



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE INCUBACIÓN ARTIFICIAL CON  
SISTEMA DE CONTROL DIFUSO PARA LA PRODUCCIÓN DE  
AVES DE CODORNIZ

PRESENTADA POR  
CESAR RAÚL ALAN CRUZ GUTIÉRREZ  
VÍCTOR ALEXANDER VARGAS MÁRQUEZ

ASEORES  
FERNANDO MAURICIO JIMENEZ MOTTE

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

LIMA – PERÚ

2018



**Reconocimiento - No comercial – Compartir igual**  
**CC BY-NC-SA**

Los autores permiten transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE INCUBACIÓN ARTIFICIAL  
CON SISTEMA DE CONTROL DIFUSO PARA LA  
PRODUCCIÓN DE AVES DE CODORNIZ**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**PRESENTADA POR**

**CRUZ GUTIÉRREZ, CESAR RAÚL ALAN  
VARGAS MÁRQUEZ, VÍCTOR ALEXANDER**

**LIMA – PERÚ**

**2018**

## ÍNDICE

	Página
<b>RESUMEN</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRAC</b>	<b>V</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>VI</b>
<b>CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO</b>	<b>8</b>
1.1    Antecedentes	8
1.2    Bases teóricas	9
<b>CAPÍTULO II METODOLOGÍA</b>	<b>45</b>
2.1    Materiales:	45
2.2    Métodos:	54
<b>CAPÍTULO III DESARROLLO DEL PROTOTIPO</b>	<b>67</b>
3.1    Diseño de software de prototipo de incubación	68
3.2    Diseño de hardware de prototipo de incubación.	73
<b>CAPÍTULO IV PRUEBAS Y RESULTADOS</b>	<b>84</b>
4.1    Pruebas de circuitos de potencia y acople:	84
4.2    Pruebas del sistema de control de temperatura:	87
4.3    Pruebas de monitoreo de humedad relativa:	95
<b>CAPÍTULO V. DISCUSIÓN Y APLICACIONES</b>	<b>98</b>

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>99</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>100</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN</b>	<b>101</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>103</b>

## **RESUMEN**

La presente tesis, propone una solución tecnológica, a una necesidad del mercado peruano de producción de ave de codorniz, para tal caso se aplicaron técnicas de diseño de control fuzzy, el que implementado en un microcontrolador de 8bits y arquitectura Hardvard, para la validación del sistema de control se desarrolló un prototipo, cumpliendo las características básicas de un escenario de incubación, además los sistemas de potencia y acople, para su correcto funcionamiento y validación. La variable de control principal fue la temperatura y las curvas obtenidas en las pruebas y resultados se exponen y analizan finalmente. La presente tesis pretende ser un punto de partida en el camino de desarrollo de una incubadora de ave de codorniz con sistemas de control fuzzy.

## **ABSTRAC**

This thesis, a technological solution, an application of the Peruvian market for the production of “codornices”, for this case diffuse control design techniques were applied, which was implemented in an 8-bit microcontroller and Hardvard architecture, for the validation of the control is a prototype, fulfilling the basic characteristics of an incubation scenario, in addition to the power and compression systems, for its correct operation and validation. The main control variable is the temperature and the curves in the tests and the results are finally exposed and analyzed. The present test is a starting point in the development path of a quail bird incubator with fuzzy control systems

## **INTRODUCCIÓN**

Hoy en día, la incubación es esencial en la cadena de producción de las empresas avícolas especializadas en la cría de pollos. Las unidades mecanizadas son capaces de hacerse cargo de más de 250.000 huevos a la semana. El diseño de una incubadora es en esencia una solución de ingeniería de los parámetros biológicos de temperatura, humedad, flujo de aire y rotación.

En el proceso de desarrollo de la tesis se evaluó la aplicación de distintos métodos de control, los criterios para la elección más adecuada fueron tomados a base de la formación académica recibida, donde el núcleo principal del funcionamiento del equipo de incubación es el sistema de control de temperatura, sin embargo, para poder diseñarlo e implementarlo deberá ir acompañado de otros bloques que garanticen el correcto funcionamiento.

Gran parte de los bloques que acompañaron el sistema de control es desarrollo electrónico, pero también será necesario hacer un estudio del campo de aplicación, en este caso será la zootecnia concretamente la cotornicultura. Otro bloque importante serán los sistemas mecánicos y diseño

estructural, que serán cubiertos bajo criterios estudiados del estado del arte y factores que afecten directamente al comportamiento electrónico.

Teniendo claro el objeto de estudio, las técnicas y criterios adecuados, se desarrolla un diagrama general (Capítulo I) con la intención de representar la solución que se plantea, esto nos permite identificar los demás bloques de los cuales irá acompañado el bloque principal, es aquí donde se plantea el uso de microcontroladores, diseño de circuitos de potencia e interfaces de control para el usuario, en adelante se describirán cada técnica aplicada y el sustento teórico, práctico y los resultados obtenidos.

El segundo capítulo detalla los dispositivos electrónicos, herramientas de medición y metodología desarrollada a lo largo de la tesis. En el capítulo III se detalla de manera amplia la aplicación de la base teórica e ingenieril para alcanzar los objetivos planteados, esto tanto en el software y hardware desarrollado. En el capítulo IV se expone los resultados del sistema de control fuzzy, dichos resultados están representados en curvas de temperatura y humedad. Finalmente, en el capítulo V, se discute brevemente los resultados obtenidos y los alcances que generan para futuras investigaciones en base a la presente tesis.

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.1 Antecedentes**

Los avances tecnológicos durante el transcurso de los últimos años han aportado en la optimización de procesos, métodos de control, sistemas de medición, sistemas de monitoreo y procesamiento de datos para las diferentes áreas del sector agropecuario, hacen que sus procesos puedan ser más eficientes, aumenta la producción y reducir los costos del producto, con el fin de cubrir la alta demanda del mercado.

La agricultura y concretamente la avicultura es un mercado muy importante en Perú, sin embargo, este carece de la tecnología necesaria para la producción de aves, es así como en la presente tesis se plantea desarrollar una solución orientada hacia este sector, en el cual existen múltiples especies siendo una de ellas el ave de codorniz, que por sus características biológicas, descritas en el capítulo I, se concluye que es una especie optima a la cual orientar el primer prototipo, ya que comparte con otras aves las mismas variables de monitoreo, para el proceso de incubación.

Por otro lado, se entiende que puede ser un prototipo que podría tener aceptación en el mercado nacional, esto a base de datos estadísticos expuestos en el Anexo 1.

## 1.2 Bases teóricas

### ➤ Objetivo general:

Diseñar e implementar un prototipo con sistema de control difuso que permita desarrollar el proceso de incubación artificial de huevos de codorniz.

### ➤ Objetivos específicos:

- Diseñar e implementar un sistema de control difuso, para mantener estable la temperatura al interior del prototipo de incubación a un valor de  $37.5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- Acondicionar un gabinete de refrigeración para su uso como prototipo de incubación.
- Diseñar e implementar una estructura de bandejas que tengan una capacidad aproximada de almacenamiento de 600 huevos de ave de codorniz.
- Diseñar un sistema mecánico que permita rotar huevos de codorniz entre  $45^{\circ}$  de forma vertical, por períodos de 50 min durante 17 días.
- Diseñar e implementar circuitos electrónicos de potencia para el control del actuador de temperatura y del sistema mecánico.
- Diseñar un sistema de calefacción que permita obtener la temperatura de incubación de manera uniforme.
- Diseñar un sistema de ventilación que regule y propague el aire dentro de la incubadora.

### ➤ Propuesta de solución:

El prototipo de incubación artificial de huevos de codorniz fue capaz de controlar la temperatura, con la finalidad de mantener la misma estable durante el periodo de incubación. Así mismo, ejecuto la rotación periódica de los huevos de codorniz durante 17 días. El equipo no tuvo la capacidad de ser nacadera. Esta última característica es descrita como

innecesaria y poco higiénica para desarrollarse en el mismo prototipo de incubación, testimonio del experto en incubación de la “Universidad Nacional Agraria de La Molina” y controlador de incubación de la agropecuaria “Hilago SAC”.

Todos los bloques del sistema de incubación deberán funcionar en sincronía para garantizar el correcto funcionamiento del equipo de incubación. El flujo de información y funcionamiento se muestra en la figura 1.1 y 1.2 respectivamente.

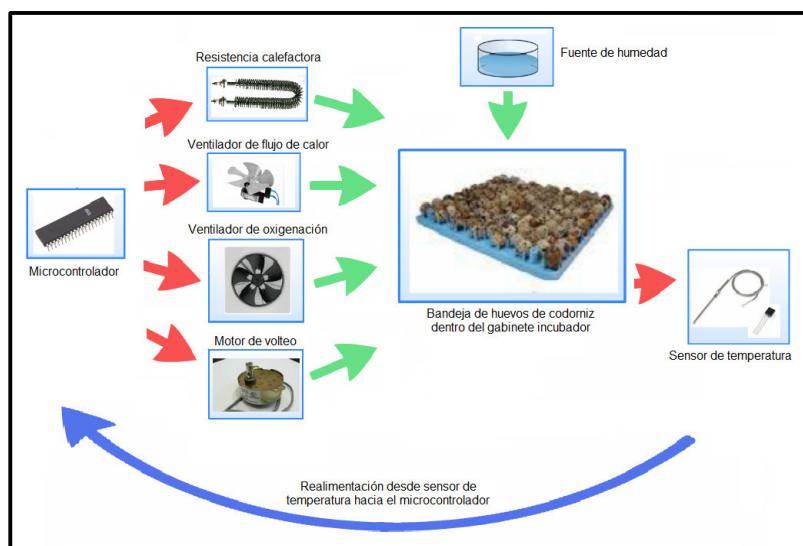


Figura 1.1 Diagrama pictórico de prototipo de incubación artificial  
Elaboración: Los autores

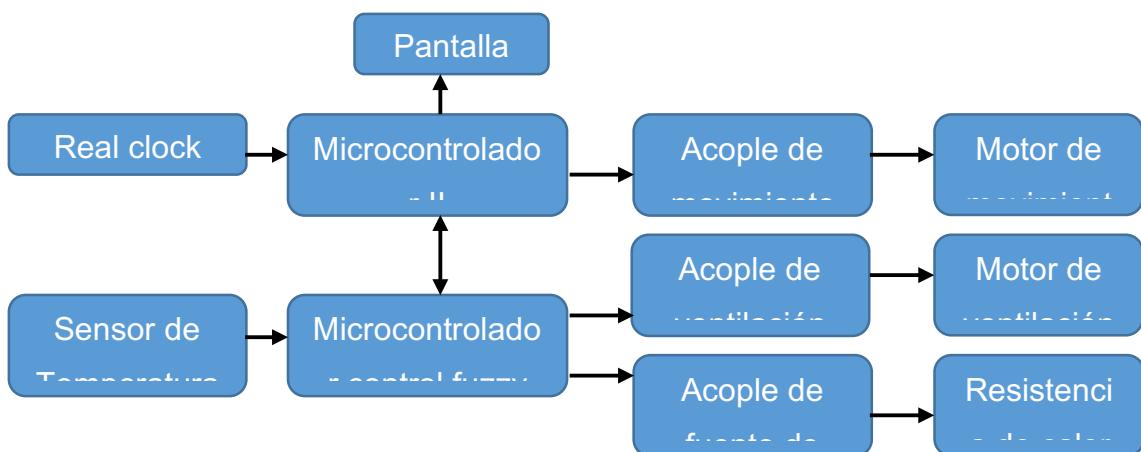


Figura 1.2 Diagrama de bloques general de circuitos electrónicos de la solución propuesta  
Elaboración: Los autores

➤ **Limitaciones:**

Al ser un prototipo para validación de resultados, el diseño final tuvo las siguientes limitaciones.

- Solo se podrán incubar huevos de codorniz.
- El prototipo de incubación soporta una cantidad máxima de 600 huevos.
- El prototipo no cuenta con sistema de energía de respaldo en caso de corte eléctrico.
- El desarrollo final tiene las características de prototipo, por lo cual, no está acondicionado técnica ni estructuralmente para condiciones de uso continuo.

➤ **Estado del arte:**

En base a la solución propuesta, se consideraron (4) tipos de controladores, antes de aplicar el control difuso, los cuales serán descritos a continuación:

• **Control de encendido / apagado (on/off):**

Un controlador on-off es la forma más simple de dispositivo de control de temperatura. La salida del dispositivo está activada o desactivada, sin estado intermedio. Un controlador de encendido / apagado cambiará la salida solo cuando la temperatura cruce el punto de ajuste. Para el control de calefacción, la salida está encendida cuando la temperatura está por debajo del punto de ajuste y fuera del punto de ajuste. Dado que la temperatura cruza el punto de referencia para cambiar el estado de salida, la temperatura del proceso estará ciclando continuamente, yendo desde el punto de ajuste inferior al anterior, y de vuelta hacia abajo.

En los casos, en que este ciclo ocurre rápidamente, y para evitar daños a los actuadores, se agrega un diferencial de encendido-apagado o "histéresis" a las operaciones del controlador. Este diferencial requiere de que la temperatura exceda el punto de referencia en una cierta cantidad antes de

que la salida se apague o vuelva a encender. El diferencial de encendido / apagado evita que la salida "vibre" o establezca interruptores rápidos y continuos si el ciclo arriba y debajo del punto de referencia ocurre muy rápidamente.

**Aplicaciones comunes:** El control on-off generalmente se usa donde no se necesita un control preciso, en sistemas que no pueden manejar la energía encendida y apagada con frecuencia, donde la masa del sistema es tan grande que las temperaturas cambian muy lentamente o una alarma de temperatura. Un tipo especial de control de encendido y apagado utilizado para la alarma es un controlador de límite. Este controlador utiliza un relé de enclavamiento, que debe restablecerse manualmente, y se utiliza para cerrar un proceso cuando se alcanza una determinada temperatura.

- **Control proporcional**

Los controles proporcionales están diseñados para eliminar el ciclo asociado con el control de encendido-apagado. Un controlador proporcional disminuye la potencia promedio suministrada al calentador a medida que la temperatura se aproxima al punto de referencia. Esto tiene el efecto de ralentizar el calentador para que no sobrepase el punto de ajuste, pero se acercará al punto de ajuste y mantendrá una temperatura estable.

Esta acción de dosificación se puede lograr encendiendo y apagando la salida durante intervalos de tiempo cortos. Esta "proporción de tiempo" varía la relación entre el tiempo "conectado" y el tiempo "apagado" para controlar la temperatura. La acción de dosificación ocurre dentro de una "banda proporcional" alrededor de la temperatura de consigna. Fuera de esta banda, el controlador funciona como una unidad de encendido-apagado, con la salida totalmente activada (debajo de la banda) o completamente desactivada (por encima de la banda). Sin embargo, dentro de la banda, la salida se activa y desactiva en la relación entre la diferencia de medición y el punto de referencia. En el punto de consigna (el punto medio de la banda proporcional), la relación salida: desconexión es 1: 1; es decir, el tiempo de encendido y el

de apagado son iguales. Si la temperatura está más lejos del punto de ajuste, los tiempos de encendido y apagado varían en proporción a la diferencia de temperatura. Si la temperatura está por debajo del punto de ajuste, la salida estará encendida más tiempo; si la temperatura es demasiado alta, la salida estará inactiva por más tiempo.

**Aplicaciones comunes:** Cuando en el arranque no es muy relevante la exactitud o error, con el “set point” de referencia, al aplicar control proporcional tendremos un tiempo de espera para recuperar el pico de arranque; en muchos casos, estará por debajo del “set point” en si periodo estable, por último, en caso de perturbaciones el tiempo de recuperación será lento al igual que el arranque.

- **Control Proporcional Integral Derivativo**

El tercer tipo de controlador considerado fue el proporcional con control integral y derivativo o PID. Este controlador combina el control proporcional con dos ajustes adicionales, lo que ayuda a la unidad a compensar, automáticamente, los cambios en el sistema. Estos ajustes, integrales y derivados, se expresan en unidades basadas en el tiempo; también son referidos por sus recíprocos, RESET y RATE, respectivamente. Los términos proporcional, integral y derivativo deben ajustarse individualmente o “ajustarse” a un sistema particular mediante prueba y error. Proporciona el control más preciso y estable de los tres tipos de controladores, y se utiliza mejor en sistemas que tienen una masa relativamente pequeña, los que reaccionan rápidamente a los cambios en la energía añadida al proceso.

**Aplicaciones comunes:** Se recomienda en sistemas donde la carga cambia con frecuencia y se espera que el controlador compense, automáticamente, debido a cambios frecuentes en el punto de ajuste, la cantidad de energía disponible o la masa que se controlará. OMEGA ofrece una serie de controladores que se sintonizan automáticamente. Estos son conocidos como controladores de auto sintonización.

- **Control de temperatura con redes neuronales**

El cuarto tipo de controlador considerado es el control mediante redes neuronales, que se encuentra dentro del campo de inteligencia artificial y se inspiran en el comportamiento del cerebro humano basando su estructura en capas de neuronas interconectadas entre sí, que aprenden a medida que procesan la información de una base de datos que básicamente contiene la salida objetivo ante una o varias entradas al sistema, finalizado el aprendizaje los resultados obtenidos por la red neuronal serían muy similares a la función de transferencia desconocida del controlador, pero su capacidad de aprendizaje le permite funcionar como un control adaptable.

**Aplicaciones comunes:** Para el control de temperatura usando RN, existen técnicas de auto calibración de parámetros del control PID y auto calibración de parámetros de control Fuzzy. En el primer caso será necesario obtener la ecuación lineal o no lineal de la planta y el diseño de su controlador PID. En el segundo caso, es comúnmente aplicado a sistemas adaptivos.

### **Selección de controlador**

En el modelo climático que describe una incubadora, en que la dependencia de la temperatura y la humedad en el interior de esta, frente a las condiciones climáticas exteriores, reflejan un sistema no lineal y variante en el tiempo, ocasionan que un sistema de control PID clásico presente problemas de respuesta a perturbaciones, lo cual, afectaría el control de la temperatura y por ende, el crecimiento del embrión afectando el factor de incubabilidad de la incubadora (Daskalov,2005). Por tanto, es conveniente adoptar métodos de control inteligentes tales como lógica difusa o redes neuronales.

El control mediante lógica difusa es usado en aplicaciones que requieren de bastante precisión y necesiten ajustarse a condiciones cambiantes que son muchas veces imposibles de predecir tales como cambios ambientales o condiciones de degaste de componentes físicos, por lo cual, en la presente tesis se hará uso del control difuso para controlar la temperatura de un prototipo de incubación artificial.

➤ **Modelamiento de sistema de incubación artificial**

**1.2.6.1 Modelamiento de parámetros biológicos**

• **Cotornicultura**

La cotornicultura es una rama de la avicultura que se ocupa de criar, mejorar y fomentar la producción de codornices.

• **Clasificación taxonómica**

La codorniz pertenece a la familia de los Galliformes y Faisánicos, dentro de estas familias hay numerosas variedades de esta ave, pero solo dos tienen un fin comercial, la codorniz europea (*Coturnix coturnix coturnix*) y la codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) esta última mostrada en la figura 1.3.



Figura 1.3 Coturnix japonica  
Fuente: Handbook of the bird of the world

• **Desarrollo embrionario de la codorniz**

Las primeras etapas se inician antes de ser puesto el huevo. En el huevo recién puesto ya es visible el blastodermo, que se aprecia como un pequeño disco entre la yema y la membrana vitelina. Al cuarto día ya se puede observar el sistema circulatorio del embrión. En el sexto día, los ojos y pulmones del embrión son apreciables. Al noveno día ya se pueden observar extremidades del polluelo. A partir de décimo cuarto día se aprecian zonas de densas plumas. Durante este periodo también se inicia la calcificación del esqueleto, los picos y uñas ya se encuentran formados el día 16. Finalmente, a partir del día 18 el polluelo ya se encuentra listo para eclosionar, a continuación, mostramos una ilustración (figura 1.4) del desarrollo embrionario de un huevo de codorniz.



Fig1.4 Desarrollo embrionario de codorniz  
Fuente: Alabama A&M and Auburn Universities

El tiempo de incubación de los huevos es característico para cada una de las especies de aves domésticas. Para el correcto desarrollo de los embriones, se precisa mantener buenas condiciones ambientales de temperatura, humedad, nivel de oxígeno, anhídrido carbónico, etc. En la tabla N°1, se muestra la variedad de aves y los días de incubación.

Tabla 1. Periodo de incubación de aves

VARIEDAD	DIAS DE INCUBACIÓN
Codorniz	18
Gallina	21
Faisán	23
Pato	28
Pavo	28
Ganso	28 a 33
Periquito	21

Fuente: Alabama A&M and Auburn Universities

- **Incubación artificial**

El proceso de incubación de huevos es un proceso artificial que simula las condiciones naturales de una codorniz para que se desarrolle el embrión y se llegue hasta el nacimiento del polluelo.

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, y después de un periodo se logra el desarrollo del embrión y nacimiento. Este proceso involucra diversas variables que deben ser controladas dado que estas son las que determinan la eficiencia del proceso.

La incubadora artificial se presenta como una eficiente alternativa, ya que a diferencia de una incubación natural o artesanal los equipos de incubación artificial pueden obtener hasta el 90% de incubabilidad; claro está realizando una buena selección de huevos.

El tamaño y el tipo de incubadora depende de las necesidades y de los planes futuros de cada productor. Muchos modelos están disponibles, desde las incubadoras de alta gama, que son utilizadas en la industria y pueden incubar miles de huevos al mismo tiempo, incluyendo tecnologías de rotación de huevos totalmente automatizadas y con controles precisos de temperatura y

humedad, hasta las incubadoras artesanales con rotación de huevos de forma manual y sin control de temperatura y humedad. Pero básicamente las incubadoras se pueden clasificar en incubadoras de aire forzado y ventilación natural, donde las incubadoras con aire forzado tienen ventiladores que proporcionan la circulación de aire y brindan una temperatura uniforme, por lo cual la capacidad de estas unidades puede ser muy grande, mientras que las incubadoras de ventilación natural son generalmente pequeñas y sin ventiladores para la circulación del aire.

- **Características importantes de incubación de huevos**

#### **Temperatura**

La temperatura de incubación óptima, normalmente, se obtiene cuando se alcanza el máximo dato de incubabilidad. Sin embargo, (Decuypere y Michels, 1992) han argumentado que la calidad de la cría también debería ser considerado. El efecto de la temperatura, en el tiempo de incubación, se ha observado en varios estudios y se ha encontrado que la temperatura de incubación afecta la capacidad termorreguladora de la cría y niveles hormonales, así como la tasa de crecimiento del polluelo después de la eclosión. De mayor importancia (Ferguson, 1994), ha sugerido que la temperatura puede alterar el tipo de sexo de las aves.

Por tanto, diversos análisis de temperatura en la incubación han llegado a la conclusión que los huevos solo ganan o pierden calor cuando hay una diferencia de temperatura entre el medio ambiente y la cáscara de huevo, y esto está influenciado por varios factores asociados con la calidad del huevo, pérdida de agua y condiciones de incubación, donde la mejor forma de tener una temperatura uniforme es a través de aire forzado, la cual fue desarrollada para superar los problemas de gradiente de temperatura en toda la incubadora. En una incubadora de aire forzado: un ventilador se utiliza para hacer circular el aire, lo que proporciona una temperatura uniforme en toda la máquina, donde la temperatura se debe de mantener estable a 37.5 °C durante el periodo de incubación, en el caso de huevos de codorniz (M Salah, D.C. Paul & Q. M. E. Huque, 1994).

## **Humedad**

La humedad es menos crítica que la temperatura durante el periodo de incubación, lo cual, se maneja un rango entre 50% a 70% de humedad relativa aproximadamente, en lugar de un dato específico (M Salah, D.C. Paul & Q. M. E. Huque, 1994). Sin embargo, se debe cumplir con el rango indicado por especie ya que la pérdida de agua del huevo durante la incubación es esencial para un adecuado desarrollo del embrión, y una humedad relativa por debajo del rango normal pueden resultar en anomalías físicas del polluelo o inclusive la muerte, ya que debido al déficit de líquidos en las cavidades amnióticas la eclosión se ve perjudicada (Reinhart & Hurnik, 1984).

En la presente tesis no se controló la humedad relativa dentro del prototipo de incubación solo se monitoreó, debido a que la humedad relativa anual en Lima tiene un valor entre 85% y 87% aproximadamente en los últimos años, según estadísticas del SENAMHI (Ver Anexo 3). La humedad al ingresar a la incubadora por convección forzada se reduce entre 60% y 65% cuando se alcance una temperatura de 37.5 °C, esto se verificó con lecturas realizadas al interior del prototipo de incubación y que se mostrarán en el capítulo IV, pruebas y resultados.

## **Ventilación**

La ventilación es muy importante durante el proceso de incubación, ya que mientras el embrión se está desarrollando, el oxígeno entra en el huevo a través de la cáscara y el dióxido de carbono se escapa de manera igual. Durante el crecimiento de los embriones, las aberturas de la salida de aire en la cascara se abren gradualmente para satisfacer la demanda de oxígeno, por lo cual se debe verificar que los agujeros de ventilación en la incubadora no tengan obstrucciones, para poder llevar aire puro sobre y debajo de los huevos, logrando así el intercambio apropiado de dióxido de carbono por oxígeno en el embrión.

El problema de la ventilación es abordado desde dos ángulos: la circulación de aire propiamente dicha y el intercambio de aire con el exterior. Mediante la

circulación del aire el calor y la humedad necesaria llega a los huevos, y con el intercambio se extrae el exceso de dióxido de carbono que se acumula dentro de la incubadora.

