

Área de Conocimiento de Tecnología de la  
Información y Comunicación

# **Incubadora automática con capacidad de 210 huevos, monitoreo y seguimiento del ciclo de incubación mediante IoT para pequeñas granjas avícolas**

**Trabajo Monográfico para optar al título de  
Ingeniero Electrónico**

**Elaborado por:**

Br. Hugo Alberto  
Obando Orozco  
Carnet: 2017-0595U

Br. Eduardo Carmelo  
Urbina Mendoza  
Carnet: 2017-0768U

**Tutor:**

MSc. Dora Inés  
Reyes Chávez



Área de Conocimiento de  
Tecnología de la Información  
y Comunicación

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

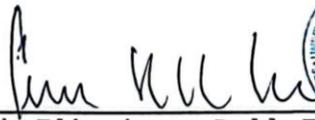
El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

URBINA MENDOZA EDUARDO CARMELO

Carné: 2017-0768U Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRÓNICA**, en el año 2022 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y nueve días del mes de octubre del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,



Ing. Cedrick Elksnherr DallaTorre Parrales  
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

☎ Teléfono: (505) 2270.0723.

📍 Recinto Universitario Simón Bolívar  
Avenida Universitaria:  
Managua, Nicaragua.  
Apdo: 5595

✉ cedrick.dallatorre@fec.uni.edu.ni  
www.fec.uni.edu.ni



Área de Conocimiento de  
Tecnología de la Información  
y Comunicación

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

OBANDO OROZCO HUGO ALBERTO

Carné: **2017-0595U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRÓNICA**, en el año 2022 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y nueve días del mes de octubre del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,



Ing. Cedrick Elksnherr DallaTorre Parrales  
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

📞 Teléfono: (505) 2270.0723.

📍 Recinto Universitario Simón Bolívar  
Avenida Universitaria,  
Managua, Nicaragua.  
Apdo: 5595

✉️ cedrick.dallatorre@fec.uni.edu.ni  
www.fec.uni.edu.ni

Lunes 13 de enero de 2025

Managua, Nicaragua

**Msc. Claudia Benavidez**

**Directora área de conocimiento TIC**

Estimada directora:

El motivo de la presente es para comunicarle que, en mi calidad de tutor de Monografía presentada por el **Br. Eduardo Carmelo Urbina Mendoza** y el **Br. Hugo Alberto Obando Orozco**, para optar al grado de Ingeniero en Electrónica, cuyo tema es **“Incubadora automática con capacidad de 210 huevos, monitoreo y seguimiento del ciclo de incubación mediante IOT para pequeñas granjas avícolas”**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos exigidos por la Dirección del área de conocimiento de tecnología de la información y comunicación para ser sometido a presentación de defensa y evaluación ante el tribunal examinador que se designe.

Agradeciendo su amable atención, le reitero mis saludos.

Cordialmente,

**Msc. Dora Inés Reyes Chávez**

**Tutora**

Cc:

Archivo.



## Decanatura | FEC

Universidad Nacional de Ingeniería  
Recinto Universitario "Simón Bolívar"  
Facultad de Electrotecnia y Computación  
**Decanatura**  
DF-09-2022-41

Managua, 28 de septiembre del 2022.

### Bachilleres.

Hugo Alberto Obando Orozco 2017-0595U

Eduardo Carmelo Urbina Mendoza 2017-0768U

**Egresado de la Carrera de Ingeniería en Electrónica.**

Estimados Bachilleres:

El suscrito Decano de la Facultad de Electrotecnia y Computación, a través de la presente autoriza de manera formal la inscripción de la Monografía Titulada **"Incubadora Automática con Capacidad de 210 huevos con Monitoreo y Seguimiento del Ciclo de Incubación Mediante IOT para pequeñas Granjas Avícolas"**. Para optar al Título de Ingeniero en Electrónica, para tal efecto se nombra como Tutor de la Monografía al **Msc. Dora Inés Reyes**.

Así mismo le solicito proceda a la **Inscripción de dicho Tema Monográfico** en Secretaria Académica de la facultad, con la finalidad de darle control y seguimiento, de acuerdo a los reglamentos establecidos.

Se les recuerda que, según la normativa para los trabajos monográficos, a partir de la fecha de inscripción tiene 12 meses para defender dicho trabajo.

Sin más a que referirme y deseándoles mucho éxito en la culminación de esta etapa, me despido.

Atentamente,

**Ing. Augusto César Palacios Rodríguez**  
Decano FEC

cc: Ing. María Lourdes Montes.  
Ing. Marlon Robleto  
Msc. Dora Reyes.  
Archivo.

Secretaria Académica.  
Jefe de Dpto. de Sistemas Digitales y Telecomunicaciones  
Tutor.

☎ Teléfono: (505) 2270 5126



Recinto Universitario Simón Bolívar  
Avenida Universitaria.  
Managua, Nicaragua.  
Apdo: 5595



augusto.palacios@fec.uni.edu.ni  
www.fec.uni.edu.ni

## DEDICATORIA

A Dios sobre todas las cosas, él ha sido nuestra fortaleza, nuestro guía y su amor siempre se manifestó en nosotros, su amor es inmenso y siempre estuvo en los peores momentos de nuestra vida, agradecemos profundamente a nuestro Padre Celestial.

A nuestros padres, a pesar de todos los obstáculos que se nos presentó a lo largo de nuestras vidas, ellos siempre estuvieron con cada uno de nosotros. Siempre nos guiaron al mejor camino, y de no ser así jamás habiésemos llegado hasta donde estamos. Estamos orgullosos de tener unos padres tan grandiosos, y agradecemos que siempre estuvieron a nuestro lado en cada momento de nuestras vidas.

A nuestro tutor, gracias a su apoyo, gracias a sus correcciones logramos llegar hasta donde estamos, gracias a su amor y a la dedicación que tuvo con nosotros hemos culminado exitosamente este trabajo. Siempre nos tuvo paciencia y estamos rotundamente agradecido con usted, quien nos apoyó en todo momento. Gracias por ser nuestra guía.

Finalmente, a todas aquellas personas que nos apoyaron a lo largo de nuestra carrera, amigos y compañeros de clases, queremos dedicar esta tesis a todas aquellas personas quienes tengan deseo de triunfar.

Hugo A. Obando Orozco

Eduardo C. Urbina Mendoza

## RESUMEN

Hoy en día los emprendimientos se han vuelto una manera rentable de generar una fuente de ingresos para poder suplantar una necesidad o problema que se encuentre en la sociedad. En este caso se considera el sector avícola nacional, ya que, es uno de los pilares de la alimentación nicaragüense, de ellos poseemos los siguientes productos: los huevos, carne de pollo entre sus derivados.

El presente documento se enfoca en el diseño e implementación de un sistema de incubación automática. El proyecto tendrá en consideración los factores de incubación tales como la temperatura, humedad, ventilación y volteo. Además de eso, se automatizarán varios procesos que se realizaban de manera manual.

Por consideración, se implementará una incubadora automática con la capacidad de albergar la cantidad de 210 huevos con monitoreo y seguimiento del ciclo de incubación mediante IoT, con el fin de que el usuario pueda monitorear desde cualquier lugar los procesos involucrados en la incubadora; también se implementará un sistema de alarmas que advierta al usuario sobre alguna falla en la circuitería electrónica; además tendrá un sistema de respaldo eléctrico en caso de que falle el suministro eléctrico comercial; y además se incorporará un sistema de llenado automático de la bandeja de agua con el fin de que el avicultor no tenga la necesidad de intervenir en este proceso, y no tenga la necesidad de estar llenando de manera manual la bandeja de agua dentro de la incubadora.

## **ABSTRACT**

Nowadays, enterprises have become a profitable way to generate a source of income to be able to replace a need or problem that is found in society. In this case, the national poultry sector is considered, since it is one of the pillars of the Nicaraguan food supply, of which we have the following products: eggs, chicken meat among its derivatives.

This document focuses on the design and implementation of an automatic incubation system. The project will take into consideration incubation factors such as temperature, humidity, ventilation and turning. In addition to that, several processes that were performed manually will be automated.

For consideration, an automatic incubator will be implemented with the capacity to house the amount of 210 eggs with monitoring and tracking of the incubation cycle through IoT, so that the user can monitor from anywhere the processes involved in the incubator; an alarm system will also be implemented to warn the user about any failure in the electronic circuitry; It will also have an electrical backup system in case of failure of the commercial power supply; and it will also incorporate an automatic filling system for the water tray so that the poultry farmer does not need to intervene in this process, and does not need to manually fill the water tray inside the incubator.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>2</b>
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
<b>Objetivo general.....</b>	<b>5</b>
<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA INCUBACIÓN ARTIFICIAL DE HUEVOS..</b>	<b>6</b>
<b>1.2. PARÁMETROS DE INCUBACIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3. CUIDADO Y ALMACENAMIENTO DE LOS HUEVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4. FACTORES DE INCUBACIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4.1. Humedad.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4.2. Temperatura.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4.3. Ventilación .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4.4. Volteo .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5. TIPOS DE INCUBADORAS PARA HUEVOS DE GALLINA .....</b>	<b>13</b>
<b>1.5.1. Según el tamaño.....</b>	<b>13</b>
<b>1.5.2. Según el tipo de ventilación .....</b>	<b>13</b>
<b>1.5.3. Según la característica de funcionamiento .....</b>	<b>13</b>
<b>1.6. TIPOS DE SENSORES A UTILIZAR EN EL PROYECTO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.6.1. Medidores de temperaturas.....</b>	<b>14</b>

1.6.2. Medidores de humedad.....	15
1.7. INTERNET OF THINGS (IOT) .....	17
1.7.1. Vínculo del sector avícola e IoT .....	18
CAPÍTULO II: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	19
2.1. CÁLCULO PARA EL VALOR DE LA RESISTENCIA CALEFACTORA AMBIENTAL.....	19
2.1.1. Energía requerida dentro del sistema de incubación .....	19
2.1.2. Energía requerida por los huevos de gallina.....	23
2.1.3. Energía perdida a través de las paredes .....	24
2.2. CÁLCULO PARA EL VALOR DE LA RESISTENCIA CALEFACTORA SUMERGIBLE .....	26
2.3. DETERMINACIÓN DE SENSORES .....	27
2.3.1. Comparación entre sensores de temperatura.....	27
2.3.2. Comparación entre sensores de humedad.....	31
2.4. DETERMINACIÓN DE DRIVERS .....	32
2.4.1. Driver de potencia .....	32
2.4.2. Determinación de driver de motores.....	34
2.5. DETERMINACIÓN DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	37
2.5.1. Fuente de alimentación lineal.....	37
2.5.2. Fuente de alimentación conmutada.....	37
2.5.3. ¿Cómo funciona una fuente de alimentación conmutada?.....	38
2.5.4. Fuente conmutada de 12V 3A.....	40

2.6. DETERMINACIÓN DE MICROCONTROLADOR .....	40
2.7. DETERMINACIÓN DE MOTOR.....	46
2.8. DETERMINACIÓN DE COMPONENTES ADICIONALES PARA EL SISTEMA DE CONTROL Y PROTECCIÓN.....	49
2.8.1. Piloto indicador LED 22mm colores.....	49
2.8.2. Módulo switch pulsador de 3 pines .....	50
2.8.3. Pantalla de 2.42” 128x64 OLED LCD módulo SSD1309 .....	51
2.8.4 Regulador de voltaje Step-Down.....	52
2.8.5. Módulo XH-M609 DC 12V protección de voltaje .....	53
2.9. DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE RESPALDO .....	55
2.10. ESQUEMA ELECTRÓNICO Y SIMULACIÓN .....	57
2.11. SELECCIÓN DE LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN .....	58
2.11.1. Selección de IDE.....	59
2.11.2. Firmware MicroPython .....	59
2.11.3. Comando para instalar la herramienta esptool.py .....	59
2.11.4. Reconocimiento del puerto .....	60
2.11.5. Borrar y cargar Firmware.....	62
2.11.6. Verificación de la instalación del Firmware.....	64
2.11.7. MicroPython en el ESP32.....	65
2.12. SELECCIÓN DEL CONTROL PARA EL SISTEMA DE INCUBACIÓN .....	66
2.12.1. Fundamentos del Control PID .....	66
2.12.1.1. Proporcional (P) .....	66

2.12.1.2. Integral (I) .....	66
2.12.1.3. Derivativo (D).....	67
2.12.1.4. Ventajas del Control PID .....	67
2.12.1.5. Desventajas del Control PID .....	67
2.12.2. Proceso de Ajuste de Parámetros PID.....	67
2.12.2.1. Método de Prueba y Error .....	67
2.12.2.2. Método de Ziegler-Nichols: .....	68
2.12.3. Cálculo del Control PID.....	68
2.12.4. Implementación del Control PID en MicroPython .....	71
2.13. ESTRUCTURA Y DISEÑO DE LA INCUBADORA.....	73
2.13.1. Diseño de bandejas.....	74
2.13.2. Diseño de esqueleto estructural de la incubadora .....	76
2.13.3. Diseño de las paredes de la incubadora.....	78
2.13.4. Diseño de la bandeja de agua de la incubadora.....	81
2.13.5. Diseño final de la incubadora.....	81
2.14. DISEÑO EN EL SERVIDOR WEB.....	82
2.15. COSTOS .....	83
2.15.1. Comparación del costo de una incubadora.....	85
2.16. PLAN DE CAPACITACIÓN (USO Y MANTENIMIENTO).....	89
2.16.1. Plan de capacitación de uso.....	89
2.16.2. Plan de capacitación de mantenimiento .....	90
CAPÍTULO III: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92

**3.1. CONCLUSIÓN..... 92**

**3.2. RECOMENDACIONES..... 93**

**BIBLIOGRAFÍA..... 94**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.6.1.1</b>	Tipos de sensores electrónicos.....	15
<b>Tabla 1.6.2.1</b>	Tipos de medidores electrónicos.....	16
<b>Tabla 2.1.1.1</b>	Densidad según el ambiente.....	21
<b>Tabla 2.3.1.1</b>	Comparación entre diferentes sensores de temperatura.....	28
<b>Tabla 2.3.1.2</b>	Comparación de características sensores de temperatura.....	29
<b>Tabla 2.9.1</b>	Consumo de cada componente electrónico.....	55
<b>Tabla 2.15.1</b>	Costo de proyecto de incubadora.....	84
<b>Tabla 2.15.1.1</b>	Comparación de precios y características.....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.3.1.1</b>	Linealidad de diferentes tipos de sensores de temperatura.....	27
<b>Figura 2.3.1.2</b>	Conexión del DHT22 con su resistencia.....	31
<b>Figura 2.4.1.1</b>	Comprensión del módulo de relé de cuatro canales de 5V .....	33
<b>Figura 2.4.1.2</b>	Diagrama electrónico de relé de 4 canales .....	34
<b>Figura 2.4.2.1</b>	Puente H L298N .....	35
<b>Figura 2.4.2.2</b>	Diagrama electrónico de L298N.....	36
<b>Figura 2.5.3.1</b>	Etapa en bloques de una fuente de alimentación conmutada. ....	39
<b>Figura 2.5.4.1</b>	Fuente Conmutada 12V 3A.....	40
<b>Figura 2.6.1</b>	ESP32 PinOut .....	45
<b>Figura 2.7.1</b>	Servo motor DS3245SG.....	46
<b>Figura 2.8.1.1</b>	Piloto indicador LED 22mm colores.....	49
<b>Figura 2.8.2.1</b>	Módulos switch botón.....	50
<b>Figura 2.8.3.1</b>	Pantalla OLED LCD módulo SSD1309 .....	51
<b>Figura 2.8.4.1</b>	Regulador de voltaje Step-Down.....	53
<b>Figura 2.8.5.1</b>	Módulo XH-M609 DC 12V protección de voltaje .....	54
<b>Figura 2.10.1</b>	Circuito en proteus (a).....	57
<b>Figura 2.10.2</b>	Circuito en proteus (b).....	58
<b>Figura 2.10.3</b>	Simulación de la programación .....	58
<b>Figura 2.11.1.1</b>	Thonny Python IDE. ....	59
<b>Figura 2.11.3.1</b>	Instalación de la herramienta "esptool.py". ....	60
<b>Figura 2.11.4.1</b>	Reconocimiento del puerto en el administrador de dispositivos. ....	61
<b>Figura 2.11.5.1</b>	Borrar y cargar firmware.....	62
<b>Figura 2.11.5.2</b>	Firmware de MicroPython. ....	63

<b>Figura 2.11.5.3</b>	Instalación del firmware. ....	64
<b>Figura 2.11.6.1</b>	Verificación de la instalación del FW. ....	64
<b>Figura 2.11.6.2</b>	Selección de versión de microcontrolador. ....	65
<b>Figura 2.11.7.1</b>	Prueba de programación A.....	65
<b>Figura 2.11.7.2</b>	Prueba de programación B.....	66
<b>Figura 2.12.4.1</b>	Agregación de la clase PID. ....	71
<b>Figura 2.12.4.2</b>	Función de ajuste de parámetros 1.....	71
<b>Figura 2.12.4.3</b>	Función de ajuste de parámetros 2.....	72
<b>Figura 2.12.4.4</b>	Código final. ....	72
<b>Figura 2.13.1.1</b>	Diseño de bandeja de huevos.....	75
<b>Figura 2.13.1.2</b>	Estructura de bandejas de huevos.....	76
<b>Figura 2.13.2.1</b>	Esqueleto estructural de la incubadora. ....	77
<b>Figura 2.13.2.2</b>	Esqueleto estructural de incubadora con bandejas.....	78
<b>Figura 2.13.3.1</b>	Paredes de la incubadora.....	79
<b>Figura 2.13.3.2</b>	Dimensiones de puerta y vidrio.....	80
<b>Figura 2.13.4.1</b>	Bandeja de agua. ....	81
<b>Figura 2.13.5.1</b>	Diseño final de incubadora 1.....	82
<b>Figura 2.13.5.2</b>	Diseño final de incubadora 2.....	82
<b>Figura 2.14.1</b>	Diseño actual de la página web. ....	83

## ANEXOS

<b>Figura 1.1</b>	Librerías del código.....	1
<b>Figura 1.2</b>	Asignación de pines.....	2
<b>Figura 1.3</b>	Declaración de funciones.....	2
<b>Figura 1.4</b>	Declaración de la función display.....	3
<b>Figura 1.5</b>	Inicialización de proceso de incubación.....	3
<b>Figura 1.6</b>	Finalización de proceso de incubación.....	4
<b>Figura 1.7</b>	Nuevas funciones para la incubadora.....	4
<b>Figura 1.8</b>	Función para guardar y cargar estado.....	5
<b>Figura 1.9</b>	Función para conexión Wi-Fi.....	5
<b>Figura 1.10</b>	Estructura de la página web.....	6
<b>Figura 1.11</b>	Función loop para mostrar temperatura y humedad.....	7
<b>Figura 2.1</b>	Parte superior de incubadora ensamblada.....	8
<b>Figura 2.2</b>	Parte frontal de la incubadora y disposición de las bandejas.....	9
<b>Figura 2.3</b>	Bandeja de agua para producir humedad.....	9
<b>Figura 2.4</b>	Sistema de humedad.....	10
<b>Figura 2.5</b>	Resistencia calentadora 500W.....	10
<b>Figura 2.6</b>	Ubicación de los motores de movimiento.....	11
<b>Figura 2.7</b>	Sistema de ventilación externa.....	11

## INTRODUCCIÓN

Durante años la incubación de huevos de gallinas ha sido de vital importancia en el sector avícola nacional, la producción de carne de pollo y huevo constituye una importante actividad económica, genera ingresos durante todo el año y contribuye a la creación de empleos, siendo el sector avícola un importante rubro con alto potencial de exportación.

“En 2022, la producción de carne de pollo creció 7.5%, en relación con el año anterior, cerrando con 339.6 millones de libras producidas en granjas tecnificadas y semitecnificadas. Esta producción superó en 5.4% la meta establecida en el Plan Nacional de Producción 2022. También, la producción de huevo mostró un buen ritmo de crecimiento durante el 2022, con una producción de 33.8 millones de cajillas, 4.8% superior a los volúmenes del 2021 y 1.2% superior a la meta“ (Ministerio Agropecuario [MAG], 2022).

“El 54% de la producción nacional se registró en granjas familiares y fincas. Estos resultados permitieron abastecer el consumo nacional y dinamizar la economía de 246,600 familias productoras que se dedican a la crianza de aves en las fincas” (MAG, 2022).

Como futuros ingenieros y de la mano con la tecnología, se quiere ayudar a esas familias productoras de granjas avícolas con un prototipo de incubadora automática mediante conexión wifi. para monitoreo remoto desde cualquier dispositivo inteligente que los mismo tengan para visualizar los parámetros de la incubación en tiempo real.

En este documento, se presenta el desarrollo de un prototipo de incubadora con capacidad de 210 huevos haciendo que esta herramienta pueda aumentar más el desarrollo de producción de pollitos para la comercialización tanto nacional como internacional.

## ANTECEDENTES

El primer documento que se encontró tiene por encabezado “Incubadora automática de huevos de aves de corral, con capacidad de 100 huevos, natalidad del 70%, monitoreo remoto y de bajo costo”, elaborado por Fonseca et al. en la Universidad Nacional de Ingeniería en Managua, Nicaragua (2017). El documento tiene como objetivo desarrollar una incubadora automática de huevos de aves de corral, con capacidad de 100 huevos, incubabilidad del 70%, monitoreo remoto y de bajo costo.

La importancia del proyecto, es que, brinda una solución para las pequeñas y medianas empresas del sector avícola, incrementando la productividad, disminuyendo la dependencia extranjera debido a la importación de los pollitos y garantizando un sistema de incubación de buena calidad a un costo viable.

Los resultados de ese proyecto fueron exitosos, lograron diseñar y construir la estructura física de la incubadora, tal que esta fuese robusta, durable y económica, además de eso implementaron una interfaz de comunicación USB y el monitoreo mediante red LAN, de igual forma, desarrollaron un sitio web, el cual les permite la visualización de los datos medidos a través de gráficos y tablas, y el almacenamiento de la información en una base de datos en Excel.

Otro documento que se encontró tiene por título “Tecnología artificial para la incubación de huevos de gallina”, elaborado por Joao Plata Chana en la Universidad Mayor de San Andrés en La Paz, Bolivia (2014). La finalidad de ese proyecto es, implementar un modelo con tecnología artificial (microcontroladores, motores, sensores) para que sea capaz de controlar el desarrollo y crecimiento del embrión de huevos de gallina.

En el desarrollo del proyecto, pretendieron satisfacer las necesidades del usuario, quienes tropiezan al trabajar en condiciones no aptas para la cría y del desarrollo de los embriones del huevo de gallina. También brindaron una forma tecnológica para la incubación, incorporando componentes electrónicos como los microcontroladores que pueden realizar las tareas automáticamente, sin necesidad de que la intervención humana sea constante.

Los principales resultados demostraron que, hubo un mayor índice de natalidad que con el método tradicional de incubación. Además de eso, brindaron una excelente solución para los pequeños y medianos sectores avícolas del país, y aun buen coste, ya que, utilizaron dispositivos electrónicos que se pueden encontrar muy fácilmente, dicho esto, también garantizaron que la reparación es económica.

Un documento que se encontró acerca de este tema es “Construcción de una incubadora”, elaborado por Francisco Javier Cevallos Sánchez en la Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga en Sangolquí, Ecuador (2005). El objetivo principal de ese proyecto es, construir una máquina incubadora para huevos de gallina, con la finalidad de encontrar la manera precisa de cómo colocar instrumentos, sensores, y demás materiales utilizados para este fin. El proyecto tuvo como finalidad ir dirigido a las pequeñas empresas, para brindar el servicio y para crear una fuente de trabajo a través del proyecto como tal.

