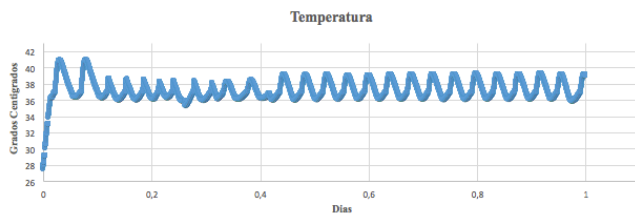


Figura 12. Temperatura interna primer día

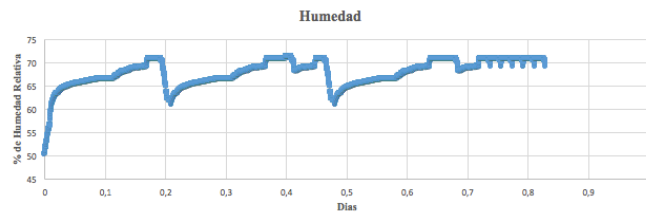


Figura 13. Humedad interna primeras 17 horas

Como se esperaba el comportamiento de la temperatura durante los 21 días tiene un comportamiento oscilante como se observa mas claro en el primer día figura 12, el cual alcanza en algunas ocasiones casi el limite de temperatura debido a que depende de la temperatura externa y del sistema de extracción. Los sistema oscilantes de temperatura pueden general problemas durante el periodo de desarrollo del embrión, bajando el rendimiento del sistema.

Al igual que la temperatura, el sistema de humedad el cual no tenia ningún tipo de control, vemos que tiene valores aleatorios y sin ningún punto de estabilización.

V-C. Sistema de incubación automático

La segunda consistió en la elaboración de un sistema de incubación artificial totalmente automático con los controles necesarios para garantizar las condiciones ideales de incubación y un sistema mas eficiente en comparaciones a sistemas convencionales.

La prueba fue montada sobre el sistema de incubación de la primera prueba, pero agregando todos los elementos adicionales que eran necesarios. Se agregó un sistema de leds en la parte de adelante, otra caja de conexiones en la parte de arriba, varios dispositivos electrónicos adicionales como el sensor DHT22, una pantalla TFT 2,4'' y un sistema de dimmer digital, se agrego una bomba dosificadora para el llenado del tanque de agua automáticamente y claramente toda la modificación del Software.



Figura 14. Diseño final de la incubadora

Tabla I
TABLA III

RESULTADOS DE LA SEGUNDA PRUEBA

Características	Cantidad	Resultado
Huevos totales	15	Cantidad de huevos al inicio
Huevos no fértiles	5	Prueba de fertilidad
Huevos posibles a nacer	10	Huevos posibles a nacer
Nacimientos exitosos	9	Pollitos nacidos en perfecto estado

Los resultados de la prueba en base a la ecuación 8, fue una eficiencia del 90.1% en comparación al 72.3% de la primera prueba.

V-D. Temperatura y humedad

El comportamiento de la temperatura durante todo el periodo de incubación se puede observar en la figura 15. Durante la prueba hubieron 4 cambios de temperatura, dos de ellas debidos a las pruebas de ovoscopia realizadas en los días 7 y 17 y las otras dos en el inicio cuando comienza el proceso y en el final cuando nacen los pollitos los cuales deber ser revisados constantemente.

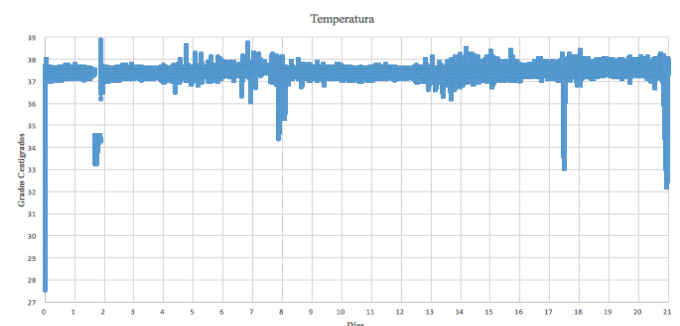


Figura 15. Comportamiento de temperatura durante la prueba final

Fuera de los puntos donde hubo una caída de temperatura, el control funciono como se había diseñado, el tiempo desde el estado inicial hasta la temperatura de consigna fue alcanzado según el tiempo especificado en el diseño de control figura 16, se alcanzo el punto de consigna a los 64.8 minutos igual a 0.045 días.