### **Rotación de los huevos**

La rotación de los huevos es una acción natural de las aves durante la incubación logrando así que la yema no se adhiera a la cáscara. Esta variable al igual que las anteriores determina el éxito de los nacimientos.

Respecto a esta variable existen varios métodos que se proponen en la literatura con relación a los intervalos en el que se debe voltear los huevos por día, en especial en las primeras dos semanas del proceso de incubación dado que es importante para:

- La formación de la membrana de la vesícula vitelina y vasos sanguíneos
- Para suministrar nutrientes a los órganos extraembrionarios
- Eliminar el calor metabólico

Uno de los protocolos más evidentes, en varios desarrollos de diversas incubadoras, es la rotación de las bandejas contenedoras 45° a cada lado 28 veces al día como se muestra en la Figura 1.5.

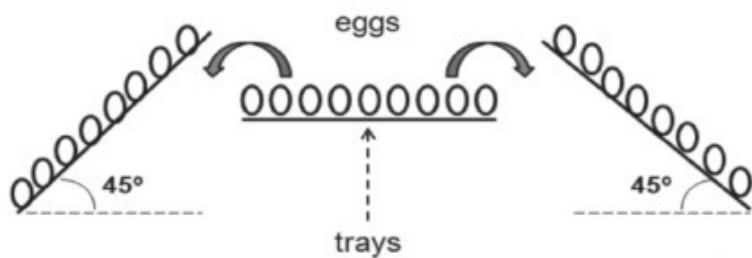


Figura 1.5 Rotación de los huevos 45°  
Fuente: Brazilian Journal of Poultry Science, Universidad de Sao Paulo

### **• Fertilidad y manejo de los huevos**

Es importante tener en cuenta que el éxito del proceso de incubación artificial depende de variables durante el periodo de gestación del huevo como la

temperatura, la humedad y oxigenación, factores biológicos del huevo, genética, tamaño, alimentación de la codorniz, procedencia, entre otros (Dulce Galindo, 2014).

Debido a que las incubadoras no tienen influencias sobre la fertilidad, el éxito del proceso se debe medir en base al porcentaje de los nacimientos fértiles. Esto quiere decir que el nacimiento de los huevos fértiles está basado en la fertilidad del lote y la incubabilidad, se muestra en la ecuación (1):

$$\text{Incubabilidad} = \frac{\# \text{ de nacimientos}}{\# \text{ de huevos fertilidad}} \cdot 100 \quad (1)$$

El manejo de los huevos determina la calidad del polluelo y la óptima incubación, por lo cual es de gran importancia tener claro algunos factores que deben ser revisados antes y durante la incubación.

1. No utilizar huevos de piso debido a que este baja la incubabilidad.
2. Evitar las grietas durante el manejo de los huevos.
3. Colocar los huevos en la incubadora con la punta más pequeña hacia abajo.
4. Almacenar los huevos donde la temperatura y la humedad sean controlados.
5. Mantener la sala limpia y pulcra.

- **Condiciones ambientales en incubadoras de huevos comerciales**

En Figura 1.6, se muestran los parámetros para el desarrollo embrionario en huevos en relación con tiempo de incubación (en días).

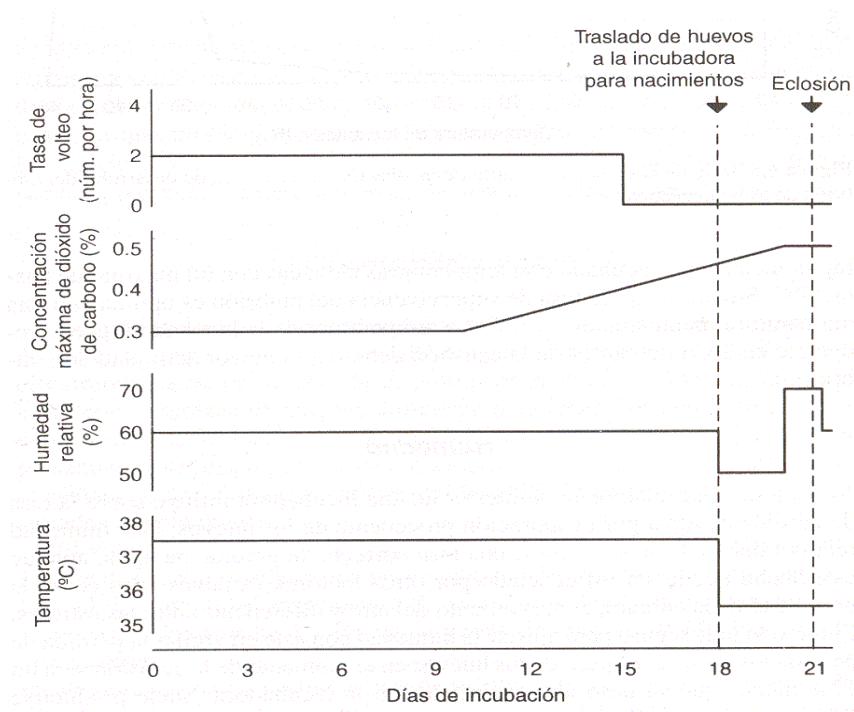


Figura 1.6 Período de incubación  
Fuente: Guía para el cotornicultor

### 1.2.6.2 Modelamiento del controlador difuso

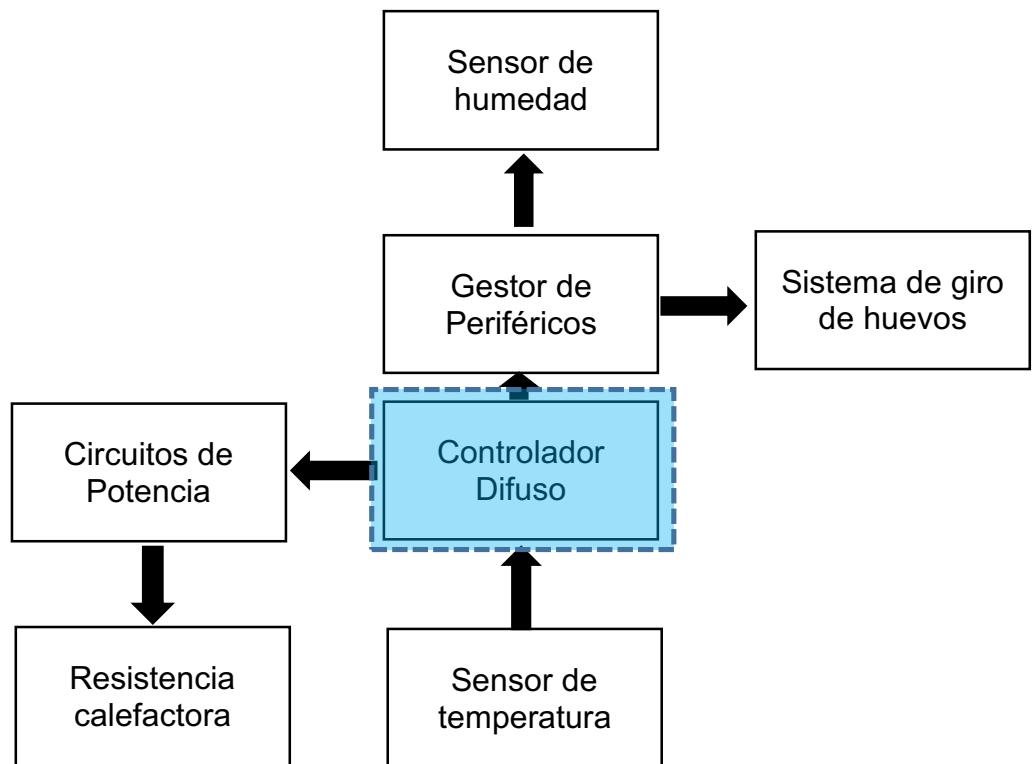


Figura 1.7 Diagrama de bloques de modelamiento de sistema de incubación  
Elaboración: Los autores

Para modelar el sistema de control difuso básicamente se disponen de dos métodos. El método de control mediante inferencia tipo Mandani y el método de control mediante inferencia tipo Sugeno. Para definir cuál de los dos métodos se va a utilizar en la presente tesis, se tomó en consideración que el método Sugeno permite que el sistema realice un mejor uso de recursos, ya que la elección de los parámetros de entrada al sistema y el número de reglas en el motor de inferencia difusa es menor a comparación del método de Mandani (Blej & Azizi, 2006). Asimismo, el método de inferencia Sugeno no requiere del conocimiento experto para generar el conjunto de reglas base (Matía, 1994).

Luego de definir el tipo de controlador, el siguiente paso fue modelar cada etapa de este, por lo cual, se procedió a definir que parámetro se tendrán en

consideración de acuerdo con la estructura interna de un controlador difuso Sugeno. (ver Figura 1.8)

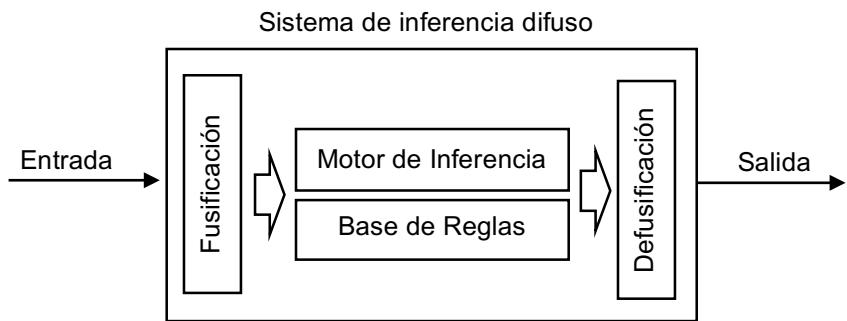


Figura 1.8 Estructura interna de controlador difuso  
Elaboración: Los autores

### ➤ **Fusificación**

En la etapa de fusificación, lo que se realiza es la transformación de un dato nítido de entrada a su valor difuso, esto se consigue evaluando su respectiva función de membresía para finalmente obtener el grado de pertenencia, que, es un número comprendido entre 0 y 1. Este paso prepara las entradas para que el motor de inferencia pueda calcular la salida en función de los valores de entrada y reglas del controlador.

Para la fusificación, se requieren definir los siguientes puntos:

- Variables de entrada y salida
- Función de membresía y universo discurso

### **Variables de entrada y salida del controlador difuso**

Debido a que se requiere que la temperatura, al interior de la incubadora, se mantenga constante, considerando un margen de error de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  esta tendrá que ser monitoreada y comparada con la temperatura de *set point*; de esta comparación se obtiene una señal de error que nos ayudará a cuantificar que tan lejos o cerca está la temperatura actual de la temperatura deseada y el cambio de error cuantificará qué tan rápido o lento variará la temperatura durante un instante de tiempo, esto último debido a que un cambio brusco de

temperatura puede afectar el desarrollo del embrión (Jiménez Rueda & Veloza Caro, 2008).

Por tanto, se define como variables lingüísticas de entrada al controlador difuso al error y el cambio de error, para la variable lingüística de salida se usó el cambio del ciclo de trabajo de una señal de PWM, con esta señal se podrá controlar la cantidad de potencia que se introduce al actuador y por ende la temperatura del sistema.

Tabla 2. Variables lingüísticas

Variables lingüísticas		
Entrada		Salida
Error (e)	Cambio de error (ce)	Cambio de ciclo de trabajo (cu)

Elaboración: Los autores

Modeladas las variables de entrada y salida del sistema de control difuso, el siguiente paso es definir el número y forma de función de membresía que utilizarán las variables.

### Función de membresía y universo discurso

Para la variable lingüística error, se definieron la función de membresía (Figura 1.9) error negativo (EN), error cero (EC) y error positivo (EP), los que son los tres estados que puede tomar el error en referencia a la temperatura deseada y la temperatura de salida:

Error negativo: La temperatura se encuentra por encima de la temperatura deseada.

Error cero: La temperatura de salida es la misma que la temperatura deseada.

Error positivo: La temperatura de salida está por debajo de la temperatura deseada.

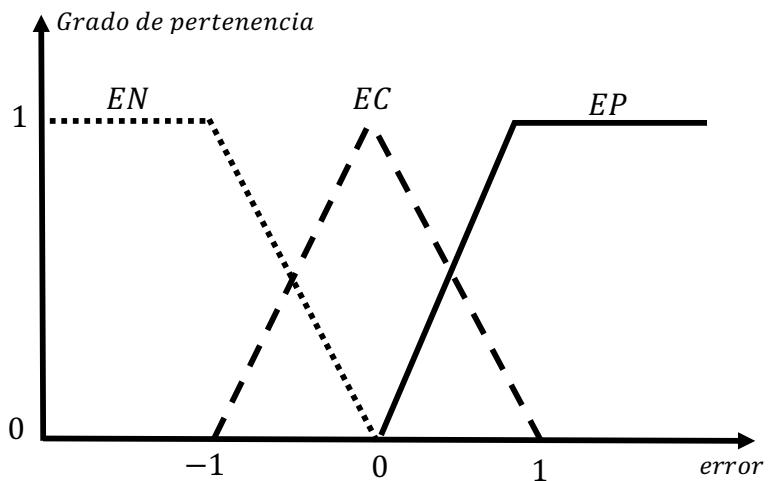


Figura 1.9 Funciones de membresía de variable lingüística error  
Elaboración: Los autores

Descripción de funciones de membresía:

Función Triangular

$$\mu_{EN}(e) \begin{cases} -e, & \text{si } -1 \leq e \leq 0 \\ 0, & \text{otro caso} \end{cases} \quad (2)$$

Función Triangular

$$\mu_{EC}(e) \begin{cases} e + 1, & \text{si } -1 \leq e \leq 0 \\ e - 1, & \text{si } 0 \leq e \leq 1 \\ 0, & \text{otro caso} \end{cases} \quad (3)$$

Función Triangular

$$\mu_{EP}(e) \begin{cases} 0, & \text{si } e < -1 \\ e, & \text{si } -1 \leq e \leq 0 \\ 1, & \text{si } 0 \leq e \leq 1 \\ 0, & \text{otro caso} \end{cases} \quad (4)$$

El universo discurso de la variable lingüística error irá normalizado de -1 a 1 con el fin de tener mayor sensibilidad y precisión en la respuesta. Por tanto, se define el factor de normalización del error como:

$$N_e = \frac{1}{\text{Temperatura máxima}} \quad (5)$$

Para la variable lingüística (Figura 1.10) cambio de error se definieron tres funciones de membresía cambio de error negativo (CEN), cambio de error cero (CEC) y cambio de error positivo (CEP), debido a que son los únicos tres estados que puede tomar esta variable.

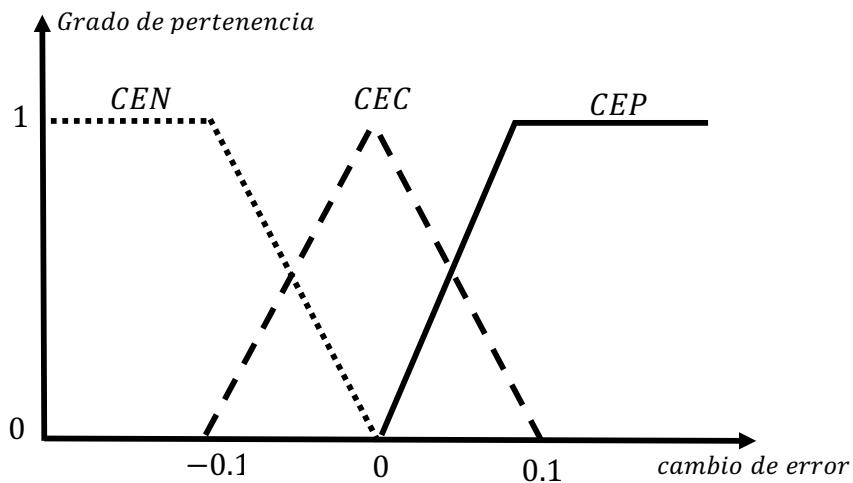


Figura 1.10 Funciones de membresía de variable lingüística cambio de error  
Fuente: Los autores

Descripción de funciones de membresía:

Función Triangular

$$\mu_{CEN}(ce) \begin{cases} -10ce, & \text{si } -0.1 \leq ce \leq 0 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (6)$$

Función Triangular

$$\mu_{CEC}(ce) \begin{cases} 10ce + 1, & \text{si } -0.1 \leq ce \leq 0 \\ -10ce + 1, & \text{si } 0 \leq ce \leq 0.1 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \dots (7)$$

Función Triangular

$$\mu_{CEP}(ce) \begin{cases} ce, & \text{si } 0 \leq ce \leq 1 \\ 1, & \text{si } ce > 1 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (8)$$

De igual forma que el error de temperatura, la entrada de variación de error de temperatura será normalizada como:

$$N_{ce} = \frac{1}{\text{cambio máxima de error}} \quad (9)$$

Para la variable de salida ciclo de trabajo se definieron las funciones de membresía (Figura 1.11) bajar ciclo de trabajo (BCT), mantener el ciclo de trabajo (MCT) y aumentar el ciclo de trabajo (ACT). De esta manera la salida no solo depende de las entradas “error” y “cambio de error”, sino también del estado anterior de la salida, ya que se estaría trabajando con la variación del ciclo de trabajo y no con un valor absoluto.

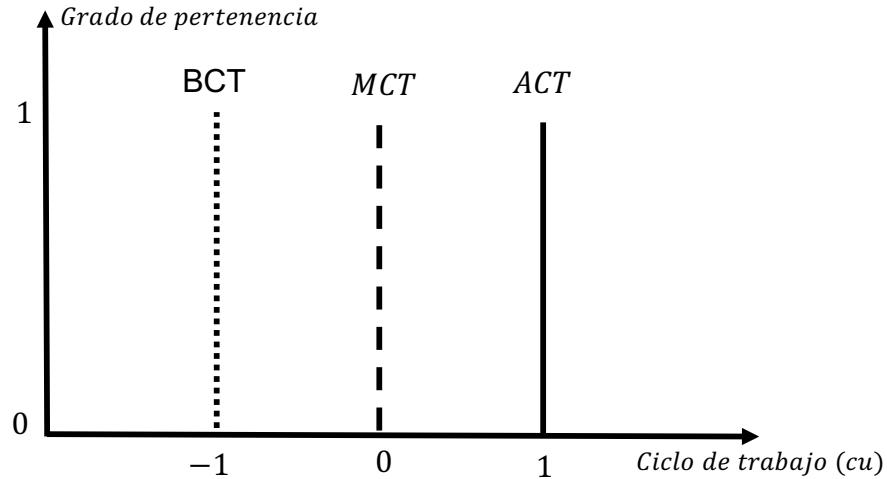


Figura 1.11. Funciones de membresía de variable lingüística ciclo de trabajo  
Elaboración: Los autores

Descripción de funciones singleton:

$$\mu_{BCT}(cu) \begin{cases} 1 & \text{si } cu = -1 \\ 0 & \text{si } cu \neq -1 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{MCT}(cu) \begin{cases} 1 & \text{si } cu = 0 \\ 0 & \text{si } cu \neq 0 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{ACT}(cu) \begin{cases} 1 & \text{si } cu = 1 \\ 0 & \text{si } cu \neq 1 \end{cases} \quad (12)$$

➤ **Base de Reglas**

Luego de haber modelado las variables lingüísticas y sus respectivas funciones de pertenencia, siguiente paso es obtener la base de reglas que procesó los valores difusos. Por tanto, se deberá disponer de una tabla de reglas que describa el comportamiento de la variable a controlar.

Para modelar la base de reglas se usará el método del análisis lingüístico (Braee, 79), el cual se basa en el particionamiento de la señal de salida en regiones determinadas haciendo posible de seguir una secuencia del error y el cambio de error. Asimismo, esta trayectoria lingüística hace visible que el sistema será estable si la trayectoria lingüística converge al punto de equilibrio (0,0), en la Figura 1.12, vemos una representación gráfica de este análisis.

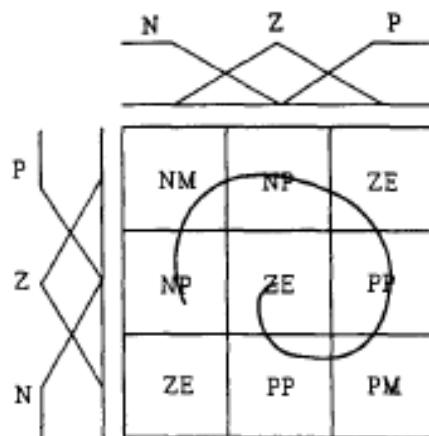


Figura 1.12. Trayectoria lingüística  
Fuente: Análisis y diseño de sistemas de control de procesos basados en lógica borrosa

Las reglas en el controlador de tipo Sugeno se caracterizan por tener la siguiente estructura.

$$\text{SI } (E \text{ es } EN) \text{ Y } (CE \text{ es } CEP) \text{ ENTONCES } MCT = f(e)$$

Donde  $f(e)$  generalmente es un polinomio de orden 0 o 1.

La base de reglas que gobernará nuestro controlador difuso fueron dada por la respuesta temporal del sistema en lazo cerrado cuando ingresa una señal escalón. En la Figura 1.13, se muestra un ejemplo de respuesta en el tiempo de un sistema donde se resaltan las variables de entrada error (E) y cambio del error (CE) que fueron evaluadas por el controlador.

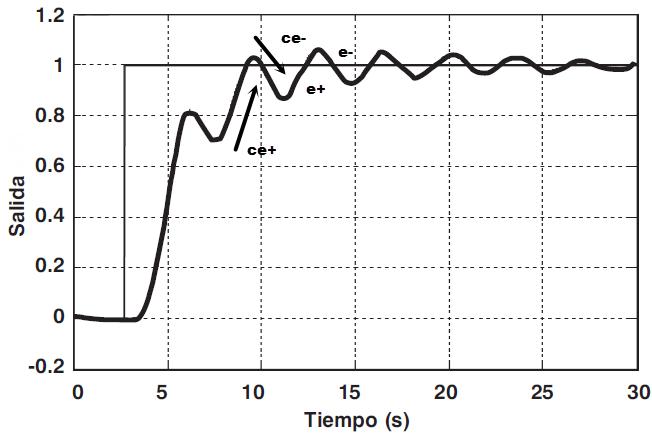


Figura 1.13. Ejemplo de error y variación de error en el tiempo.

Elaboración: Los autores

Entonces se modelaron reglas que relacionen el error y la variación de error con la salida del controlador de forma que se obtenga una respuesta deseada y estable del sistema como, por ejemplo:

**SI** la temperatura de la incubadora está por encima de la temperatura deseada (error negativo) **Y** la temperatura se encuentra incrementándose (derivada de error positiva) **ENTONCES** el ciclo de trabajo debe bajar.

De acuerdo con el criterio indicado, se implementó la siguiente base de reglas mostradas en la **tabla 3**.

Tabla 3  
Base de Reglas

<i>ce\ e</i>	EN	EC	EP
CEN	MCT	ACT	ACT
CEC	BCT	MCT	ACT
CEP	BCT	BCT	MCT

Elaboración: Los autores.

EN: Error Negativo

EC: Error Cero

- EP: Error Positivo
- CEN: Cambio de Error Negativa
- CEC: Cambio de Error Cero
- CEP: Cambio de Error Positiva
- BCT: Bajar Ciclo de Trabajo
- SCT: Subir Ciclo de Trabajo
- MCT: Mantener Ciclo de Trabajo

Obtenido el mapa de reglas y debido a que las funciones de membresía de las variables de entrada son triangulares el peso de cada regla se calcula con el producto como norma-t.

$$w_i = \mu_{Ei}(e) * \mu_{CEi}(ce) \quad (13)$$

### ➤ Defusificación

Con los resultados obtenidos, en la inferencia difusa, se calculó la salida del sistema usando el método de promedio ponderado, este método requiere se encuentre el centroide de las funciones de membresía de salida, el cual será igual al grado de pertenencia de la función singleton  $\mu_{cu}$ .

$$cu = \frac{\sum_{i=1}^r w_i * \mu_{cui}}{\sum_{i=1}^r w_i} \quad (14)$$

siendo  $w_i$  el peso de cada regla y  $r$  el número de reglas.

Finalmente, en la figura 1.14 se muestra la estructura interna del controlador difuso modelado que será implementado en la presente tesis.

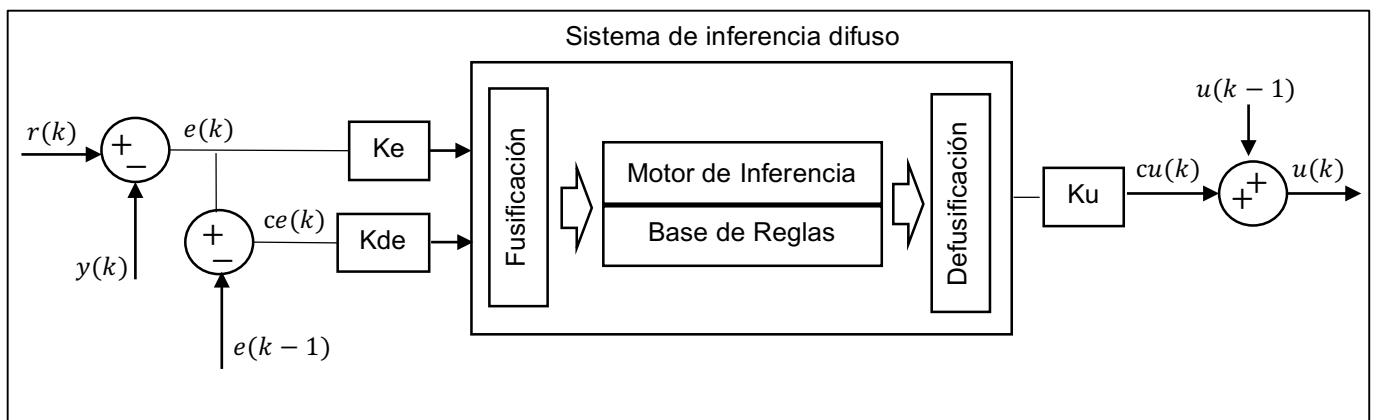


Figura 1.14 Controlador difuso

Elaboración: Los autores.