Los resultados que obtuvieron, fue a partir de una base, utilizando el método experimental, que los ayudó a encontrar los errores de los sistemas utilizados, y a la vez a tomar los correctivos necesarios para seguir encaminando a la finalización del mismo. En el proyecto descrito, incorporaron el uso de PLC, garantizando, de tal forma, mayor rapidez y confiabilidad en el sistema de incubación. Y, finalmente, como resultado final, es que obtuvieron un 30% de pérdida al finalizar los días de incubación.

## **JUSTIFICACIÓN**

La realización de una incubadora completamente automática supone una ayuda a los productores de granjas avícolas, ya que con ella pueden aumentar en proporciones numéricas el desarrollo de los embriones de pollos y el desarrollo de nuevas especies de gallinas acorde a las necesidades para abastecer el mercado nacional, ahorrando tiempo y dinero en sus gastos operativos en las granjas.

El sector avícola cuenta con una gran cantidad de granjas de pequeña y mediana producción, las cuales son de vital importancia a nivel nacional de manera económica, ya que la mayoría de la población nicaragüense depende del consumo de carne de pollo, huevo y sus derivados para el sustento en sus hogares.

Considerando que este sector es susceptible a repentinos cambios en los precios (esto debido a los costos de producción y a los constantes incrementos que implica la adquisición de pollitos o huevos de determinada raza en granjas extranjeras), estos productores requieren una herramienta que les brinde de manera óptima la producción de crías de pollos que les garantiza paulatinamente la autosostenibilidad en sus granjas.

El mercado internacional ofrece gran variedad de incubadoras que con ciertas empresas nacionales se pueden adquirir, pero no brindan soporte técnico nacional, ya que son internacionales lo cual supone un riesgo, es decir que a un corto periodo estas pueden dejar de funcionar, y no se pueda recuperar la inversión realizada con la compra de dicha herramienta.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Implementar una incubadora automática con capacidad de 210 huevos, monitoreo y seguimiento del ciclo de incubación mediante IoT para pequeñas granjas avícolas.

### **Objetivos específicos**

- Analizar los requerimientos óptimos involucrados en el desarrollo de embriones de gallinas en el ciclo de la incubación, utilizando materiales y componentes electrónicos de calidad.
- Diseñar el sistema electrónico de la incubadora automática con monitoreo IoT, sistema de alarma y respaldo eléctrico.
- Desarrollar simulaciones y programaciones del sistema electrónico para el funcionamiento de la incubadora automática.

## **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO**

### **1.1. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA INCUBACIÓN ARTIFICIAL DE HUEVOS**

La incubación artificial, es la incubación de huevos mediante máquinas de incubadoras que brindan un medio ambiente adecuado y controlado para que se desarrollen las crías de aves y reptiles. A nivel comercial está ampliamente difundido el uso de incubación artificial para criar gallinas, pavos, patos y codornices.

La incubación artificial de los huevos avícolas es una práctica muy antigua. Aristóteles escribía en el año 400 A.C. que los egipcios incubaban huevos espontáneamente en pilas de estiércol. Los chinos desarrollaron la incubación artificial por lo menos hacia el año 246 A.C. A menudo, estos primeros métodos de incubación se practicaban a gran escala, donde un solo lugar quizás tenía la capacidad de 36,000 huevos.

Ahora bien, la construcción, uso y patente de las incubadoras artificiales en Estados Unidos datan de alrededor de 1844. La incubadora Smith, prácticamente un cuarto grande con ventiladores para forzar el aire caliente en todas las partes de la cámara de incubación se patentó en 1918. Fue el precursor de las incubadoras de hoy en día eficientes y a gran escala, que se usan para incubar huevos de pollos, pavos, patos y otros.

### **1.2. PARÁMETROS DE INCUBACIÓN**

Para efectuar la incubación existen determinados parámetros a tener en cuenta:

- Los huevos para colocar en una incubadora no deben pesar menos de 52gr. ni más de 75gr.
- Antes de poner los huevos en la máquina de incubación deben pasar por un período de precalentamiento para evitar un cambio brusco de temperatura entre la sala de conservación y la incubadora.
- Los huevos de gallina deben ser puestos con el polo fino hacia abajo.
- Luego se pasa a cargar la máquina que debe ya estar en temperatura unas horas antes. Los huevos de gallina permanecen durante 21 días.

- Es fundamental además tener en cuenta los aspectos de temperatura, humedad relativa, ventilación y el volteo de los huevos que a continuación se explicará cada uno de estos aspectos.

### **1.3. CUIDADO Y ALMACENAMIENTO DE LOS HUEVOS**

Muchas veces un productor atiende cuidadosamente el proceso de incubación, pero no tiene en cuenta el cuidado de los huevos antes de colocarlos en la incubadora. Incluso antes de que empiece la incubación, el embrión está desarrollando y tiene necesidad del cuidado adecuado. Si no se atienden apropiadamente los huevos fértiles, se puede tener un menor porcentaje de natalidad.

A continuación, damos consejos para ayudar a mantener la calidad de los huevos fértiles.

- Recoger los huevos por lo menos tres veces al día. Cuando las temperaturas diarias superan los 85°F (29°C) incremente la recolección de huevos a cinco veces al día. Recoja dos o tres veces en la mañana y una o dos veces en la tarde.
- Se pueden utilizar para incubar los huevos ligeramente sucios sin causar problemas de incubación, pero no se deben guardar los huevos sucios. No lave los huevos sucios.
- Las posibilidades de incubación se mantienen razonablemente bien hasta 7 días, pero después baja rápidamente. Por lo tanto, no almacene los huevos más de 7 días antes de incubarlos. Después de 3 semanas de almacenamiento, la incubabilidad cae a casi cero. Planee con anticipación y tenga un horario regular de incubación para evitar problemas de almacenamiento y una menor eclosión.
- Permita que los huevos frescos se calienten lentamente a temperatura ambiente antes de colocarlos en la incubadora. El calentarlos abruptamente de 55° a 100° F (de 12° a 37°C) provoca la condensación de humedad en la cáscara del huevo, lo cual conduce a enfermedades y reduce la eclosión.

## **1.4. FACTORES DE INCUBACIÓN**

### **1.4.1. Humedad**

La humedad es un factor importante en la incubación pues los huevos también son altamente susceptibles a cualquier cambio en este parámetro. Se debe hacer vigilancia constante de la humedad y corregir lo más rápido posible a través de la aspersión de agua. Ocasionalmente se utilizan desinfectantes en esta agua para realizar una desinfección de los huevos cuando es oportuno. El huevo pierde hasta un 10% de agua en el día 18 como parte del proceso de incubación. La humedad ambiental también tiene participación en este mecanismo.

(Cobb - Vantress, 2013) afirma: “La configuración más habitual para huevos de gallinas es tener una humedad del 53% durante el modo de incubación y de un 70% en el modo de nacimiento”.

Una falta de humedad o una humedad baja, es ver que el embrión está como pegajoso cuando pica el cascarón y nace, esto resulta normalmente en pollos incapaces de girarse por sí mismos dentro de su cascarón y poder así, concluir el proceso de rotura de esta cascara para desprenderse de ella y nacer. Una baja humedad también podría influir claramente en polluelos demasiado pequeños, pollos con malformaciones, pollitos débiles o mal posicionados dentro de su huevo produciendo un nacimiento fallido o complejo. Esto fue debido a que el huevo perdió mucha agua y se deshidrató.

Por lo contrario, tener una humedad alta, también podría afectar a nuestras eclosiones, con ojos demasiado grandes, con el cuerpo muy suave y pegajoso, debido a que estos no se oxigenaron lo suficiente, lo que producirá asfixia, o bien intoxicación al no poder eliminar el dióxido de carbono.

En resumen, un exceso de humedad ocasionará que nazcan pollitos blandos y débiles; mientras una falta de humedad ocasionará que nazcan pollitos adheridos a la cáscara.

### **1.4.2. Temperatura**

La temperatura de incubación es un factor crítico para el éxito del proceso, pues existe una clara relación entre dicha temperatura, los índices de eclosión y la calidad del pollito.

Por lo general, pequeñas fluctuaciones respecto a la consigna ideal no suelen afectar, siempre que no persistan demasiado tiempo, ya que, la temperatura en el interior del huevo cambia más lentamente que la del aire dentro de la incubadora.

Sin embargo, una temperatura baja constante dará lugar a un retraso de la eclosión y a una reducción en el porcentaje de eclosionados, con pollitos de mayor tamaño, pero con cuerpos más blandos y débiles. Por el contrario, una temperatura excesiva resultará en una eclosión temprana, con pollitos de menor tamaño, con ombligos mal cerrados y mayor incidencia de malformaciones y debilidad. En general, es más nocivo un exceso de temperatura, que un déficit.

(Romanini, 2022). “Para que la incubación de huevos de gallina reproductora tenga éxito, es bien sabido que la temperatura ideal de la cáscara debe ser de 100,0°F (37,8°C)”.

En el centro de desarrollo de productos Aviagen en los EE.UU. se realizó un experimento para investigar el efecto de las altas temperaturas de la cáscara (durante la fase media y final de la incubación) sobre la incubabilidad, la calidad del pollo, saco vitelino, corazón, órganos digestivos y el rendimiento del pollo.

En el experimento se valoraron tres tratamientos.

La temperatura de la cáscara del huevo se midió utilizando Gemini, que registraba los datos y por medio de un sistema inalámbrico se podía consultar en tiempo real. Posteriormente se modificaban las condiciones de la incubadora para mantener la temperatura deseada en la cáscara del huevo.

Desde la incubación hasta la fase E10 todos los huevos se mantuvieron con la misma temperatura de la cáscara, a 100,00 °F (37,8 °C). El tratamiento 1 fue el control, donde la temperatura de la cáscara fue de 100 °F (37,8 °C) durante toda la transferencia. En el tratamiento 2 se fijó una temperatura de la cáscara de 101,5 °F (38,1 °C) y en el tratamiento 3 de 103,0 °F (39,4 °C) desde el día 11 hasta la transferencia.

Los huevos incubables utilizados en cada tratamiento procedían de un rebaño de 39 semanas de edad, sumando en total unos 1,815 pollos Ross 308. Se registraron los datos referentes a la ventana de nacimiento y al índice de eclosión. Se evaluó la calidad de los pollitos después de la transferencia y la calidad de los polluelos a los 53 días.

El tratamiento a 100,0 °F (37,8 °C) de temperatura de la cascara durante todo el periodo de incubación trajo consigo una mayor tasa de eclosión, un mayor porcentaje de pollitos de primera calidad, un mayor peso corporal en la sacada del pollito, los pollitos en el tratamiento con el control de incubación tenían más grandes los corazones, la molleja y el intestino delgado; así como un mayor porcentaje de la masa corporal libre de yema que aquellos pollitos que se incubaron en los dos tratamientos donde las temperaturas eran más altas. Los polluelos que fueron incubados con una temperatura en la cascara constante de 100,0 °F (37,8 °C) durante toda la incubación tuvieron menos corvejones rojos, menor incidencia de mala cicatrización de los ombligos, menor peso de la yema residual, mayor supervivencia y un alto peso corporal a los 53 días en comparación con aquellos pollitos sometidos a tratamientos de incubación con altas temperaturas.

### **1.4.3. Ventilación**

Ya que el embrión en desarrollo recibe oxígeno de la atmósfera y libera dióxido de carbono, debe incorporarse a la incubadora la capacidad de ventilación. Mientras más huevos haya en el compartimiento de la incubadora y más viejo sea el embrión, más oxígeno se va a requerir.

La ventilación en una incubadora tiene los objetivos de homogenizar la temperatura del aire, y renovar el aire constantemente. Es por ello que el ventilador de una incubadora debe de permanecer encendido todo el tiempo.

La falta de ventilación produce pollitos débiles y blandos que tienen gran dificultad para salir del cascarón.

(Castillo, 2010) enumeran ciertos consejos para una buena ventilación:

- Aumentar la ventilación cuando los embriones estén en etapas avanzadas de desarrollo.
- Asegurarse de que la ventilación de entrada y de salida para la máquina sea la misma.
- Prestar tanta atención a la apropiada ventilación, como a la temperatura y a la humedad.
- Asegurarse de que se está eliminando el aire viciado, especialmente en cuartos pequeños o cerrados, de manera que la máquina pueda tomar aire limpio y fresco.

#### **1.4.4. Volteo**

Los huevos se pueden voltear varias veces al día para obtener una mejor incubabilidad. Esto va a garantizar que no se pegue el embrión al cascarón. Los huevos se deben de voltear al menos cuatro veces durante un periodo de 24 horas, claro está que lo óptimo sería con una frecuencia de volteo cada hora.

Se realizó un estudio completo en Avicase Incubadoras (2022) en los que se utilizaron las siguientes condiciones: Se utilizó una bandeja con huevos de control que se dejaron sin volteo y en otra bandeja se colocaron los huevos que tendrían un volteo cada hora.

Con los datos del estudio se llegó a las siguientes conclusiones: Los huevos que no tuvieron ningún volteo consiguieron 47% de eclosiones, mientras los que tuvieron 24 volteos por día obtuvieron un 88% de eclosiones.

Los huevos se deben de voltear en un plano de 90° lo más suavemente posible (45° a un lado y 45° al otro lado). El volteo se debe continuar hasta tres días antes del nacimiento, después de esto el volteo no va a tener efecto sobre los nacimientos.

El desarrollo de los embriones transcurre normalmente sólo cuando los huevos son volteados periódicamente durante los primeros 18 días de incubación. El huevo pierde agua durante todo el periodo de incubación, es decir, sufre un proceso de desecamiento. Por este motivo, el embrión está expuesto a pegarse a las membranas

internas de la cáscara, lo que puede provocar su muerte, en particular durante los primeros seis días de incubación.

¿Porque es necesario el volteo para una buena incubación?

(Castillo, 2010) “en general, la necesidad de volteo empieza desde que el huevo es puesto en la incubadora, hasta 3 días antes de que el pollo empiece a picar. Tiras de albúmina (clara), enredadas entre sí, se extienden desde la yema, entre la clara y hasta los dos extremos del huevo. Estas tiras, llamadas chalaza, ayudan a mantener la yema en el centro del huevo. Al introducirlo en un ambiente de 37.8°C en la incubadora, la albúmina comienza a hacerse más acuosa, la chalaza pierde su capacidad de mantener la yema en su lugar y la yema flota en la clara. La albúmina del huevo no contiene partículas de grasa y cuenta con un peso específico muy cercano al del agua. La yema, por el contrario, tiene un contenido relativamente alto de grasa. Grasas y aceites tienen pesos específicos menores al del agua y flotan en ella. La yema tiende a hacer lo mismo, flota en la clara. Si el huevo es dejado en una misma posición, la yema tiende a flotar en la clara y se pega al cascarón”.

El peso específico del embrión lo lleva a mantenerse en la parte superior de la yema, durante los primeros días, por debajo y muy cercano a la cáscara. El embrión en desarrollo siempre se encuentra en la superficie más elevada de la yema. Cuando el huevo es volteado, la yema gira en la albúmina y el embrión se posiciona de nuevo en la parte superior. La naturaleza hace esto para que el embrión esté siempre en la mejor posición para recibir calor de su madre. Si el huevo no es volteado, la yema tiende a flotar y empuja al embrión contra el cascarón, lo que ocasiona su daño o muerte. A partir del tercer día de incubación los huevos deben ser volteados para impedir que la yema se adhiera a las membranas, lo que daría lugar, en los primeros días de incubación a un deficiente desarrollo de la zona vascular.

Por otra parte, el volteo contribuye a homogeneizar la temperatura. El volteo nunca se debe llevar a cabo en una sola dirección ya que ello puede provocar alteraciones de la membrana corioalantoidea y de otras estructuras internas del huevo. Los huevos no deben voltearse más cuando falten de 3 días para el nacimiento de los pollos. Estos

necesitan posicionarse dentro del huevo para poder picar el cascarón y lo hacen mejor si están quietos cuando este proceso tiene lugar. Para este momento, el embrión es lo suficientemente grande y ha consumido la mayor parte de la yema, por lo que ya no corre peligro de ser aplastado entre la yema y el cascarón.

## **1.5. TIPOS DE INCUBADORAS PARA HUEVOS DE GALLINA**

Las incubadoras para huevos de gallinas están clasificadas dentro de las incubadoras para aves y pueden ser:

### **1.5.1. Según el tamaño**

- Incubadoras pequeñas: capacidad para 20 huevos. Especiales para usar en casa y tener tu propia producción de pollitos.
- Incubadoras industriales: las incubadoras industriales son las que se utilizan en granjas de producción masiva de pollos. Pueden albergar hasta 5000 huevos en un solo lote.

### **1.5.2. Según el tipo de ventilación**

- Incubadoras de ventilación estática: son de ventilación natural generalmente pequeñas. Sin ventiladores para la circulación del aire.
- Incubadoras de ventilación forzada: tienen ventiladores que proporcionan la circulación de aire interna. La capacidad de estas unidades puede ser muy grande.

### **1.5.3. Según la característica de funcionamiento**

- Incubadoras manuales: Los procesos se realizan de manera manual, necesitan de más atención y tiempo por parte de las personas, ya que, de forma constante hay que estar revisando los parámetros como la temperatura, humedad y ventilación. Del mismo modo, se debe ir volteando manualmente los huevos a lo largo del día.
- Incubadoras semiautomáticas: Con las incubadoras de huevos semiautomáticas, aún necesita girar los huevos manualmente, pero puede girarlos todos al mismo tiempo. De hecho, las incubadoras semiautomáticas

están equipadas con una barra de tracción que le permite girar la base de la incubadora y girar todos los huevos al mismo tiempo.

- Incubadoras automáticas: Las incubadoras de huevos automáticas cuentan con una bandeja de volteo automático, es decir, el proceso de volteo se realiza de manera automáticas y simultaneas.

## **1.6. TIPOS DE SENSORES A UTILIZAR EN EL PROYECTO**

### **1.6.1. Medidores de temperaturas**

Los sensores de temperatura son componentes eléctricos y electrónicos que, en calidad de sensores, permiten medir la temperatura mediante una señal eléctrica determinada. Dicha señal puede enviarse directamente o mediante el cambio de la resistencia. También se denominan sensores de calor o termo sensores.

- Termistor: Están compuestos de materiales semiconductores cuya resistencia a la temperatura varía dependiendo de los grados de la misma. Sus electrodos internos detectan el calor, midiéndolo por impulsos eléctricos. Los termistores se clasifican según su funcionamiento:
- Termistor NTC: La utilización de un sensor de temperatura NTC está especialmente indicada en amplios rangos de temperaturas. A más temperatura, menos resistencia. Suelen estar hechos de magnesio, cobre, níquel o cobalto.
- Termistor PTC: Estos sensores están indicados para cambios drásticos en la resistencia y la temperatura que se desea controlar. En este caso, a mayor temperatura, mayor será la resistencia. Están construidos principalmente en titanio de bario.
- RTD: Estos son sensores de temperatura resistivos. En ellos se aprovecha el efecto que tiene la temperatura en la conducción de los electrones para que, ante un aumento de temperatura, haya un aumento de la resistencia eléctrica que presentan.
- Termocupla: Las termocuplas o termopares consisten esencialmente en dos tiras o alambres hechos de metales diferentes y unidos en un extremo. Los cambios en la temperatura en esa junta inducen un cambio en la fuerza

electromotriz (FEM) entre los otros extremos. A medida que la temperatura sube, esta FEM de salida del termopar aumenta, aunque no necesariamente en forma lineal.

- **Sensor IC:** Un sensor de temperatura basado en semiconductores se coloca en los circuitos integrados (IC). Estos sensores son efectivamente dos diodos idénticos con voltaje sensible a la temperatura que se pueden usar para controlar los cambios de temperatura.

**Tabla 1.6.1.1**

*Tipos de sensores electrónicos.*

Característica	Termistor	RTD	Termocupla	Sensor IC
Rango de temperatura	-100 a +500°C	-250 a +750°C	-200 a >+2000°C	-55 a +200°C
Linealidad	Mala	Buena	Regular	Excelente
Precisión	Depende de la calibración	Excelente	Buena	Buena
Sensibilidad	Excelente	Regular	Mala	Buena
Consumo de energía	Alto	Alto	Bajo a alto	Bajo
Circuito externo	Simple a menos que sea de alta precisión	Complejo	Complejo	Simple

### 1.6.2. Medidores de humedad

Primeramente, es importante definir lo que es humedad, este es un fenómeno natural que se presenta a nivel molecular y está relacionada con la cantidad de moléculas de agua presentes en una determina sustancia o área, la podemos encontrar en estado sólido o gaseoso.

Los medidores de humedad miden el nivel de líquido o la humedad relativa en un área dada, permiten controlar la humedad del aire y la temperatura. Las magnitudes medidas por el sensor de humedad se transforman en una señal eléctrica (varía dependiendo de cada sensor – verificar hoja de datos del componente).

## Tipos de sensores de humedad

- **Higrómetro:** sirven para medir la humedad presente en el ambiente y expresarla de forma analógica, es decir, mediante una esfera con aguja. Los hay de bulbo seco, de bulbo húmedo, mecánicos, etc.
- **Termohigrómetros:** son medidores de temperatura y humedad. Cuentan con una serie de sensores eléctricos en su interior sensibles al calor y al frío y a la presencia de vapor de agua en el ambiente. Muestran los resultados en una pantalla digital grande. Suelen colocarse en la pared de habitaciones, salones y terrazas.
- **Psicrómetro:** es una evolución del higrómetro. Se usa en meteorología y es extremadamente preciso. Consta de dos termómetros, uno expuesto al aire ambiental y otro de bulbo húmedo. Es difícil de usar ya que requiere de usar tablas y gráficos para, posteriormente, convertir los resultados en datos fiables.
- **Circuitos integrados:** Es un sensor de humedad integrado de precisión, cuya tensión de salida es linealmente proporcional a la humedad relativa en porcentaje.

**Tabla 1.6.2.1**  
*Tipos de medidores electrónicos.*

Característica	Higrómetro	Termohigrómetro	Psicómetro	Circuito integrado
Rango de temperatura	-50 a 100 °C	-50 a 70°C	-30 a 100°C	-40 a 85°C
Rango de humedad	0 a 100%	25 a 95%	0 a 100%	0 a 100%
Precisión de temperatura	±1 °C	±1 °C	±0.5 °C	< ±0.5°C
Precisión de humedad	±3%R.H	± 3 R.H	±2.5 R.H	3.5% R.H
Resolución de temperatura	0.1°C	1°C	0.01°C	0.1°C
Resolución de humedad	0.1% R.H	1%R.H	0.01% R.H	0.1% R.H

## **1.7. INTERNET OF THINGS (IOT)**

En la actualidad el internet de las cosas ha revolucionado el mundo, a tal punto que se usa más en la actualidad, de hecho, no son pocos los fabricantes que lanzan al mercado dispositivos orientados a esto. El concepto de internet de las cosas es bastante sencillo, para entenderse mejor, se tiene que definir el concepto de internet, que es una red de interconexión entre los diferentes ordenadores en el mundo. Entonces, el internet de las cosas es una red de interconexión digital entre dispositivos, personas y la propia Internet que permite el intercambio de datos entre ellos, permitiendo que se pueda capturar información clave sobre el uso, el rendimiento de los dispositivos, los objetos para detectar patrones y crear mejores experiencias para los usuarios.