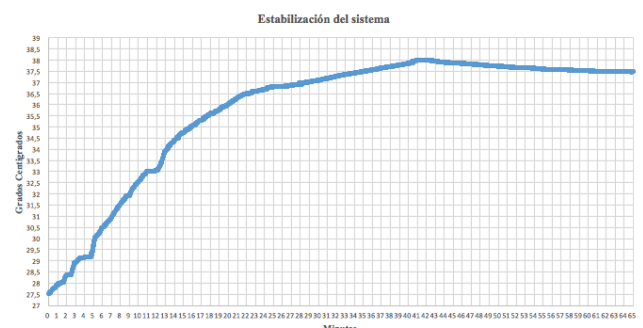


Figura 16. Comportamiento de temperatura durante la prueba final

Realizando una comparación entre el resultado obtenido y el comportamiento esperado de control en simulación, se pudo observar que el tiempo de estabilización de la señal llega muy cercano al mismo tiempo que las demás señales y con un pico de temperatura menor que en la simulación.

El comportamiento de la humedad durante el tiempo de incubación se muestra a continuación en la figura 16, se obtuvo 69.472 datos a un tiempo de muestreo promedio de 26,12 segundos, una exactitud del sensor DHT22 de $\pm 2\%$ Humedad Relativa y una resolución de 8 bits.

Aunque durante la incubación solo se esperaban realizar dos cambios del punto de consigna los cuales eran; una humedad inicial de $65\% \pm 5\%$ HR y posterior en el día 18 una humedad de $70\% \pm 5\%$ HR, en la figura 16 se puede observar que hubo un cambio al final del día 3 de 65% a 60% HR y luego una en el día 18 como se esperaba. La razón del cambio es debido a una recomendación de un experto en el proceso de incubación artificial, el cual indicó que la humedad relativa no podía estar en 65% y debía estar en 60% dado que el exceso de humedad puede disminuir la tasa de eclosión y causar un tamaño incorrecto de los polluelos [8].

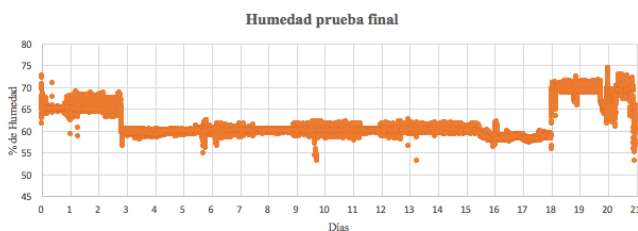


Figura 16. Comportamiento de humedad durante la prueba final.

Fuera de los cambios de los puntos de consigna, el control de humedad funcionó según los parámetros diseñados, cumpliendo los rangos permitidos de variación. Durante la prueba solo se presentó un comportamiento que no estaba esperado alrededor del día 20 del cual no se tiene registro de la razón que pudo ocasionar la caída de humedad, pero se cree que es debido a un aumento de temperatura dado que posterior a este tiempo inició la etapa de eclosión de los huevos.

En la figura 17 se puede apreciar el comportamiento de la humedad exterior en comparación al comportamiento de la humedad en el interior, donde la humedad exterior tiene un comportamiento similar al obtenido en la primera prueba de incubación figura 13. Aquí también podemos ver la robustez del control implementado y la ventaja que se tiene, dado que en los picos bajos y altos de humedad que se generan en la noche y al medio día respectivamente, el control logra mantener su comportamiento en el punto de consigna y dentro del rango permitido.