### 1.2.6.3 Modelamiento de fuente de calor:

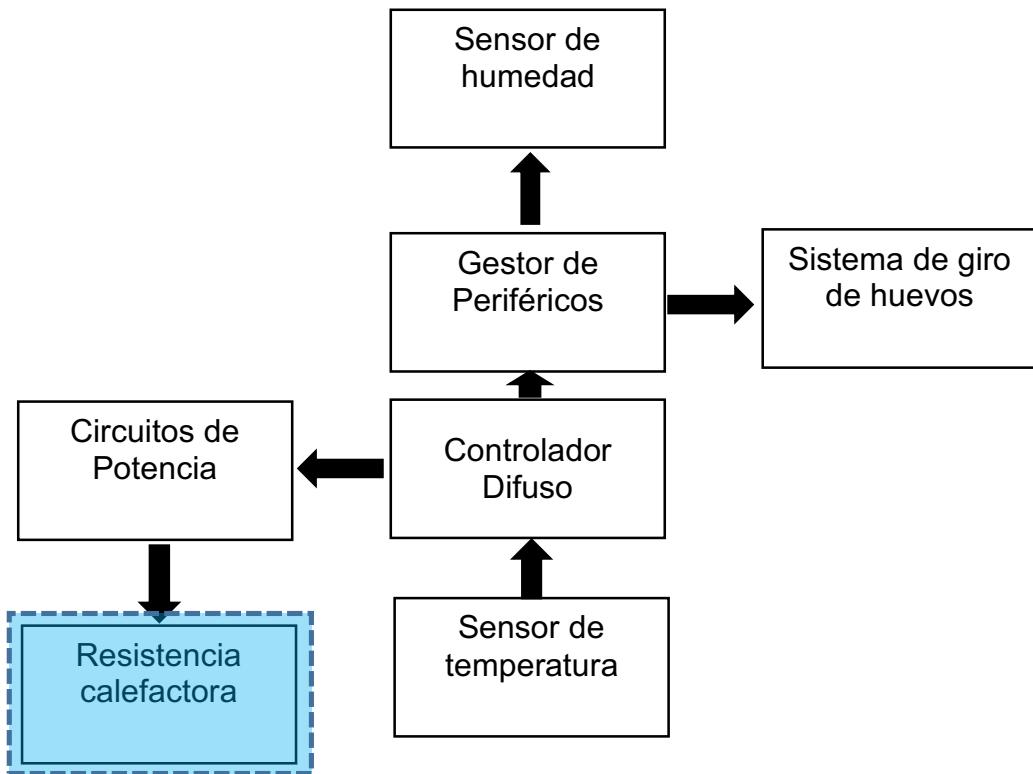


Figura1.15 Diagrama de bloques de modelamiento de sistema de incubación  
Elaboración: Los autores

El actuador que recibirá la señal de salida de nuestro sistema de control difuso será una resistencia calefactora, que deberá cumplir características acordes a las dimensiones y temperatura necesaria. Para ello es necesario describir los criterios que se tomaron en cuenta para su diseño y fabricación.

En la Fig (1.16), se muestra en un diagrama general la transferencia de calor, cambio de temperatura ambiente a temperatura deseada dentro de una maquina incubadora.



Figura 1.16 Transferencia de calor  
Elaboración: Los autores

Las máquinas incubadoras varían en complejidad y diseño, lo que hacen básicamente es controlar la temperatura y composición atmosférica, debe entender y modificar la habilidad de transferencia de calor entre el huevo y la máquina para alcanzar la correcta temperatura embrionaria. Existen (2) principales modos de transferencia de calor que se pueden aplicar.

- Convección forzada
- Convección natural

Para el propósito de la presente tesis se aplicará la transferencia de calor por convección forzada. A continuación, se detallan las características de esta transferencia de calor que hacen que sea la adecuada para la incubación.

#### ➤ Transferencia de calor por convección.

Modo en que se transfiere la energía entre una superficie sólida y el fluido adyacente (líquido o gas). Si el aire se mueve con una velocidad elevada, las pérdidas por convección aumentan, existen dos tipos de transferencia de calor por convección: natural y la forzada por ventiladores. Se muestra, en la Figura (1.17) los tipos de transferencia de calor por convección.

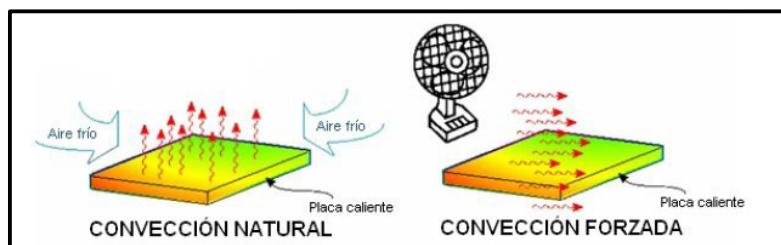


Figura 1.17 Tipos de transferencia de calor por Convección  
Fuente: Luis Lovera, UNEFA

Según el estado de arte estudiado, las incubadoras utilizan la convección forzada, la eficiencia de este proceso depende de la superficie en contacto y de los patrones de flujo de este (Laminar o turbulento).

Cuanto mayor es la velocidad del fluido, mayor es la velocidad de transferencia de calor. La transferencia de calor por convección depende de las propiedades del aire.

Una vez definido el tipo de transferencia de calor que se aplicará pasamos a determinar las condiciones y características previas que deberá cumplir el actuador

#### ➤ **Determinación de la potencia de resistencia calefactora**

Se usó la fórmula que usan los fabricantes para resistencia eléctricas calefactoras con transferencia de calor forzada por ventiladores para gabinetes cerrados (Estegotronic); que relaciona temperatura deseada, superficie de gabinete y potencia requerida, la ecuación (15) muestra esta relación.

$$P = (S)(K)(\Delta T) \quad (15)$$

Dónde:

P: Potencia necesaria (W)

S: Superficie del gabinete ( $m^2$ )

K: Coeficiente de transferencia de calor en la superficie.

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura (temperatura deseada – temperatura inicial).

#### ➤ **Conductividad térmica (k)**

El valor de la conductividad térmica del aire es dependiente del nivel de humedad relativa. El vapor de agua es una sustancia que tiene mayor capacidad de absorción y retención térmica que el aire seco. Incrementar la capacidad de calor (aire más húmedo) hace que la transferencia de calor

desde y hacia los huevos sea mayor y más rápida. Aire más húmedo ayuda a uniformizar las condiciones ya que extrae o aporta más calor a aquellos huevos cuya diferencia de temperatura respecto a la del aire sean mayores. El mayor factor que afecta la conductividad térmica del aire es el flujo de aire sobre los huevos, a mayor flujo de aire, mayor eficiencia de transferencia de calor. El flujo de aire dentro de la incubadora produce un mayor impacto en la temperatura de incubación.

#### 1.2.6.4 Modelamiento de circuitos electrónicos de potencia:

Luego describir el control difuso y resistencia calefactora, se pasa a describir el circuito de potencia (Figura 1.18) que los enlazó, es prudente seguir este orden dado que este último bloque estuvo sujeto a los 2 bloques antes descritos.

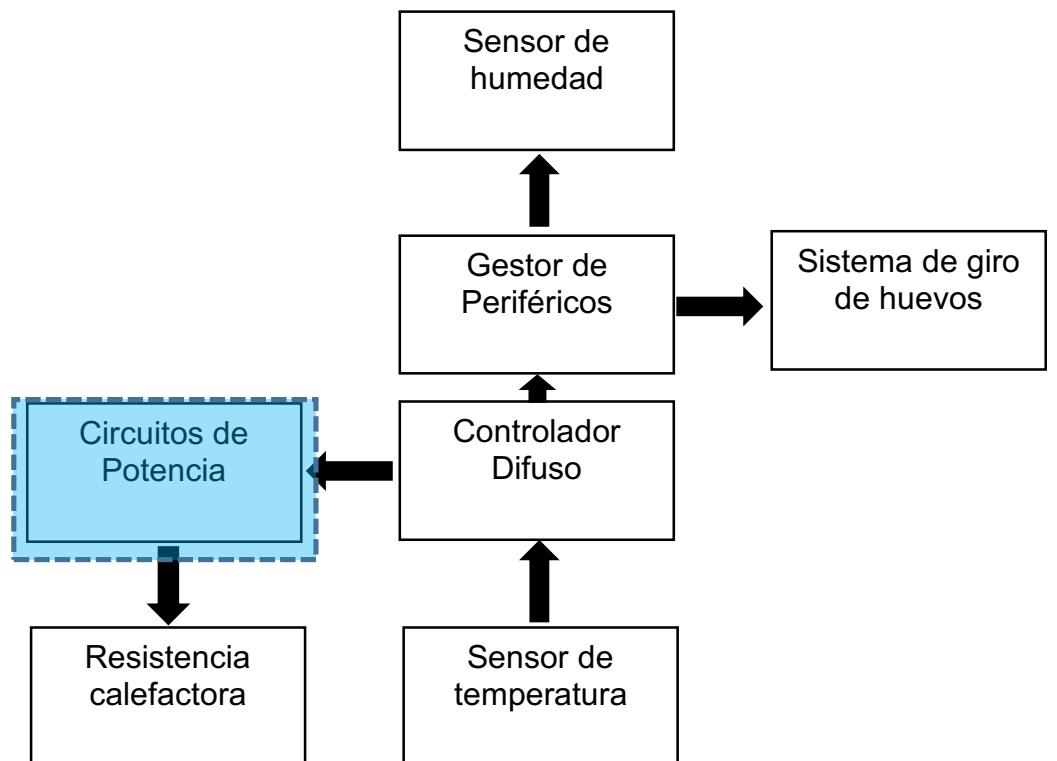


Figura1.18 Diagrama de bloques de modelamiento de sistema de incubación

Elaboración: Los autores

La elección de componentes y el método empleado fue un criterio asumido por los tesis, a base de los conocimientos adquiridos en la línea de diseño y análisis de circuitos eléctricos y electrónicos, en su formación de pregrado, dicho criterio será sustentado en base a los cálculos y resultados de los capítulos siguientes.

Luego, se describió la base teórica aplicada en los bloques seleccionados, en la figura 1.19, que hace referencia al diagrama de bloques general.

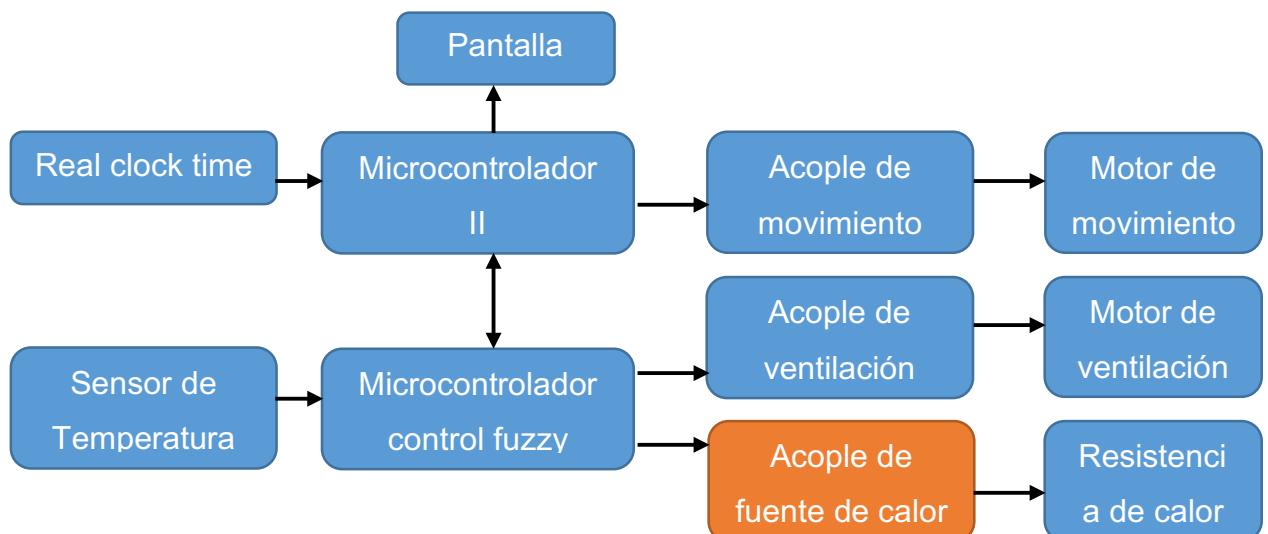


Fig.1.19 Diagrama de bloques de circuitos de potencia, circuitos de acople de fuente de calor  
Elaboración: Los autores

#### ➤ Circuito de detección de cruce por cero

Las señales PWM y cruce por cero son frecuentemente empleados para circuitos con fines de potencia.

El PWM es una señal digital que nos ayuda a modificar el ciclo de trabajo (Duty Cycle) de una señal, para controlar la energía de la carga, en este caso resistencia de calefacción.

El cruce por cero se dice que es cuando en el plano cartesiano de la onda toca en el punto cero u origen, para que el circuito pueda identificar el cruce

por cero necesita de un detector, de tal forma podremos controlar los pulsos para el triac en la etapa de potencia.

La transmisión de señales digitales en la corriente alterna, o AC, es imposible sin la aplicación de un detector de cruce por cero, se usó el circuito de detección de cruce por cero para la sincronización de la corriente alterna con la señal PWM del microcontrolador que activa la resistencia calefactora.

A continuación, se describen los componentes y base teórica que se aplicará en los capítulos siguientes para el diseño del circuito de detección de cruce por cero.

#### ➤ Circuito limitador

Un limitador o recortador es un circuito que permite, mediante el uso de resistencias y diodos, eliminar tensiones que no interesa que lleguen a un determinado punto de un circuito. En este caso se usará el circuito limitador, Figura 1.20, como protección, en la primera etapa de cruce por cero.

Se tomó  $R_L \gg R_{lim}$  para que en el semi ciclo negativo se dirija a la salida.

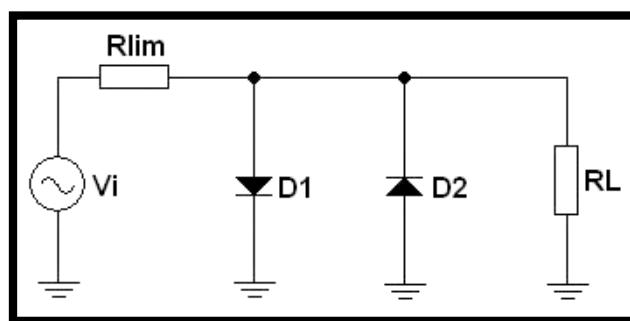


Figura1.20 Circuito limitador  
Elaboración: Los autores

En este caso, el elemento que vamos a proteger es la resistencia de carga  $R_L$ . Cuando le lleguen tensiones superiores a 0.7 V, tanto positivos como negativos. Montando los dos diodos y la resistencia limitadora como se muestra en la figura (1.20), nosotros conseguimos que cualquier tensión que exceda de 0.7 V o disminuya de -0.7 V, se vea recortada por los diodos. Estos

0.7 V de los que hablamos son la barrera de potencial del diodo. Se debe tener en cuenta que la resistencia limitadora ( $R_{lim}$ ) es mucho menor que la resistencia de carga ( $R_L$ ). De este modo la tensión que cae en la resistencia limitadora es prácticamente nula y podemos despreciarla.

Aunque la resistencia limitadora pueda parecer innecesaria, es importante entender que en realidad es parte imprescindible del limitador, ya que, si no estuviera conectada, al polarizarse uno de los diodos directamente (los dos diodos no pueden estar polarizados directamente al mismo tiempo), este comenzaría a conducir la corriente eléctrica sin control y se destruiría. Como su propio nombre indica, la resistencia limitadora tiene como función limitar la corriente que atraviesa los diodos.

De este modo, si la tensión de entrada supera por cualquier motivo los 0.7 V el diodo D1 quedará polarizado directamente y recortará el exceso de tensión. De igual forma, cuando la tensión de entrada disminuya de -0.7 V, el diodo D2 quedará polarizado directamente y recortará el exceso de tensión que podría dañar nuestra carga, Figura 1.21.

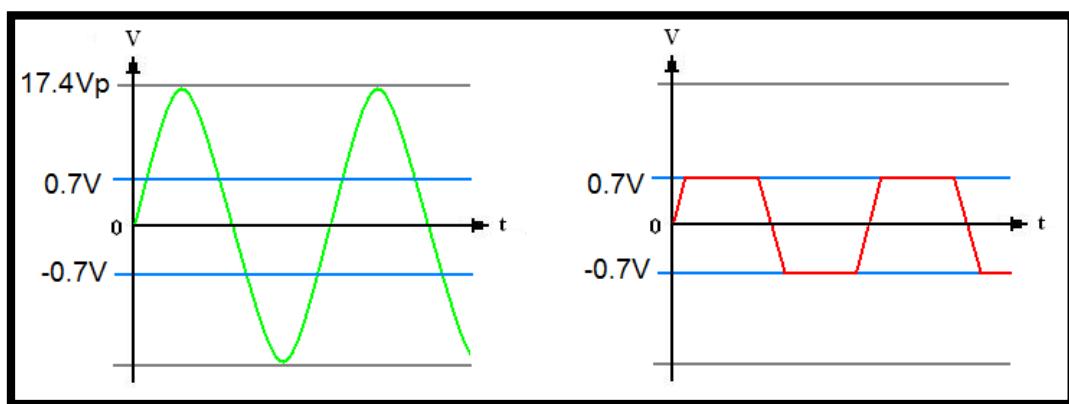


Figura 1.21 Señal alterna recortada  
Elaboración: Los autores

#### 1.2.6.5 Modelamiento de gestor de periféricos:

El bloque secundario será nuestro controlador de periféricos que estará en constante comunicación con el bloque principal (controlador difuso), tal como se muestra en Figura 1.22

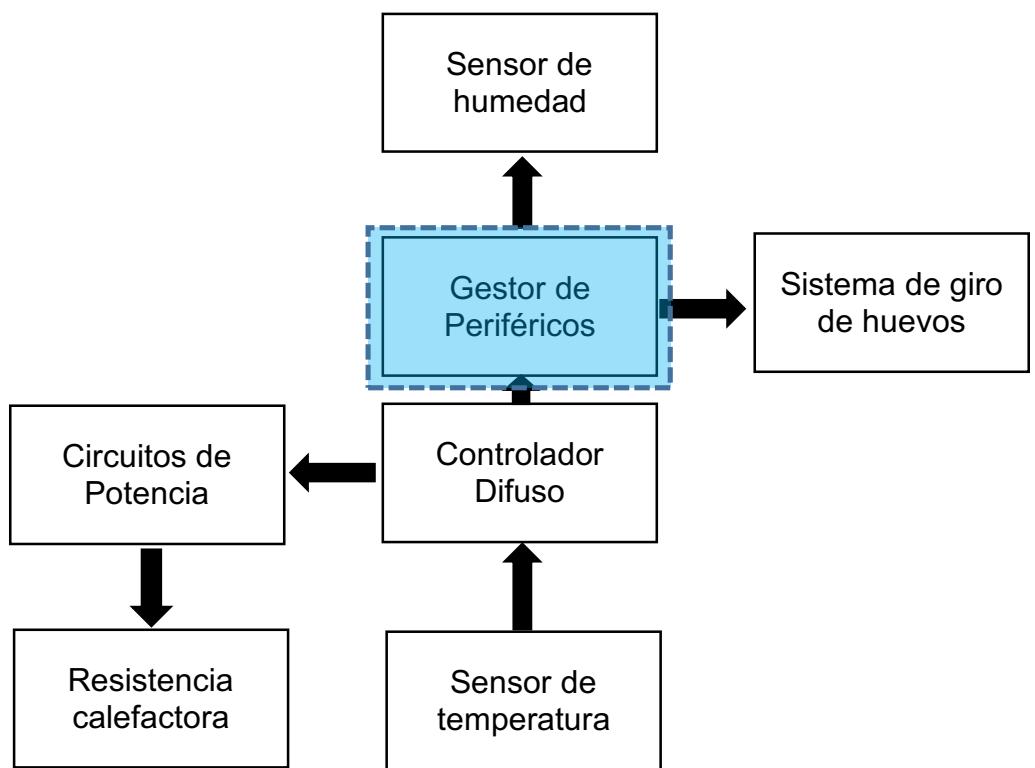


Figura 1.22 Diagrama de bloques de modelamiento de gestor de periféricos

Elaboración: Los autores

Los microcontroladores AVR basado en la arquitectura Harvard, Figura 1.23, el alto rendimiento y el bajo consumo de energía de los microcontroladores AVR es de tecnología patentada. Las CPU AVR de 8 y 32 bits de Atmel se basan en una arquitectura avanzada de Harvard que está ajustada para el consumo de energía y el rendimiento. Como todos los dispositivos de arquitectura de Harvard, la CPU AVR tiene dos buses: un bus de instrucción donde la CPU lee las instrucciones ejecutables; y un bus de datos para leer o escribir los datos correspondientes. Esto garantiza que se pueda ejecutar una nueva instrucción en cada ciclo de reloj, lo que elimina los estados de espera cuando ninguna instrucción está lista para ejecutarse. Los buses en los microcontroladores AVR están configurados para proporcionar acceso de prioridad de bus de instrucción de CPU a la memoria flash en el chip. El bus de datos de la CPU tiene acceso prioritario a la SRAM.

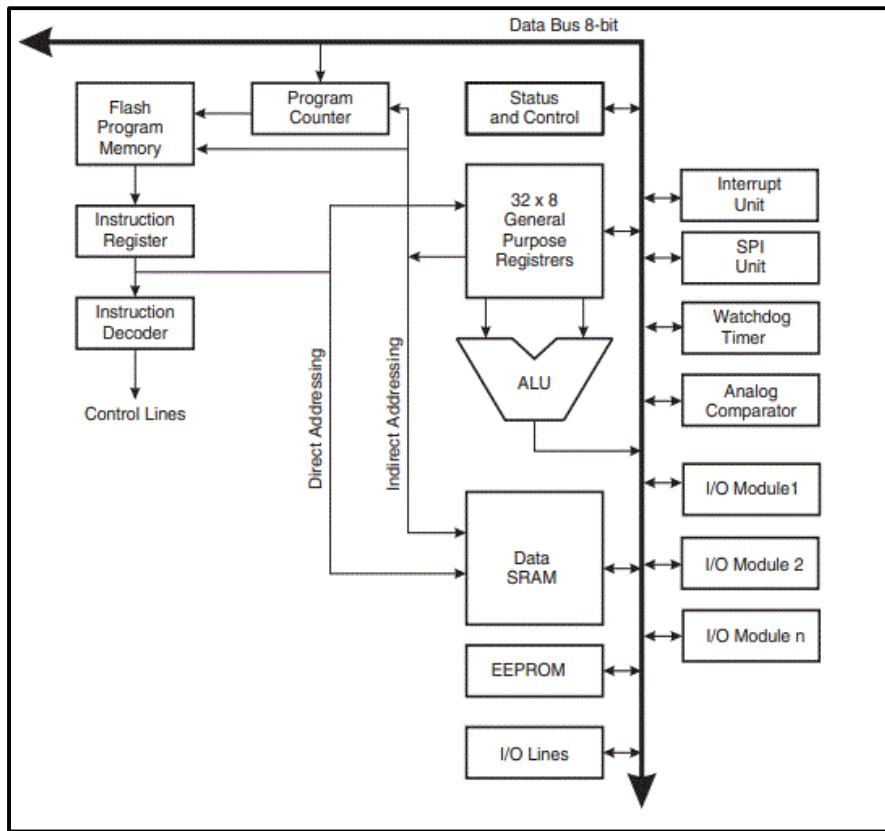


Figura 1.23 Arquitectura de AVR

Fuente: Atmel company

En la implementación, se hizo uso de protocolos y módulos I<sup>2</sup>C. Comunicación entre microcontrolador y módulo RTC. Donde el microcontrolador solicita periódicamente los minutos horas y días transcurridos para la toma de decisiones. UART Comunicación entre Microcontrolador Fuzzy y Microcontrolador de periféricos. Estado de activación de salidas digitales y control de tiempo son enviados al controlador principal y, a la vez, se recibe la temperatura controlada para ser mostrada en el LCD.

El microcontrolador usado tiene los protocolos de comunicación básicos que se necesitan, así como también las salidas digitales necesarias para controlar los actuadores usados, con esto se evita que el microcontrolador principal quien lleva el sistema de control tenga carga computacional adicional para la gestión de la información y activación de actuadores secundarios como ventiladores y motores de movimiento.