Así, el Internet de las cosas es algo así como un concepto intangible, es la conexión por ejemplo entre tu smartphone y los dispositivos Smart que tienes en casa para controlar la iluminación o el aire acondicionado, es una Raspberry Pi que controla la programación de tu televisor, o es un robot aspirador que configuras desde tu teléfono móvil para que te limpie la casa automáticamente cuando no estás.

A nivel nacional las estadísticas de TELCOR evidencian que el 70 por ciento de la población cuenta con una conexión móvil a internet. (TELCOR, 2023) afirma: “de las 7.03 millones de líneas de telefonía móvil activas, 4.79 millones tienen registrada una conexión móvil a internet, se tienen registrados 374,500 usuarios con internet fijo o domiciliar, incluyendo sector empresarial, en las instituciones del estado de Nicaragua, ENATREL es el principal proveedor”. Lamentablemente, TELCOR (Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos) no suele desglosar públicamente los datos de conectividad de Internet específicamente por zonas urbanas y rurales en sus informes anuales.

### **1.7.1. Vínculo del sector avícola e IoT**

El Internet de las Cosas (IoT) está comenzando a tener un impacto significativo en diversas industrias, incluyendo la avicultura en Nicaragua. El sector avícola, que involucra la producción de carne y huevos de ave, se enfrenta a retos relacionados con la eficiencia en la gestión de recursos, el control de enfermedades, la mejora de la producción y la optimización de la cadena de suministro.

La IoT es una tecnología innovadora para la avicultura que puede transformar una granja tradicional en una granja avícola automatizada, por ejemplo: notificar al avicultor sobre cualquier problema en tiempo real, integrar todos tus datos en una herramienta de gestión, capturar automáticamente datos de los sensores, monitorear un sistema, etc. La IoT tiene el potencial de mejorar sustancialmente el sector avícola en Nicaragua, optimizando la producción, reduciendo costos, mejorando la calidad de los productos y aumentando la competitividad en los mercados locales e internacionales. Sin embargo, para que su implementación sea exitosa, es crucial abordar los desafíos relacionados con el costo, la conectividad y la capacitación, y fomentar políticas que promuevan la adopción de estas tecnologías en el sector.

## **CAPÍTULO II: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **2.1. CÁLCULO PARA EL VALOR DE LA RESISTENCIA CALEFACTORA AMBIENTAL**

La resistencia calefactora o resistencia térmica es un dispositivo que produce calor, y se utiliza para regular la temperatura relativa e impedir que la temperatura descienda por debajo del punto que se establece. En este caso cumplirá la función de mantener la incubadora en una temperatura óptima para la eclosión de los huevos de gallina. Para este caso, se tomarán una serie de consideraciones:

1. Energía requerida para calentar el aire dentro del sistema de incubación para mantener una temperatura que oscila entre 24°C y 37.8°C.
2. Energía requerida para el desarrollo del huevo antes de su eclosión.
3. Pérdida de energía a través de las paredes.

A continuación, se mostrará los cálculos de los valores previamente mencionados para determinar el valor de la resistencia calefactora ambiental.

#### **2.1.1. Energía requerida dentro del sistema de incubación**

$$Q = mc\Delta T \text{ (Ec. 1) Ecuación de la calorimetría}$$

Donde:

$Q$  = es el símbolo de la transferencia de calor (cantidad de calor).

$m$  = es la masa de la sustancia.

$c$  = es la representación del calor (capacidad calorífica específica).

$\Delta T$  = es el cambio de temperatura ( $T_2 - T_1$ )

Considerando que la temperatura ambiental oscila entre 24°C y 34°C (297.15°K y 307.15°K), tomaremos como punto medio 29°C (302.15°K) como temperatura

ambiental promedio, esta tendrá el valor de  $T_1$ , mientras  $T_2$  es la temperatura final del aire (temperatura óptima para que el huevo eclosione correctamente) que es de  $37.8\text{ }^\circ\text{C}$  ( $310.95\text{ }^\circ\text{K}$ ).

El valor de "C" que es el calor específico a volumen constante del aire es de  $C = 718 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{Kg}}$

El valor de m (masa) se determinará a través de la ecuación de la densidad absoluta

$$p = \frac{m}{V} \text{ (Ec. 2) Ecuación de la densidad absoluta}$$

Donde:

$p = \text{Densidad}$

$m = \text{masa}$

$V = \text{volumen de la sustancia}$

Despejando el valor de la masa nos queda de la siguiente manera:

$$m = p \cdot V \text{ (Ec. 3) Ecuación de la densidad absoluta}$$

El valor de p se determina a través de las diferentes densidades presentadas en el ambiente.

**Tabla 2.1.1.1**  
*Densidad según el ambiente*

Substancia	Densidad (kg/m3)	Substancia	Densidad (kg/m3)
Aceite	0.92	Grafito	1.900-2.200
Aceite de oliva	0.92	Grafito	2.510-3.050
Aceros	6.920-9.130	Helio	0,18
Acetona	0.79	Hielo de agua	0.92
Agua (20°C)	0.998	Hierro	7.87
Agua (4°C)	1	Hormigón	2.4
Agua de mar	1.027	Iridio	22.5
Aire (37.8 °C)	1.136	Latón	8.6
Alabastro	2.300-2.800	Leche	1.03
Alcohol etílico	0.78	Litio	0.534
Aleaciones de cobre	7.470-8.940	Luna	3.34
Aleaciones de titanio	4.430-4.700	Madera (balsa)	0.12
Aluminio	2.7	Madera (cedro)	0.57
Arena fina seca	1.400-1.650	Madera (Cerezo)	0.760-0.840
Basalto	2.700-3.200	Madera (ébano)	1.26
Benceno	0.9	Madera (Encina)	0.690-1.030
Caliza	2.460-2.840	Madera (Haya)	0.660-0.830
Carbono	2.26	Madera (Manzano)	0.660-0.840
Caucho	0.95	Madera (Nogal)	600-810
Cemento	0.820-1.950	Madera (Olmo)	0.560-0.820
Cerámicos	2.300-5.500	Madera (pino)	0.310-0.760
Cinc	7.14	Madera (Roble)	0.710-1.070
Cloroformo	1.475	Madera (varias)	0.400-0.700
Cobalto	8.9	Magnesio	1.74
Cobre	8.94	Mármol ordinario	2.520-2.850
Cobre	8.9	Mercurio	13.58
Cuarzo	2.500-2.800	Metanol	0.79
Cuerpo humano	0.95	Nieve compactada	0.3
Diamante	3.515	Níquel	8.9
Estaño	7.31	Oro	19.3
Etanol de 96°	0.81	Osmio	2.261
Gasolina	0.680-0.700	Plasma sanguíneo (37°C)	1.027
Glicerina	1.261	Plásticos	0.900-2.000

El valor de V son las dimensiones del recinto de la incubadora las cuales viene determinado de la siguiente formula  $V=A.B.H$ , donde A es el largo, B es el ancho y H es la altura

$$V = 0.76m * 0.83m * 0.5m = 0.3154m^3$$

Conociendo el valor de V, procedemos a determinar m (masa) y la ecuación quedando de la siguiente manera:

$$m = \rho \cdot V = \left(1.1360 \frac{kg}{m^3}\right) \times (0.3154m^3) = 0.3583kg$$

Conociendo la masa se procede a calcular la energía requerida para calentar el aire:

$$Q = m * (T_2 - T_1) * C = 0.3583kg * (310.95^\circ K - 302.15^\circ K) * \left(718 \frac{J}{K * Kg}\right) \\ = 2,263.88 J$$

El tiempo total del calentamiento del aire no debe ser tan brusco, ya que el choque térmico sobre los huevos puede dañarlos, razón por la cual el tiempo total de calentamiento debe ser alrededor de una hora, entonces:

$$Tiempo\ total = 3,600\ s$$

$$Q = 2,263.88 J$$

Por lo tanto, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$Potencia\ requerida = \frac{Q}{t} = \frac{2,263\ J}{3600\ s} = 0.63\ W$$

### 2.1.2. Energía requerida por los huevos de gallina

Para calcular la energía requerida por los huevos, se ocupará la ecuación de calor específico, aproximando “C” que es el calor específico a volumen constante del huevo a el calor específico a presión constante del agua:  $C = 4.18 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C}$

Para el caso de “m” según Jiménez y Veloza (2008) explican que el huevo es 72% agua, por lo tanto, la incubadora tendrá una capacidad de 210 huevos, con un peso aproximado de 70g, siendo un peso total de 14.7Kg.

En el caso de la variación de temperatura, tomaremos como punto medio 29°C (302.15°K) como temperatura ambiental promedio, esta tendrá el valor de  $T_1$ , mientras  $T_2$  es la temperatura final del aire (temperatura óptima para que el huevo eclosione correctamente) que es de 37.8 °C (310.95°K).

$$Q = m * (T_2 - T_1) * C = 14.7 \text{ kg} * (310.95^\circ K - 302.15^\circ K) * \left(4.18 \frac{KJ}{K * Kg}\right) = 540.72 \text{ KJ}$$

Finalmente, para que los huevos alcancen los 37.8°C deben ser lo suficientemente grandes para evitar efectos nocivos de un cambio brusco de temperatura, por lo tanto, los huevos alcanzan el equilibrio térmico después de 1 horas (3,600 s)

$$Tiempo \text{ total} = 3,600 \text{ s}$$

$$Q = 540.72 \text{ KJ}$$

Por lo tanto, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$Potencia \text{ requerida} = \frac{Q}{t} = \frac{540.72 \text{ KJ}}{3,600 \text{ s}} = 150 \text{ W}$$

### 2.1.3. Energía perdida a través de las paredes

La energía que se pierde o disipa a través de las paredes viene dada por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{T_2 - T_1}{\frac{1}{h_1 * A} + \frac{e_1}{K_1 * A} + \frac{e_2}{K_2 * A} + \frac{e_1}{K_3 * A} + \frac{1}{h_2 * A}} \text{ (Watts)}$$

Donde,

$$T_1 = 29^\circ\text{C} = 302.15^\circ\text{K} \text{ (Temperatura promedio)}$$

$$T_2 = 37.8^\circ\text{C} = 310.95^\circ\text{K} \text{ (Temperatura adecuada dentro de la incubadora)}$$

$$h_1 = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \text{ (coeficiente de conveccion externo)}$$

$$h_2 = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \text{ (coeficiente de conveccion interno)}$$

$$e_1 = 0.8 \text{ mm} = 0.0008\text{m} \text{ (espesor de la lamina de acero)}$$

$$e_2 = 1" = 0.0254\text{m} \text{ (espesor de aislamiento)}$$

$$K_1 = 106 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}} \text{ (conductividad termica del zinc)}$$

$$K_2 = 0.024 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}} \text{ (conductividad termica del aire)}$$

$$A = 0.63\text{m}^2 \text{ (Area de una cara lateral externa)}$$

Sustituyendo todos los valores en la ecuación, quedaría de la siguiente forma:

$$P = \frac{310.95^\circ\text{K} - 302.15^\circ\text{K}}{\frac{1}{\left(10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right) (0.63\text{m}^2)} + 2 \left( \frac{0.0008\text{m}}{\left(106 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}\right) (0.63\text{m}^2)} \right) + \frac{0.0254\text{m}}{\left(0.024 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}\right) (0.63\text{m}^2)} + \frac{1}{\left(20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right) (0.63\text{m}^2)}}$$

$$P = 4.82 \text{ W}$$

Sumando todas las paredes dentro de la cabina de la incubadora sería:  $4.82W * 4 = 9.28W$  (Calor que se pierde en todas las paredes de la incubadora).

Para calcular la potencia perdida debido al material del que está compuesta la puerta frontal se utiliza la siguiente ecuación, tomando en consideración el área de la puerta de vidrio de la incubadora:  $A= 0.25m*0.20m=0.05m^2$ , con un grosor de 3mm (0.003m).

$$P = \frac{T_2 - T_1}{\frac{1}{h_1 * A} + \frac{e_1}{K_1 * A} + \frac{1}{h_2 * A}} (Watts)$$

$$P = \frac{310.95^\circ K - 302.15^\circ K}{\frac{1}{\left(10 \frac{W}{m^2 \circ K}\right) (0.05m^2)} + \frac{0.003m}{\left(1 \frac{W}{m \circ K}\right) (0.05m^2)} + \frac{1}{\left(20 \frac{W}{m^2 \circ K}\right) (0.05m^2)}}$$

$$P = 2.88 W$$

Por lo tanto, el calor perdido a través de las paredes laterales de la incubadora y la puerta de vidrio es la suma de ambas:

$$P = 19.28 + 2.88 = 22.16W$$

En conclusión, el requerimiento energético optimo es la suma de las potencias calculadas anteriormente, es decir:

$$P_{total} = 0.63W + 150W + 22.16W = 172.8W$$

Dicho esto, cualquier resistencia por encima de este valor, funcionará para calentar y mantener en óptimas condiciones los huevos de gallina dentro de la incubadora, siempre y cuando se mantenga dentro del rango de temperatura.

## 2.2. CÁLCULO PARA EL VALOR DE LA RESISTENCIA CALEFACTORA SUMERGIBLE

Para este caso, es necesario saber que se necesita un aporte de energía para que el agua pase en su estado gaseoso, este valor, es el que calcularemos. De esta manera, se determinará cual es el valor mínimo que debe tener como característica la resistencia calefactora sumergible.

La ecuación es:

$$Q = m * \Delta h \text{ (Ec. 4) Fórmula del calor específico}$$

Donde:

$m$  = masa de agua en el recipiente (27litros=27kg)

$\Delta h = h_2 - h_1$  = Cambio de entalpía del agua

$$h_1 = 2416.6 \frac{KJ}{Kg} = 30^\circ C \text{ (entalpía del agua a } 30^\circ C)$$

$$h_2 = 2448.4 \frac{KJ}{Kg} = 45^\circ C \text{ (entalpía del agua a } 45^\circ C)$$

Sustituyendo los valores dentro de la ecuación:

$$Q = (27Kg) \left( 2448.4 \frac{KJ}{Kg} - 2416.6 \frac{KJ}{Kg} \right) = 858KJ$$

Por lo tanto, la potencia para calentar el agua es de:

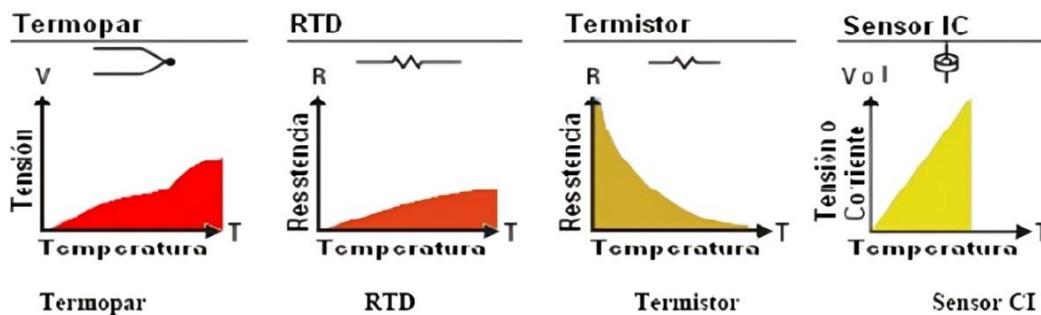
$$\text{Potencia requerida} = \frac{Q}{t} = \frac{858KJ}{21,600 s} = 40W$$

La potencia requerida para que el agua se caliente y realice el proceso de humidificación debe ser de 40W.

## 2.3. DETERMINACIÓN DE SENSORES

### 2.3.1. Comparación entre sensores de temperatura

Para medir la temperatura dentro del sistema de incubación, se debe elegir un sensor de temperatura óptimo para el sistema, para el caso del proyecto, se evaluaron los siguientes sensores de temperaturas:



**Figura 2.3.1.1**

*Linealidad de diferentes tipos de sensores de temperatura.*

En la figura 1 se observa una gráfica detallada, que muestra la linealidad de cada uno de los sensores de temperaturas, dichos sensores se comportan de una manera distinta, a tal punto que unos llegan a ser mejores que otros, por ejemplo: el que mostró mayor linealidad fue el sensor IC, en cambio el más inestable fue el termistor.

Para determinar qué tipo de sensor de temperatura se debe utilizar en un proyecto, debe evaluarse el uso que se le dará; en el caso del proyecto de la incubadora de huevos de gallinas, se evaluarán los siguientes parámetros mostrados en la tabla 4.

**Tabla 2.3.1.1***Comparación entre diferentes sensores de temperatura.*

<b>Criterio</b>	<b>Termopar</b>	<b>RTD</b>	<b>Termistor</b>	<b>Sensor de IC</b>
<b>Rango de temperatura</b>	Muy amplio -270°C +1800°C	Amplio -260°C +850°C	Estrecho -80°C +150°C	Estrecho -55°C +150°C
<b>Linealidad</b>	Medio	Alto	Bajo	Mas alto
<b>Precisión</b>	Medio	Mas alto	Medio	Alto
<b>Sensibilidad</b>	Bajo	Medio	Mas alto	Alto
<b>Estabilidad</b>	Bajo	Alto	Medio	Alto
<b>Repetibilidad</b>	Medio	Alto	Medio	Bajo
<b>Consumo de energía</b>	Medio	Alto	Alto	Mas bajo
<b>Circuito</b>	Alto	Alto	Medio	Bajo
<b>Susceptibilidad al ruido</b>	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
<b>Coste del sensor</b>	Bajo	Medio	Bajo	Bajo
<b>Coste del sistema</b>	Alto	Medio	Medio	Bajo

Después de haber evaluado cada uno de los parámetros de los diferentes tipos de sensores de temperaturas se llegó a la conclusión que la mejor opción es el sensor de IC, debido a que se encuentra en el rango óptimo de temperatura de trabajo, además posee la mejor linealidad comparado a los demás sensores, posee una alta precisión, el cual es fundamental para este proyecto, además, es muy estable, y no consume demasiada corriente en comparación a sus semejantes, y como último punto, es de muy bajo costo. Con cada uno de eso parámetros evaluados, se llegó a la conclusión que el sensor de temperatura IC es la mejor opción para el uso en la incubadora de huevos de gallinas.

Ahora bien, hay una gran variedad de estos sensores de temperaturas en circuitos integrados, los hay en analógicos (su salida puede ser voltaje, corriente o resistencia) y hay en digitales (baja potencia). Mostrando la tabla a continuación, se evaluó una comparación de las diferentes características de los sensores de temperatura en circuitos integrados más utilizados para esta área.

**Tabla 2.3.1.2**

*Comparación de características sensores de temperatura.*

Características	LM34	LM35	TMP36	DS18B20	DHT22
<b>Voltaje de operación</b>	5V a 30V	4V a 30V	2,7V a 5,5V	3V a 5,5V	3V a 6V
<b>Rangos de temperaturas</b>	-45° C a 148° C	-55° C a 150° C	-40° C a 150° C	-55°C a +125°C	-40° C a 125° C
<b>Linealidad</b>	Si	Si	Si	Si	
<b>Precisión</b>	±4°F (-20°C a 120°C)	±0,5° C (-10° C a 85° C)	± 2° C (-40° C a 125° C)	±0,5° C (-10° C a 85° C)	<±0.5 °C
<b>Costo</b>	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
<b>Calibración directa en grados centígrado</b>	No	Si	Si	Si	Si

Según los datos recopilados en la tabla 5 se llegó a la conclusión que tanto el LM35, el DS18B20 y el DHT22 son sensores de temperatura bastante precisos, son lineales, pero la principal diferencia entre estos sensores es que el LM35 es de señal analógica, mientras el DS18B20 y el DHT22 son de señal digital.

Al comparar las características y comportamientos de los sensores de temperatura, se puede concluir, que el sensor DHT22 tiene una mayor precisión y sensibilidad ante la temperatura en distintos medios, en cambio el sensor LM35 puede presentar datos

menos precisos y con un mayor tiempo para lograr la estabilización ante cambios repentinos de la temperatura.

Algunas ventajas de la utilización del sensor LM35 es que tiene un precio mucho menor que el DS18B20 o el DHT22, y la conexión es fácil y rápida, en el sensor DHT22 es necesario hacer un pequeño circuito con una resistencia y descargar una librería, en cuestión de código, para que pueda funcionar, pero su principal ventaja ante los demás es su precisión y la incorporación de un sensor de humedad.

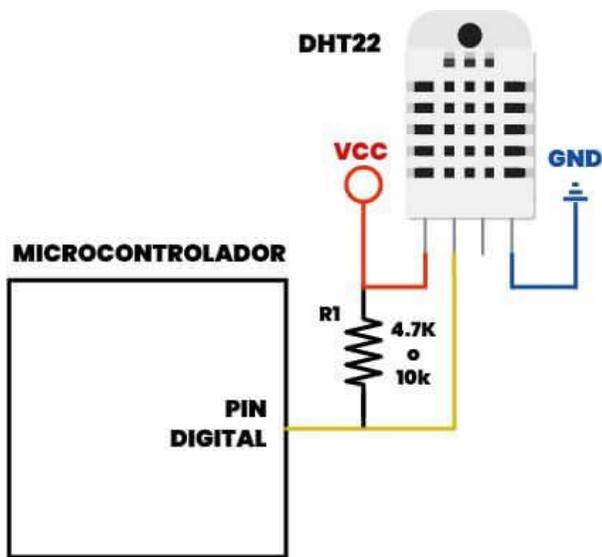
Para aplicaciones rápidas y donde no haya cambios repentinos de la temperatura, un sensor LM35 es un buen indicador cumpliendo con lo que se requiera sin tanto rigor.

Como conclusión, el circuito integrado que se utilizará es el DHT22, debido a sus características de linealidad, precisión, fácil manejo, de tamaño reducido y de cómoda instalación, además de la facilidad de conexión con algún microcontrolador.

EL DHT22 es un sensor digital enfocado a medir temperatura y humedad relativa. Es un sensor de bajo costo y con buen rendimiento, con el que se ayudará a crear diferentes proyectos de control y monitoreo de temperatura y humedad. Entre sus aplicaciones podemos encontrar termómetros, termostatos, sistemas de monitoreo y en este caso, servirá para medir la temperatura y la humedad dentro de la incubadora.

Para conectar este sensor solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3.3V o 5V, el pin GND a Tierra (0V), conectar una resistencia en modo Pull-up, entre el pin de Datos – VCC y el pin de datos conectar a un pin digital, es compatible con las placas de ESP32 / Raspberry Pi / Nodemcu o de cualquier microcontrolador que tenga pines digitales.

Requiere una resistencia de 4.7K o 10k Ohm en modo Pull-up, entre el pin de Datos y VCC. En la siguiente imagen se define como conectar el DHT22:



**Figura 2.3.1.2**  
*Conexión del DHT22 con su resistencia.*

### 2.3.2. Comparación entre sensores de humedad

Luego de haber hecho la comparación entre los sensores de humedad (higrómetro, termómetro bulbo húmedo, higrómetro y circuito integrado) se llegó a la conclusión que la mejor opción para medir la humedad es la incubadora es la utilización de circuitos integrados. En este caso el circuito integrado usado es el DHT22 debido a sus características de ser altamente lineal, al ser de tamaño reducido será más cómoda su instalación, además que tiene una salida de voltaje casi lineal, que lo hace capaz de conectarse a un microcontrolador, a través de su convertidor analógico-digital.

El sensor DHT22 como ya bien se sabe, este incorpora temperatura y humedad, sin embargo, es importante saber interpretar estos datos, los cuales funcionan de la siguiente manera.

La humedad se mide en porcentaje y representa la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Por otro lado, la temperatura se mide en grados.

Algunos datos técnicos del sensor de humedad y temperatura se destacan a continuación, cabe destacar que se decidió tomar este sensor debido a que cumple con ambos parámetros para la realización de este proyecto monográfico.