A continuación se muestra el comportamiento del control a los 2 cambios del punto de consigna aplicados en los días 3 y 18.

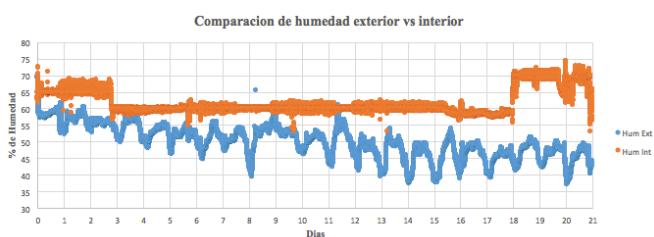


Figura 17. Humedad exterior vs humedad interior

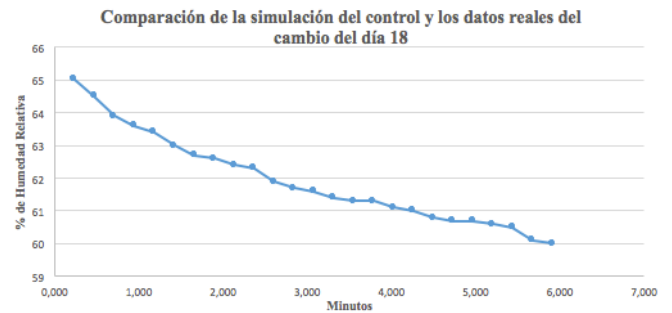


Figura 18. Cambio del punto de consigna día 3

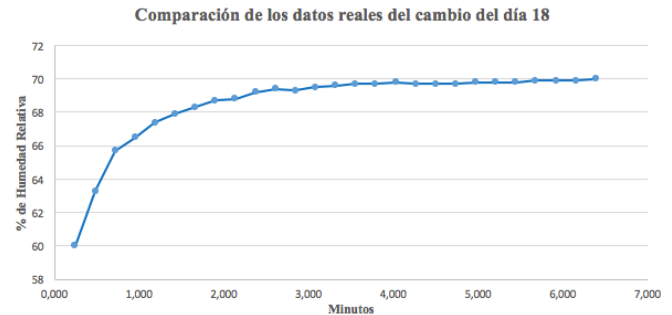


Figura 19. Cambio del punto de consigna día 18

Haciendo una comparación con el fin de verificar el comportamiento de la prueba final y el control, se realizó una comparación el resultado del cambio del punto de consigna en la prueba final y control diseñado como se puede observar en la figura 20 y 21.

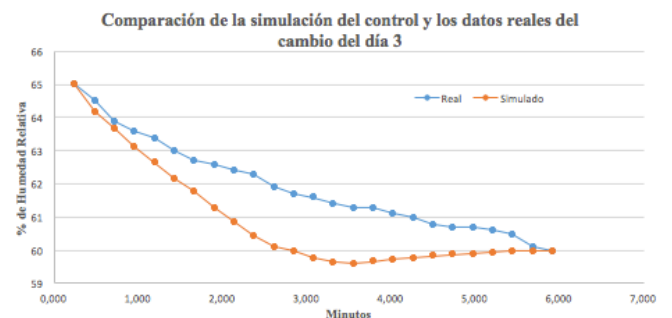


Figura 20. Comparación del modelo vs prueba final, cambio del punto de consigna día 3

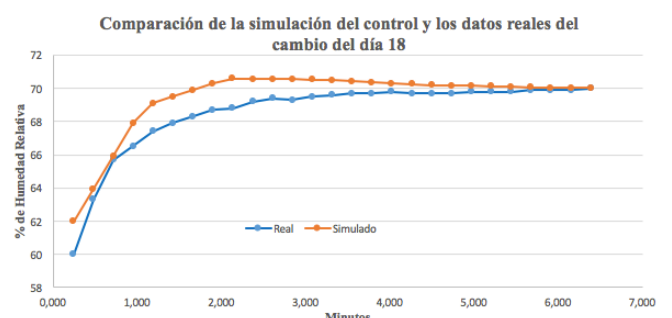


Figura 21. Comparación del modelo vs prueba final, cambio del punto de consigna día 18