#### 1.2.6.6 Modelamiento de sistema de giro de huevos:

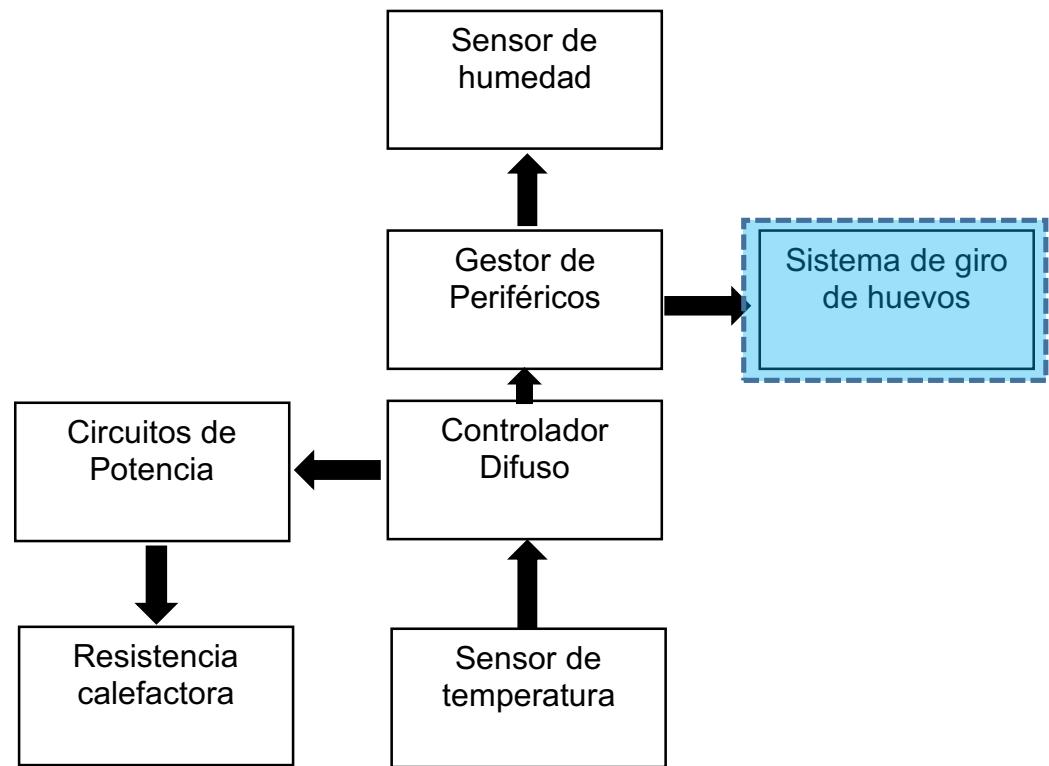


Figura1.24 Diagrama de bloques de modelamiento de sistema de giro de huevos

Elaboración: Los autores

Se tomó en cuenta dos diseños para el sistema mecánico de movimiento para bandejas de huevos fértiles. Aprovechando que el motor que se eligió tiene sistema CW y CCW (sentido horario y contra sentido horario).

Se dedujo lo siguiente: en la Figura1.25 se muestra un rombo equilátero el cual con su diagonal forma con los lados 45 y -45 grados, el motor gira hasta el tope superior que es el vértice superior, luego gira inversamente hasta el tope inferior que es el vértice inferior, y así se forma el giro de 45 y -45 grados.

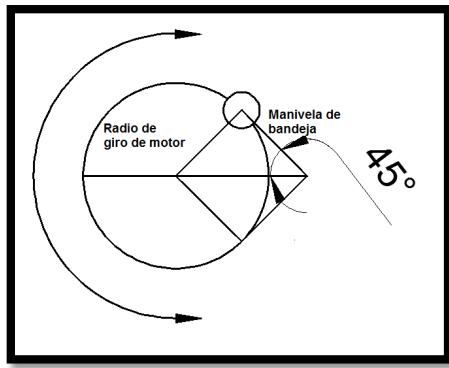


Figura1.25 Manivela de bandeja y radio de giro del motor

Elaboración: Los autores

Ergonomía de la mano para que el usuario (cotornicultor) pueda introducir y extraer las bandejas sin dificultad.

Se tomó en cuenta la ergonomía de la mano para realizar el diseño de los soportes de las bandejas, las medidas tomadas en cuentas se pueden apreciar en la Figura1.26 y en la tabla N° 4.

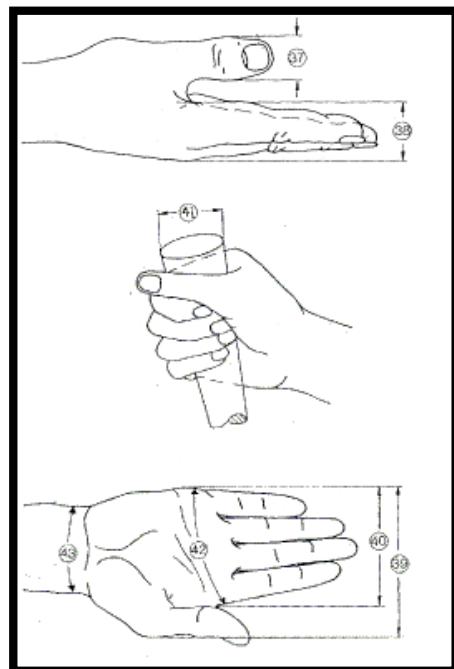


Figura1.26 Imagen de una mano promedio

Fuente: Norma DIN 33.402 segunda parte

Tabla 4. Medidas del perfil de mano

Dimensiones en cm.		PERCENTIL					
		Hombres			Mujeres		
		5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %
37	Ancho del dedo pulgar	2,0	2,3	2,5	1,6	1,9	2,1
	Grosor de la mano	2,4	2,8	3,2	2,1	2,6	3,1
	Ancho de la mano incluyendo dedo pulgar	9,8	10,7	11,6	8,2	9,2	10,1
	Ancho de la mano excluyendo el dedo pulgar	7,8	8,5	9,3	7,2	8,0	8,5
	Diámetro de agarre de la mano*	11,9	13,8	15,4	10,8	13,0	15,7
	Perímetro de la mano	19,5	21,0	22,9	17,6	19,2	20,7
	Perímetro de la articulación de la muñeca	16,1	17,6	18,9	14,6	16,0	17,7

\* Las medidas corresponden al anillo descripto por los dedos pulgar e índice

Fuente: Norma DIN 33.402 segunda parte.

### ➤ Definición de términos básicos

Tabla 5. Tabla de parámetros en base al modelamiento

Parámetros del modelamiento a nivel termodinámico	
P	Potencia de calefacción teórica necesaria.
Pc	potencia calefactora real
S	Superficie del gabinete.
K	Coeficiente de transferencia de calor en la superficie.
$\Delta T$	Diferencia de temperatura (temperatura deseada – temperatura inicial).
L	Largo del gabinete
H	Altura del gabinete
W	Ancho del gabinete
Rc	Aistencia de calefacción
Ic	Corriente de calefacción

Vc	Voltaje de calefacción
Vt	Voltaje de terminal típico
VGt	Voltaje de la puerta de disparo
Rin	Resistencia de entrada
Vin	Voltaje de entrada
VLED	Voltaje de led
RG	Resistencia de salida
VTMOC	Voltaje entre terminales 6 y 4
Parámetros del modelamiento del circuito de detector de cruce por cero	
Ep	Fuerza electromotriz inductora
Es	Fuerza electromotriz inducida
Np	Número de espiras de los devanados primario
Ns	Número de espiras de los devanados secundario
M	Relación de transformación
Vpico	Voltaje pico
RLim	Resistencia de limitación

Elaboración: Los autores

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

A base del estado del arte encontrado y los antecedentes para el desarrollo del proyecto, en este capítulo se describen materiales y herramientas que serán necesarias para el desarrollo del proyecto, los cuales tienen la característica común de ser de fácil acceso en el mercado peruano; seguidamente se describe el análisis de la solución propuesta con la aplicación directa de conocimientos y competencias adquiridas en la formación de pregrado.

#### **2.1 Materiales:**

Para la presente tesis se emplearon los siguientes materiales:

- 02 sensores de humedad DTH22
- 02 sensores de temperatura LM35
- 02 microcontroladores Atmega 328
- 01 pantalla LCD marca Hitachi
- 01 Resistencia calefactora
- 01 piezoelectrónico ultrasónico
- 02 ventiladores

- 01 estructura de congelador
- Acopladores de señal
- Transformador de 220V AC a 12V AC

A continuación, se detallan cada uno de los materiales:

➤ **Sensor de Temperatura y Humedad DTH22:**

Para este proyecto se utilizó el sensor DTH22, que pertenece a la familia Arduino y se usa por la estabilidad en la captura de datos. Las características del sensor se observan en la Tabla N°6.

Tabla N°6. Características del sensor DHT22

<b>Voltaje de alimentación</b>	<b>3.3-6 V DC</b>
<b>Señal de salida</b>	Señal digital via single-bus
<b>Rango de operación</b>	Humedad 0 a 100% RH
<b>Precisión</b>	Humedad +-2% RH (Max +-5%RH)
<b>Sensibilidad o resolución</b>	Humedad 0.1% RH
<b>Periodo de sensado</b>	2s
<b>Dimensiones</b>	14x18x5.5 mm

Fuente: Aosong Electronics Co., Ltd

➤ **Sensor de Temperatura LM35:**

A continuación, se describen algunas cualidades principales por las cuales se eligió este sensor de temperatura. El sensor de temperatura LM35 fabricado por National Semiconductor. Tiene una mayor precisión y un rango más amplio de trabajo lineal, la tensión de salida es proporcional a la temperatura en Celsius, lo cual nos hace prescindir de niveles altos de voltaje y circuitos previos para su calibración, estas últimas cualidades serán de mucha ayuda al momento de implementar los circuitos electrónicos de control a temperaturas normales, puede proporcionar  $\pm 1/4$  °C de precisión común de la temperatura ambiente sin necesidad de calibración adicional o sintonía fina, los parámetros básicos de trabajo son:

Tabla N°7. Parámetros de sensor de temperatura

<b>Voltaje de funcionamiento:</b>	dc 4 ~ 30V
<b>Corriente de trabajo:</b>	Menor a $133 \mu A$
<b>Voltaje de salida:</b>	+ 6V -1.0V
<b>Impedancia de salida:</b>	1Ma carga $0.1 \wedge 2$
<b>Precisión de medición:</b>	$0.5 ^\circ C$ (en $+ 25 ^\circ C$ )
<b>Corriente de fuga:</b>	Menor a $60 \mu A$
<b>Valor no lineal:</b>	$\pm 1/4 ^\circ C$
<b>Factor de escala</b>	lineal + $10.0 mV / ^\circ C$

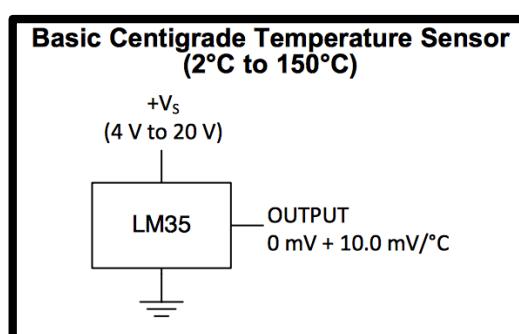


Fig.2.1 Sensor LM35  
[Fuente: National Instruments]

La hoja de datos del sensor no muestra valores picos de lectura o porcentajes de error estimados. Es por ello que se recurre a un cálculo práctico para estimar estos valores, tomamos de referencia las pruebas hechas por laboratorio de adquisición de datos – UANL- error sensor LM35 Pagina. (4) . Dicha información nos brinda una conclusión de error a  $\pm 2^\circ C$  en picos de lectura, lo cual es aceptable como valor pico para los propósitos de la presente tesis. Sin embargo, existirán otros factores que podrán generar error tal y como se muestra en el capítulo IV.

➤ **Optoacoplador MOC3042:**

Se usará un optoacoplador, es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente optoelectrónico, normalmente en forma de fototransistor o fototriac, Figura2.2. De este modo se combinan en un solo dispositivo semiconductor, una foto emisor y un fotorreceptor cuya conexión entre ambos es óptica.

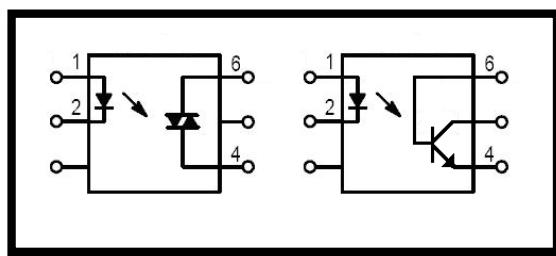


Figura2.2 Símbolos de opto acopladores, optotriac (izquierda), optotransistor (derecha)  
Elaboración: Los autores

➤ **Triac BT136:**

Se usará triacs (relé de estado sólido) en la etapa de potencia por su practicidad de conexión y su alta velocidad de conmutación, durabilidad bajo nivel de ruido en comparación con un relé electromecánico que genera arco eléctrico. El triac, Figura2.3, conmutador para Corriente Alterna es un dispositivo semiconductor, de la familia de los tiristores. La diferencia con un tiristor convencional es que este es unidireccional y el triac es bidireccional.

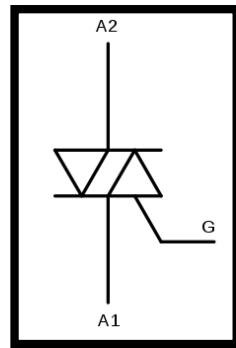


Figura 2.3 Diagrama simbólico de un triac  
Elaboración: Los autores

➤ **Transformador 220/12V:**

Para una detección de cruce por cero, si se toma directo desde la red eléctrica 220V, se tendrá una medición más exacta; sin embargo, tanto así más peligrosa, es así como se considera necesario emplear un transformador, Figura 2.4. Como solo se requiere detectar el cruce por cero, no será necesario un transformador de alta potencia.

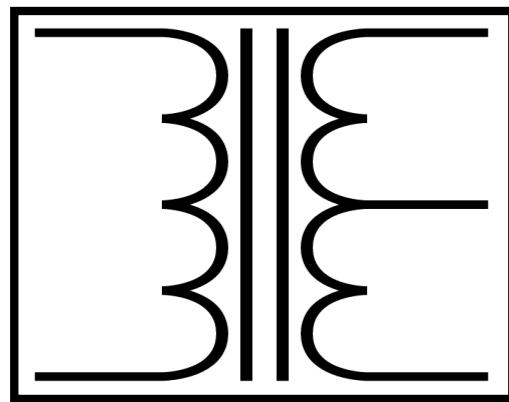


Figura 2.4 Diagrama esquemático del transformador.  
Fuente: los Los autores

La relación entre la fuerza electromotriz inductora ( $E_p$ ), la aplicada al devanado primario y la fuerza electromotriz inducida ( $E_s$ ), la obtenida en el secundario, es directamente proporcional al número de espiras de los devanados primario ( $N_p$ ) y secundario ( $N_s$ ), según la ecuación(16):

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (16)$$

La relación de transformación ( $m$ ) de la tensión entre el bobinado primario y el bobinado secundario depende de los números de vueltas que tenga cada

uno. Si el número de vueltas del secundario es el triple del primario, en el secundario habrá el triple de tensión, según la ecuación(17):

$$\frac{Np}{Ns} = \frac{Vp}{Vs} = \frac{Is}{Ip} \quad (17)$$

➤ “Real time clock”(rtc):

El módulo, Real Time Clock (RTC) Figura 2.5, utiliza el circuito integrado DS1307, para realizar un seguimiento del año, mes, día y hora actual. El módulo viene completamente ensamblado e incluye una batería pequeña de celda de litio CR1225 que ejecutará el RTC durante un mínimo de 9 años (17 años típico) sin una fuente de alimentación externa de 5 V. El DS1307 RTC se accede a través del protocolo I<sup>2</sup>C.

El módulo Real Time Clock tiene implementado las resistencias necesarias para polarizar los transistores del protocolo I<sup>2</sup>C. El módulo funcionó correctamente con cualquier microcontrolador que cuente con el protocolo I<sup>2</sup>C.

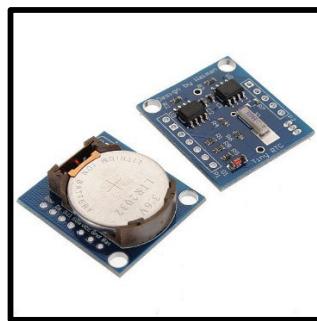


Fig 2.5 RTC, Fuente Adafruit company

➤ Microcontrolador Atmega 328:

En el presente proyecto se utilizó el microcontrolador Atmega 328 debido a que tiene una arquitectura de 8 bits lo cual es suficiente para el algoritmo de control y el manejo de periféricos. Asimismo la programación del microcontrolador es en lenguaje C que resulta amigable y práctico por la cantidad de información y librerías que se tienen en este lenguaje, otro punto importante es que es un microcontrolador de bajo costo.

Tabla N°8. Características del microcontrolador Atmega 328

<b>Arquitectura</b>	<b>8 bits</b>
<b>Pines I/O</b>	23
<b>Memoria flash</b>	32kb
<b>SRAM</b>	2kb
<b>EEPROM</b>	1kb
<b>Oscilador Interno</b>	20 Mhz
<b>Voltaje</b>	1.8V a 5 V
<b>ADC</b>	10 bits
<b>Timers</b>	3
<b>PWM</b>	6 canales
<b>USART</b>	Full duplex
<b>Transmisión</b>	Asíncrono
<b>Temperatura</b>	-40 °C a +85 °C
<b>Empaquetado</b>	PDIP 28

Fuente: Atmel Company

#### ➤ Pantalla LCD (Liquid Crystal Display):

Se usa la pantalla de cristal líquido LCD de dos filas por 16 caracteres cada una, lo cual es suficiente para mostrar los valores de temperatura y humedad relativa de la incubadora. Cabe mencionar que el LCD consume baja energía, emite poco calor, por lo cual es importante para la presente implementación. Algunas características del LCD son:

- Pantalla de caracteres ASCII, además de los caracteres Kanji y griegos.
- Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o la derecha.
- Proporciona la dirección de la posición absoluta o relativa del carácter.

- Memoria de 40 caracteres por la línea de pantalla.
- Movimiento del cursor y cambio de su aspecto.
- Permite que el usuario pueda programar 8 caracteres.
- Conexión a un procesador usando un interfaz de 4 u 8 bit.



Figura 2.6 Pantalla LCD  
Fuente: [www.diotronic.com](http://www.diotronic.com)

➤ **Resistencia calefactora:**

Se diseñó una resistencia calefactora que genere la temperatura ideal para la incubación, el diseño electrónico será descrito en la sección de análisis y las dimensiones de la misma serán mostradas en los diseños CAD realizados en la sección 3.2.3.



Figura 2.7 Resistencia Calefactora  
Fuente: los autores

➤ **Ventiladores:**

Se adquirieron dos ventiladores los cuales cumplen funciones diferentes, la primera figura 2.9 es usado para hacer fluir temperatura al interior de la incubadora, el cual tiene una potencia de 60W.

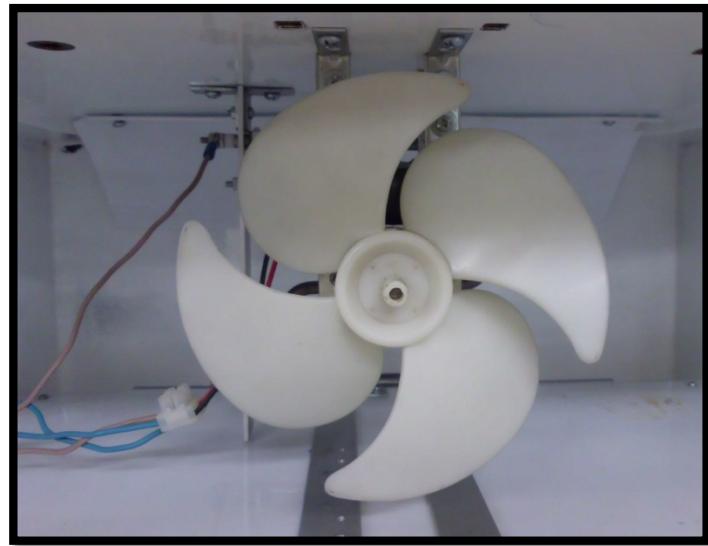


Fig 2.9 Ventilador de aire forzado  
Fuente: los autores

El segundo ventilador figura 2.10 permite el ingreso de oxígeno a la incubadora.



Figura2.10Ventilador de oxigenación  
Fuente: los autores

## 2.2 Métodos:

A continuación, se presentan los análisis realizados para controlar la temperatura de incubación.

### ➤ Análisis de sistema de control difuso:

Para encontrar el valor de las constantes de normalización del controlador, se partió definiendo que el valor máximo de temperatura que emitiría el actuador será 40 °C. Por tanto, haciendo uso de la ecuación (5) se obtiene el valor de la constante de normalización del error  $N_e = 0.025$

Para definir el valor base de normalización del cambio de error  $N_{ce}$  se analizó la curva de cambio de error para una señal de referencia de 40 °C. Esta curva muestra que el máximo cambio de error que puede ingresar al controlador es de -0.17 °C como se observa en la Figura 2.1. Por tanto, evaluando la ecuación (9) se obtendrá  $N_{ce} = 0.6$ .

Realizando el afinamiento del controlador en base a la respuesta en el tiempo se obtuvo un  $N_{ce} = -0.3$

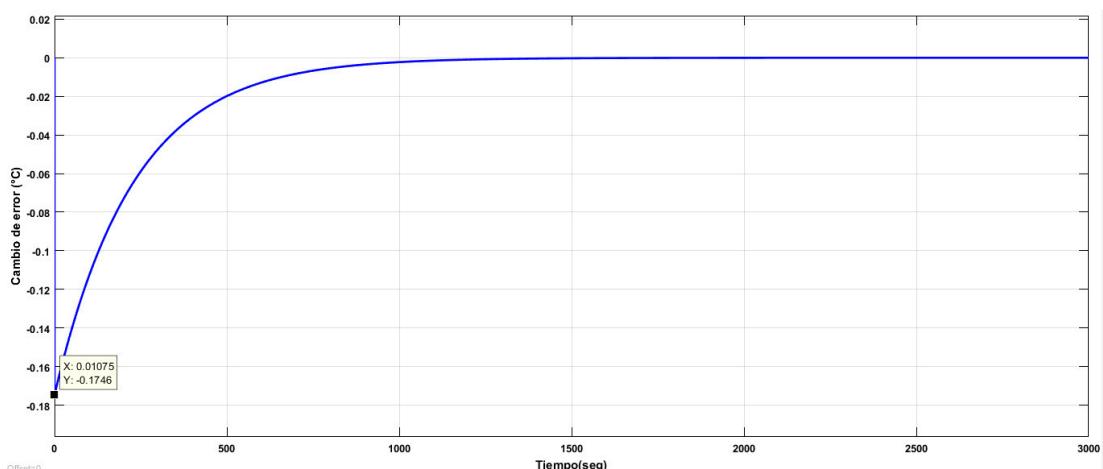


Figura 2.11 Cambio de error a 40°C de set point  
Elaboración: Los autores

Para poder analizar cada etapa del controlador difuso modelado en el capítulo anterior nos platearemos un ejemplo que permita visualizar todo el proceso de Fusificación y Defusificación.

Para este ejemplo, se tendrá un error de temperatura de 0.125 °C, el cual indica que la temperatura se encuentra por debajo del set point, con un cambio de error de temperatura de -0.0245 °C que indica que la temperatura se encuentra disminuyendo aún más.

El primer paso es convertir un valor nítido a un valor difuso, para hacer visible este proceso trazamos una recta perpendicular al universo discurso en el punto 0.125 esta recta corta a dos funciones de membresía que son Error Cero y Error Positivo como se observa en la Figura 2.12. Por tanto, el punto 0.125 (error) será evaluado en las rectas EC y EP de acuerdo con las ecuaciones (3) y (4), respectivamente.

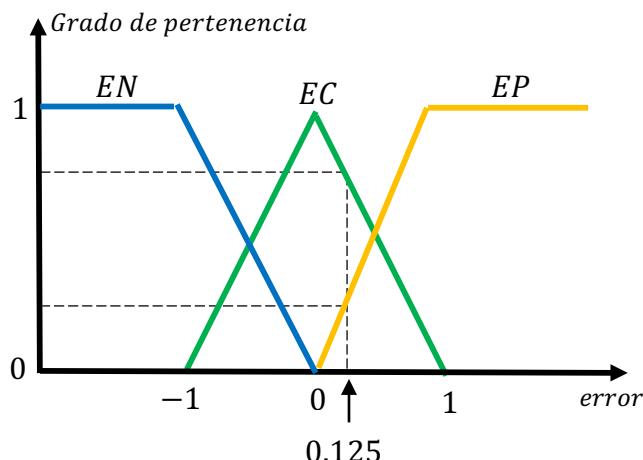


Figura 2.12 Fusificación de error de temperatura  
Elaboración: Los autores

EC:

$$\mu_{EC2}(0.125) = -0.125 + 1 = 0.875$$

EP:

$$\mu_{EP}(0.125) = 0.125$$

Tabla N°10. Resultado de Fusificación del Error

EN Error Negativo	EC Error Cero	EP Error Positivo
0	0.875	0.125

Elaboración: Los autores

Se procedió de igual forma a evaluar el valor del cambio de error, este valor corta a las funciones CEN y CEC como se observa en la Figura 2.13.