## **2.4. DETERMINACIÓN DE DRIVERS**

Los microcontroladores son componentes digitales y no pueden manejar tensiones e intensidades más allá de los 5V y 50mA, aproximadamente. Pero los actuadores pueden ser componentes de media hasta alta potencia y el microcontrolador no puede suplir la demanda de corriente y tensión de estos elementos. Un ejemplo claro de este problema en el sistema de incubación artificial es en la resistencia térmica del sistema, cuya corriente y voltaje de operación es de 1A y 120VAC, respectivamente. El microcontrolador no es capaz de controlar por sí solo la resistencia térmica, ya que estos elevados niveles de tensión y corriente lo destruirían. Se debe confiar esta labor a los llamados circuitos controladores o drivers. En esta sección se describen los drivers utilizados en el sistema de incubación artificial.

### **2.4.1. Driver de potencia**

Este sistema de incubación necesita controlar de forma frecuente la potencia entregada a la resistencia térmica. En este caso se utilizará un módulo relé 4CH 5VDC.

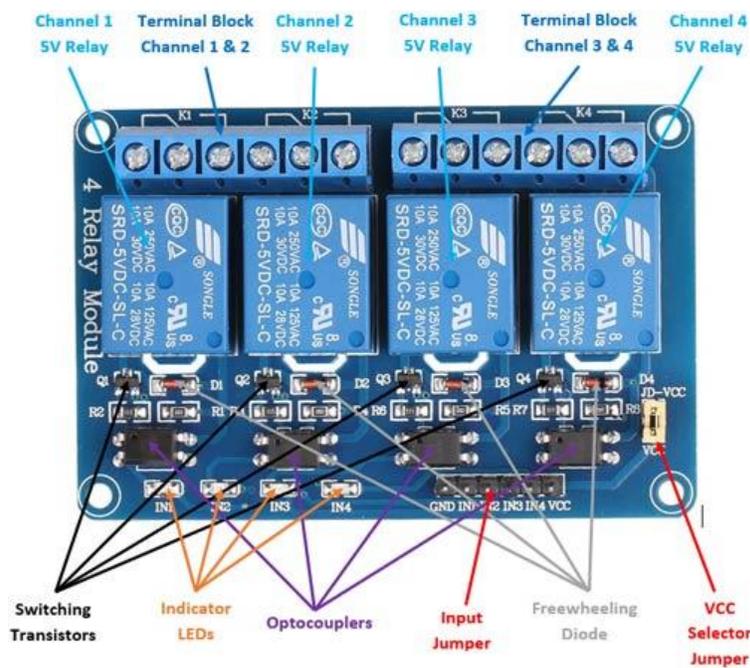
Este módulo relé permite controlar el encendido/apagado de equipos de alta potencia (electrodomésticos). Funciona perfectamente con ESP32, Pic o cualquier otro sistema digital.

Dentro de la gran variedad de proyectos que podemos realizar con ESP32, podemos llegar a desear controlar componentes de alto voltaje o alto amperaje, como bombillas o bombas de agua, los cuales no pueden ser manejados directamente con ESP32. En estos casos es necesario utilizar relés, estos dispositivos permiten controlar cargas de alto voltaje con una señal pequeña.

El módulo posee 4 relé de alta calidad, fabricados por Songle, capaces de manejar cargas de hasta 250V/10A. Cada canal posee aislamiento eléctrico por medio de un optoacoplador y un led indicador de estado. Su diseño facilita el trabajo con ESP32, al igual que con muchos otros sistemas como Raspberry Pi, ESP8266 (NodeMCU y Wemos), Teensy y Pic. Este módulo relé activa la salida normalmente abierta (NO: Normally Open) al recibir un "0" lógico (0 Voltios) y desactiva la salida con un "1" lógico (5 voltios). Para la programación de ESP32y relé se recomienda el uso de timers con

la función "millis()" y de esa forma no utilizar la función "delay" que impide que el sistema continúe trabajando mientras se activa/desactiva un relé.

El módulo de relé de cuatro canales contiene cuatro Relés 5V y los componentes de conmutación y aislamiento asociados, lo que hace que la interconexión con un microcontrolador o sensor fácil con componentes y conexiones mínimas. Hay dos bloques de terminales con seis terminales cada uno, y cada bloque es compartido por dos relés. Los terminales son de tipo tornillo, lo que hace que las conexiones al cableado de la red sean fáciles y cambiantes.

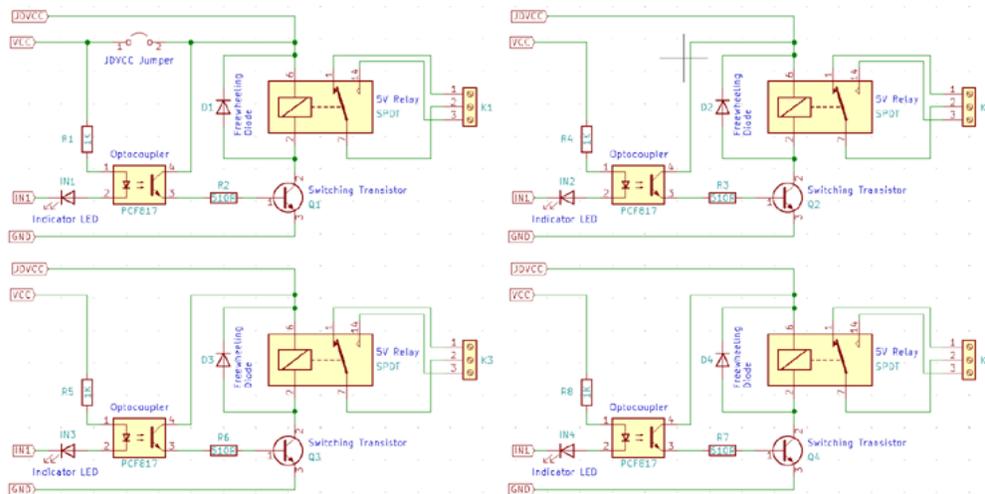


**Figura 2.4.1.1**

*Comprensión del módulo de relé de cuatro canales de 5V*

Los cuatro relés en el módulo están clasificados para 5V, lo que significa que el relé se activa cuando hay aproximadamente 5V a través de la bobina. Los contactos en cada relé se especifican para 250VAC y 30VDC y 10A en cada caso, como se marca en el cuerpo de los relés.

Diagrama de Circuito Interno para el Módulo de Relé de Cuatro Canales. El circuito en la placa es el siguiente:



**Figura 2.4.1.2**

*Diagrama electrónico de relé de 4 canales.*

Cada relé en la placa tiene el mismo circuito, y la tierra de entrada es común a los cuatro canales.

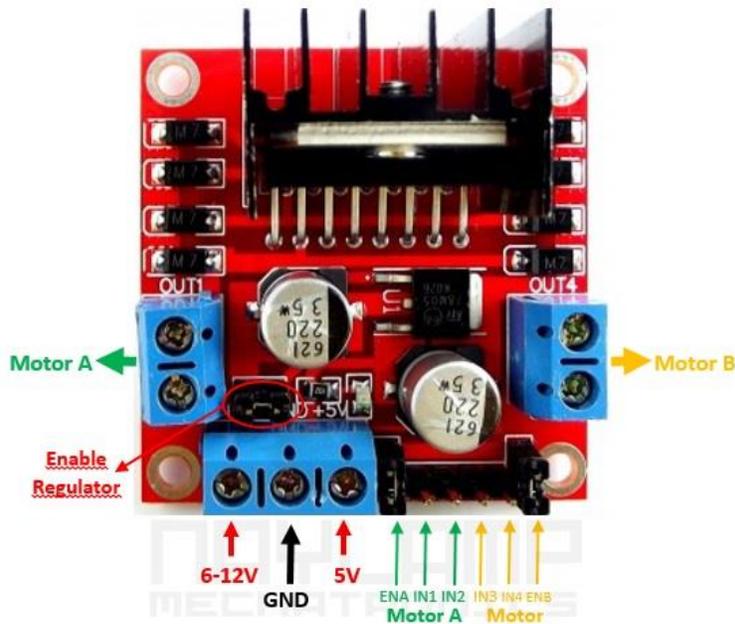
El circuito de controlador para este módulo de relé es ligeramente diferente en comparación con los circuitos de conducción de relé tradicionales, ya que hay una capa adicional opcional de aislamiento. Cuando se corta el puente, el relé y la entrada comparten la misma VCC, y cuando está abierto, se debe proporcionar una fuente de alimentación separada al JD-VCC puente para alimentar la bobina del relé y la salida del optoacoplador.

Las entradas para este módulo están activas bajo, lo que significa que el relé se activa cuando la señal en el encabezado de entrada es baja. Esto se debe a que el indicador LED y la entrada del optoacoplador están conectados en serie a la VCC pin en un extremo, por lo que el otro extremo debe estar conectado al suelo para permitir el flujo de corriente. Los optoacopladores utilizados aquí son el PCF817, que es un optoacoplador común y también se puede encontrar en el embalaje de orificio pasante.

### **2.4.2. Determinación de driver de motores**

El sistema de incubación depende de dos componentes clave: el motor y el ventilador. Ambos contienen solenoides en su interior y requieren una corriente significativamente mayor que la que demanda el resto de la electrónica. El motor consume mucha

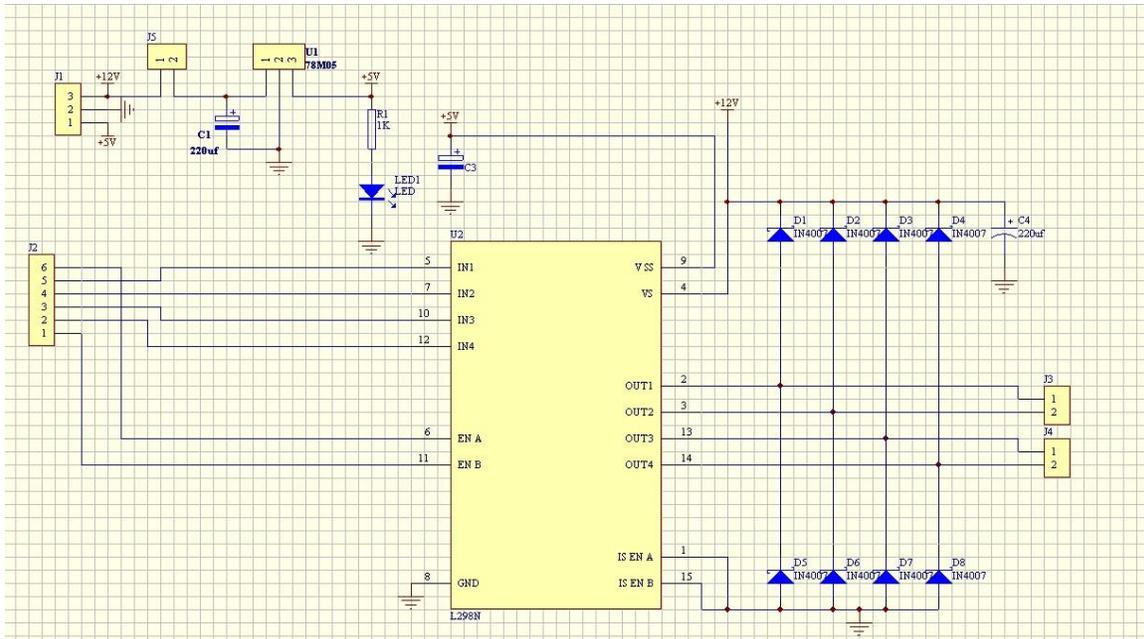
corriente (más adelante en los siguientes capítulos se describirá el consumo real del motor) y el ventilador 0.42 A en su funcionamiento. Dado que el microcontrolador no puede proporcionar la corriente necesaria para alimentar ambos actuadores de manera directa, se hace imprescindible utilizar un driver. Se ha seleccionado el driver L298N para este propósito.



**Figura 2.4.2.1**  
*Puente H L298N.*

El módulo L298N posee dos canales de Puente H, pudiéndolos utilizar para controlar dos motores DC o un motor Paso a Paso, controlando el sentido de giro y velocidad.

Básicamente está conformado por un driver L298N sus diodos de protección y un regulador de voltaje de 5V(78M05). Su esquema electrónico es el siguiente:



**Figura 2.4.2.2**  
*Diagrama electrónico de L298N.*

Posee un conector de 6 pines para ingresar las señales TTL para controlar los motores, una bornera de tres pines para la alimentación, y dos borneras de 2 pines para la salida a los motores.

Como descripción de este módulo lo abordaremos empezando por la forma de alimentar el módulo, dado que hay dos formas de hacer esto:

1. Utilizando una sola fuente, conectada a la entrada de 12V y con el Jumper para habilitar el regulador, aclarando que el voltaje de la fuente es el que soporta el motor. De esta forma la entrada de 5V no debe estar conectada a ninguna fuente, ya que en este pin están presentes 5V a través del regulador interno; pero puedes utilizar este pin como una salida de 5V, pero sin exceder los 500mA de consumo. Se recomienda hacer esta conexión para voltajes menores de 12V para no sobrecalentar el regulador
2. Utilizando dos fuentes, una de 5V conectada a la entrada de 5V (puede ser los 5V de un Arduino) y otra fuente con el valor del voltaje que trabaja el motor, conectada al pin de 12V. Para esto se tiene que desconectar el Jumper lo que deshabilitará al regulador.

## **2.5. DETERMINACIÓN DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN**

Una fuente de alimentación eléctrica es un sistema que suministra electricidad a los dispositivos eléctricos. Se utiliza para transformar la energía de la red eléctrica, adaptándola a las necesidades de alimentación de un determinado dispositivo.

Las fuentes de alimentación pueden dividirse en dos tipos, de acuerdo con la tecnología utilizada:

### **2.5.1. Fuente de alimentación lineal**

Este tipo de fuente de alimentación proporciona una o varias tensiones continuas estabilizadas y constantes, independientemente de las variaciones de tensión de la red. Una fuente de alimentación lineal consta de un transformador, un rectificador, un filtro y un regulador.

El transformador reduce el nivel de tensión de la red, el rectificador convierte la tensión alterna en tensión continua, el filtro almacena energía para dejar la tensión de salida del rectificador lo más continua posible y, por último, el regulador estabiliza y regula la tensión de salida. Una fuente de alimentación lineal puede suministrar desde unos pocos vatios hasta varios cientos de vatios.

- Aplicaciones: este tipo de fuente de alimentación es adecuada para equipos de audio y para fuentes de alimentación de laboratorio.
- Ventajas: es fácil de instalar, ofrece una buena estabilidad y presenta buena resistencia térmica.
- Inconvenientes: presenta un nivel bajo de eficiencia y genera pérdidas de energía. Además, la fuente de alimentación lineal es voluminosa y pesada.

### **2.5.2. Fuente de alimentación conmutada**

En este tipo de fuentes de alimentación, la regulación eléctrica es efectuada por los componentes electrónicos de potencia, como los transistores, utilizados en la conmutación. A diferencia de las fuentes lineales, las fuentes conmutadas transmiten la potencia de manera instantánea.

Las fuentes de alimentación conmutadas se han desarrollado considerablemente desde la década de 1980 como alternativa a las fuentes de alimentación lineales, que presentan dos desventajas principales, el peso elevado y la baja eficiencia

- Aplicaciones: este tipo de fuente de alimentación es adecuada para dispositivos electrónicos comunes, como ordenadores, televisores, cargadores de teléfonos móviles, etc.
- Ventajas: presenta una eficiencia muy elevada. Como funciona con un transformador bastante pequeño, es más ligero y menos voluminoso que una fuente lineal.
- Inconvenientes: este tipo de alimentación genera ruido armónico y ondas residuales.

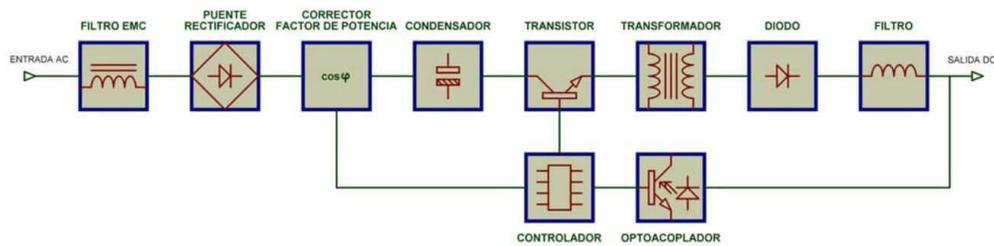
Dada la explicación de cada uno, se procedió a usar la fuente de alimentación conmutada por su alta eficiencia y por su tamaño relativamente pequeño y de peso muy inferior. Sabiendo que se ocupará esta fuente de alimentación, también es importante conocer cómo es su funcionamiento interno.

### **2.5.3. ¿Cómo funciona una fuente de alimentación conmutada?**

Para entender el funcionamiento de una fuente conmutada, debemos separarla en bloques, y analizarlos paso a paso.

De momento vamos a resumirlos, para ir profundizando en los siguientes bloques. Existen muchos tipos distintos de fuentes, y sería imposible explicar los detalles de cada uno.

Las fuentes de alimentación conmutadas (o fuentes de poder conmutadas), también conocidas como SMPS (switch mode power supply)



**Figura 2.5.3.1**

*Etapa en bloques de una fuente de alimentación conmutada.*

- **Filtro de compatibilidad electromagnética \*EMC:** Su función es absorber los problemas eléctricos de la red, como ruidos, armónicos, transitorios, etc. También evita que la propia fuente envíe interferencias a la red.
- **Puente rectificador:** Solo deja pasar la corriente en un sentido, de modo que convierte la corriente alterna en corriente pulsante, es decir que oscila igual que la corriente alterna, aunque únicamente en un sentido.
- **Corrector del factor de potencia:** En determinadas circunstancias, la corriente se desfasa respecto a la tensión, lo que provoca que no se aproveche toda la potencia de la red. Puedes ver una explicación completa en este artículo de Xavi Ventura. El corrector se encarga de solventar este problema.
- **Condensador:** Amortigua la corriente pulsante para convertirla en corriente continua con un valor estable.
- **Transistor:** Se encarga de cortar y activar el paso de la corriente. De este modo se convierte a la corriente continua en corriente pulsante.
- **Controlador:** Activa y desactiva el transistor. Esta parte del circuito suele tener varias funciones, como protección contra cortocircuitos, sobrecargas, sobretensiones. También controla al circuito de corrección del factor de potencia. Además, mide la tensión de salida de la fuente, y modifica la señal entregada al transistor, para regular la tensión y mantener estable la salida.
- **Transformador:** Reduce la tensión, y además aísla físicamente la entrada de la salida.

- **Diodo:** Convierte la corriente alterna del transformador a corriente pulsante.
- **Filtro:** Convierte la corriente pulsante en continua.
- **Optoacoplador:** Enlaza la salida de la fuente con el circuito de control, pero manteniéndolos físicamente separados.

#### 2.5.4. Fuente conmutada de 12V 3A

La fuente conmutada 12V 3A es un dispositivo electrónico comúnmente llamado fuente de alimentación, fuente de poder o fuente conmutada. En electrónica se define como el instrumento que transforma corriente alterna en corriente continua en una o varias salidas.

Esta fuente conmutada 12V 3A (Figura 6) permite transformar la energía eléctrica de VCA a VCD puede alimentar a diferentes dispositivos electrónicos, por ejemplo: motor de CD, leds de potencia, tira de leds, cámaras de CCTV, tarjetas o módulos ESP32, sensores, actuadores, amplificadores, circuitos integrados, etc.



**Figura 2.5.4.1**

*Fuente Conmutada 12V 3A.*

## 2.6. DETERMINACIÓN DE MICROCONTROLADOR

En el mercado de microcontroladores, existen diversas opciones según las necesidades de conectividad, procesamiento, consumo de energía y costo. Arduino es ideal para proyectos simples y educativos debido a su facilidad de uso, aunque carece de conectividad Wi-Fi integrada y tiene un rendimiento limitado. ESP8266 y ESP32 (de

Espressif) se destacan por su conectividad Wi-Fi (y Bluetooth en el caso del ESP32), alto rendimiento (con un procesador de hasta 240 MHz) y bajo costo, lo que los hace perfectos para proyectos IoT como una incubadora automática, donde se requiere monitoreo remoto y control en tiempo real.

Raspberry Pi Pico ofrece un buen rendimiento a bajo costo, pero carece de conectividad inalámbrica nativa, lo que lo hace menos adecuado para aplicaciones IoT, a menos que se le agreguen módulos externos. STM32 es ideal para aplicaciones industriales o que requieran procesamiento en tiempo real, pero su complejidad y costo lo hacen menos accesible para proyectos más simples.

Por último, plataformas como NVIDIA Jetson y BeagleBone son adecuadas para aplicaciones que requieren procesamiento intensivo, como visión por computadora o IA, pero son innecesarias para proyectos como la incubadora automática, debido a su alto costo y mayor consumo de energía. En resumen, para un proyecto IoT como el de la incubadora, el ESP32 es una opción excelente debido a su combinación de conectividad integrada, alto rendimiento y costo asequible.

A continuación, se explicará en detalle por qué el ESP32 es una opción ideal para este proyecto de incubadora automática con IoT, considerando las características del proyecto:

### 1. Conectividad Wi-Fi y Bluetooth Integrados

El ESP32 cuenta con un módulo Wi-Fi integrado, lo que te permite conectarte fácilmente a Internet para el monitoreo remoto de la incubadora y el envío de datos a plataformas IoT. Esto te ofrece la posibilidad de controlar y supervisar la incubadora desde cualquier parte del mundo con solo tener acceso a una red Wi-Fi.

Muchos microcontroladores en el mercado, como el Arduino Uno o el \*\*Raspberry Pi Pico, no cuentan con conectividad inalámbrica incorporada (requieren módulos adicionales como el ESP8266), lo que incrementa la complejidad y el costo del

proyecto. En cambio, el ESP32 tiene todo integrado, lo que lo hace más económico y fácil de integrar en tu diseño.

## 2. Potente Procesador y Alta Capacidad de Cálculo

El ESP32 tiene un procesador dual-core de 240 MHz, lo que le otorga un rendimiento superior al de otros microcontroladores más simples como el Arduino Uno (que solo tiene un núcleo a 16 MHz). Esto significa que el ESP32 puede manejar múltiples tareas de manera simultánea, como la gestión de sensores, control de actuadores (motor de rotación, calefacción, etc.), y la comunicación con la plataforma IoT sin perder eficiencia.

En este proyecto, el ESP32 puede manejar tanto el control de la incubadora (temperatura, humedad, rotación de los huevos, etc.) como la transmisión de datos en tiempo real a través de Wi-Fi. Esto es crucial para el monitoreo remoto, y un procesador de alto rendimiento facilita la respuesta rápida a cualquier cambio de parámetros sin latencia.

## 3. Variedad de Entradas y Salidas (I/O)

El ESP32 tiene una gran cantidad de pines GPIO (general-purpose input/output), que permiten la conexión de múltiples sensores y actuadores. Esto es particularmente importante para la incubadora, ya que necesita controlar varios componentes: sensores de temperatura y humedad, motores para la rotación de los huevos, ventiladores, alarmas, etc.

**PWM (Pulse Width Modulation):** El ESP32 tiene soporte para PWM, lo que permite controlar la velocidad de los motores (para la rotación de los huevos) y regular la intensidad de los ventiladores, lo que resulta fundamental en un proyecto como este.

A diferencia de microcontroladores con menos pines, como el Arduino Uno (que solo tiene 14 pines digitales), el ESP32 ofrece hasta 34 pines GPIO, lo que te brinda mayor

flexibilidad para conectar sensores adicionales y otros periféricos sin la necesidad de expansores de pines.