VI. CONCLUSIONES

Los avicultores Colombianos de pequeña o mediana escala, en su mayoría tienen sistema que no son eficientes debido a la utilización de incubadoras que no cuentan con la suficiente tecnología, causando haya una tasa de nacimientos baja con respecto a sistema de gran escala. Debido a que los rendimientos son bajos, los campesinos dejan de recibir

millones de pesos al año impidiendo tener una mejor calidad de vida y deteniendo indirectamente el desarrollo del sector avícola Colombiano. En la actualidad las grandes compañías avícolas y muchos países con alto desarrollo tecnológico, cuentan con sistemas especializados que garantizan un alto valor de eficiencia en sus sistemas. Sin embargo, esta tecnología no llega con facilidad y suele tener muy altos costos, tanto por el valor del envío desde países extranjeros como tanto por el costo del desarrollo.

Después de haber implementado dos pruebas simulando un sistema de incubación semiautomático convencional y un sistema automático con un control mas robusto, se pudo concluir para esta prueba que es posible desarrollar sistemas a pequeña escala con la misma o similar eficiencia que sistema de incubación a gran escala, mediante la utilización de sistemas de control de mayor precisión.

Por otro lado, la incubadora a pequeña escala se puede construir con elementos económicos haciéndola mas exequible al pequeño productor. La combinación de estos dos elementos, permite concluir que si se puede realizar este tipo de proyectos que permiten mejorar el ingreso a los pequeños productores y podría aportar al desarrollo del campo colombiano.

Con respecto al tema tecnológico, es posible concluir que la eficiencia del proceso de incubación esta directamente relacionada con el desarrollo de esquemas de control robustos que garanticen sistemas estables y confiables a la hora de una implementación real. Sin embargo también es posible utilizar sistemas de bajo costo como Arduino, que demuestra la versatilidad y la economía, en una implementación técnica, en comparación a la utilización de sistemas robustos con base en PLC's, manteniendo la estabilidad y la confiabilidad necesarias para producir el resultado en eficiencia deseable.

REFERENCIAS

- [1] Dulce Galindo, J. A. (2014). Control adaptativo de una incubadora para aves. Universidad Francisco de Paula Santander.
- [2] Jiménez Rueda, J. A., & Veloza Caro, J. F. (2008). Modelo funcional de una incubadora de huevos para la industria avícola. Universidad Industrial De Santander.
- [3] Daskalov, P. I., Arvanitis, K. G., Pasgianos, G. D., & Sigrimis, N. A. (2006). Non-linear adaptive temperature and humidity control in animal buildings. *Biosystems Engineering*, 93(1), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.09.006>
- [4] Åström, K. J., & Hägglund, T. (2009). Control PID avanzado. (S. Dormido Bencomo, J. L. Guzmán Sánchez, & M. Martín-Romo, Eds.). Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- [5] Funez, O. D. (2015). Incubadora De Huevos De Gallina De Corral. Universidad del Caribe, Cancun.
- [6] UNAM. (n.d.). Diseño y construccion de una incubadora económica. Ciudad de Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- [7] Mucarcel, M., Orozco, L. F., Ribera, M., & Aguirre, R. (2010). Proyecto De Incubadora Artesanal De Pollos Parrilleros. *Revistas Bolivianas*, 1(2).
- [8] Callejo Ramos, A. (n.d.-b). Manejo del huevo fertil antes de la incubación. Madrid. Retrieved from http://ocw.upm.es/produccion-animal/produccion-avicola/contenidos/TEMA_7_INCUBACION/7-1-manejo-del-huevo-fertil-antes-de-la-incubacion/view