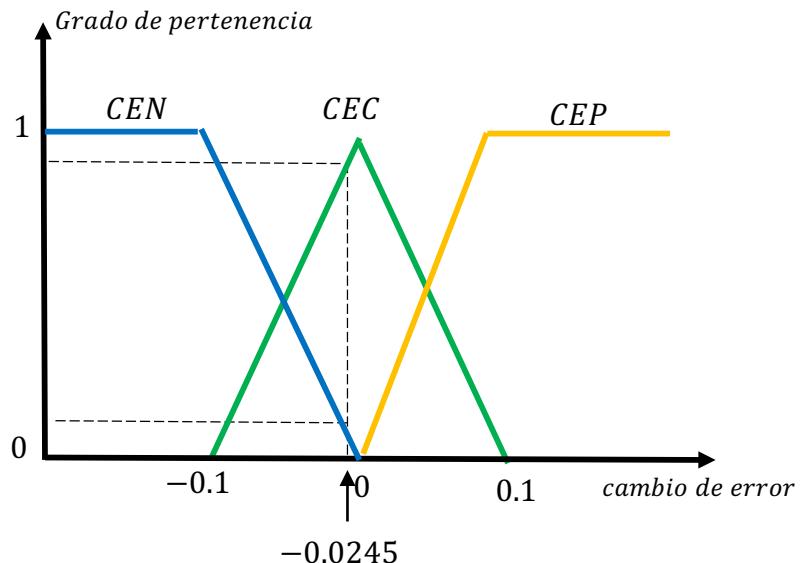


Figura 2.13 Fusificación cambio de error Elaboración: Los autores

Por tanto, el cambio de error será evaluado con la ecuación (6) para CEN y la ecuación (7) para CEC.

$$\mu_{CEN}(-0.0245) = -10(-0.0245) = 0.245$$

$$\mu_{CEC}(-0.0245) = 10(-0.0245) + 1 = 0.755$$

Tabla N°11. Resultado de Fusificación del Cambio de Error

CEN Derivada de error negativa	CEC Derivada de error cero	CEP Derivada de error positiva
0.245	0.755	0

Elaboración: Los autores

Con los resultados obtenidos se realiza la operación producto de acuerdo con la tabla 3, base de reglas obtenida en el capítulo anterior.

Tabla N° 12. T-norma producto

$\Delta e \setminus e$	EN	EC	EP
CEN	Prod(0.245, 0)	Prod(0.245, 0.875)	Prod(0.245, 0.125)
CEC	Prod(0.755,0)	Prod(0.755,0.875)	Prod(0.755, 0.125)
CEP	Prod(0,0)	Prod(0, 0.875)	Prod(0, 0.125)

Elaboración: Los autores

Tabla N°13. Pesos por regla

$\Delta e \setminus e$	EN	EC	EP
CEN	0	0.214	0.03
CEC	0	0.66	0.094
CEP	0	0	0

Elaboración: Los autores

Con los resultados de los pesos de regla obtenidos de la operación producto, se procedió a evaluar potencia de salida haciendo uso de la ecuación (14) de defusificación.

Tabla N°14. Defusificación

$\Delta e \setminus e$	EN	EC	EP
CEN	Mantener 0	Aumentar 0.214	Aumentar 0.031
CEC	Bajar 0	Mantener 0.661	Aumentar 0.094
CEP	Bajar 0	Bajar 0	Mantener 0

Elaboración: Los autores

$$PWM = \frac{0.214 \times 1 + 0.031 \times 1 + 0.094 \times 1}{0.214 + 0.031 + 0.094 + 0.661} = \frac{0.338}{1}$$

$$= 0.338$$

0.338 % es el ciclo de trabajo del PWM que el controlador aumentó al actuador, por ende, las temperaturas se incrementó al interior de la incubadora. Esto es correcto debido a que la temperatura se encontraba disminuyendo de acuerdo con los valores ingresados inicialmente al controlador difuso.

#### ➤ Análisis de actuador de temperatura

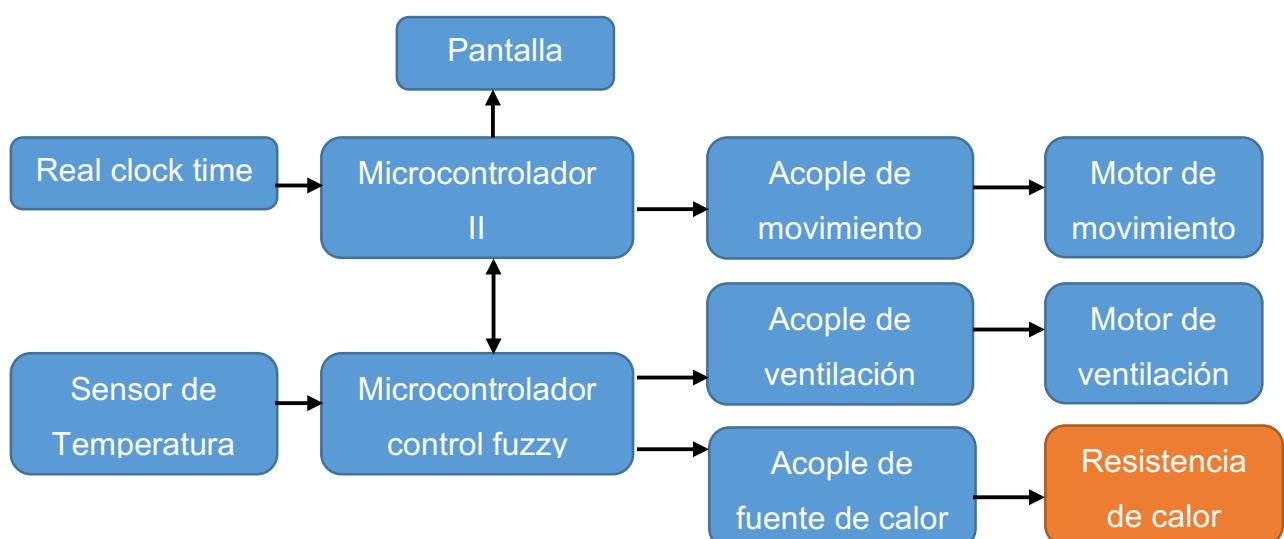


Figura2.14 Diagrama de bloques de circuitos electrónicos, análisis de resistencia de calor

Elaboración: Los autores

#### ➤ Resistencia calefactora

La temperatura del huevo de codorniz varía ligeramente entre los primeros días de incubación y los últimos, siendo de unos 37°C al comienzo, hasta algo más de 37.7°C al final del proceso. No obstante, en la práctica esta pequeña diferencia puede olvidarse y mantener todo el proceso con temperatura regulada a 37.5°C con los mismos resultados.

Entonces para la variación de temperatura, como la deseada deseamos 37.5°C. Como temperatura inicial se tomó la temperatura ambiente promedio de Lima 19°C, ecuación (23).

Por lo tanto:

$$\Delta T = 37.5 - 19 \quad (23)$$

$$\Delta T = 18.5^\circ\text{C} \quad (24)$$

El gabinete de incubadora es una refrigeradora reciclada teniendo como medidas el largo ( $l$ ), ancho ( $w$ ) y altura ( $h$ ) de la superficie del interior de la misma.

$$h = 1.21 \text{ m} \quad (25)$$

$$l = 0.5 \text{ m} \quad (26)$$

$$w = 0.6 \text{ m} \quad (27)$$

Donde la superficie del gabinete se calcula con la ecuación (27):

$$S = 2(hl + hw + lw) \quad (28)$$

$$S = 2((1.21)(0.5) + (1.21)(0.6) + (0.5)(0.6)) \quad (29)$$

$$S = 3.262 \text{ m}^2 \quad (30)$$

El gabinete de incubadora es una refrigeradora reciclada de material de chapa de acero inoxidable esmaltado, el  $K$  es: (Ref 11 Estegotronic)

$$K = 5.5 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (31)$$

La potencia requerida de la resistencia calefactora, para alcanzar la temperatura deseada en el gabinete de incubadora será el producto de factores de los ítems a, b y c por lo tanto:

$$P = (S)(K)(\Delta T) \quad (32)$$

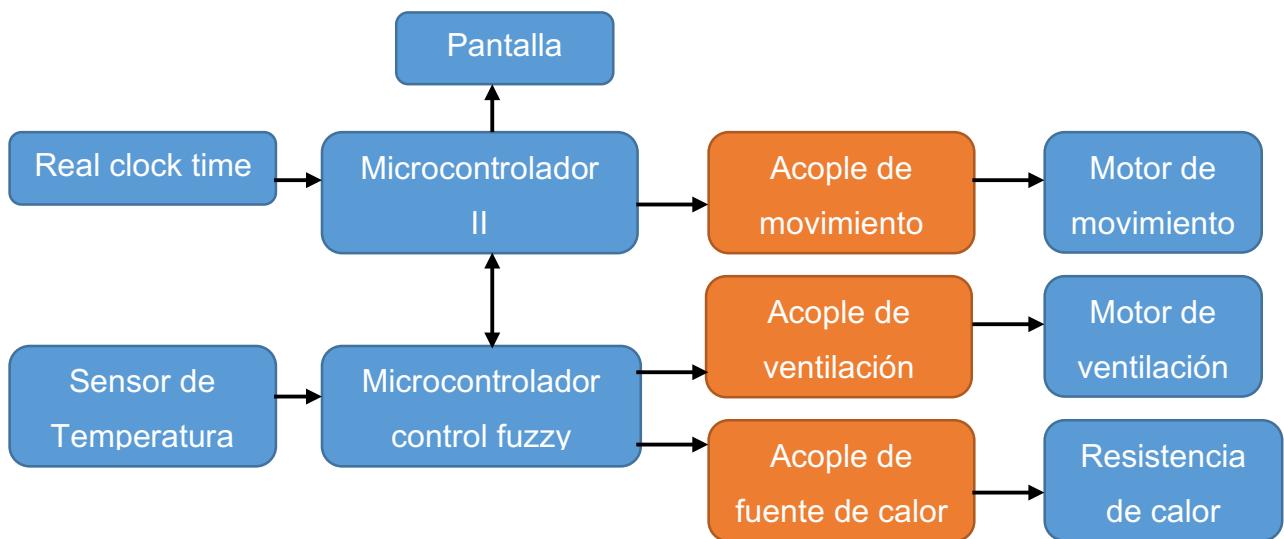
$$P = (3.262)(5.5)(18.5) \quad (33)$$

$$P = 335.6 \text{ W} \quad (34)$$

$$P \cong 400 \text{ W} \quad (35)$$

Con el valor de potencia obtenido, se mandó a fabricar la resistencia calefactora para la incubadora.

### ➤ Análisis de circuitos electrónicos



*Figura 2.15 Diagrama de bloques de circuitos electrónicos, análisis de circuitos de acople*  
Elaboración: Los autores

### ➤ Circuito acoplador para resistencia térmica

Para diseñar el circuito acoplador se hizo uso de la ecuación de potencia.

$$P = V_C I_C = R_C I_C^2 = \frac{V^2}{R_C} \quad (36)$$

Asimismo, se midió la resistencia calefactora con un ohmímetro, lo cual arrojó el valor de 108 ohm, entonces.

$$R_C = 108\Omega \quad (37)$$

De la ecuación. 37 se remplazará  $R_C$ .

Según la ley de ohm:

$$V_C = I_C R_C \quad (38)$$

$$V_C = \frac{V_C}{R_C} \quad (39)$$

Luego remplazando valores de la ecuación (37):

$$I_C = \frac{220V}{108\Omega} \quad (40)$$

$$I_C = 2.037A \quad (41)$$

Por lo tanto, se tuvo que hacer un circuito de potencia mayor a 2.5 A.

La siguiente Figura 2.16 describe como se implementó el circuito driver para la activación de la resistencia calefactora.

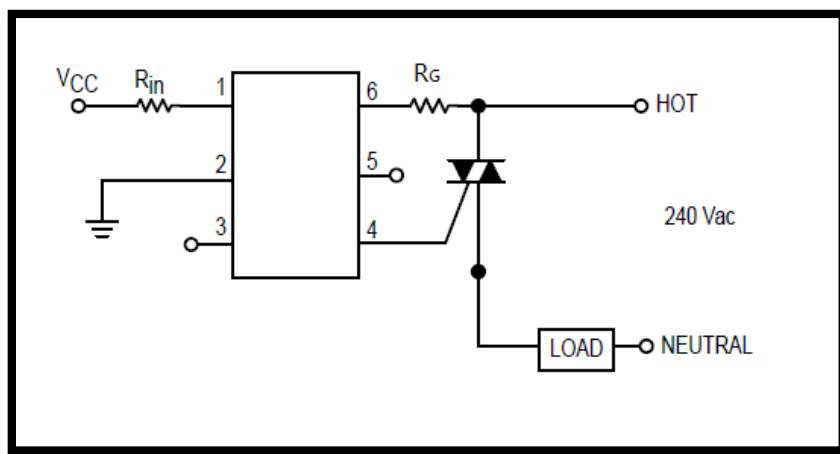


Figura 2.16 Circuito driver microcontrolador, etapa de potencia

Fuente: Cesar Cruz y Víctor Vargas

En cálculos anteriores, se demostró que para el gabinete de incubadora se requiere una potencia de resistencia calefactora de 400W, esta resistencia funciona con 220VAC, pero por la ecuación (36) se demostró que la resistencia calefactora tiene como resistencia eléctrica 108Ω, entonces.

$$R_C = 108\Omega \quad (42)$$

Pero se sabe que el cálculo de la potencia, ecuación (35).

$$P_C = V_C I_C = R_C I_C^2 = \frac{V^2}{R_C} \quad (43)$$

Reemplazados valores de la expresión (42) a la expresión (43).

$$P_C = \frac{220^2}{108} \quad (44)$$

$$P_C = 448.1W \quad (45)$$

Para la corriente, se calculó que se necesitaba un circuito que tolere corrientes mayores a 2.5A. Por lo tanto, sería apropiado utilizar un triac que opere a mayor de 2.5A, se usó el triac BT136 que opera hasta 4A.

Para el cálculo  $R_G$  del triac, según hoja técnica se tiene:

IGT (Gate trigger current, corriente de la puerta de disparo) típica del triac es

$$I_{GT}=25mA$$

$V_T$  Voltaje del terminal típico:

$$V_T = 1.4V$$

$V_{GT}$  ( Gate trigger voltage, Voltaje de la puerta de disparo) típica del triac

$$V_{GT} = 0.7V$$

Juntamente con el optoacoplador MOC3042, según hoja técnica se tiene:

Soporta en estado apagado (Off-State) Voltaje Terminal de salida 400V

Voltaje (Forward Voltage)

$$V_{LED}= 1.3V$$

Disparador de la corriente LED, corriente requerida para el pestillo de salida

MOC3042:

$$I_{Rin} = 10mA$$

Luego: Se analiza por separado.

Etapa disparadora de activación LED, en Figura2.17 se muestra la resistencia de entrada ( $R_{in}$ ) a calcular, Voltaje de entrada ( $V_{in}$ ), El voltaje de entrada se tomará como mínimo 3.3V y máximo 5V, salida del microcontrolador, para los cálculos se tomará el valor de 5V, sabiendo que voltaje de LED es 1.3V y corriente de activación 10mA.

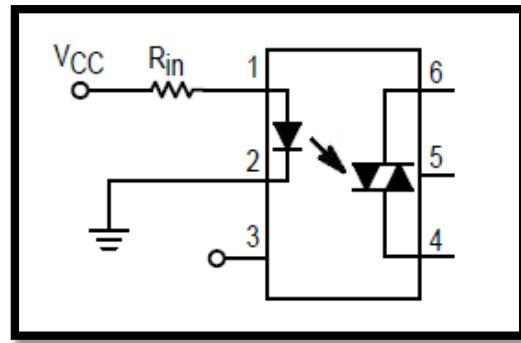


Figura 2.17 Led MOC3042

Fuente: Cesar Cruz y Victor Vargas

Por ley de Ohm:

$$R_{in} = \frac{V_{in} - V_{LED}}{I_{Rin}} \quad (46)$$

$$R_{in} = \frac{5V - 1.3V}{10mA} = 370\Omega \quad (47)$$

Etapa acopladora de activación del triac, en Figura 2.18, se muestra la resistencia de salida ( $R_G$ ) a calcular, Voltaje del terminal típico 1.4V entre terminal 1 y terminal 2 del triac, corriente de la puerta de disparo típica del triac es 25mA como máximo, Voltaje del terminal típico 1.4V entre terminal 6 y terminal 4 del MOC3042 0.3V, voltaje de la puerta de disparo típica del triac 0.7V

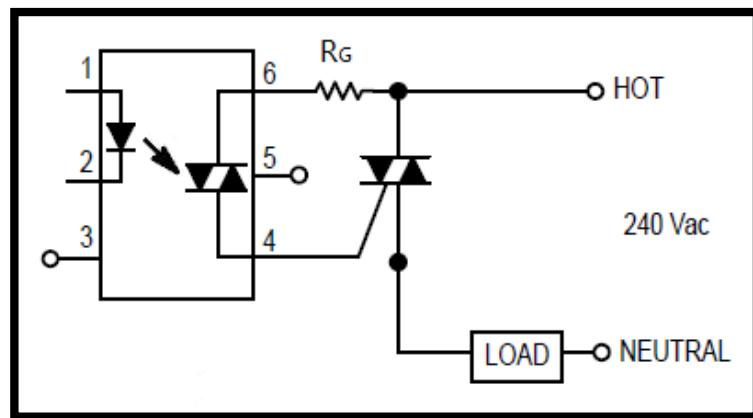


Figura 2.18 Triac TB136, Diac MOC3042

Fuente: los autores

Por ley de Ohm en la ecuación (46):

$$R_G = \frac{V_T - V_{TMOC} - V_{GT}}{I_{GT}} \quad (48)$$

$$R_G = \frac{1.4V - 0.3V - 0.7V}{25mA} = 16\Omega \quad (49)$$

➤ **Circuito de detección de cruce por cero  
(Comparador)**

Se usó el opam (LM324) como comparador, sus características principales son:

Supply Voltage (Tensión de alimentación): 32V or  $\pm 16V$ .

Input Voltage (Voltaje de entrada): -0.3V to 32V.

Input Current max: 50mA.

Por criterio se asumirá una corriente de 1.5mA.

$$V_{Pico} = 12.7\sqrt{2} = 17.96V \quad (50)$$

$$R_{Lim} = \frac{17.96V}{1.5mA} \quad (51)$$

$$R_{Lim} = 11973.3\Omega \quad (52)$$

$$R_{Lim} \approx 12K\Omega \quad (53)$$

Como todo amplificador operacional, un comparador estará alimentado por dos fuentes de corriente continua ( $+V_{cc}$ ,  $-V_{cc}$ ), Figura 2.19. El comparador hace que, si la tensión de entrada en el borne positivo (en el dibujo,  $V_1$ ) es mayor que la tensión conectada al borne negativo (en el dibujo,  $V_2$ ), la salida ( $V_{salida}$  en el dibujo) será igual a  $+V_{cc}$ . En caso contrario, la salida tendrá una tensión  $-V_{cc}$ . Lo podemos resumir de la siguiente manera:

Si  $V_1 > V_2 \Rightarrow (V_1 - V_2) > 0 \Rightarrow V_{salida} = +V_{cc}$ .

Si  $V_1 < V_2 \Rightarrow (V_1 - V_2) < 0 \Rightarrow V_{salida} = -V_{cc}$

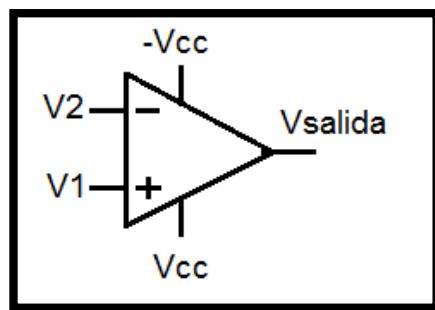


Figura 2.19. Amplificador operacional.

Fuente: los autores

➤ **Detector cruce por cero (con el comparador integrado)**

Se muestra, en la Figura2.20, el circuito terminado para la detección de cruce por cero, este diseño detecta el cruce por cero teniendo a la salida una señal cuadrada con flaco de subida y flanco de bajada por cada cruce de voltaje ( $V_+$ ) a ( $V_-$ ) y de ( $V_-$ ) a ( $V_+$ ) respectivamente.

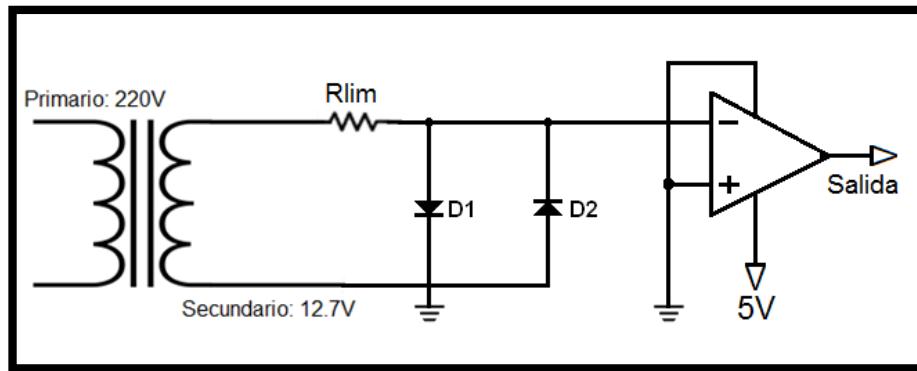


Figura.2.20 Circuito detector de cruce por cero

Fuente:Los autores

➤ **Análisis del sistema de monitoreo de tiempo e interfaz de usuario:**

En base a la solución propuesta, mostrada en Figura2.21, se tiene un primer diagrama de flujo para el control de tiempo, el cual está de color naranja, donde se señala la comunicación del módulo de control de tiempo hacia el microcontrolador

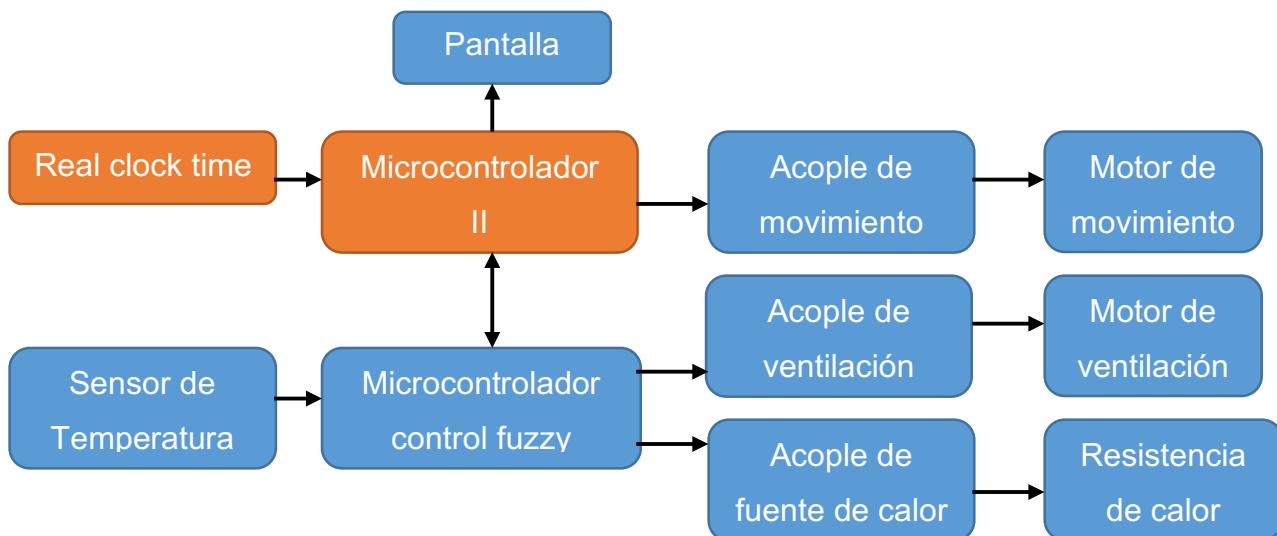


Figura2.21 Diagrama de bloques de circuitos electrónicos, análisis de circuito de control de tiempo

Elaboración: Los autores

La comunicación y gestión de datos de tiempo fueron implementados en un AVR 328p, el cual cuenta con las interfaces y protocolos de comunicación suficientes para su implementación, además no se realiza ningún proceso que requiera una frecuencia mayor a 20MHz, estas características hacen que el AVR 328P sea suficiente para la implementación de este prototipo.

En el diagrama de flujo se inicializan los módulos de control de tiempo y LCD, posteriormente, se detalla el bucle de funcionamiento durante los días de incubación

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL PROTOTIPO**

En el presente capítulo, se detalló el desarrollo del prototipo de incubación el cual cuenta con dos etapas:

La primera etapa mostrada en la sección 3.1, estuvo basada en software, donde se realizó el desarrollo de un algoritmo de control difuso para mantener la temperatura dentro del rango apropiado de incubación y, un algoritmo para el control de periféricos.

En la segunda etapa, mostrada en la sección 3.2, se realizó el desarrollo del hardware, diseñándose los circuitos impresos para los circuitos de acople y potencia; también se muestra el diseño del actuador encargado de brindar la temperatura necesaria dentro del prototipo de incubación y el sistema mecánico que mueve los huevos de codorniz durante el período de incubación.

El diseño del prototipo de incubación se basó en las especificaciones técnicas mostradas en la Tabla N°15:

Tabla N°15. Especificaciones técnicas de prototipo de incubación

Características	Valor
<b>Voltaje de alimentación</b>	220 V / 60 Hz
<b>Consumo de potencia</b>	500W
<b>Medidas del gabinete de incubación</b>	1.21x0.5x0.6 m
<b>Capacidad de almacenaje de huevos de codorniz</b>	600
<b>Ángulo de giro de bandejas</b>	20-45 °
<b>Temperatura de incubación</b>	37.5 ± 1°C

Elaboración: Los autores

### 3.1 Diseño de software de prototipo de incubación

#### ➤ Diseño de Algoritmo de control difuso:

Para diseñar el algoritmo de control difuso, se optó por dividir este en tres bloques secuenciales de acuerdo con la funcionalidad y objetivos específicos que cumple cada uno, como se muestra en la Figura 3.1.