#### 4. Bajo Consumo Energético y Opciones de Gestión de Energía

El ESP32 está diseñado para ser eficiente en términos de consumo de energía, especialmente cuando está en modo de bajo consumo.

Aunque el ESP32 es un microcontrolador potente, su capacidad de entrar en modos de bajo consumo es esencial para este proyecto, donde la eficiencia energética es importante, especialmente si se está buscando hacer el dispositivo más autosuficiente en granjas con limitación de acceso a energía eléctrica.

#### 5. Comunidad y Soporte de Desarrollo

El ESP32 tiene una gran comunidad de desarrollo y soporte, lo que facilita la resolución de problemas y la implementación de nuevas funcionalidades. La comunidad ofrece ejemplos de código, bibliotecas y foros de discusión activos donde puedes encontrar soluciones a problemas comunes.

A diferencia de microcontroladores menos populares o con menos recursos de desarrollo (como algunos modelos de ARM o incluso el Raspberry Pi Pico), el ESP32 tiene una comunidad vibrante, y existen muchas bibliotecas y tutoriales que te ayudarán a implementar de manera rápida y eficiente las funciones que necesitas.

#### 6. Precio Asequible

El ESP32 es un microcontrolador de bajo costo, especialmente considerando las capacidades que ofrece en términos de conectividad, rendimiento y flexibilidad. Esto hace que sea una opción accesible para proyectos como el tuyo, donde la relación costo-beneficio es crucial.

Aunque otros microcontroladores como el Raspberry Pi o el BeagleBone ofrecen más poder de procesamiento, son significativamente más caros y consumen más energía,

lo que los hace menos ideales para aplicaciones simples y de bajo consumo como la incubadora. El ESP32 proporciona un excelente equilibrio entre rendimiento y costo.

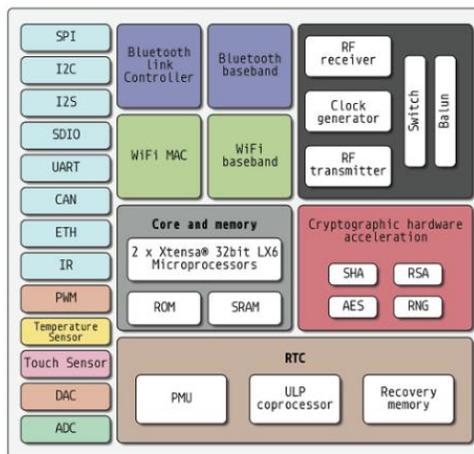
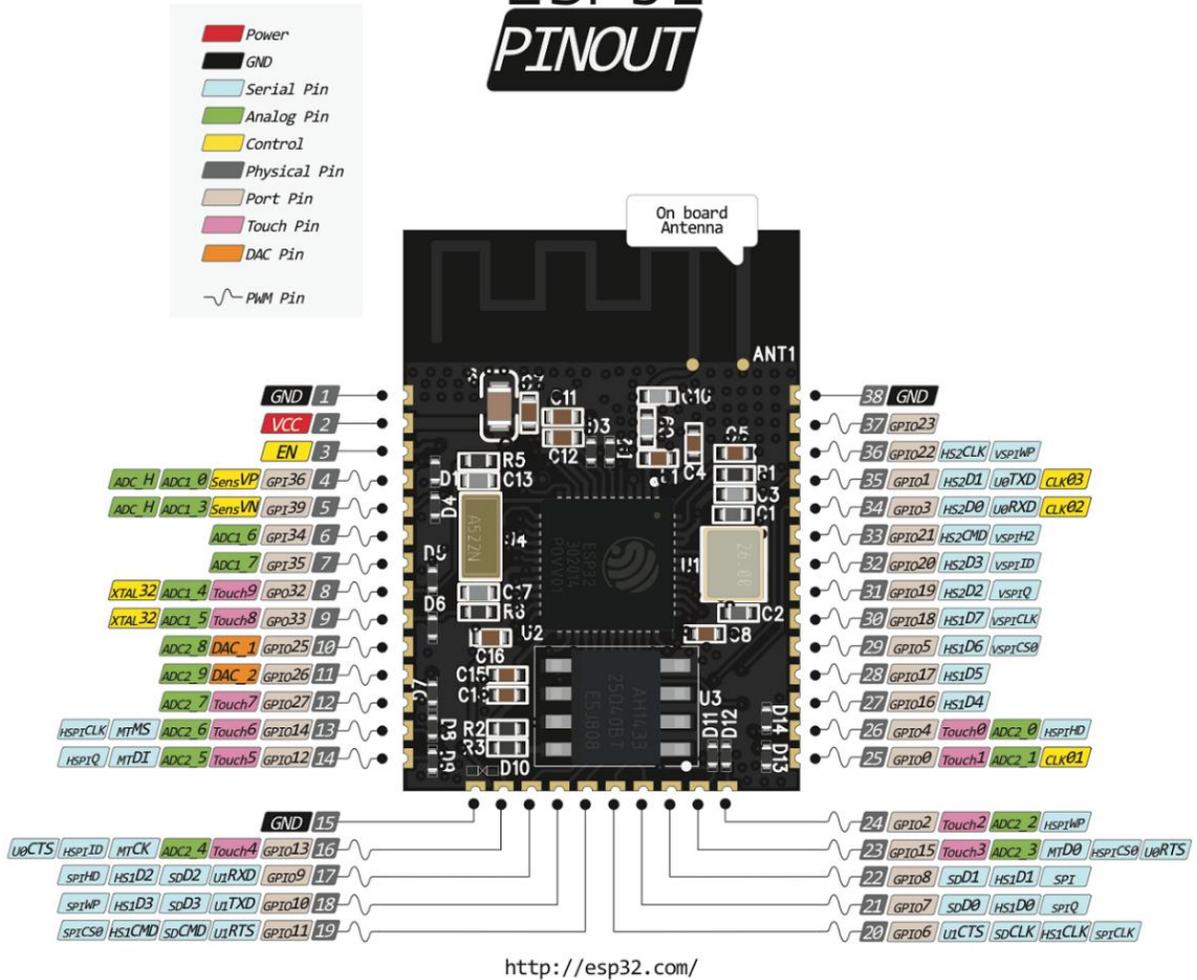
En resumen, el ESP32 es la opción más adecuada para este proyecto de incubadora automática con IoT debido a su:

- Conectividad integrada (Wi-Fi y Bluetooth), que facilita el monitoreo remoto y la integración con plataformas IoT.
- Rendimiento superior (procesador dual-core a 240 MHz), que permite manejar múltiples tareas y sensores de manera eficiente.
- Gran número de pines GPIO y soporte para PWM, que permite controlar diversos sensores y actuadores necesarios para la incubación.
- Bajo consumo energético y opciones de gestión de energía, ideales para sistemas autosuficientes o con baterías.
- Costo accesible, lo que te permite mantener el proyecto económico y accesible para pequeños agricultores.

El ESP32 ofrece la potencia y flexibilidad necesarias para que el proyecto funcione de manera eficiente y escalable, todo a un costo razonable. ¡Es una excelente elección para una incubadora automática con monitoreo IoT!

A continuación, se mostrará el diagrama de PinOut del ESP32:

# ESP32 PINOUT



**Figura 2.6.1**  
ESP32 PinOut.

## 2.7. DETERMINACIÓN DE MOTOR

En el caso de este proyecto, se estará utilizando un Servo Motor 45KG 270° Gran Torque sin núcleo DS3245SG que destaca por su buen torque (45Kg), engranajes metálicos y gran robustez.

Se eligió dicho servomotor para ser el encargado de mover las 3 bandejas de huevos, en la siguiente figura se verá el servo motor que se utilizó en este proyecto de incubadora automática.



**Figura 2.7.1**

*Servo motor DS3245SG.*

A continuación se justificará el por qué se eligió dicho servo motor, por ende, para determinar si el Servo Motor 45KG 270° Gran Torque sin núcleo DS3245SG es el adecuado para mover las tres bandejas de huevos simultáneamente, necesitamos realizar algunos cálculos relacionados con el torque que requiere el sistema. El torque es la fuerza de rotación que un motor es capaz de generar. Debemos calcular el torque total necesario para mover las bandejas y compararlo con el torque máximo que el servomotor puede proporcionar. Vamos paso a paso.

1. Datos proporcionados:

*Número de huevos: 210 huevos.*

*Peso de cada huevo: 52 g (0.052 kg).*

*Número de bandejas: 3 bandejas de madera.*

*Peso de cada bandeja: 1 libra (1 lb = 0.4536 kg).*

*Servo motor: El DS3245SG tiene un torque de 45 kg·cm (kilogramos por centímetro) a 6.0V.*

## 2. Cálculo del peso total a mover (carga total):

La carga total a mover incluye el peso de los huevos y las bandejas. La distribución de los huevos es uniforme en las tres bandejas.

- Peso total de los huevos:

$$\text{Peso total de los huevos} = 210 \text{huevos} \times 0.052 \text{kg/huevo} = 10.92 \text{kg}$$

- Peso total de las bandejas

$$\text{Peso total de las bandejas} = 3 \text{bandejas} \times 0.4536 \text{kg/bandeja} = 1.3608 \text{kg}$$

- Peso total a mover (huevos + bandejas)

$$\text{Peso total a mover} = 10.92 \text{kg} + 1.3608 \text{kg} = 12.28 \text{kg}$$

El peso total a mover por el servo es de 12.28 kg.

## 3. Determinar el Torque necesario:

El torque que el servomotor debe generar depende de la distancia entre el punto de rotación (el eje del servo) y el centro de gravedad de las bandejas, además de la carga total que el motor tiene que mover. Este tipo de cálculo es importante porque el torque necesario se calcula multiplicando la fuerza por la distancia en el brazo de palanca (la distancia entre el eje de rotación y el centro de la carga).

El servo estará ubicado en el centro de cada bandeja y la distancia del brazo de palanca (es decir, la distancia desde el centro de la bandeja hasta el eje de rotación del servo) es de aproximadamente 10 cm, podemos calcular el torque necesario.

Fuerza total a mover: Es simplemente el peso total a mover, que es 12.28 kg. Para obtener la fuerza en Newtons (N), utilizamos la fórmula:

$$F = m \times g \text{ (Ec. 5) Fórmula de la segunda ley de Newton}$$

donde:

*m es la masa en kg,*

*g es la aceleración debida a la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>).*

La fuerza es:

$$F = 12.28kg \times 9.81m/s^2 = 120.49N$$

Torque necesario:

El torque ( $\tau$ ) es igual a la fuerza (F) multiplicada por la distancia al eje (r). Usamos  $r=0.1$  m = 0.1m (10 cm):

$$\tau = F \times r = 120.49N \times 0.1m = 12.049N\cdot m$$

El torque necesario para mover las bandejas y los huevos es 12.049 N·m.

4. Conversión del torque del servomotor:

El torque especificado para el DS3245SG es de 45 kg·cm a 6V. Para convertir esto a unidades de N·m, usamos la relación de conversión entre kilogramos y Newtons y entre centímetros y metros.

$$1 \text{ kg}\cdot\text{cm} = 0.0981 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Por lo tanto, el torque máximo del servomotor DS3245SG en N·m es:

$$45kg\ m \times 0.0981N\ m = 4.4145N\ m$$

A partir de los cálculos anteriores, podemos concluir que el Servo Motor DS3245SG es suficientemente potente para mover las tres bandejas simultáneamente con los huevos a la carga calculada

## **2.8. DETERMINACIÓN DE COMPONENTES ADICIONALES PARA EL SISTEMA DE CONTROL Y PROTECCIÓN**

En este apartado se engloba la selección de elementos como el Piloto indicador LED, el Módulo Switch pulsador, la Pantalla OLED, el Regulador de voltaje Step Down y el Módulo XH-M609 DC 12V (protección de voltaje). Este capítulo se enfoca en la selección y justificación de los componentes adicionales que complementan la funcionalidad y seguridad del sistema, más allá de los sensores, microcontrolador y fuente de alimentación.

### **2.8.1. Piloto indicador LED 22mm colores**

Estas luces piloto de LED se pueden utilizar en cualquier lugar que necesite para comprobar la funcionalidad de un sistema o componente eléctrico. La tecnología multichip garantiza un brillo constante que dura hasta 30.000 horas. Con un brillo de  $\geq 60$  cd/m<sup>3</sup>, cada luz piloto es más brillante que las bombillas incandescentes, por lo que se puede ver fácilmente en casi todas las condiciones de iluminación. Su valor nominal de 110 V AC significa que son una opción potente para el control a largo plazo de la electrónica.



**Figura 2.8.1.1**

*Piloto indicador LED 22mm colores.*

En este caso se utilizarán 3 pilotos, los cuales desempeñarán funciones distintas cada una, a continuación, se aclarará la función de los 3 pilotos a utilizarse:

- Piloto rojo: Se activa cuando hay un error en el sensor de humedad DHT22
- Piloto amarillo: Se activa cuando no hay agua en la bandeja.
- Piloto verde: Se activa cuando la temperatura es menor del setpoint (37.8°C)

### 2.8.2. Módulo switch pulsador de 3 pines

Los módulos push botón son un componente electromecánico también llamado pulsador, utilizado para realizar alguna función en específico, ya que al ser presionado se conectan internamente los extremos del push permitiendo el paso de la corriente eléctrica a través del botón. Sus dimensiones son de 12 mm x 12 mm.

Los botones son por lo general activados, al ser pulsados con un dedo. Permiten el flujo de corriente mientras son accionados. Cuando ya no se presiona sobre él vuelve a su posición de reposo.



**Figura 2.8.2.1**  
*Módulos switch botón.*

Para este proyecto cada módulo tendrá una función distinta, la cual se detallará a continuación:

- Módulo switch pulsador amarillo: Cargar datos.
- Módulo switch pulsador azul: Navegación

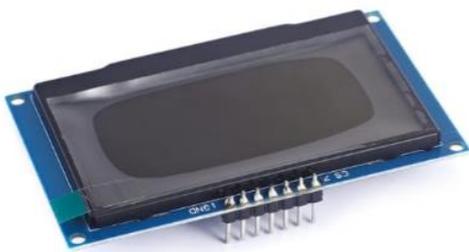
- Módulo switch pulsador negro: Retorno de incubación.
- Módulo switch pulsador rojo: Guardar datos.

### **2.8.3. Pantalla de 2.42" 128x64 OLED LCD módulo SSD1309**

El Módulo de pantalla OLED LCD 128X64 2.42" interfaz SPI. Este módulo utiliza el controlador SSD1309 para comunicar con el microcontrolador, obtener los datos y enviarlos a la pantalla OLED para que imprima esos datos. OLED. Son las siglas en inglés de Organic Light-Emitting Diode. Las pantallas OLED están compuestas por láminas de materiales orgánicos como el carbón (de aquí el nombre de diodo orgánico). Estas láminas emiten luz cuando se les aplica electricidad entre ellas.

Las pantallas OLED se destacan por su gran contraste, mínimo consumo de energía y buena calidad de imagen. Este posee una resolución de 128\*64 píxeles, permitiendo controlar cada píxel individualmente y mostrar tanto texto como gráficos. Además, por ser de tipo OLED no necesita de retroiluminación (Backlight) como los LCD, lo que hace que su consumo de energía sea mucho menor y aumenta su contraste.

El display posee interfaz de comunicación de tipo I2C. Diseñado para trabajar a 5V directamente gracias a su regulador de voltaje en placa y puede trabajar con sistemas de 3.3V o 5V sin necesidad de conversores.



**Figura 2.8.3.1**

*Pantalla OLED LCD módulo SSD1309.*

La pantalla OLED de 2.42" 128x64 con SSD1309 es una excelente elección para esta incubadora automática por varias razones:

- Ofrece un tamaño adecuado para visualizar la información sin ocupar demasiado espacio en el dispositivo.
- La tecnología OLED mejora la visibilidad, el contraste y reduce el consumo energético.
- La interfaz I2C permite una fácil integración con el ESP32 y otros microcontroladores.
- Su costo es accesible para proyectos de bajo presupuesto y es fácil de encontrar.
- La resolución de 128x64 es suficiente para mostrar información clara sobre el estado de la incubadora y no requiere una resolución más alta que podría sobrecargar el sistema.

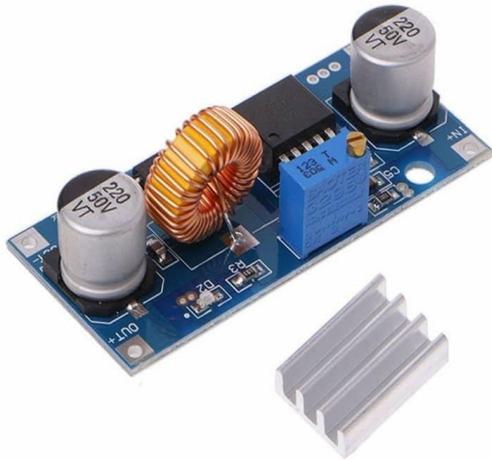
En resumen, el uso de esta pantalla OLED con el controlador SSD1309 es una decisión bien fundamentada, ya que cumple con los requisitos técnicos del proyecto y proporciona una solución eficiente, económica y fácil de integrar.

#### **2.8.4 Regulador de voltaje Step-Down**

Para este proyecto de incubadora se utilizará un regulador de voltaje reductor, dado que se utiliza una fuente de 12V y necesitamos para los demás componentes un voltaje de entrada inferior a este, por ende, se utilizará este regulador que nos proporcionará los voltajes inferiores a 12V y necesarios para la activación de los demás componentes electrónicos. El regulador Step-Down XL4015 tiene como función entregar un voltaje de salida constante inferior al voltaje de entrada frente a variaciones del voltaje. Soporta corrientes de salida de hasta 5A, con un voltaje de entrada entre los 4 a 36V y un voltaje de salida entre 1.25V a 32V.

Este regulador permite obtener un voltaje regulado a partir de una fuente con un voltaje mayor, por ejemplo: obtener 5V, 3.3V, 1.8V a partir de una fuente o batería de 12V. Para asegurar un buen funcionamiento el nivel de voltaje de entrada debe ser superior al nivel de voltaje de salida por lo menos en 1.5V, ya que, de no ser así, se presentarán problemas de eficiencia y rendimiento. Es capaz de manejar una carga de hasta 5A

máximo, cuando se emplee para una corriente superior a 3.5 A es recomendable adicionar un disipador de calor.



**Figura 2.8.4.1**  
*Regulador de voltaje Step-Down.*

El uso del regulador Step-Down XL4015 en esta incubadora automática con IoT está completamente justificado por su alta eficiencia, capacidad de corriente (hasta 5A), flexibilidad en el rango de voltaje de entrada y salida, y su protección contra sobrecarga y sobrecalentamiento.

Además, su tamaño compacto y facilidad de integración hacen que sea ideal para tu proyecto sin comprometer el rendimiento o la seguridad. Comparado con otros reguladores como el LM2596 o LM7805, el XL4015 ofrece mayor capacidad de corriente y mejor eficiencia energética, lo que es fundamental para mantener la incubadora operando de manera eficiente y confiable a largo plazo.

### **2.8.5. Módulo XH-M609 DC 12V protección de voltaje**

Los módulos de protección permiten reducir el valor de la sobretensión de corte y la energía de las señales parásitas a un nivel que no perturbe a las bobinas ni a los aparatos próximos.

Estos módulos se utilizan para evitar: Los problemas de compatibilidad electromagnética, la degradación de los materiales y de los contactos, la destrucción del aislamiento por la sobretensión, y el daño de los componentes electrónicos.

El interruptor de protección contra sobrecarga de batería digital está especialmente diseñado para batería de litio y plomo ácido de 12-36V. Este es un módulo de protección de bajo voltaje, baterías no incluidas. Pulsador momentáneo a bordo para establecer el parámetro de desconexión de baja tensión, cuando el voltaje de la batería alcanza los valores de ajuste, el módulo desconectará la carga automáticamente para evitar que la batería se sobre descargue para prolongar la vida útil de la batería.



**Figura 2.8.5.1**  
*Módulo XH-M609 DC 12V protección de voltaje.*

## 2.9. DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE RESPALDO

### Consumo energético total

A continuación, se presenta el consumo aproximado de cada componente:

**Tabla 2.9.1**

*Consumo de cada componente electrónico*

Dispositivo	Voltaje	Potencia (W) / Corriente (A)	Energía (Wh) estimada para 1h
ESP32	5V	~0.15A	~0.75Wh
Módulos relés (2)	5V	~0.1A (cada uno)	~1Wh
3 Fans	12V	~0.2A (cada uno)	~7.2Wh
Electroválvula	12V	~0.5A (cuando activa)	~6Wh
3 pilotos	110V	~3W (cada uno)	~9Wh
Resistencia calefactora	110V	500W	500Wh
Bombillo	110V	100W	100Wh
Resistencia calefactora agua	110V	600W	600Wh
Sensor DHT22	5V	~0.001A	~0.005Wh
Pantalla OLED	5V	~0.03A	~0.15Wh
Sensor FC-28	5V	~0.01A	~0.05Wh
Servomotor	6V (típico)	~2A (al operar)	~12Wh

## **Cálculo total de energía por hora**

1. Componentes DC (5V y 12V): ~28Wh

2. Componentes AC (110V): ~1209Wh

**Total estimado: ~1237Wh** ( $\approx 1.24\text{kWh}$ ).

## **Recomendaciones específicas**

### **UPS con baterías internas**

- **APC Smart-UPS 1500VA (modelo SMT1500C):**
  - Potencia: 1500W.
  - Autonomía estimada:  $\approx 20\text{-}30$  minutos a carga completa.
  - Uso ideal para cortes cortos o como complemento de tu sistema solar.
  - Baterías: internas y reemplazables.

### **UPS para baterías externas**

- **CyberPower OL1500RTXL2U:**
  - Potencia: 1500W (con expansión de baterías externas).
  - Clave de característica: Admite módulos de baterías adicionales para extender la autonomía.
  - Ideal para configuraciones personalizadas con baterías externas de 12V y mayor capacidad.

### **UPS híbrido solar:**

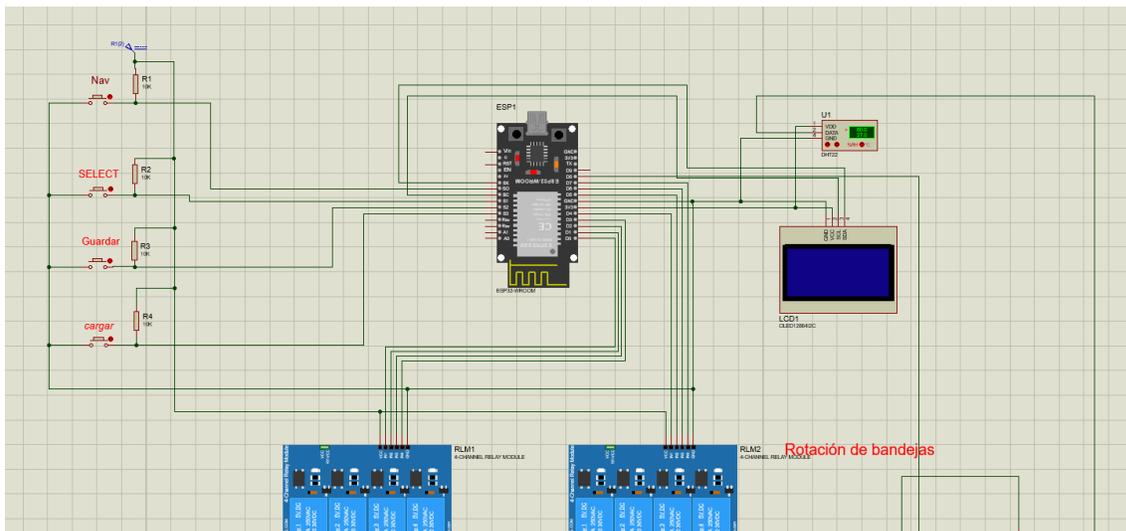
- **Growatt SPF 3000TL HVM-24:**
  - Potencia: 3000W (soporta más carga si expandes tu sistema).
  - Característica solar integrada: Permite combinar paneles solares, baterías y red eléctrica.