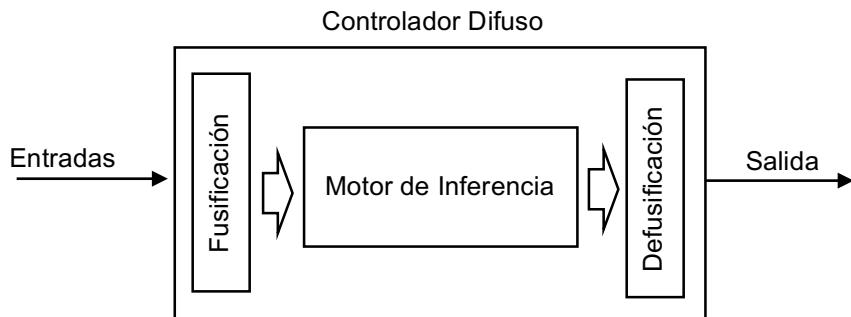


Figura 3.1 Bloques de algoritmos de controlador difuso  
Elaboración: Los autores

#### ➤ Fusificación

En la Fig 3.2, se describe el diagrama de flujo del algoritmo que se desarrolló para el bloque de fusificación, el cual tiene como objetivo transformar los valores nítidos de las entradas en valores difusos que luego puedan ser procesados por el motor de inferencia. Como entradas a este algoritmo se

tienen al error “e” que es obtenido de la diferencia entre la temperatura de set point y la lectura del sensor, y la entrada cambio de error “ce” que es la entrada obtenida de la diferencia del error actual con el error obtenido de la muestra anterior. Ambas entradas son evaluadas por sus respectivas funciones de membresía para finalmente obtener sus valores difusos los cuales son almacenados en los vectores resultantes “Uerror” y “Ucerror”.

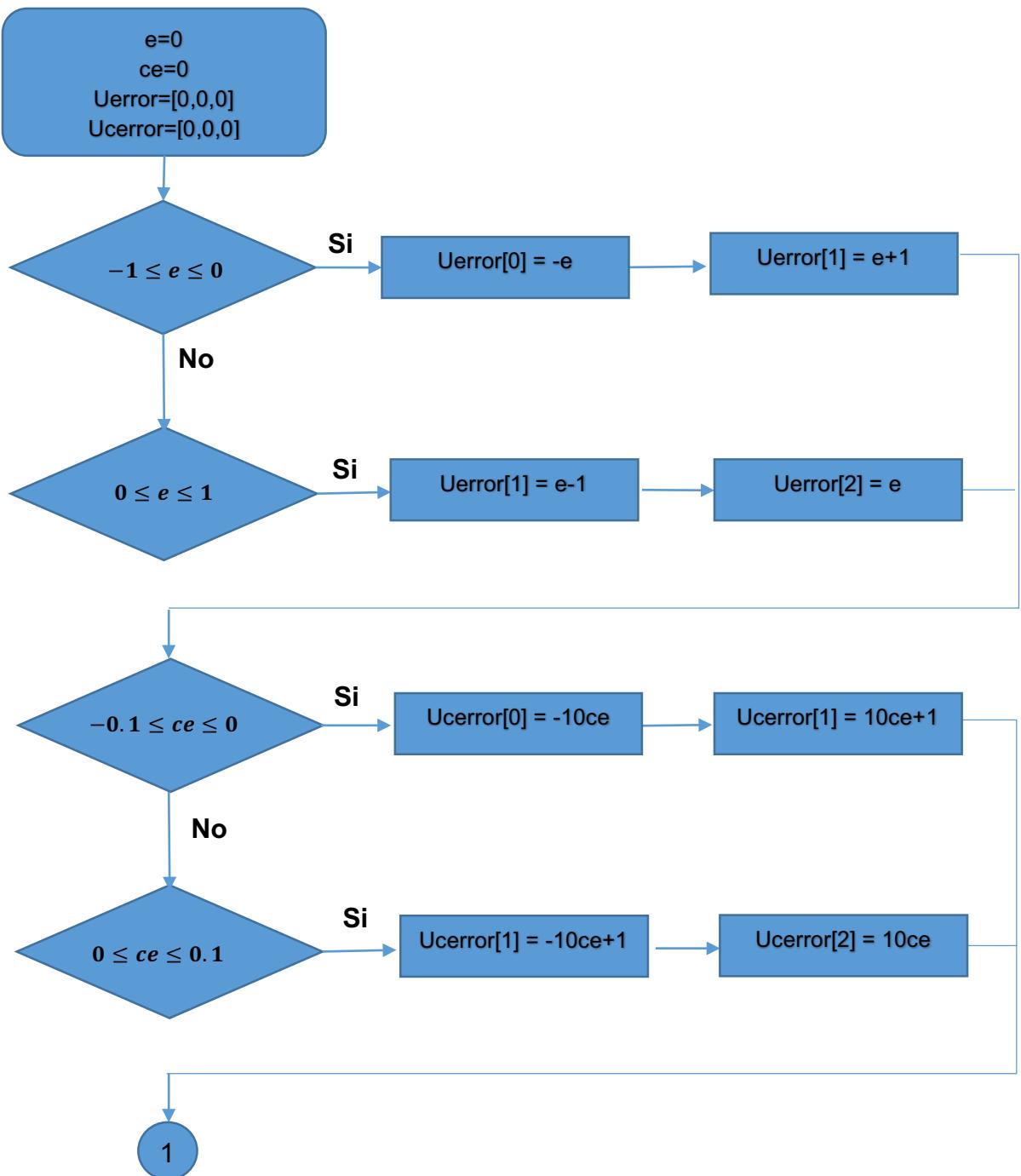


Figura3.2 Diagrama de Flujo de Algoritmo de Fusificación  
Elaboración: Los autores

➤ **Motor de Inferencia**

En la Figura3.3, se describe el diagrama de flujo que detalla el funcionamiento del algoritmo desarrollado para el bloque de motor de inferencia, el objetivo de este bloque es hallar los pesos resultantes del producto norma-T para las nueve reglas que se definieron como base del conocimiento en la sección 1.2.1.2 Modelamiento del Controlador Difuso; estos pesos se obtienen multiplicando cada uno de los valores difusos de los vectores “Uerror” y “Ucrror” que se obtuvieron del algoritmo de fusificación. Por tanto, se declaran los índices “i” y “j” con los cuales se recorrerá cada elemento de los vectores “Uerror” y “Ucrror” que serán multiplicados entre sí, para luego almacenar el resultado del producto dentro del vector “Pesos” en la posición “n”, siendo este último vector la salida del bloque de motor de inferencia.

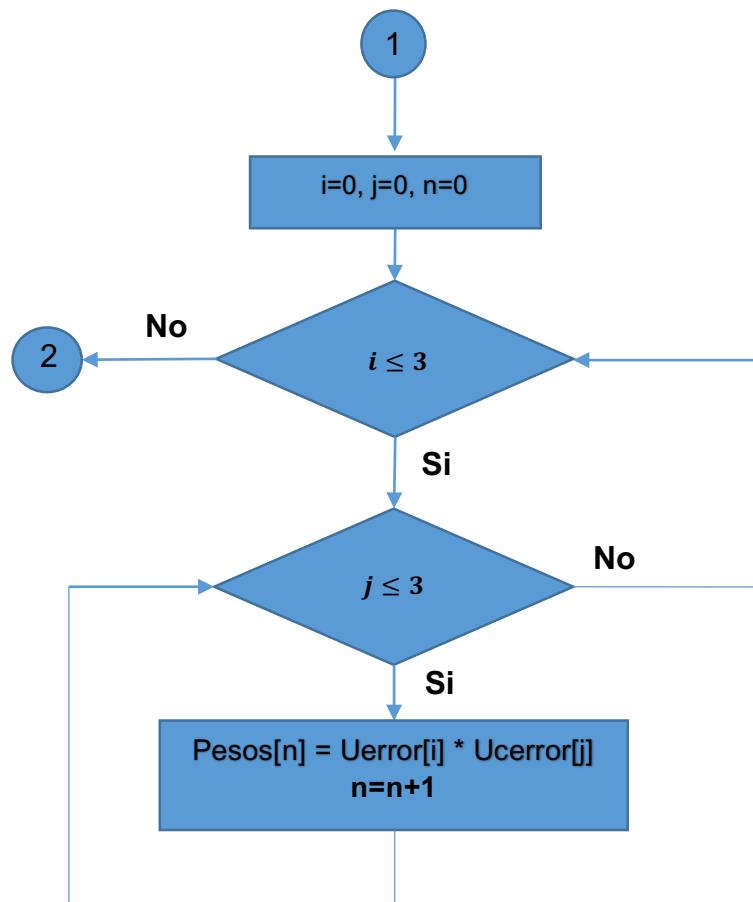


Figura 3.3 Diagrama de Flujo de Algoritmo de Motor de Inferencia  
Elaboración: Los autores

## ➤ Defusificación

Como fase final del controlador difuso, en la Figura 3.4, se muestra el diagrama de flujo del algoritmo desarrollado para el bloque de defusificación, con este bloque se busca obtener el valor de ciclo de trabajo que se aumentará, mantendrá o disminuirá en el actuador. Por tanto, se requiere calcular el promedio ponderado de acuerdo con la ecuación (14) definida en el modelamiento del bloque de defusificación, es así, que se declara el vector “Ciclo Trabajo” el cual es inicializado con 9 valores entre 0, 1 y -1 que indican “mantener”, “subir” y “bajar” respectivamente, donde cabe mencionar que el orden de estos valores dentro del vector están definidos en base a las reglas modeladas en el capítulo I. Así mismo, se declara la variable “N” la cual contendrá la sumatoria del producto del vector “Ciclo Trabajo” con el vector “Pesos” y la variable “D” la cual contendrá la sumatoria de los valores del vector “Pesos”, para finalmente dividir los valores de estas variables y obtener el valor de ciclo de trabajo que ingresará al actuador.

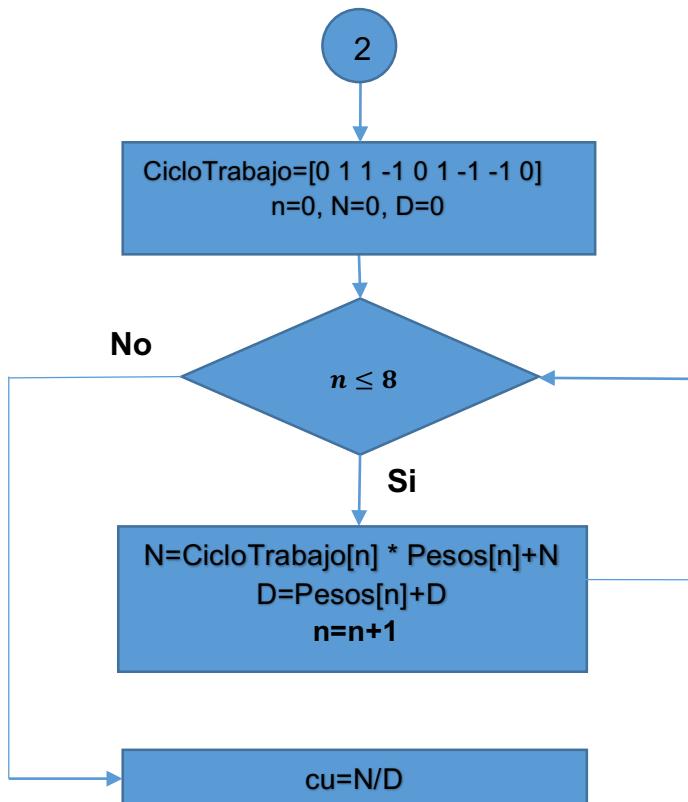


Figura 3.4 Diagrama de Flujo de Algoritmo de Defusificación  
Elaboración: Los autores

➤ **Diseño de software de control de periféricos:**

Este algoritmo está implementado en el microcontrolador II, luego de inicializar los protocolos de comunicación que permitieron el funcionamiento de los módulos RTC y LCD, el algoritmo estará en un bucle el cual culminará cuando el módulo RTC nos dé la alerta del periodo de tiempo de incubación, mientras tanto se recibirá información de hora y fecha para hacer los volteos periódicos.

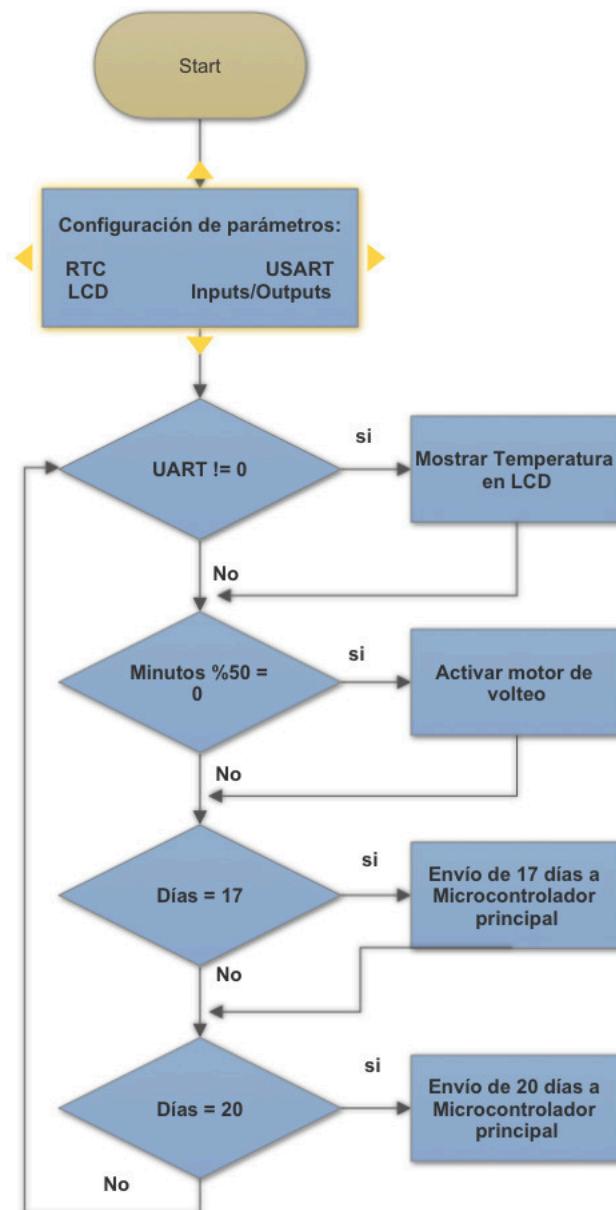


Figura 3.5 Diagrama de Flujo de Algoritmo de Control de Periféricos  
Elaboración: Los autores

### 3.1 Diseño de hardware de prototipo de incubación.

#### ➤ Diseño de circuitos impresos:

Se diseñó un circuito impreso para la etapa de acople que se tiene con los actuadores involucrados en los procesos de ventilación, volteo y calefacción del prototipo de incubación y un circuito impreso para la etapa de potencia correspondiente solo al proceso de calefacción. Para este diseño se utilizó, el software Eagle debido a que se disponía de un catálogo amplio de componentes electrónicos.

#### ➤ Circuitos de Acople

La Figura 3.6 y 3.7 muestran el esquemático y circuito impreso realizados para los circuitos de acople de ventilación, volteo y calefacción del prototipo de incubación, los cuales fueron diseñados con las siguientes características:

- PCB de componentes “thru hole”.
- Ancho de pista 0.8128 mm, el cual es un valor alto, ya que se trabajó con actuadores de calor y señal alterna.
- El tipo de encapsulado de los opto acopladores es TO 220.

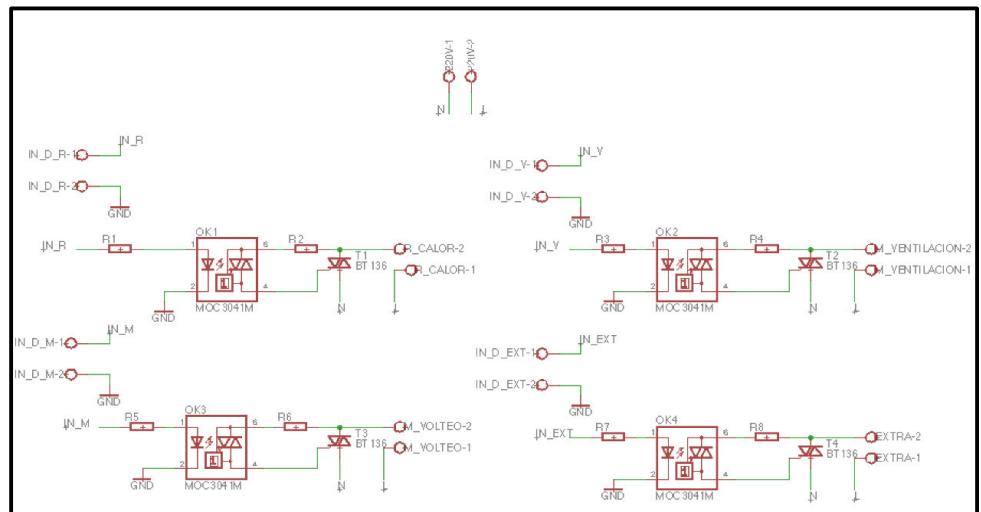


Figura 3.6 Esquemático de Circuitos de Acople  
Elaboración: Los autores

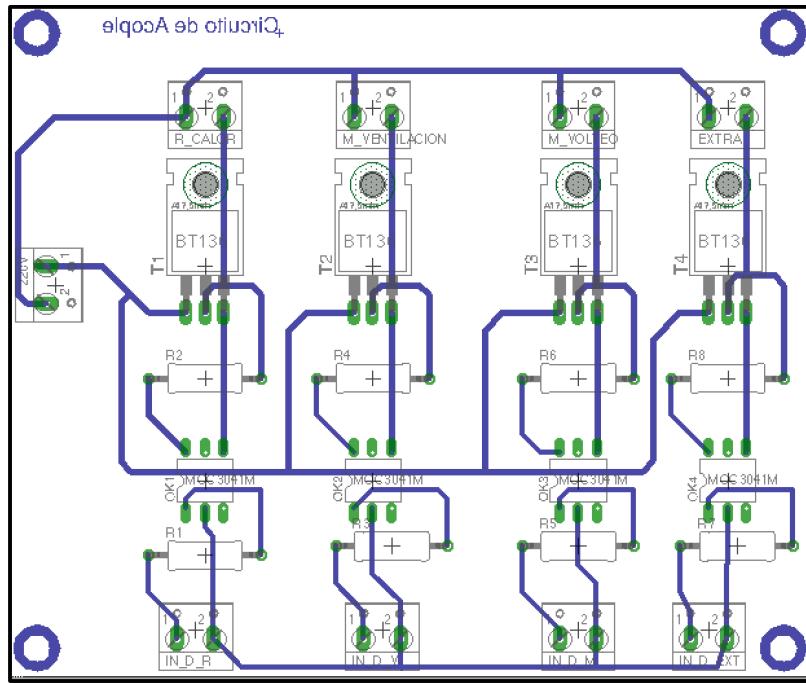


Figura 3.7 Circuito Impreso de Circuitos de Acople  
Elaboración: Los autores

### ➤ Circuito de potencia

En la, Figura 3.8 y 3.9, se muestra el diseño realizado para el circuito de potencia de detección de cruce por cero, este circuito trabajará con voltaje alterno de 220v y continuo de 12v. Sin embargo, este circuito no será sometido a alguna carga que pueda generar grandes consumos de corriente, de acuerdo con este criterio se tomaron en cuenta las siguientes características de diseño:

- Encapsulado de opam es de tipo DIP
- El ancho de las pistas será de 0.508 mm

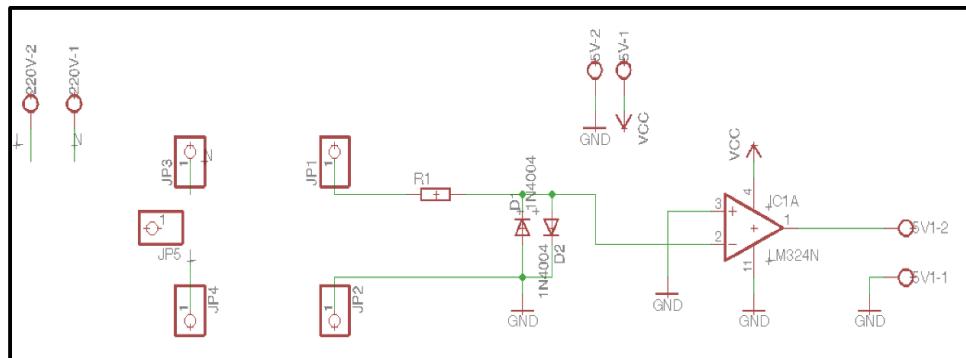


Figura 3.8 Esquemático de Circuito Detección Cruce por Cero

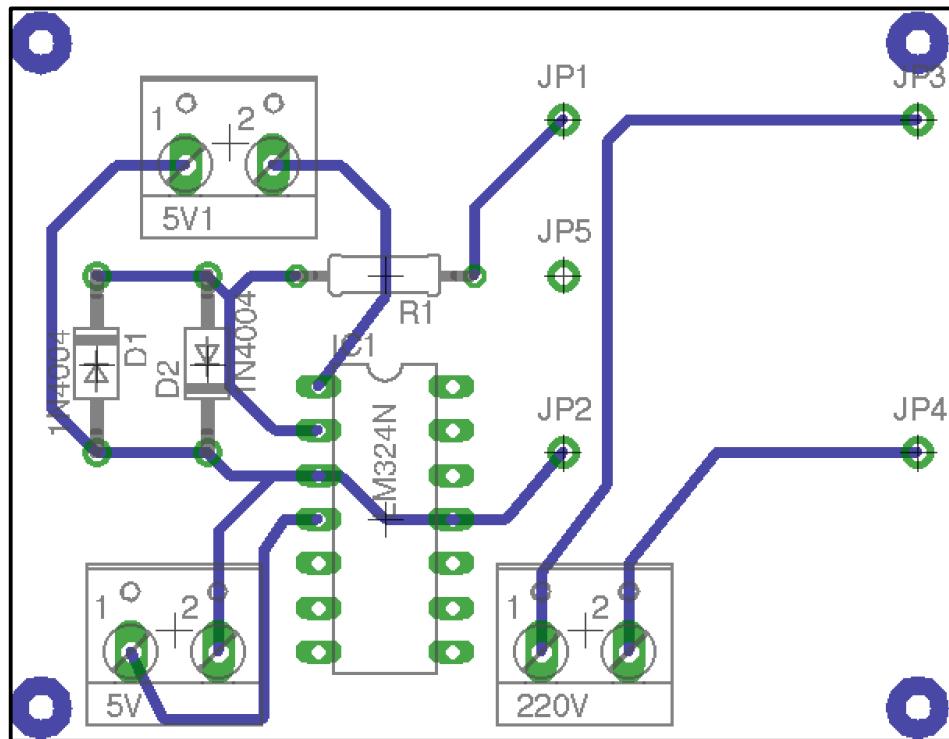


Figura 3.9 Circuito Impreso de Circuito de Detección de Cruce por Cero

Elaboración: Los Autores

Cabe mencionar que para los diseños de los circuitos impresos mostrados no se tomaron medidas ni criterios con la finalidad de abaratar costos; sin embargo, los componentes electrónicos seleccionados podrán ser usados en diseño posteriores. No hay procesos de frecuencias mayores a 60 Hz que nos pidan tener en cuenta algún criterio especial de ubicación y forma del PCB.

➤ **Diseño de Actuador de Calefacción:**

Se observa en la Fig 3.10 la resistencia calefactora adquirida acorde con el análisis previo descrito en la sección 2.2.2. Los valores teóricos dan una potencia de 400W. Sin embargo, la lectura real en el ohmímetro nos da una resistencia de 108 ohms, obteniendo una potencia de

448.1W, de acuerdo con el cálculo en las ecuaciones 44 y 45 de la sección 2.2.3.

$$P_C = \frac{220^2}{108} \quad (44)$$

$$P_C = 448.1W \quad (45)$$



Figura3.10. Resistencia calefactora.

Fuente: Los autores

#### ➤ Diseño de Estructura de Prototipo de Incubación:

Para el desarrollo de las estructuras mostradas en la presente sección, se utilizó aluminio debido a que es un material liviano y resistente que soportar condiciones ambientales de calor y humedad contantes sin tener degradación de sus propiedades físicas, así mismo, es de fácil acceso en el mercado peruano, resultando en un material adecuado para las siguientes estructuras desarrolladas:

➤ **Estructura de soporte de huevos de codorniz**

Debido a que se acondicionó un gabinete de refrigeración como prototipo de incubación, se agregó una estructura de bandejas que permita almacenar la cantidad de 600 huevos de codorniz y que soporte los 10 kg aproximados de estos. Por tanto, se diseñó una estructura con soporte de bandejas, que tenga la capacidad de soportar el peso y cantidad de huevos de codorniz indicados. El diseño realizado se muestra en las Figura 3.11, 3.12 y 3.13 con medidas en centímetros (cm).

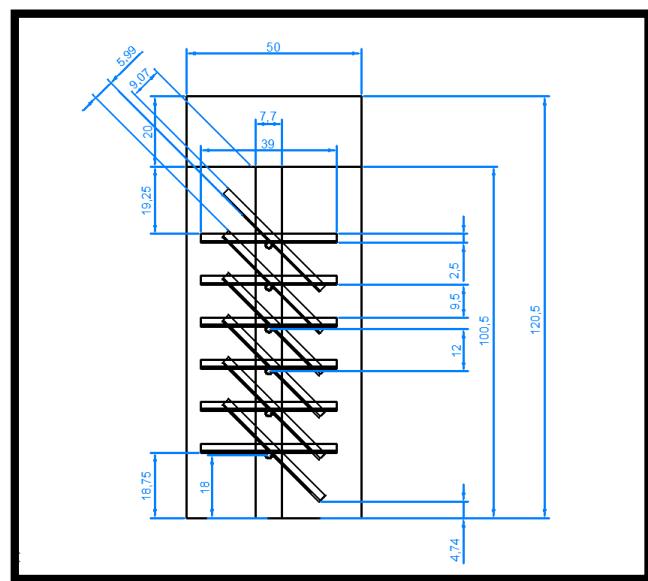


Figura3.11: Medidas de lado izquierdo de los soportes de las bandejas

Elaboración: Los autores

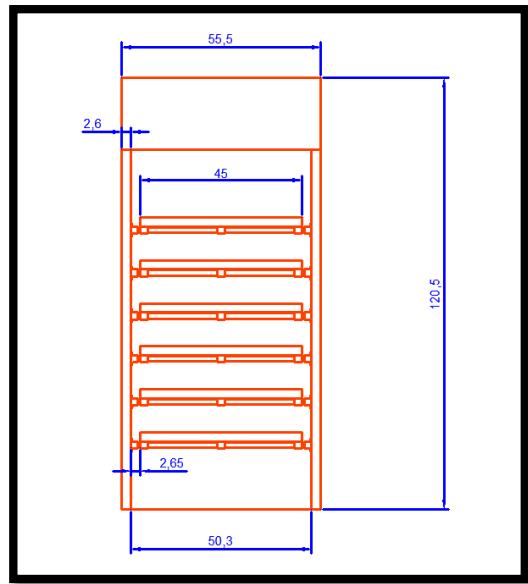


Figura3.12: Medidas de lado frontal de los soportes de la bandeja

Elaboración: Los autores

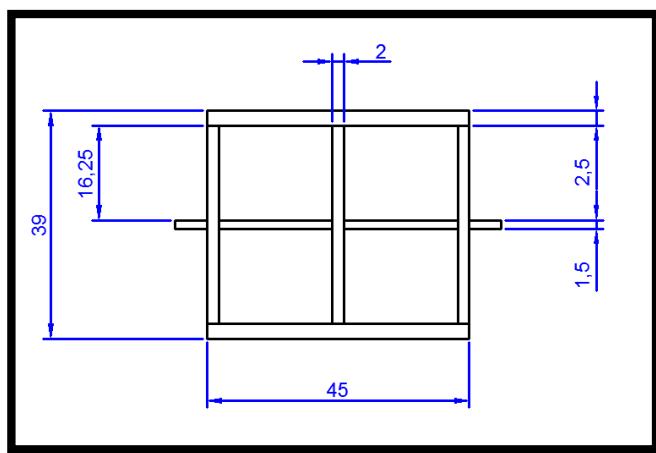


Figura3.13: Medidas de lado superior de los soportes de las bandejas

Elaboración: Los autores

Como resultado del previo diseño en la Figura 3.14, se muestra la estructura final que soporta los 600 huevos de codorniz en el gabinete de incubación.



Figura 3.14. Estructura interna terminada e integrada al prototipo de incubación.

Elaboración: Los autores

#### ➤ **Estructura de calefacción**

Debido a que el calor debe de fluir de manera uniforme dentro del prototipo de incubación se diseñó una cabina interna usando un ventilador y la resistencia de calefacción que permita que el aire caliente fluya de forma uniforma dentro del prototipo de incubación. Este diseño es mostrado en las figuras 3.15, 3.16, 3.17 y 3.18 que muestran las medidas en centímetros, del espacio y posición para ventilador de flujo de calor y elemento calefactor, en vista frontal y lateral.

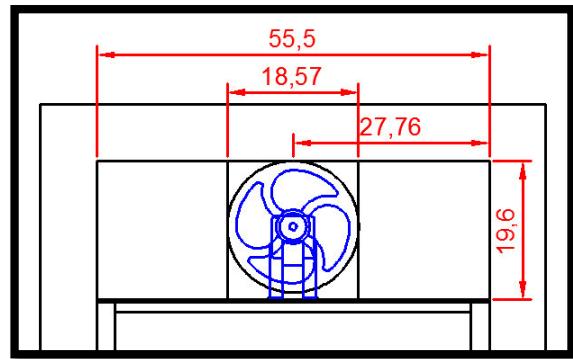


Figura3.15. Vista frontal de las medidas para la colocación de ventilador de flujo de calor Elaboración: Los autores

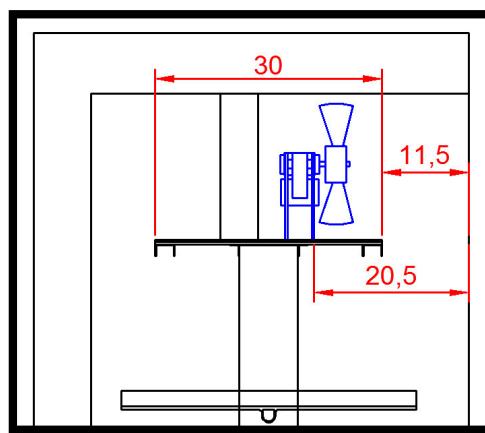


Figura3.16. Vista lateral de las medidas para la colocación de ventilador de flujo de calor. Elaboración: Los autores

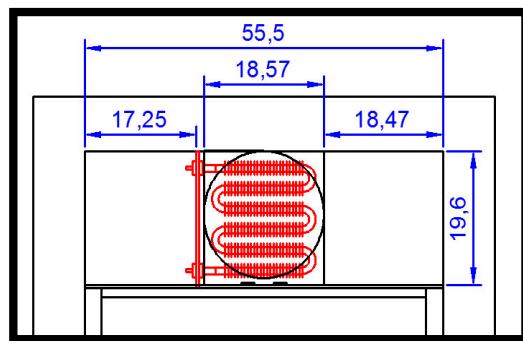


Figura3.17. Vista frontal de las medidas para la colocación del elemento calefactor. Elaboración: Los autores

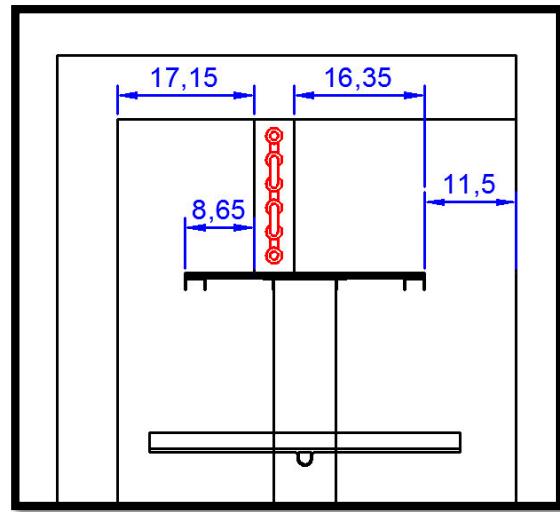


Figura3.18. Vista lateral de las medidas para la colocación del elemento calefactor.

Elaboración: Los autores

Como resultado del previo diseño, en las Figura 3.19, se muestra la cabina de calefacción encargada de distribuir el calor de forma uniforme dentro del prototipo de icubanición.

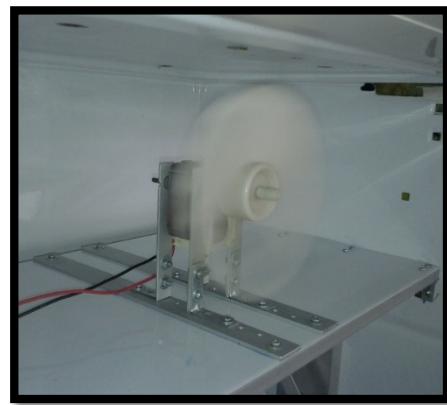


Figura3.19. Ventilador de flujo de calor integrado al gabinete incubador.

Elaboración: Los autores

### ➤ Estructura mecánica de movimiento de bandejas

De acuerdo con el proceso de incubación indicado anteriormente, se requiere que los huevos de codorniz se mantengan en movimiento cada 5 horas, por lo cual, se elaboró un sistema mecánico con la capacidad de mover todas las bandejas al mismo tiempo. El diseño de este sistema mecánico es mostrado en las Figura 3.20, 3.21 y 3.22; donde el valor de las medidas se encuentra en centímetros (cm).

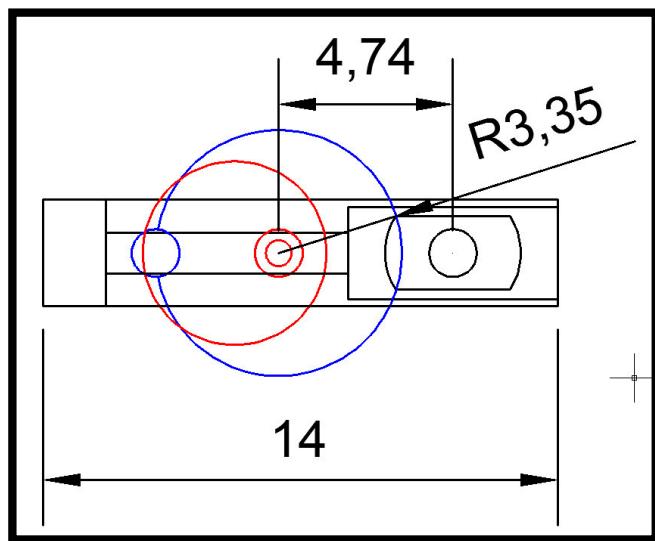


Figura3.20. Medidas para el Diseño del Sistema Mecánico de Movimiento de Bandejas

Elaboración: Los autores

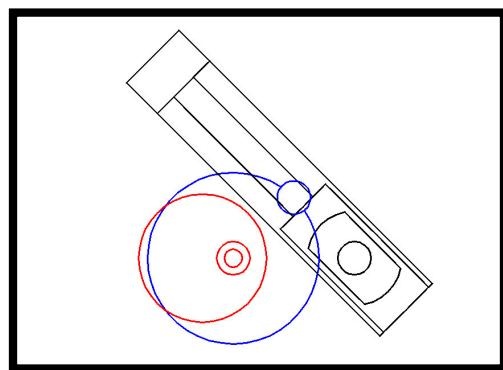


Figura3.21. Sistema Mecánico de Movimiento de Bandejas con 45° grados

Elaboración: Los autores

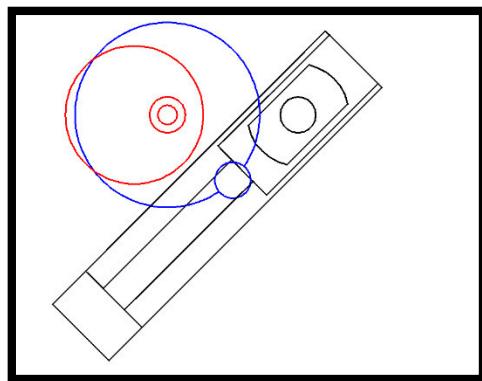


Figura3.22. Sistema Mecánico de Movimiento de Bandejas con -45° grados

Elaboración: Los autores

Como resultado del previo diseño en las Figura 3.23 y 3.24 se muestra la estructura final que realiza el giro de bandejas en el prototipo de incubación.



Figura3.23. Integración de nuevo sistema mecánico de movimiento de bandejas

Elaboración: Los autores

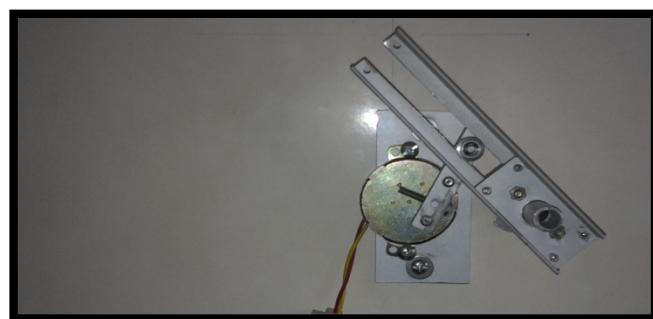


Figura3.24. Integración de nuevo sistema mecánico de movimiento de bandeja

Elaboración: Los autores

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

En el presente capítulo se mostrarán los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas al prototipo de incubación implementado. Estas pruebas se enfocan en los objetivos planteados, inicialmente, y algunas fueron realizadas durante el proceso de incubación, por lo cual, se ejecutaron por periodos cortos para no perjudicar ni alterar el desarrollo de las aves de codorniz.

#### **4.1 Pruebas de circuitos de potencia y acople:**

En esta prueba, se hizo uso de un osciloscopio para verificar el correcto funcionamiento de los circuitos de detección de cruce por cero y acople analizados en el capítulo III. Para esto se reguló el ciclo de trabajo con ayuda de un potenciómetro en 10%, 30% y 60% observándose la correcta respuesta del circuito como se muestra en las figuras 4.2, 4.3 y 4.4, respectivamente.

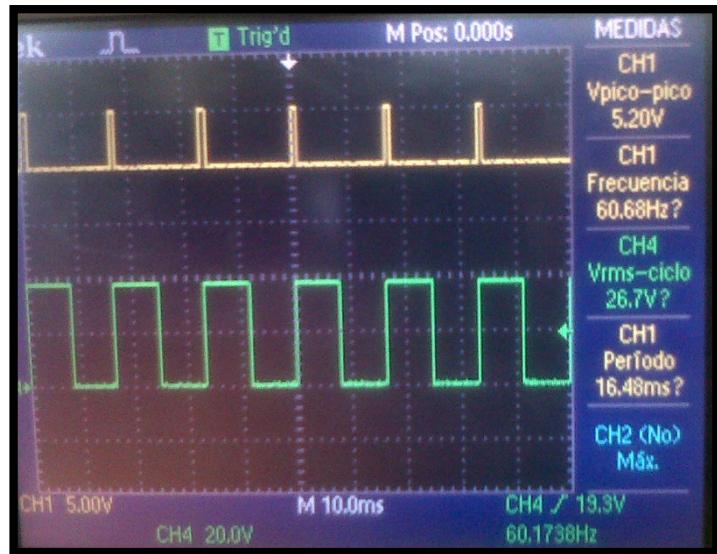


Figura4.2. Duty Cycle 10%  
Fuente: Los autores



Figura4.3. Duty Cycle 30%  
Fuente: Los autores



Figura 4.4 Duty Cycle 60%  
Fuente: Los autores

Así mismo, en la Figura 4.5, se muestra que la señal análoga 12.7VAC (amarillo), la señal de salida de PWM (celeste) y la señal de salida del triac para la activación de la resistencia calefactora (morado) se encuentran en fase y tienen el mismo periodo de la corriente de línea de 16.6ms.

Por tanto, estas señales obtenidas indican que los circuitos de detección de cruce por cero y acople funcionan correctamente.

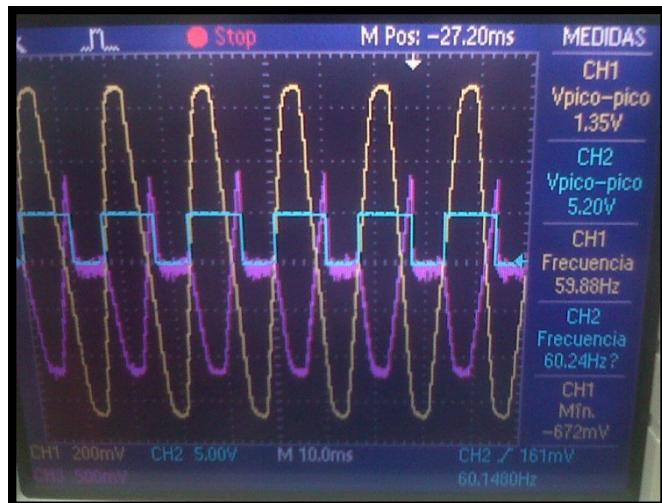


Figura 4.5 Señales de entrada y salida del Triac  
Fuente: Los autores

#### 4.2 Pruebas del sistema de control de temperatura:

Para las pruebas del sistema de control de temperatura se platearon los siguientes (3) escenarios:

- Prueba de tiempo de estabilización del sistema de control de temperatura.
- Prueba de estabilidad de la temperatura al interior del prototipo de incubación.
- Prueba del sistema de control de temperatura ante perturbaciones externas.

Para la colección de los datos, en las pruebas realizadas, se usó el software de comunicación PUTTY mostrado en la figura 4.6, estableciendo una comunicación serial con el hardware del prototipo de incubación y almacenando los datos obtenidos en texto plano.

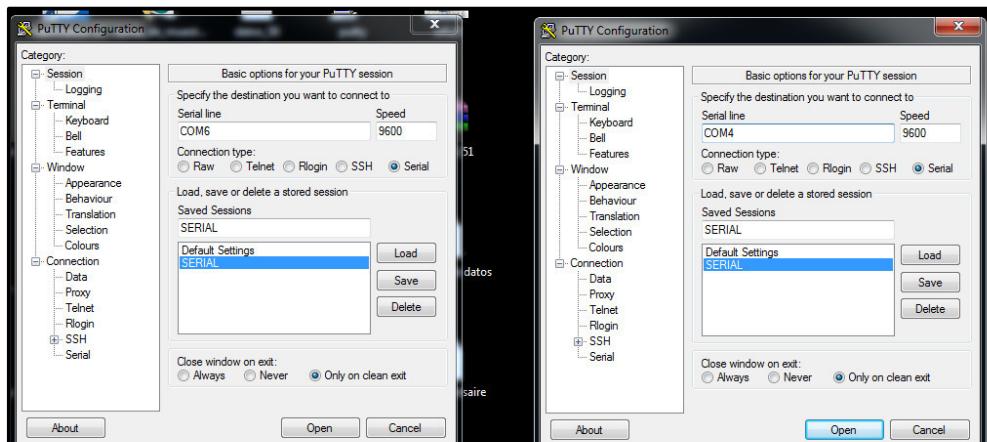


Figura 4.6 Foto de pantalla de software de comunicación

Elaboración: Los autores

Para el análisis de los datos, se utilizó el software “Matlab” con el cual se hicieron los cálculos estadísticos y gráficas de temperatura mostrados en los siguientes escenarios.

- **Escenario 1: Prueba de tiempo de estabilización del sistema de control de temperatura.**

Para esta prueba, se tomaron muestras de temperatura durante el encendido del prototipo de incubación, para verificar que el sistema de control responda de forma correcta estabilizando la temperatura en el rango de 30 a 60 minutos, evitando cambios bruscos que podrían dañar el desarrollo del embrión del ave de codorniz.

La toma de datos fue realizada con un periodo de muestreo de 2 segundos durante aproximadamente 60 minutos, obteniéndose 1750 muestras de temperatura las cuales fueron suficientes para evaluar la respuesta del sistema de control.

### **Resultados:**

Como se observa en la figura, 4.7 y 4.8, la temperatura entra en el rango de estabilización 36.5 – 38.5 °C en aproximadamente, 31 minutos para finalmente estabilizarse en 37.5 °C a partir del minuto 40.

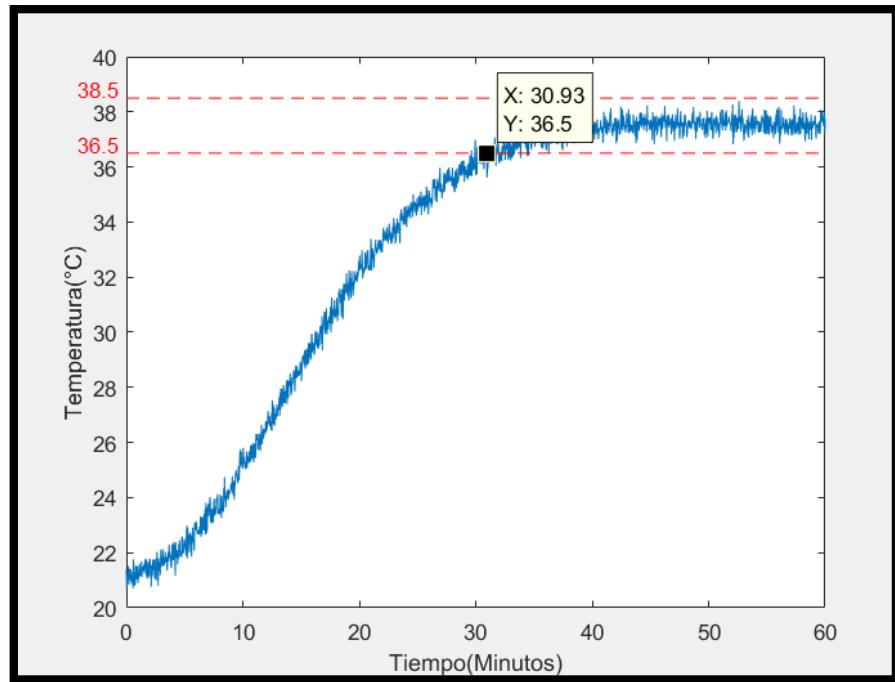


Figura 4.7 Curva de temperatura al interior del prototipo de incubación

Elaboración: Los autores

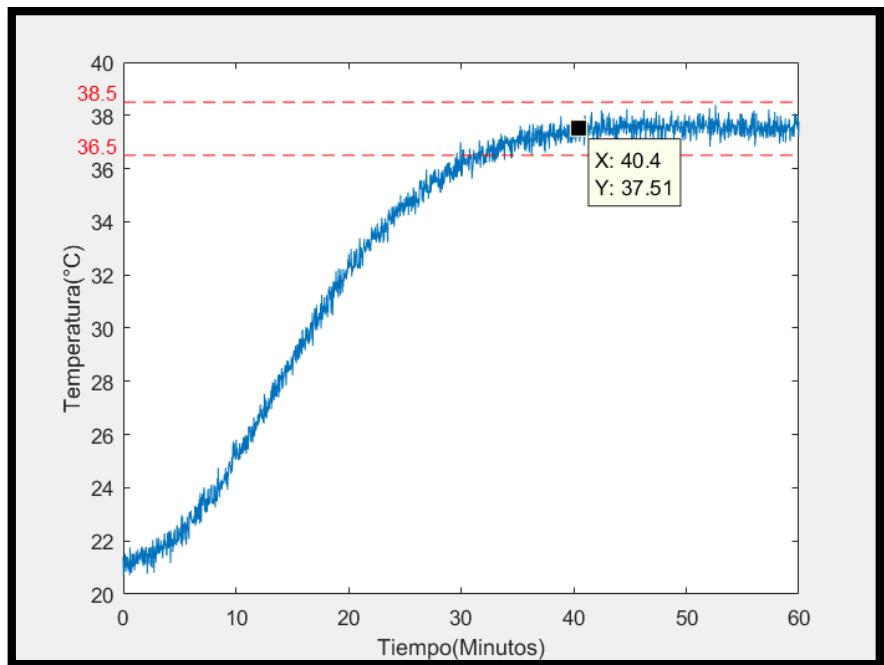


Figura 4.8 Curva de temperatura al interior del prototipo de incubación

Elaboración: Los autores

Con este resultado, se concluye que la temperatura al interior de prototipo de incubación no presenta una respuesta brusca o picos que puedan afectar a

los huevos de codorniz durante el periodo de encendido del equipo y estabilización de la temperatura.

- **Escenario 2: Prueba de estabilidad de la temperatura al interior del prototipo de incubación.**

Esta prueba tuvo como objetivo verificar la estabilidad de la temperatura al interior del prototipo de incubación durante un periodo largo de tiempo, donde el prototipo de incubación no fue abierto ni estuvo sometido a interrupciones externas que pudieran afectar la captura y datos de las muestras.

La toma de datos fue realizada con un periodo de muestreo de 2 segundos durante aproximadamente 4 días, obteniéndose 167108 muestras de temperatura las cuales fueron suficientes para evaluar la estabilidad del sistema de control. Cabe mencionar que durante el período de pruebas la temperatura externa vario entre 18 a 22 °C aproximadamente.

### **Resultados:**

De acuerdo con el tiempo de captura de datos, que se muestra en la figura.4.9, se obtuvo los siguientes resultados:

- Se observó que 71 muestras superaron el rango de 38.5 °C donde algunas llegaron a alcanzar picos máximos de 38.8 °C.
- Se observó que 82 muestras que estuvieron por debajo del rango de 36.5 °C llegaron a tener picos mínimos de 36.3 °C.
- Las muestras obtenidas fuera de rango equivalen a 0.1 % del total de muestras capturas.
- La media de muestras capturadas es de 37.5016 °C
- La desviación estándar del total de muestra capturadas es de 0.2856 °C.

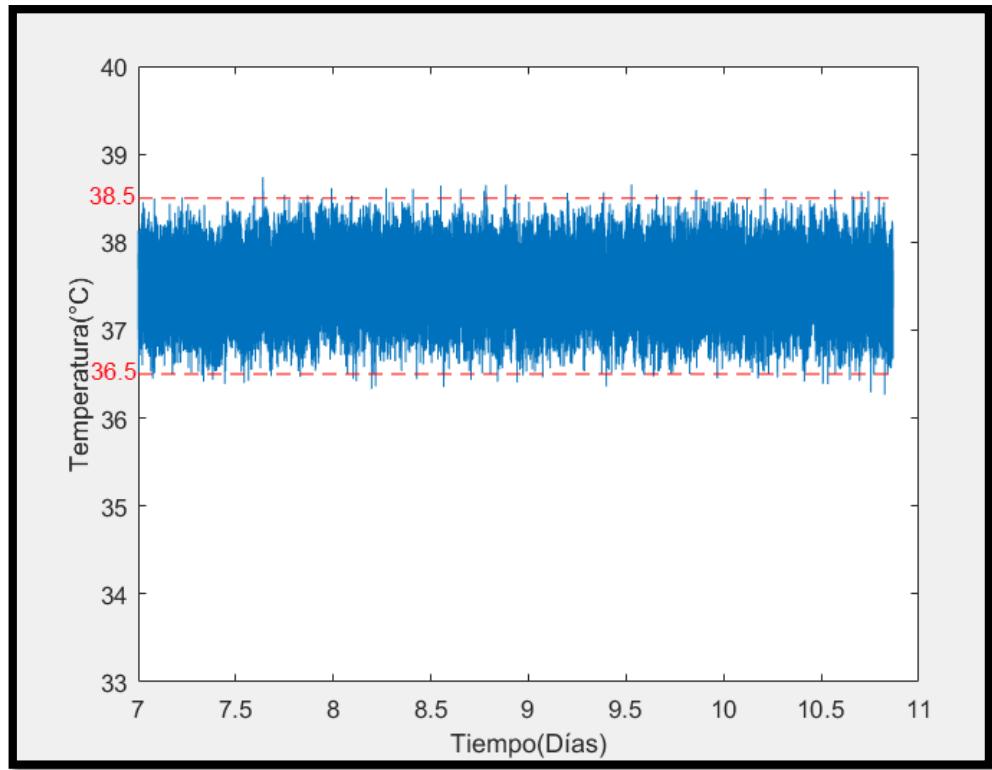


Figura 4.9 Curva de temperatura al interior del prototipo de incubación

Elaboración: Los autores

Con los resultados obtenidos, se concluye que el sistema de control es capaz de mantener la temperatura estable durante periodos largos de tiempo, donde la mayoría de las muestras se encuentra dentro del rango óptimo de temperatura de acuerdo con el valor de desviación estándar obtenido.