- Baterías: Conecte baterías de plomo-ácido o litio para lograr la autonomía requerida.
- Ideal para combinar tu sistema de respaldo con paneles solares y mejorar la eficiencia.

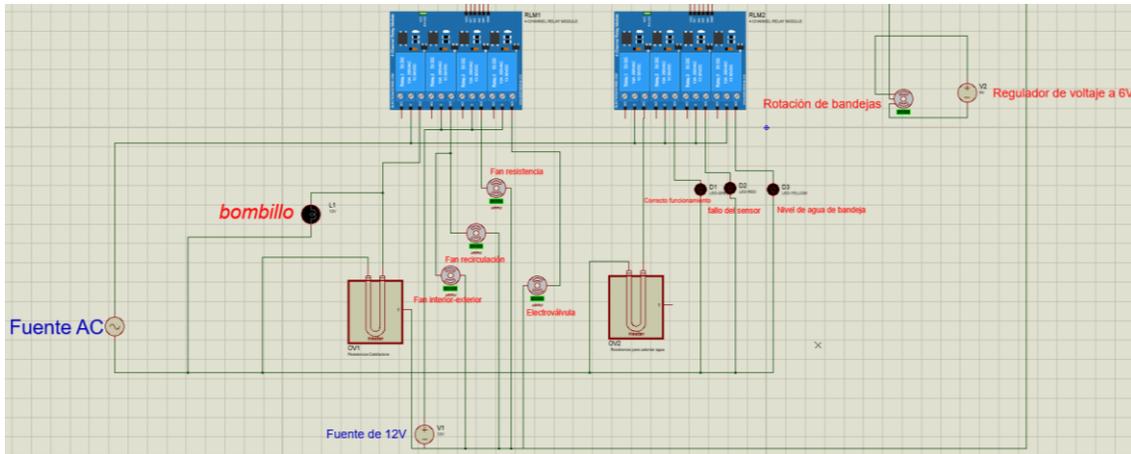
### ¿Cuál elegir?

- **Para cortes breves (20-30 min):** APC Smart-UPS 1500VA.
- **Para cortes prolongados (2 horas o más):** CyberPower OL1500RTL2U con baterías externas.
- **Para integración con energía solar:** Growatt SPF 3000TL HVM-24

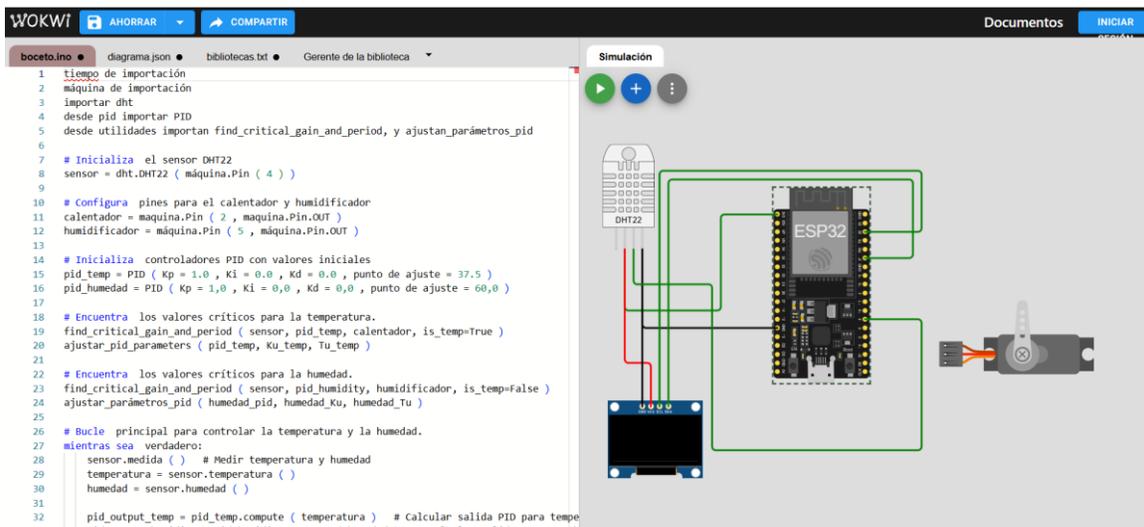
## 2.10. ESQUEMA ELECTRÓNICO Y SIMULACIÓN



**Figura 2.10.1**  
Circuito en proteus (a)



**Figura 2.10.2**  
*Circuito en proteus (b)*



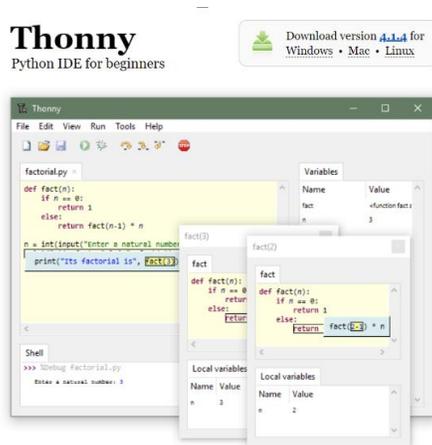
**Figura 2.10.3**  
*Simulación de la programación*

## 2.11. SELECCIÓN DE LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

El lenguaje con que se programó el microcontrolador ESP32 para la crear del código principal, se realizó mediante el lenguaje MicroPython, para realizar las ejecuciones. Es una implementación sencilla y eficiente de Python 3. MicroPython lleva la facilidad y el poder de Python a los microcontroladores, lo que lo convierte en una excelente opción para principiantes y quienes prefieren lenguajes de nivel superior. Incluye un pequeño subconjunto de la biblioteca estándar de Python y está optimizado para ejecutarse en microcontroladores como el ESP32.

### 2.11.1. Selección de IDE

Como se explicaba en la sección anterior el lenguaje de selección fue MicroPython, por ello existen diferentes IDE´s para la programación del mismo, entre la selección de IDE´s se utilizó Thonny. Es conocido por ser amigable para principiantes y ofrece funciones útiles como la visualización de variables y la inspección de objetos durante la depuración.



**Figura 2.11.1.1**  
*Thonny Python IDE.*

### 2.11.2. Firmware MicroPython

Luego de hacer la selección de nuestro lenguaje de programación y IDE, para poder trabajar con el microcontrolador ESP32, primero se realizará el flasheo del Firmware de MicroPython, descargándolo desde la página oficial <https://micropython.org/>, la cual también nos da pautas, para la programación y utilización de las diferentes librerías, así mismo como la sintaxis de la codificación.

### 2.11.3. Comando para instalar la herramienta esptool.py

Una vez descargado el Firmware, se procede a instalar la herramienta de 'esptool.py' la cual nos permite poder borrar toda la memoria flash del ESP32 en caso de tener problemas en la subida del firmware. Para instalar dicha herramienta procedemos abrir el CMD de Windows, ingresamos el siguiente comando `pip install esptool`.

```

C:\Users\Hugo Obando Orozco>pip install esptool
Requirement already satisfied: esptool in d:\users\hugo obando orozco\appdata\local\programs\python\python312\lib\site-packages (4.7.0)
Requirement already satisfied: bitstring>=3.1.6 in d:\users\hugo obando orozco\appdata\local\programs\python\python312\lib\site-packages (from esptool) (4.2.2)
Requirement already satisfied: cryptography>=2.1.4 in d:\users\hugo obando orozco\appdata\local\programs\python\python312\lib\site-packages (from esptool) (42.0.7)
Requirement already satisfied: ecdsa>=0.16.0 in d:\users\hugo obando orozco\appdata\local\programs\python\python312\lib\site-packages (from esptool) (0.19.0)
Requirement already satisfied: pyserial>=3.0 in d:\users\hugo obando orozco\appdata\local\programs\python\python312\lib\site-packages (from esptool) (3.5)
Requirement already satisfied: reedsolot1.0, >=1.5.3 in d:\users\hugo obando orozco\appdata\local\programs\python\python312\lib\site-packages (from esptool) (1.7.0)
Requirement already satisfied: PyVAVL>=5.1 in d:\users\hugo obando orozco\appdata\local\programs\python\python312\lib\site-packages (from esptool) (6.0.1)
Requirement already satisfied: intelhex in d:\users\hugo obando orozco\appdata\local\programs\python\python312\lib\site-packages (from esptool) (2.3.0)
Requirement already satisfied: bitarray<3.0.0, >=2.5.0 in d:\users\hugo obando orozco\appdata\local\programs\python\python312\lib\site-packages (from bitstring>=3.1.6->esptool) (2.9.2)
Requirement already satisfied: cffi>=1.12 in d:\users\hugo obando orozco\appdata\local\programs\python\python312\lib\site-packages (from cryptography>=2.1.4->esptool) (1.16.0)
Requirement already satisfied: six>=1.9.0 in d:\users\hugo obando orozco\appdata\local\programs\python\python312\lib\site-packages (from ecdsa>=0.16.0->esptool) (1.16.0)
Requirement already satisfied: pycparser in d:\users\hugo obando orozco\appdata\local\programs\python\python312\lib\site-packages (from cffi>=1.12->cryptography>=2.1.4->esptool) (2.22)

[notice] A new release of pip is available: 26.8 -> 24.1.2
[notice] To update, run: python.exe -m pip install --upgrade pip

C:\Users\Hugo Obando Orozco>

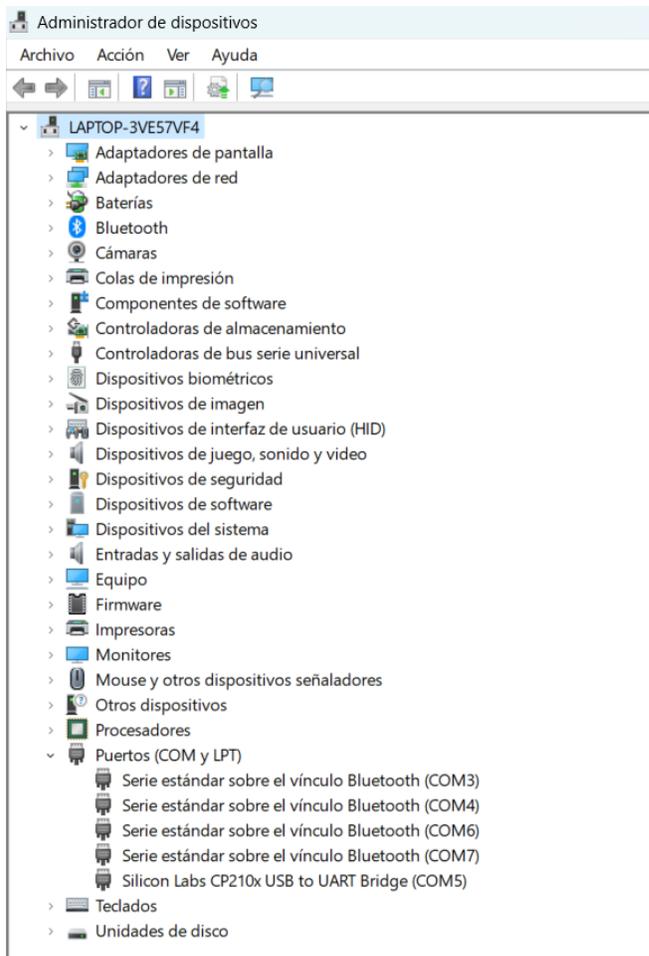
```

**Figura 2.11.3.1**  
*Instalación de la herramienta "esptool.py".*

Como se puede observar en la figura 2.11.3.1, al ingresar el comando se actualizan o instalan las herramientas, según haya sido el caso, si es la primera vez que vas a instalar en tu ordenador o PC se instalará todo, en nuestro caso, como ya teníamos instalada la herramienta, solo se actualizó, cabe resaltar que siempre se tiene que mantener actualizada las herramientas, para no tener problemas a la hora de manipular el ESP32.

**2.11.4. Reconocimiento del puerto**

Luego de realizar los pasos anteriores, procedemos a conectar nuestro ESP32 a nuestro ordenador o PC, según sea el caso, una vez conectado procedemos a verificar en que puerto se encuentra, esto es con el propósito de poder ingresar los comandos, para poder borrar e instalar en la memoria flash del microcontrolador.

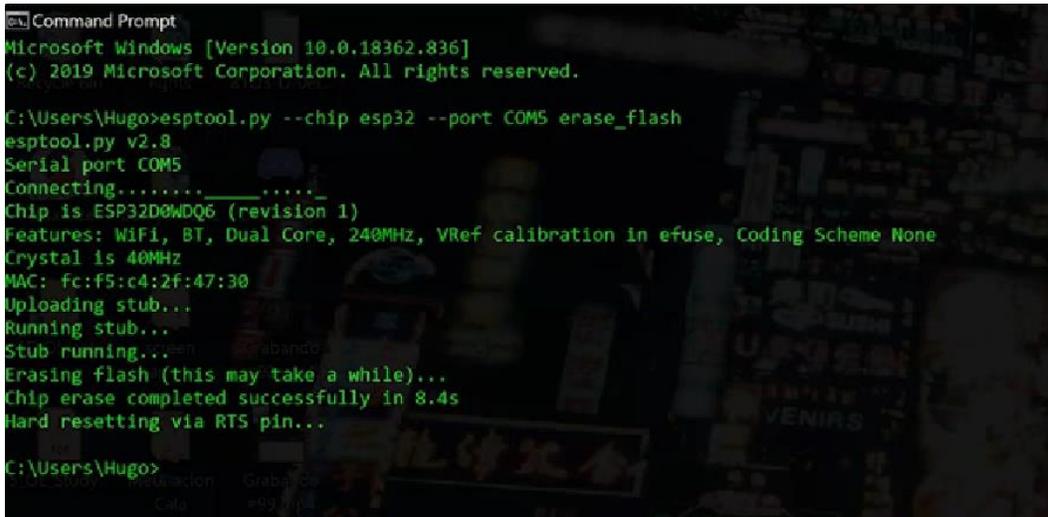


**Figura 2.11.4.1**

*Reconocimiento del puerto en el administrador de dispositivos.*

Como podemos observar en la figura 2.11.4.1 desde la parte de administrador de dispositivo en el apartado de puertos (COM y LPT), sabemos que puerto está ocupando nuestro ESP32, en este caso el que tiene asignado es el silicon labs CP210x USB to UART Bridge (COM5), cabe resaltar que, si tienes problemas de reconocimiento, debes actualizar los drivers, para poder continuar con el proceso de borrado de la memoria flash e instalación del Firmware.

### 2.11.5. Borrar y cargar Firmware



```
Command Prompt
Microsoft Windows [Version 10.0.18362.836]
(c) 2019 Microsoft Corporation. All rights reserved.

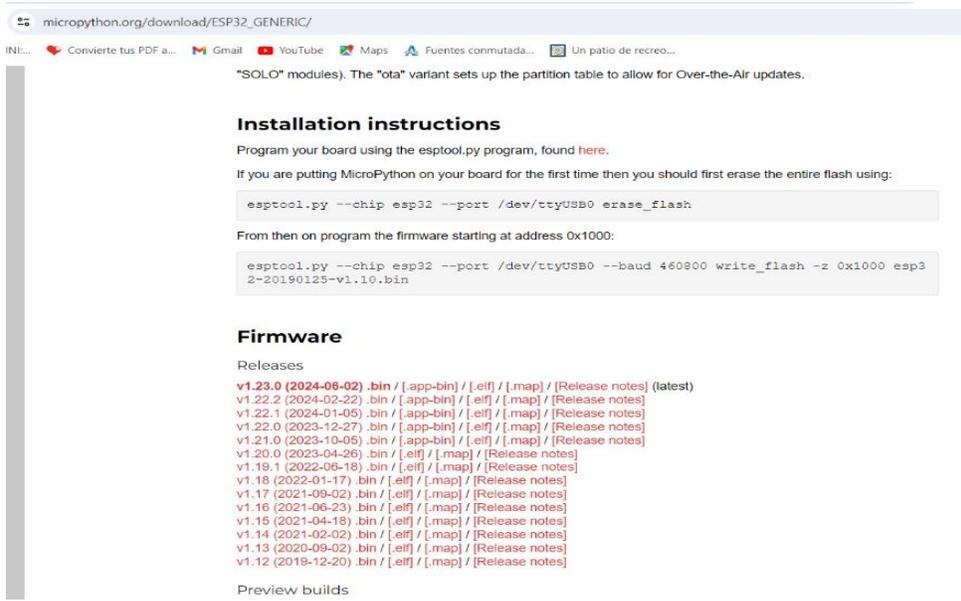
C:\Users\Hugo>esptool.py --chip esp32 --port COM5 erase_flash
esptool.py v2.8
Serial port COM5
Connecting.....
Chip is ESP32D0WDQ6 (revision 1)
Features: WiFi, BT, Dual Core, 240MHz, VRef calibration in efuse, Coding Scheme None
Crystal is 40MHz
MAC: fc:f5:c4:2f:47:30
Uploading stub...
Running stub...
Stub running...
Erasing flash (this may take a while)...
Chip erase completed successfully in 8.4s
Hard resetting via RTS pin...

C:\Users\Hugo>
```

**Figura 2.11.5.1**  
*Borrar y cargar firmware.*

Una vez identificado el puerto, procedemos a abrir nuestro CMD en Windows para ingresar el siguiente comando `esptool --chip esp32 --port COM5 erase_flash`, cuando se esté realizando este paso, se debe de mantener presionado el botón de Boot del microcontrolador de lo contrario nos dará un falta error, ya que no se estaría comunicando correctamente el ESP32 con la herramienta para flashear la memoria del dispositivo como se muestra en la siguiente imagen.

Ejecutado el pasó de borrar la memoria flash del dispositivo procedemos a instalar el firmware que descargamos directamente desde el enlace descrito anteriormente, debemos asegurar que sea la última versión disponible, para evitar futuros problemas en la creación y/o aplicación de librerías en nuestros proyectos.



**Figura 2.11.5.2**  
*Firmware de MicroPython.*

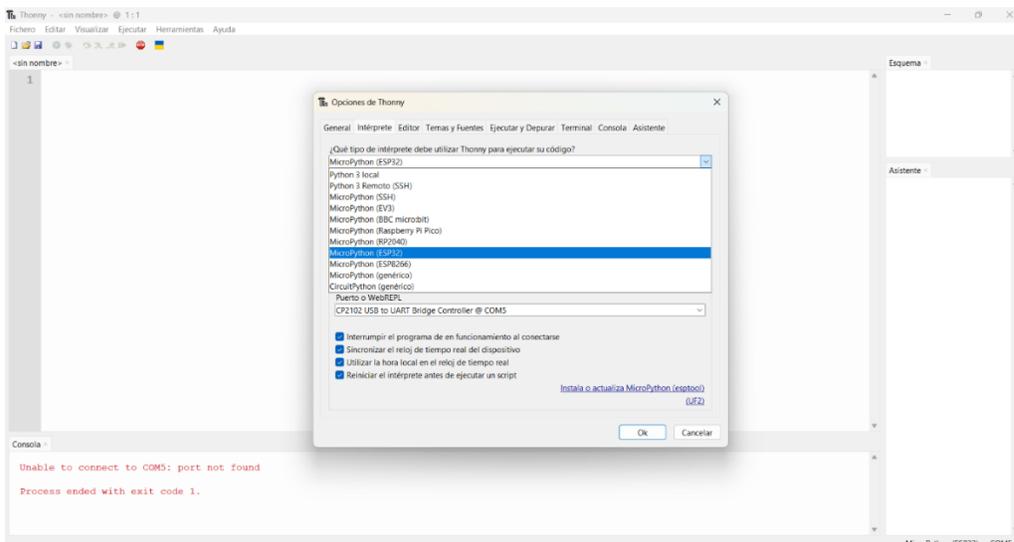
Como podemos apreciar en la figura 2.11.5.2 directamente desde la página oficial de MicroPython, podemos ver los comandos para poder, borrar e instalar el Firmware, así mismo como poder descargar la última versión disponible, una vez realizado todo lo anterior descrito procedemos a utilizar el siguiente comando: `esptool --chip esp32 --port COM5 --baud 460800 write_flash -z 0x1000 ESP32_GENERIC-IDF3-20210202-v1.14.bin`, si tenemos abierto nuestro CMD de Windows, ingresamos el comando anterior, cabe resaltar que al igual que con el comando para borrar la memoria flash, para poder instalar de manera definitiva el Firmware, debe mantenerse presionado el botón Boot de nuestro ESP32 y recordar siempre escribir la dirección de la memoria donde se instalara que es la 0x1000, si todo sale bien, debe de quedar de la siguiente manera nuestro CMD de Windows.

```
Command Prompt - esptool.py --chip esp32 --port COM5 --baud 460800 write_flash -z 0x1000 esp32-ldf3-20200530-unstable-v1.12-483-g22806ed5d.bin
C:\Users\Hugo>esptool.py --chip esp32 --port COM5 --baud 460800 write_flash -z 0x1000 esp32-ldf3-20200530-unstable-v1.12-483-g22806ed5d.bin
esptool.py v2.8
Serial port COM5
Connecting.....
Chip is ESP32D0MDQ6 (revision 1)
Features: WiFi, BT, Dual Core, 240MHz, VRef calibration in efuse, Coding Scheme None
Crystal is 40MHz
MAC: fc:f5:c4:2f:47:30
Uploading stub...
Running stub...
Stub running...
Changing baud rate to 460800
Changed.
Configuring flash size...
Auto-detected Flash size: 4MB
Compressed 1438848 bytes to 921422...
Writing at 0x0009d000... (70 %)
```

**Figura 2.11.5.3**  
*Instalación del firmware.*

En la figura 2.11.5.3, podemos como finalmente se instala el Firmware y después de tantos pasos, ya podemos utilizar nuestro ESP32.

### 2.11.6. Verificación de la instalación del Firmware



**Figura 2.11.6.1**  
*Verificación de la instalación del FW.*

Realizado los pasos de nuestra instalación, nos queda poder verificar que este se pueda comunicar con nuestro IDE seleccionado, para ellos abrimos desde la pantalla inicial de nuestro ordenador o PC, el acceso directo de Thonny, una vez abierto procedemos a conectar nuestro microcontrolador, nos debe de quedar de la siguiente manera.



```
Consola x
:0x00,hd_dsMicroPython v1.23.0 on 2024-06-02; Generic ESP32 module with ESP32
Type "help()" for more information.
MicroPython v1.23.0 on 2024-06-02; Generic ESP32 module with ESP32
Type "help()" for more information.
>>>
```

**Figura 2.11.6.2**  
*Selección de versión de microcontrolador.*

Cabe resaltar que el IDE de Thonny trabaja diferentes tipos versiones de Python, en este caso, nosotros estaremos trabajando con la versión para ESP32, de igual forma seleccionamos nuestro puerto COM, que tiene asignado el dispositivo, una vez seleccionada nuestra versión de Python y puerto verificamos desde la consola de nuestro IDE que la comunicación de nuestro microcontrolador es correcta, para ello verificamos todo lo mencionado en la siguiente imagen.