➤ **Escenario 3: Prueba del sistema de control de temperatura ante perturbaciones externas.**

a. **Prueba ante cambio brusco de temperatura externa**

Para esta prueba, se simuló un descenso brusco de temperatura del ambiente externo, el cual se obtuvo reduciendo la temperatura del aire acondicionado a 15 °C como se muestra en la figura 4.10.



Figura 4.10 Imagen de control de aire acondicionado configurado

Elaboración: Los autores

La toma de datos fue realizada con un periodo de muestreo de 2 segundos durante, aproximadamente, 30 minutos, obteniéndose 904 muestras de temperatura las cuales fueron suficientes para evaluar la estabilidad del sistema de control.

### Resultados:

De acuerdo con el tiempo de captura de datos, que se muestra en la figura 4.11 se obtuvo los siguientes resultados:

- Se observó que 5 muestras superaron el rango de 38.5 °C, donde algunas llegaron a alcanzar picos máximos de 38.7 °C.
- Se observó que 8 muestras que estuvieron por debajo del rango de 36.5 °C llegaron a tener picos mínimos de 36.2 °C.
- Las muestras obtenidas fuera de rango equivalen a 1.44 % del total de muestras capturadas.
- La media de muestras capturadas es de 37.5223 °C
- La desviación estándar del total de muestra capturadas es de 0.3077 °C.

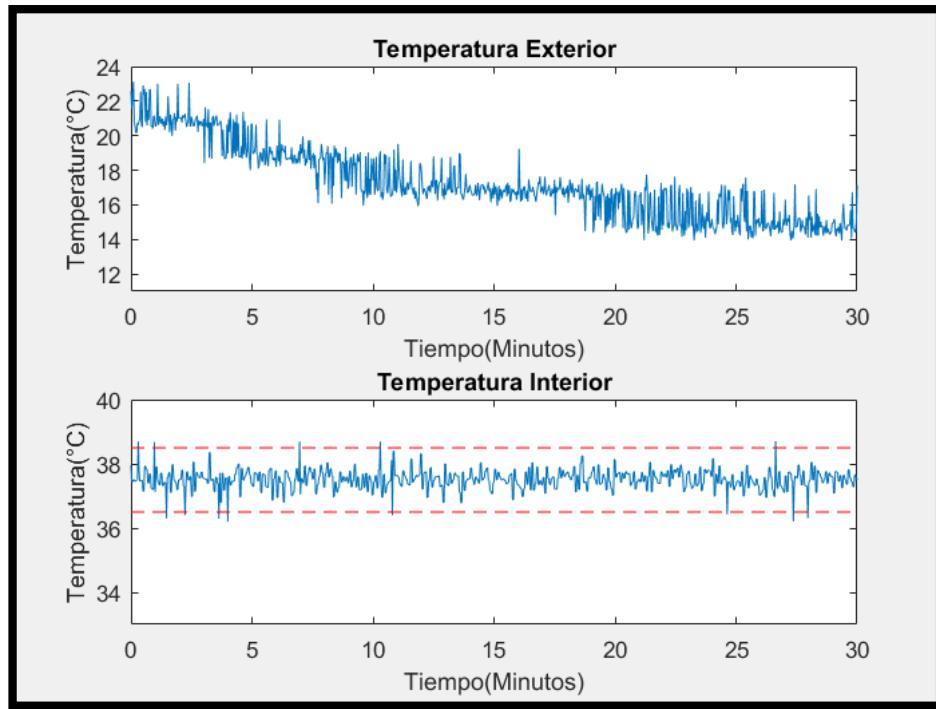


Figura 4.11 curvas de temperatura exterior forzada e interior

Elaboración: Los autores

Con los resultados obtenidos, se concluye que el sistema de control es capaz de mantener la temperatura estable ante cambios bruscos de la temperatura externa, donde la mayoría de las muestras se encuentra dentro del rango óptimo de temperatura de acuerdo con el valor de desviación estándar obtenido.

#### b. Prueba ante manipulación de puerta de prototipo de incubación

En esta prueba, se verificó la respuesta del sistema de control de temperatura ante una manipulación de la puerta del prototipo de incubación, cuando se necesita abrir la misma para una inspección del estado de los huevos de codorniz.

La toma de datos fue realizada con un periodo de muestreo de 2 segundos durante aproximadamente 90 minutos, obteniéndose 2667 muestras de

temperatura las cuales fueron suficientes para evaluar la respuesta del sistema de control.

### Resultados:

Como se observa, en la figura 4.12, al abrir la puerta del prototipo de incubación durante un periodo de 10 minutos la temperatura descendió en aproximadamente 2 °C, luego de realizar la inspección de los huevos de codorniz se procedió a cerrar la puerta observándose que la temperatura se regularizó en aproximadamente, 5 minutos.

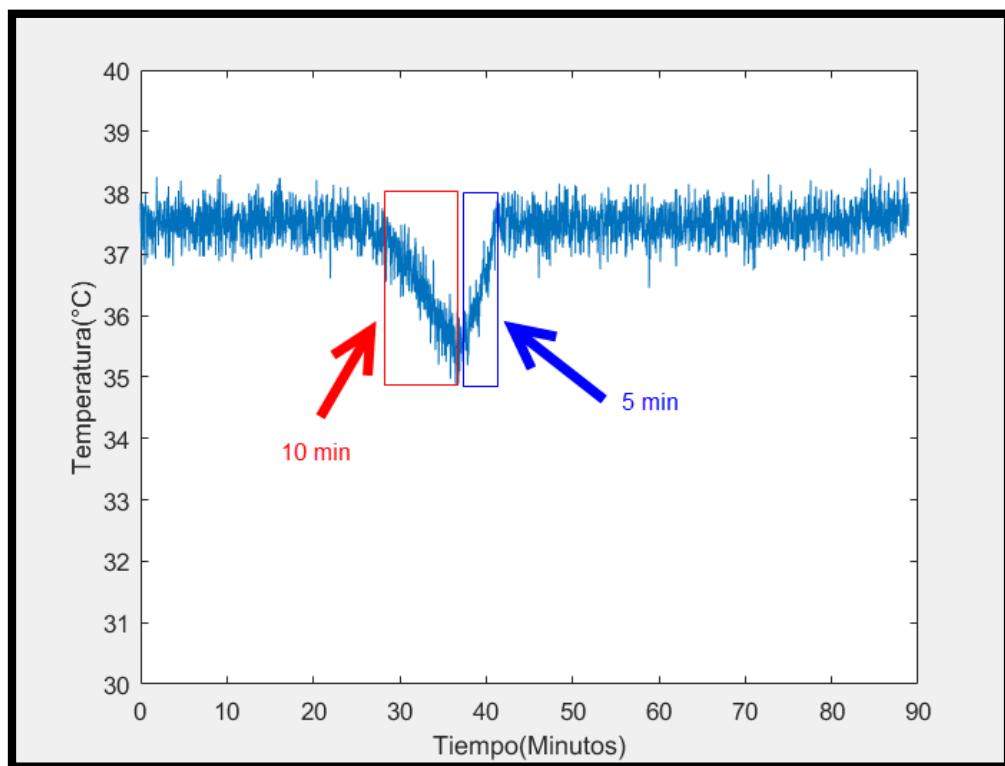


Figura 4.12 Curva de temperatura

Elaboración: Los autores

Se concluye que sistema de control responde de forma rápida ante una perturbación externa ocasionada por la apertura de puerta del prototipo de

incubación. Así mismo, se valida que la temperatura no se regulariza de forma brusca u ocasionando picos que puedan afectar el proceso de incubación.

#### **4.3 Pruebas de monitoreo de humedad relativa:**

En el caso de la humedad no existe un sistema de control que regule el actuador, debido a que este parámetro tiene un rango menos restrictivo que se encuentra entre 50 y 70 % de humedad relativa.

Para las pruebas de humedad relativa al interior del prototipo de incubación se platearon dos escenarios:

- 1 Monitoreo de humedad sin perturbaciones externas.
- 2 Monitoreo de humedad ante perturbaciones externas.

#### **Escenario 1: Monitoreo de humedad sin perturbaciones externas**

Para esta prueba, se tomaron muestras de humedad durante el proceso de incubación de los huevos de codorniz, con el fin de verificar que la humedad relativa se encuentre dentro del rango recomendado de 50 a 70%, cabe mencionar que durante las pruebas la temperatura se mantuvo en el rango objetivo de  $37\pm1$  °C y la toma de datos fue realizada con un periodo de muestreo de 2 segundos durante aproximadamente 90 minutos, obteniéndose 2870 muestras de humedad las cuales son mostradas en la figura 4.13.

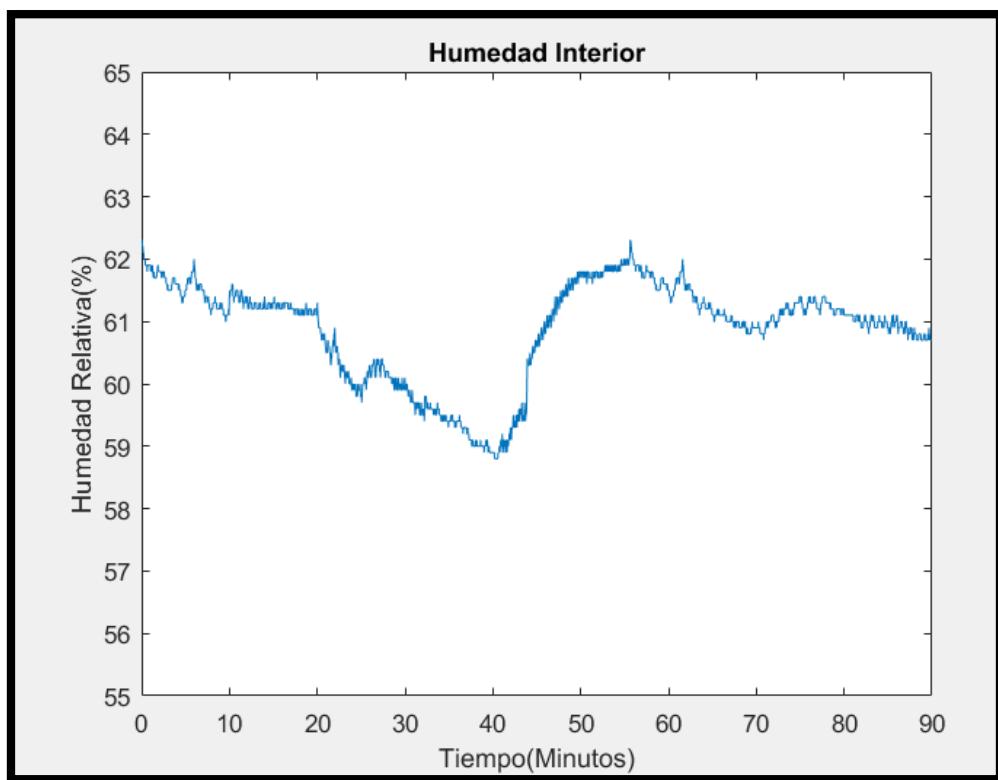


Figura 4.13 Humedad relativa al interior de prototipo de incubación

Elaboración: Los autores

### Resultados:

Como se observa en el gráfico, durante el tiempo de monitoreo de la humedad relativa al interior del prototipo de incubación este varió entre 58.5 y 63 %, encontrándose en todo momento dentro del rango requerido para el correcto proceso de incubación de los huevos de codorniz.

## **Escenario 2: Monitoreo de humedad ante perturbaciones externas**

En esta prueba se verificó los niveles de humedad relativa ante una manipulación de la puerta del prototipo de incubación, cuando se necesita abrir la misma para una inspección del estado de los huevos de codorniz.

La toma de datos fue realizada con un periodo de muestreo de 2 segundos durante aproximadamente 80 minutos, obteniéndose 2444 muestras de humedad las cuales son mostradas en la figura 4.14.

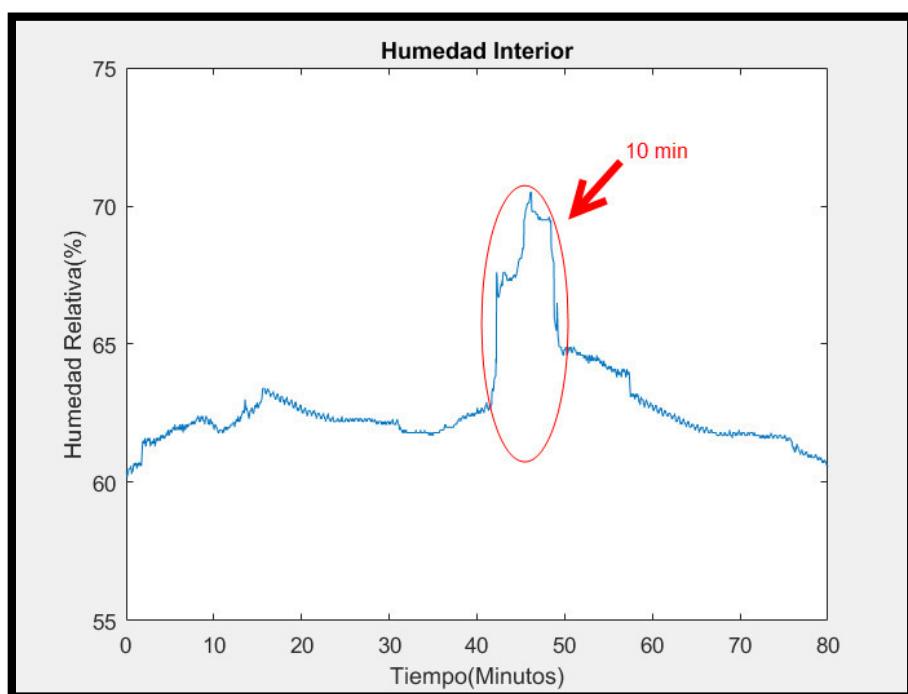


Figura 4.14 Humedad relativa al interior de prototipo de incubación

Elaboración: Los autores

### **Resultados:**

Al realizar la apertura de la puerta del prototipo de incubación la humedad relativa al interior de la incubadora se incrementa rápidamente mostrando un pico de aproximadamente 70.5% a los 10 minutos de la inspección. Por tanto, se concluye que este es el tiempo recomendable para realizar pruebas de ovoscopia o de estado de los huevos de codorniz.

## **CAPÍTULO V.**

### **DISCUSIÓN Y APLICACIONES**

#### **Discusión**

El presente proyecto tuvo como finalidad brindar una solución tecnológica a las microempresas que trabajan en la producción de ave de codorniz, ya que se encontró que este sector no es de interés de empresas extranjeras para brindar soluciones tecnológicas a sus necesidades, en este caso la producción de aves a mediana escala.

Al término del proyecto se obtuvieron resultados favorables que validan el diseño de control sin embargo para cumplir la necesidad del mercado al que se apunta es necesario poder contar con un financiamiento externo para los investigadores, donde luego de validar el diseño de control, se desarrolle un diseño industrial tanto a nivel electrónico como nivel estructural.

#### **Aplicación**

La aplicación está en fomentar el uso y aprovechamiento de la tecnología para los microempresarios, con la finalidad de mejorar sus procesos de producción.

## **CONCLUSIONES**

De acuerdo con los resultados obtenidos, la temperatura al interior del prototipo de incubación no presenta una respuesta brusca o picos que puedan afectar a los huevos de codorniz durante el periodo de encendido del equipo y estabilización de la temperatura.

El sistema de control difuso es capaz de mantener la temperatura estable durante todo el proceso de incubación, incluso si el prototipo de incubación es sometido a perturbaciones externas.

Se demostró que la humedad al interior del prototipo de incubación se encuentra dentro del rango optimo variando entre de 58.5 y 63 % cuando la temperatura se encuentra estable en  $37.5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

El sistema de control difuso es una herramienta de ingeniería que puede competir como alternativa a control de PI – PID, esto en base al estudio del estado del arte realizado y a los resultados obtenidos.

## **RECOMENDACIONES**

Es necesario hacer un diseño de circuitos de potencia y actuadores, dedicado al problema ingenieril encontrado, ya que esto influirá en las respuestas obtenidas.

La propuesta de solución planteada puede ser punto de partida a desarrollar un prototipo funcional, para pruebas con clientes potenciales. La siguiente etapa podría ser a partir de las recomendaciones y superando las limitaciones mencionadas. Es importante mencionar que para obtener un producto los cambios y mejoras irán orientado al diseño circuital mas no al sistema de control que es la base de la presente tesis.

Los estudios y diseños obtenidos pueden ser aplicados a otras plantas, siempre que se tome de referencia los criterios tomados en la presente tesis. Los circuitos de control diseñados e implementados tienen las características suficientes para ser usados en una siguiente etapa de implementación para clientes potenciales.

El inventario de todos los componentes electrónicos y mecánicos, hacen factible la elaboración de un prototipo funcional 100 % en el país.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- P.I. Daskalov. (2005). Non-linear Adaptive Temperature and Humidity Control in Animal Buildings.
- Decuypere E, Michels H. (1992). Incubation temperature as a management tool: a review. World's Poultry Science Journal.
- Ferguson, M. W. J. (1994). Temperature dependent sex determination in reptiles and manipulation of poultry sex by incubation temperature.
- M Salah, D.C. Paul & Q. M. E. Huque (1994). Effect of Egg Weight and Pre-Incubation Holding Periods on Hatchability of Japanese Quail Eggs in Different Seasons.
- Reinhart, B. S., and G. I. Hurnik, (1984). Traits affecting the hatching performance of commercial chicken broiler eggs.
- Dulce Galindo, (2014). (Tesis): Control Adaptativo de una Incubadora para Aves.
- Mohammed Blej, Mostafa Azizi. (2006). "Comparison of Mamdani-Type and Sugeno-Type Fuzzy Inference Systems for Fuzzy Real Time Scheduling"
- MATIA ESPADA, Fernando. (1994). "Análisis y diseño de sistemas de control de procesos basados en lógica borrosa" – Universidad Politécnica de Madrid.

Jiménez Rueda, J. A., & Veloza Caro, J. F. (2008). Modelo funcional de una incubadora de huevos para la industria avícola. Universidad Industrial De Santander.

M.Braae y D.A.Rutherford, "Theoretical and linguistic Aspects of the Fuzzy Logic Controller" Automatic 15.

Laboratorio de adquisición de datos – UANL- error sensor LM35

Hoja de datos National Semiconductors - LM35

"Evaluación técnica - económica de la producción de la codorniz a pequeña escala"- Werner Rodríguez Siancas – UNALM

"Temperature Control using Fuzzy Logic", P. Singhala, D.N. Shah, B. Patel - International Journal of Instrumentation and Control Systems, vol.4,

Enlaces importantes

## FUENTES DE INFORMACIÓN ELECTRÓNICA

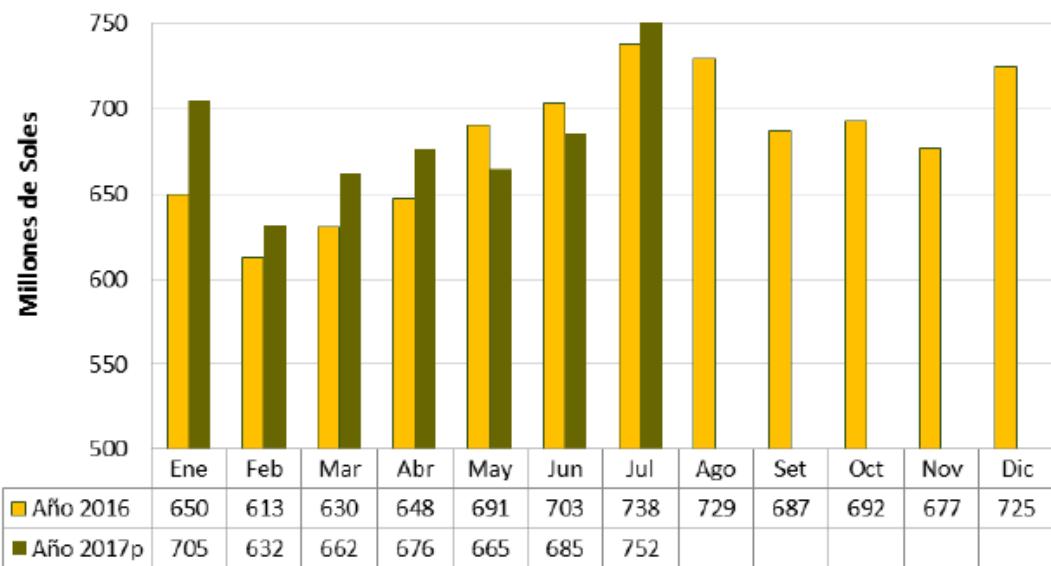
<https://www.stego.de/es/compania/> - compañía de productos de calefacción

## **ANEXOS**

1. Dato bruto de producción avícola. Enero 2016- Julio 2017.
2. Mercado avícola de codornices. Gerente de sanidad de la Asociación Peruana de Avicultura (APA).
3. Anuario de Estadísticas Ambientales 2017. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

## Anexo1

G.1 PERÚ: VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN AVÍCOLA<sup>1</sup>. ENERO 2016 - JULIO 2017.



## Anexo 2

*“En el Perú actualmente la avicultura está más desarrollada en la crianza de pollos y pavos, sin embargo, también están otro tipo de aves como las codornices que tienen un mercado que básicamente está cubierto por microempresas y unas pocas empresas grandes, pero incluso estas carecen de este tipo de equipo que plantean como proyecto”*

Dr. Percy Separovich

Gerente de sanidad de la Asociación Peruana de Avicultura (APA)

## Anexo 3

### Anuario de Estadísticas Ambientales 2017 Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

#### C. HUMEDAD

1. HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO ANUAL, SEGÚN DEPARTAMENTO, 1996-2016  
(Porcentaje)

Departamento	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Amazonas	88	87	85	87	85	82	83	80	82	85	83	85	88	83	77	77	81	87	83	81	78
Áncash	63	63	70	67	88	67	64	64	68	63	74	77	75	78	81	85	80	77	78	76	75
Apurímac	92	89	88	91	87	89	91	90	87	94	94	95	93	91	91	93	87	83	79	82	80
Arequipa	48	51	51	41	52	41	41	41	51	53	56	58	52	57	47	50	54	51	49	48	47
Ayacucho	64	61	59	63	63	59	58	57	56	57	77	75	70	86	84	78	73	77	77	79	78
Cajamarca	64	66	65	63	63	69	72	70	69	65	64	66	63	69	65	65	65	64	63	63	64
Cusco	71	72	72	77	75	80	80	77	71	75	75	72	64	71	74	76	67	74	68	69	64
Huancavelica	73	84	79	78	74	77	80	77	76	80	79	78	75	77	76	81	84	84	86	85	84
Huánuco	70	68	65	65	66	64	64	63	65	62	64	63	67	65	64	67	65	66	65	64	62
Ica	68	69	70	68	69	78	80	83	81	82	79	80	76	86	84	75	70	68	74	73	68
Junín	52	52	54	65	62	65	66	64	63	61	63	62	60	67	64	65	63	62	59	59	56
La Libertad	85	82	62	84	83	84	82	82	82	80	89	89	86	89	91	91	87	92	91	85	85
Lambayeque	76	72	78	79	79	80	78	80	76	72	71	86	82	83	83	82	81	82	80	81	82
Lima	84	78	85	89	84	88	86	85	89	85	84	87	84	86	85	85	86	87	86	85	85
Loreto	90	90	89	92	89	90	89	92	90	89	86	86	83	84	84	83	85	85	84	92	90
Madre de Dios	-	-	87	86	86	82	84	82	84	70	70	88	85	81	86	...	83	83	85	90	93
Moquegua	59	55	59	55	55	61	56	66	55	56	58	57	55	57	62	63	61	62	63	65	...
Pasco	-	80	78	80	81	85	84	83	79	83	85	84	79	81	75	82	84	86	85	86	85
Piura	64	62	65	63	69	67	67	72	72	69	70	74	71	75	76	73	70	75	74	76	72
Puno	45	-	-	...	...	63	62	61	57	62	63	56	55	56	63	61	64	65	68	62	...
San Martín	82	82	82	84	83	84	84	84	83	83	83	84	74	83	81	82	82	82	83	83	81
Tacna	78	76	75	74	74	77	78	75	75	77	78	80	73	75	77	75	75	76	78	80	76
Tumbes	84	82	86	88	89	90	87	88	89	89	88	88	87	91	91	90	85	91	91	78	79
Ucayali	93	89	86	86	83	84	88	88	89	85	88	88	84	89	90	90	90	88	90	88	88

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).