### 2.11.7. MicroPython en el ESP32

Ya terminado todo el proceso que conlleva la instalación del Firmware en nuestro microcontrolador, solo nos queda poder realizar una pequeña prueba de que la codificación y lenguaje están siendo ejecutados correctamente en nuestro dispositivo, para ello vamos a imprimir un pequeño mensaje; utilizando el siguiente código: `print("Hello, MicroPython!")`, lo escribimos desde nuestro IDE Thonny y nos debe de mostrar los siguiente:



```
Consola x
>>> %Run -c $EDITOR_CONTENT

MPY: soft reboot
Hello, MicroPython!
>>>
```

**Figura 2.11.7.1**  
*Prueba de programación A.*

The image shows a screenshot of the Thonny Python IDE. The title bar reads "Thonny - <sin nombre> @ 1 : 29". The menu bar includes "Fichero", "Editar", "Visualizar", "Ejecutar", "Herramientas", and "Ayuda". The toolbar contains icons for file operations and execution. The editor window shows a single line of Python code: `1 print("Hello, MicroPython!")`.

**Figura 2.11.7.2**  
*Prueba de programación B.*

## 2.12. SELECCIÓN DEL CONTROL PARA EL SISTEMA DE INCUBACIÓN

Para un sistema de incubación automático, tanto el control PID como el control difuso pueden ser adecuados, dependiendo de las características específicas del sistema y de tus objetivos.

Siendo nuestra elección el control PID, ya que por características que se requieren en el diseño de la incubadora, las variables más importantes son las de temperatura, humedad y volteo, no como supone el control difuso que es un sistema mayormente complejo, en este caso nosotros determinamos setpoint, para cada una de las variables antes mencionadas, ya que el control difuso estipula tomar decisiones usando información imprecisa o incierta.

### 2.12.1. Fundamentos del Control PID

El control PID se basa en tres componentes principales:

#### 2.12.1.1. Proporcional (P)

- La acción proporcional produce una salida que es proporcional al error actual.
- La ecuación es:  $P_{out} = K_p * error$
- Aumentar  $K_p$  incrementa la respuesta del sistema, pero puede causar oscilaciones si es demasiado alto.

#### 2.12.1.2. Integral (I)

- La acción integral considera la suma acumulada de errores pasados para eliminar el error residual que queda tras la acción proporcional.
- La ecuación es:  $I_{out} = K_i * \int error dt$

- Aumentar  $K_i$  acelera la corrección del error acumulado, pero puede llevar a una sobre corrección y a oscilaciones.

### 2.12.1.3. Derivativo (D)

- La acción derivativa considera la tasa de cambio del error, ayudando a predecir su tendencia futura y mejorando la estabilidad.
- La ecuación es:  $D_{out} = K_d * \frac{d(error)}{dt}$
- Aumentar  $K_d$  puede mejorar la estabilidad y reducir la oscilación, pero si es demasiado alto, puede amplificar el ruido en la señal de error.

La salida total del controlador PID es la suma de estas tres acciones:

$$Output: K_p * error + K_i * \int error dt + K_d * \frac{d(error)}{dt}$$

### 2.12.1.4. Ventajas del Control PID

- Simplicidad: Fácil de entender e implementar.
- Eficiencia: Funciona bien para una amplia gama de sistemas.
- Adaptabilidad: Puede ajustarse para una variedad de respuestas de sistemas con diferentes características.
- Robustez: Mantiene un buen rendimiento incluso en presencia de perturbaciones y cambios en el sistema.

### 2.12.1.5. Desventajas del Control PID

- Ajuste de Parámetros: Requiere un ajuste fino de los parámetros  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  lo cual puede ser un proceso de prueba y error.
- Sensibilidad a Cambios: Puede ser sensible a cambios en las condiciones del sistema y a no linealidades.
- Oscilaciones: Si no se ajusta correctamente, puede causar oscilaciones en la salida.

## 2.12.2. Proceso de Ajuste de Parámetros PID

### 2.12.2.1. Método de Prueba y Error

Incrementar  $K_p$  hasta que el sistema oscile, luego reducirlo un poco.

Incrementar  $K_i$  para corregir el error constante, pero no tanto como para causar oscilaciones.

Incrementar  $K_d$  para mejorar la estabilidad y reducir la oscilación.

### 2.12.2.2. Método de Ziegler-Nichols:

Ajuste  $K_i$  y  $K_d$  a cero.

Incrementar  $K_p$  hasta que el sistema oscile con un período constante.

Usar el valor de  $K_p$  y el período de oscilación para calcular  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  óptimos utilizando las fórmulas de Ziegler-Nichols.

### 2.12.3. Cálculo del Control PID

La salida  $u(t)$  del controlador PID en un instante de tiempo  $t$  se calcula como:

$$u(t) = K_p * e(t) + K_i * \int e(t)dt + K_d * \frac{de(t)}{dt}$$

Donde:

- $e(t)$ =setpoint – valor actual = Error de tiempo  $t$ .
- $K_p$ : Ganancia proporcional.
- $K_i$ : Ganancia integral.
- $K_d$ : Ganancia derivativa.

### Valores Dados

Temperatura:

Setpoint: 37.5° C

Medido: 37.8° C

Error:  $e(t) = 37.5 - 37.8 = -0.3$

Humedad:

Setpoint: 60.0 %

Medido: 53.0 %

Error:  $e(t) = 60.0 - 53.0 = 7.0$  %

### Fórmulas de Ziegler-Nichols:

- **Controlador P:**  $K_p = 0.5 \cdot K_u$

- **Controlador PI:**  $K_p=0.45 \cdot K_u$ ,  $k_i = k_p/T_u$
- **Controlador PID:**  $K_p=0.6 \cdot K_u$ ,  $K_i=2 \cdot K_p/T_u$ ,  $K_d = K_p \cdot t_u/8$

### Constantes PID ajustadas:

- **Temperatura:**  $K_p=3.6$ ,  $K_i=0.6$ ,  $K_d=5.4$ .
- **Humedad:**  $K_p=2.4$ ,  $K_i=0.48$ ,  $K_d=3.0$ .

### Cálculos para Temperatura

#### Término Proporcional:

$$P = K_p * e(t) = 3.6 * (-0.3) = -1.08.$$

#### Término Integral:

El término integral suma los errores acumulados ( $e(t)$ ) en el tiempo. Supongamos:

- Error acumulado ( $\int e(t)dt$ ) hasta ahora: -1.2.

$$I = K_i * \int e(t)dt = 0.6 * (-1.2) = -0.72$$

#### Término Derivativo:

El término derivativo mide el cambio del error. Si en el paso anterior el error fue -0.5:

$$\frac{de(t)}{dt} = e(t) - e(t - 1) = -0.3 - (-0.5) = 0.2$$

$$D = K_d * \frac{de(t)}{dt} = 5.4 * 0.2 = 1.08$$

### Salida PID para Temperatura:

$$u(t) = P + I + D = -1.08 - 0.72 + 1.08 = -0.72$$

Como la salida es negativa ( $u(t) < 0$ ), el calentador debería estar apagado.

## Cálculos para Humedad

### Término Proporcional:

$$P = K_p * e(t) = 2.4 * 7.0 = 16.8.$$

### Término Integral:

Si el error acumulado ( $\int e(t)dt$ ) hasta ahora es 20.0:

$$I = K_i * \int e(t)dt = 0.48 * 20.0 = 9.6$$

### Término Derivativo:

Si en el paso anterior el error fue 6.0:

$$\frac{de(t)}{dt} = e(t) - e(t - 1) = 7.0 - 6.0 = 1.0$$

$$D = K_d * \frac{de(t)}{dt} = 3.0 * 1.0 = 3.0$$

### Salida PID para Humedad:

$$u(t) = P + I + D = 16 + 9.6 + 3.0 = 29.4$$

Como la salida es positiva ( $u(t) > 0$ ), el humidificador debería estar encendido.

### Resumen

- **Temperatura:**
  - Salida PID: -0.72.
  - Acción: Apagar el calentador.
- **Humedad:**
  - Salida PID: 29.4.
  - Acción: Encender el humidificador.

## 2.12.4. Implementación del Control PID en MicroPython

Como se describe en los títulos anteriores, nuestra selección fue el control PID, para gobernar nuestro sistema de incubación, por ello a continuación se detalla el código a utilizar para poder calcular de forma automática las constantes Kp, Ki y Kd.

```
Thonny - C:\Users\Hugo Obando Orozco\Desktop\Monografia\codigo en python\PID\pid.py @ 37:1
Fichero  Editar  Visualizar  Ejecutar  Herramientas  Ayuda
pid.py
1 class PID:
2     def __init__(self, Kp, Ki, Kd, setpoint=0):
3         self.Kp = Kp           # Constante proporcional
4         self.Ki = Ki           # Constante integral
5         self.Kd = Kd           # Constante derivativa
6         self.setpoint = setpoint # Valor objetivo del sistema
7         self._last_error = 0    # Error previo
8         self._integral = 0      # Suma acumulada de errores (para la parte integral)
9         self._last_time = time.ticks_ms() # Último tiempo en milisegundos (para cálculo de tiempo)
10
11     def compute(self, measurement):
12         current_time = time.ticks_ms() # Tiempo actual en milisegundos
13         delta_time = time.ticks_diff(current_time, self._last_time) / 1000.0 # Diferencia de tiempo en segundos
14
15         error = self.setpoint - measurement # Error actual
16         self._integral += error * delta_time # Actualizar la parte integral
17         derivative = (error - self._last_error) / delta_time if delta_time > 0 else 0 # Parte derivativa
18
19         # Calcular la salida del PID
20         output = (
21             self.Kp * error +
22             self.Ki * self._integral +
23             self.Kd * derivative
24         )
25
26         self._last_error = error # Actualizar el error anterior
27         self._last_time = current_time # Actualizar el tiempo anterior
28         return output # Devolver la salida del PID
29
30     def set_setpoint(self, setpoint):
31         self.setpoint = setpoint # Ajustar el valor objetivo del sistema
32
```

Figura 2.12.4.1  
Agregación de la clase PID.

```
Thonny - <sin nombre> @ 29:1
Fichero  Editar  Visualizar  Ejecutar  Herramientas  Ayuda
<sin nombre>
1 def find_critical_gain_and_period(sensor, pid, control_pin, is_temp=True):
2     global Ku_temp, Tu_temp, Ku_humidity, Tu_humidity
3
4     pid.Ki = 0 # Establecer la constante integral a 0
5     pid.Kd = 0 # Establecer la constante derivativa a 0
6
7     increment = 0.1 # Incremento para aumentar Kp
8     while True:
9         sensor.measure() # Medir temperatura/humedad
10        measurement = sensor.temperature() if is_temp else sensor.humidity() # Obtener medición
11        output = pid.compute(measurement) # Calcular la salida del PID
12
13        control_pin.value(1 if output > 0 else 0) # Controlar el pin de salida
14
15        # Comprobar oscilación continua (simulación)
16        time.sleep(2) # Esperar 2 segundos
17
18        if pid.Kp >= 3.0: # Condición de ejemplo para detener la búsqueda de oscilación
19            break
20        pid.Kp += increment # Incrementar Kp
21
22        # Guardar valores críticos
23        if is_temp:
24            Ku_temp = pid.Kp # Ganancia crítica para temperatura
25            Tu_temp = 20 # Periodo crítico para temperatura (valor de ejemplo)
26        else:
27            Ku_humidity = pid.Kp # Ganancia crítica para humedad
28            Tu_humidity = 25 # Periodo crítico para humedad (valor de ejemplo)
29
```

Figura 2.12.4.2  
Función de ajuste de parámetros 1.

```

29 |
30 def adjust_pid_parameters(pid, Ku, Tu, control_type="PID"):
31     if control_type == "P":
32         pid.Kp = 0.5 * Ku      # Ajuste para controlador P
33         pid.Ki = 0.0
34         pid.Kd = 0.0
35     elif control_type == "PI":
36         pid.Kp = 0.45 * Ku    # Ajuste para controlador PI
37         pid.Ki = 1.2 * pid.Kp / Tu
38         pid.Kd = 0.0
39     elif control_type == "PID":
40         pid.Kp = 0.6 * Ku     # Ajuste para controlador PID
41         pid.Ki = 2 * pid.Kp / Tu
42         pid.Kd = pid.Kp * Tu / 8

```

### Figura 2.12.4.3

*Función de ajuste de parámetros 2.*

```

Thonny - C:\Users\Hugo Obando Orozco\Desktop\Monografia\codigo en python\PID\main_PID.py @ 36 : 88
Fichero Editar Visualizar Ejecutar Herramientas Ayuda
1 import time
2 import machine
3 import dht
4 from pid import PID
5 from utils import find_critical_gain_and_period, adjust_pid_parameters
6
7 # Inicializa el sensor DHT22
8 sensor = dht.DHT22(machine.Pin(4))
9
10 # Configura pines para el calentador y humidificador
11 heater = machine.Pin(2, machine.Pin.OUT)
12 humidifier = machine.Pin(5, machine.Pin.OUT)
13
14 # Inicializa controladores PID con valores iniciales
15 pid_temp = PID(Kp=1.0, Ki=0.0, Kd=0.0, setpoint=37.5)
16 pid_humidity = PID(Kp=1.0, Ki=0.0, Kd=0.0, setpoint=60.0)
17
18 # Encuentra los valores críticos para la temperatura
19 find_critical_gain_and_period(sensor, pid_temp, heater, is_temp=True)
20 adjust_pid_parameters(pid_temp, Ku_temp, Tu_temp)
21
22 # Encuentra los valores críticos para la humedad
23 find_critical_gain_and_period(sensor, pid_humidity, humidifier, is_temp=False)
24 adjust_pid_parameters(pid_humidity, Ku_humidity, Tu_humidity)
25
26 # Bucle principal para controlar temperatura y humedad
27 while True:
28     sensor.measure() # Medir temperatura y humedad
29     temperature = sensor.temperature()
30     humidity = sensor.humidity()
31
32     pid_output_temp = pid_temp.compute(temperature) # Calcular salida PID para temperatura
33     pid_output_humidity = pid_humidity.compute(humidity) # Calcular salida PID para humedad
34
35     heater.value(1 if pid_output_temp > 0 else 0) # Controlar el calentador
36     humidifier.value(1 if pid_output_humidity > 0 else 0) # Controlar el humidificador
37     time.sleep(2) # Esperar 2 segundos antes de la siguiente medición

```

### Figura 2.12.4.4

*Código final.*

En la figura 2.12.14.1 agregamos la clase PID con el nombre de pid.py donde:

- `init`: Inicializa las constantes PID y valores internos.
- `compute`: Calcula la salida del controlador PID basado en la medición actual.
- `set_setpoint`: Establece el valor objetivo del sistema.
- `reset`: Reinicia los valores internos del controlador.

Dentro de cada una de las clases mencionadas se especifica en cada línea de código lo que se hace o represente cada variable o proceso.

En la figura 2.12.4.2 y figura 2.12.4.3 agregamos las funciones de Ajuste de Parámetros con el nombre de `utils.py` donde:

- `find_critical_gain_and_period`: Encuentra los valores críticos y ajustando hasta que el sistema oscile continuamente.
- `adjust_pid_parameters`: Ajusta las constantes PID usando los métodos de Ziegler-Nichols basados en los valores críticos encontrados.

En la figura 2.12.4.4 agregamos el código principal con el nombre de `main.py` donde:

- **Importaciones y Configuración Inicial**: Importa las librerías necesarias y configura los pines del sensor y los actuadores.
- **Inicialización de PID**: Inicializa los controladores PID para temperatura y humedad con valores iniciales.
- **Ajuste de Parámetros**: Encuentra y ajusta los parámetros PID automáticamente.
- **Bucle Principal**: Mide la temperatura y la humedad, calcula la salida del PID, y controla los actuadores en consecuencia.

## 2.13. ESTRUCTURA Y DISEÑO DE LA INCUBADORA

En este apartado se comienza a realizar el diseño y estructuración de la incubadora, para ello se utilizó SketchUp, esta herramienta que se utilizó para este proyecto es un programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones (3D) basado en caras. Se utiliza para modelar entornos de planificación urbana, arquitectura, ingeniería civil, diseño industrial, diseño escénico, GIS, videojuegos, películas, etc. SketchUp es uno de los programas más utilizados para el desarrollo de proyectos 2D y 3D, pudiendo realizar desde el mobiliario de tu propia vivienda hasta el desarrollo del

modelo de un rascacielos con todo lujo de detalles. Es por ello que se ocupó dicho programa, por el acabado que deja al momento de realizar la estructura de la incubadora.

Ahora se procederá a explicar el diseño de las bandejas, estructura física de la incubadora, así como cada una de las partes que la componen, de igual manera, se darán a conocer las dimensiones de la incubadora.

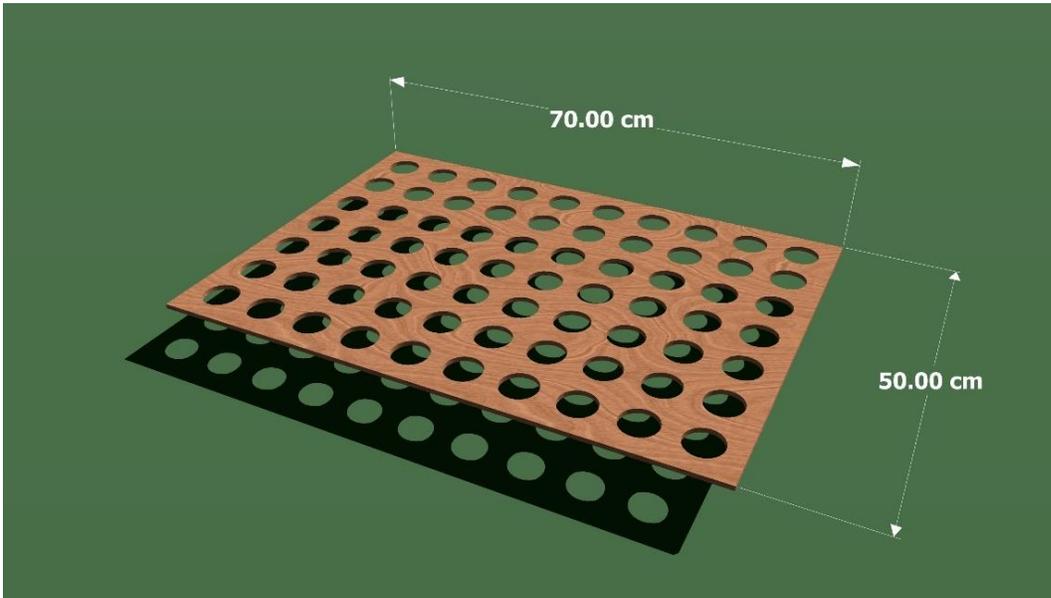
En los siguientes apartados se dividirá la estructura y diseño de la incubadora en 5 etapas, las cuales son: diseño de bandejas, diseño de esqueleto estructural de incubadora, diseño de las paredes de la incubadora, diseño de la bandeja de agua de la incubadora y diseño final de la incubadora.

### **2.13.1. Diseño de bandejas**

Para este diseño se realizaron 3 bandejas con capacidad de 70 huevos cada una, haciendo un total de 210 huevos en total. Las bandejas están hechas de láminas de playwood de 1/4". Cada bandeja fue cortada con una dimensión de 70 cm x 50 cm, además de esto, cada bandeja alberga 70 huevos con una separación de 2.67" entre cada orificio para colocar los huevos. El diámetro de la cavidad es de 1.78". El diseño de las bandejas elaborada en 3D en SketchUp se muestra a continuación en la figura 2.13.1.1. Destacando la buena calidad de modelado en 3D que deja este programa de diseño en 3D.

### Figura 2.13.1.1

*Diseño de bandeja de huevos.*

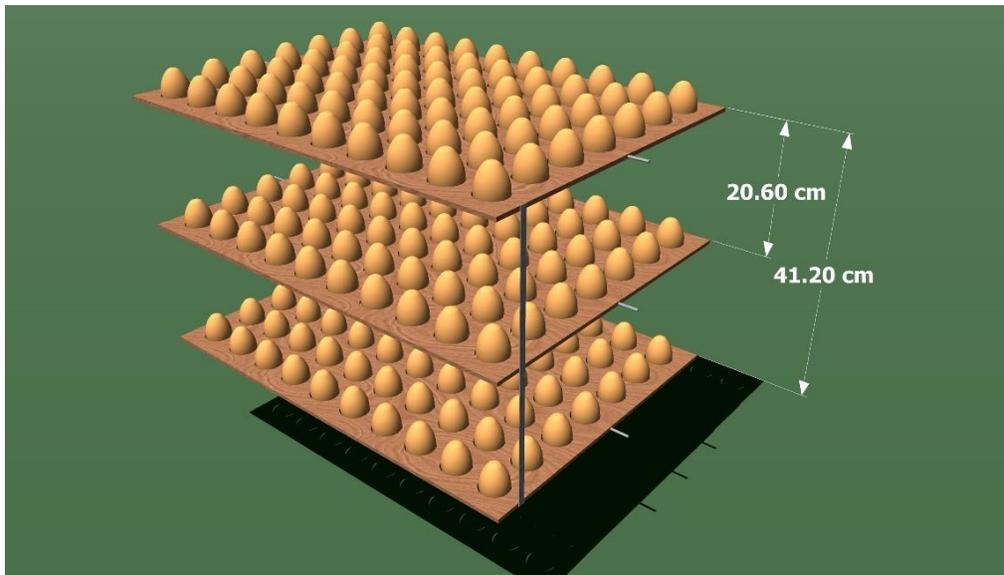


Como se detalló anteriormente, se realizaron 3 de estas bandejas figura 2.13.1.1, la cual se reubicaron de forma vertical para formar 3 pisos de bandejas, cada bandeja tiene una separación de 20.6 cm, la cual tienen un soporte en cada una de ellas que van ubicadas en el chasis de la incubadora, y a su vez las une un tubo rectangular para su posterior movimiento simultaneo.

Todo este ensamble cabrá dentro del esqueleto estructural de la incubadora, este último se muestra en la figura 2.13.1.2.

### Figura 2.13.1.2

*Estructura de bandejas de huevos.*



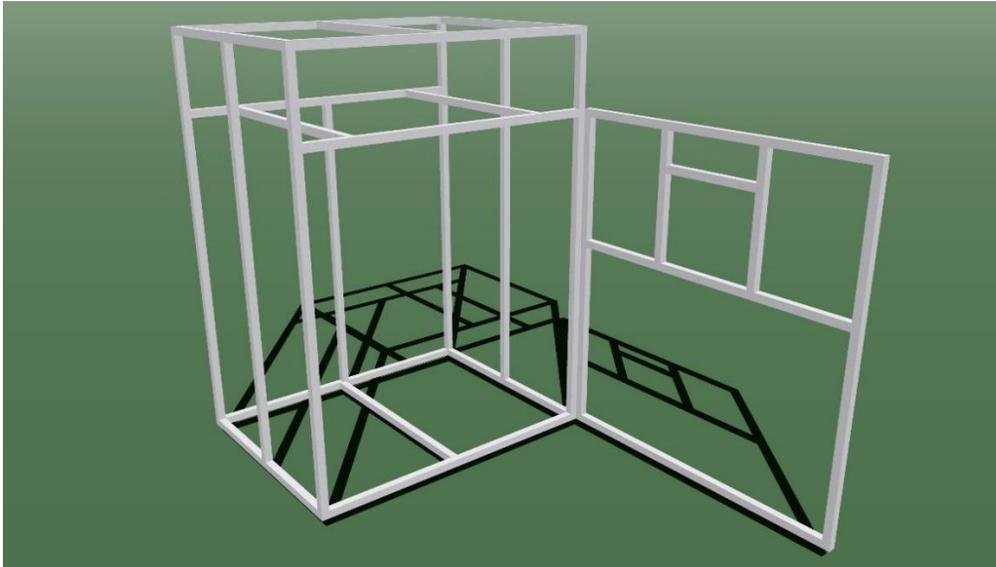
#### 2.13.2. Diseño de esqueleto estructural de la incubadora

Pensando en el peso que debe soportar el cajón de la incubadora, se procedió a elaborar un esqueleto estructural resistente, el cual está conformado por tubos cuadrados 1" x 2" chapa 18 galvanizada y tubos 1" x 1" chapa 18 galvanizada, tal y como se muestra en la figura 31.

Cabe destacar que el esqueleto estructural de la incubadora consta de 2 cavidades, en donde la cavidad superior contiene la mayor cantidad de componentes electrónicos, de igual manera en esa posición se encuentra el panel de control, y finalmente, en la cavidad inferior es donde se encuentran las bandejas para los huevos, teniendo en cuenta que en la parte de abajo se encuentra la resistencia térmica, y la bandeja de agua.

### Figura 2.13.2.1

*Esqueleto estructural de la incubadora.*

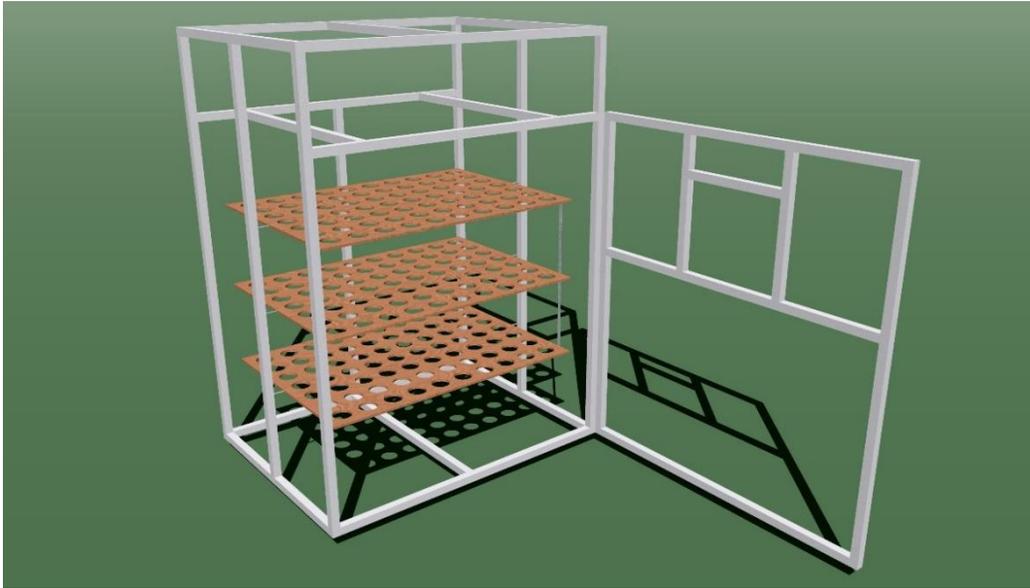


Para realizar el movimiento rotacional se ubicó una varilla metálica resistente en la parte frontal derecha de las bandejas, con el fin de realizar un movimiento simultáneo. Destacando en este apartado que el ángulo de inclinación será de  $45^{\circ}$ , el cual es el ángulo de inclinación sugerido para el volteo de los huevos.

De igual manera, cada bandeja tiene 2 ejes en cada lado (eje izquierdo, eje derecho) para posteriormente ingresar dentro de los tubos rectangulares laterales del esqueleto estructural de la incubadora, con el fin de mantener sujetas las bandejas cargadas de 70 huevos cada una, garantizando una excelente resistencia contra el peso de las bandejas cargadas de huevos.

### **Figura 2.13.2.2**

*Esqueleto estructural de incubadora con bandejas.*



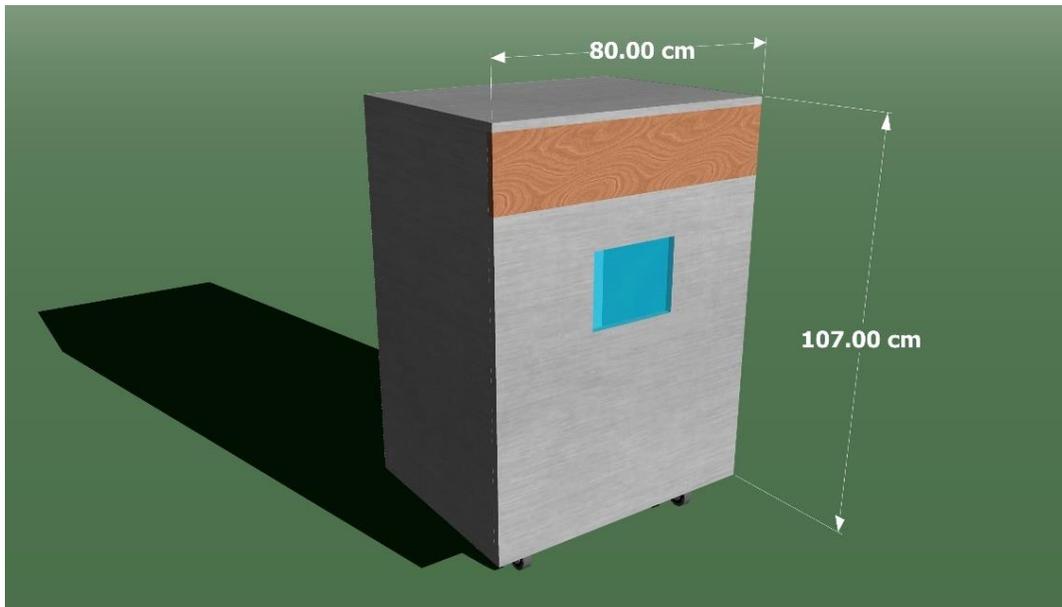
### **2.13.3. Diseño de las paredes de la incubadora**

Para realizar las paredes de la incubadora se utilizó lámina de zinc lisa, en donde se realizaron varios cortes para conformar los 6 lados de la incubadora (cubierta frontal, cubierta lateral derecha, cubierta lateral izquierda, cubierta trasera, cubierta inferior y cubierta superior, esto con el fin de mantener un calor uniforme dentro de la incubadora.

También se ocupó una superficie de vidrio para observar dentro del recinto de la incubadora el progreso de los huevos de gallina. El tamaño final de la incubadora es de 80 cm x 61 cm x 107 cm, tal y como se observa en la figura 2.13.3.1.

### Figura 2.13.3.1

*Paredes de la incubadora.*

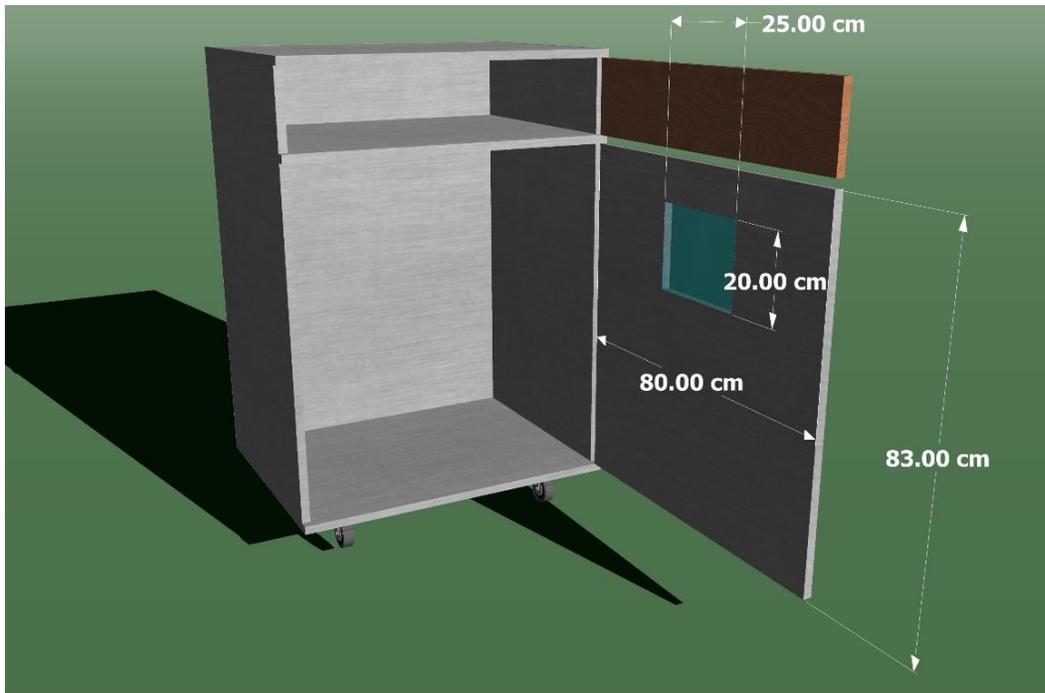


La puerta de la incubadora se realizó con una dimensión de 80 x 83 cm, con una estructura física como se muestran en la figura 34 y encima del esqueleto recubierta con láminas de zinc lisas, en la parte céntrica superior se ubicó el vidrio, el cual tiene una dimensión de 25 x 20 cm.

Y finalmente la puerta de la cavidad superior se hizo de lámina de playwood con una dimensión de 18 x 20 cm. Dentro de esta cavidad estará toda la parte circuital de la incubadora.

### Figura 2.13.3.2

*Dimensiones de puerta y vidrio.*



Además de lo explicado recientemente, se le agregaron 4 rodos giratorios con frenos a como se logra observar en la figura 2.13.3.2, esto con el fin de que la incubadora sea fácil de transportar o de mover de sitio.

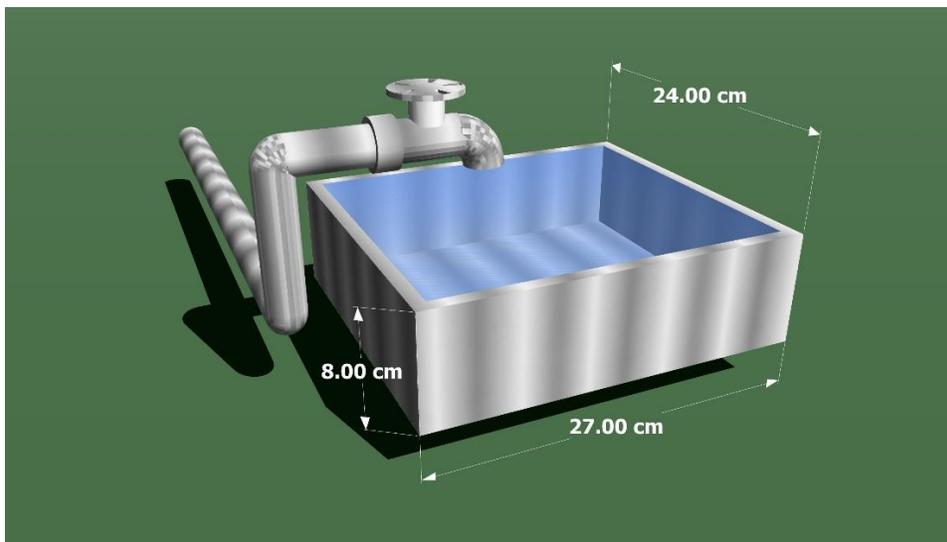
Los rodos que se utilizaron para este proyecto tienen unas medidas de 3 pulgadas cada uno, además de esto, fue fabricado en acero y tiene una capacidad para 110 kilogramos con acabado galvanizado, considerando este acero galvanizado porque asegura una larga vida útil y una alta resistencia a las condiciones ambientales adversas, y el estilo que se utilizó es el flange giratorio, este último se utilizó porque permite una rotación de 360 grados, facilitando el manejo y movimiento de los objetos donde se instala. En los bordes de las ruedas llevan un recubrimiento de hule para amortiguar el movimiento mientras se desplazan. Finalmente, dichas medidas se utilizaron con el fin de que estos rodos puedan soportar el peso total de la incubadora.

#### **2.13.4. Diseño de la bandeja de agua de la incubadora**

En la parte inferior o en la cavidad inferior se ubicó la bandeja de agua, la cual será la encargada de mantener la humedad adecuada para el nacimiento de los huevos de gallina, con una dimensión de 27 cm x 24 cm x 8 cm.

En una incubadora, se suelen utilizar bandejas con agua para mantener el nivel de humedad adecuado. La humedad relativa recomendada durante la incubación suele estar entre el 50% y el 55%, y puede aumentarse al 70% o más en los últimos días de incubación para asegurar una eclosión exitosa.

Una funcionalidad que se le agregó a este proyecto fue el de realizar el llenado de manera automática, con esto se elimina el proceso manual de llenado y se garantiza que la bandeja de agua siempre esté llena (en su máxima capacidad).



**Figura 2.13.4.1**

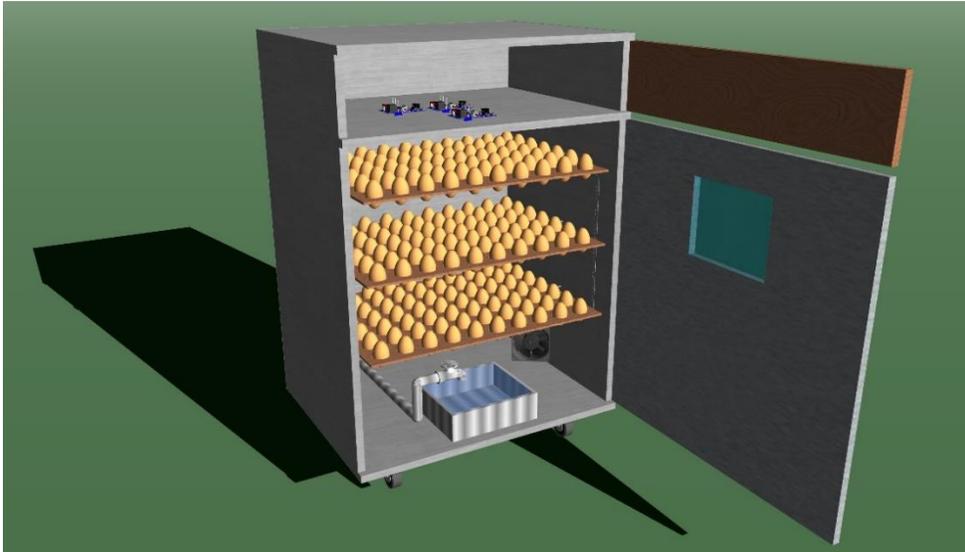
*Bandeja de agua.*

#### **2.13.5. Diseño final de la incubadora**

Finalmente, reintegrando cada una de las partes descritas en este apartado, la incubadora se verá de la siguiente manera.

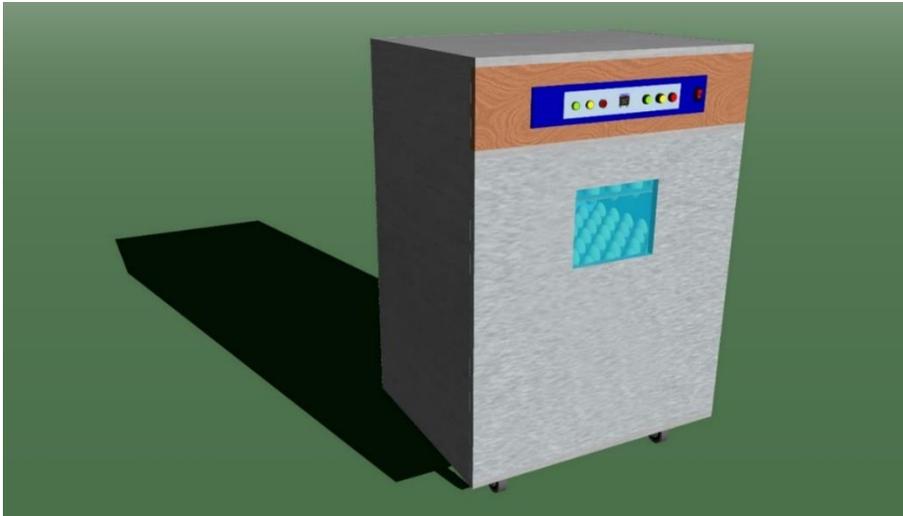
**Figura 2.13.5.1**

*Diseño final de incubadora 1.*



**Figura 2.13.5.2**

*Diseño final de incubadora 2.*



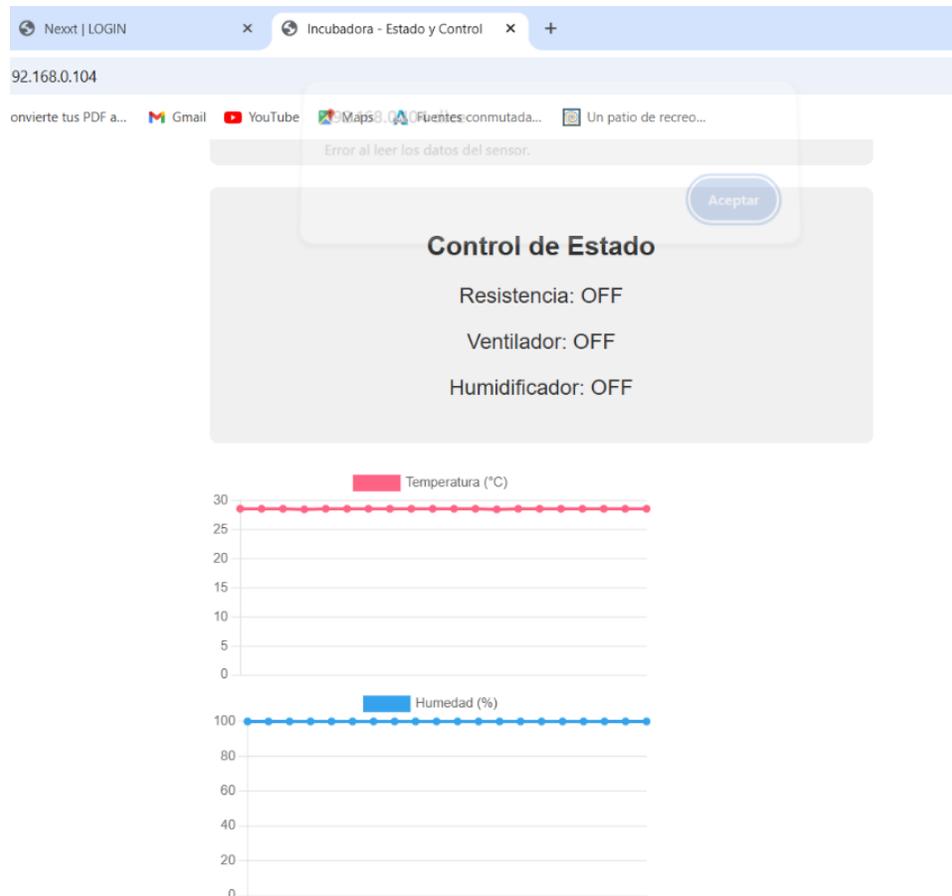
## **2.14. DISEÑO EN EL SERVIDOR WEB**

Finalmente, con el código ejecutado, viene la parte de señalización donde el código principal, con una interfaz visual más dinámica para el usuario, así mismo como la creación de alarmas a través de unos pilotos, que nos indican diferentes tipos de señalización durante el proceso de incubación, los cuales son: si el sensor falla,

finalización del ciclo, visualización de la humedad y visualización de la temperatura; todos estos se muestran en una tabla gráfica de control de estado, donde los relés son los encargados de activar los diferentes parámetros a controlar.

### Figura 2.14.1

*Diseño actual de la página web.*



## 2.15. COSTOS

En este apartado se reflejan a detalle los materiales utilizados tanto para la estructura en sí de la incubadora, como la parte de control utilizando tiendas y ferreterías nacionales. En algunos casos se mandó a importar algunos componentes electrónicos, con el fin de aminorar el coste de los componentes electrónicos.

**Tabla 2.15.1**  
*Costo de proyecto de incubadora*

Material y/o componente	Cantidad	Costo unitario	Costo total
<b>Costo estructura</b>			
Tubo rectangular 1x2 chapa 18 galvanizada	3	C\$ 670.00	C\$ 2,010.00
Tubo cuadrado 1x1 chapa 18 galvanizada	3	C\$ 500.00	C\$ 1,500.00
Lamina de zinc lisa 12 pies	2	C\$ -	C\$ -
Láminas de plywood de 1/4	2	C\$ 700.00	C\$ 1,400.00
Remaches	200	C\$ 2.50	C\$ 500.00
Brocas para remaches	2	C\$ 17.50	C\$ 35.00
Bisagras 1x3	2	C\$ -	C\$ -
Vidrio 25x20x3	1	C\$ 50.00	C\$ 50.00
Disco para cortar metal 4.5" corte liso	2	C\$ 45.00	C\$ 90.00
Disco para cortar metal 4.5" corte grueso	1	C\$ 50.00	C\$ 50.00
Soldadura 6013 3/32	1	C\$ 130.00	C\$ 130.00
Juego de rodos	1	C\$ 400.00	C\$ 400.00
Pintura de aceite	1	C\$ 190.00	C\$ 190.00
Diluyente medio litro	1	C\$ 60.00	C\$ 60.00
Brocha 2"	1	C\$ 60.00	C\$ 60.00
Transporte de materiales	1	C\$ 200.00	C\$ 200.00
<b>Costo componentes electrónicos</b>			
Resistencia calefactora 500W 110-250V	1	C\$ 1,092.00	C\$ 1,092.00
Microcontrolador ESP32	1	C\$ 480.00	C\$ 480.00
Modulo DHT22	1	C\$ 270.00	C\$ 270.00
Modulo Relé 4 canales	2	C\$ 360.00	C\$ 720.00
FAN 92x25mm	2	C\$ 420.00	C\$ 420.00
Fuente de alimentación SAI	1	C\$ 825.00	C\$ 825.00
Piloto indicador LED 22mm colores	3	C\$ 120.00	C\$ 360.00
XL4015 Modulo Regulador Step Dow	1	C\$ 210.00	C\$ 210.00
Shield para ESP32	1	C\$ 395.00	C\$ 395.00
Modulo Switch boton	4	C\$ 140.00	C\$ 560.00
Borneras 10A	1	C\$ 160.00	C\$ 160.00
Puente H L298N	1	C\$ 720.00	C\$ 720.00
Servomotor 45Kg DS3245SG	1	C\$ 1,500.00	C\$ 1,500.00
OLED LCD Módulo SSD1309	1	C\$ 520.00	C\$ 520.00
Módulo XH-M609 DC 12V	1	C\$ 665.00	C\$ 665.00
<b>Costo de mano de obra</b>			
Mano de obra estructura fisica	1	C\$ 3,000.00	C\$ 3,000.00
Mano de obra pintura	1	C\$ 500.00	C\$ 500.00
<b>Total</b>			<b>C\$ 19,072.00</b>

### **2.15.1. Comparación del costo de una incubadora**

En la actualidad, la industria avícola enfrenta una creciente demanda por soluciones tecnológicas que mejoren la eficiencia y la productividad en las granjas. Una de las áreas más críticas para optimizar es el proceso de incubación de huevos, el cual tradicionalmente ha requerido una atención constante por parte del productor. El control de la temperatura, humedad y el volteo de los huevos son factores clave para asegurar una alta tasa de eclosión. Sin embargo, la falta de herramientas automatizadas o de monitoreo remoto limita las capacidades de muchos pequeños y medianos productores, que a menudo no cuentan con los recursos para invertir en equipos sofisticados.

En este contexto, el proyecto de una incubadora automática con capacidad para 210 huevos y monitoreo IoT (Internet de las Cosas) se presenta como una solución innovadora que busca ofrecer a las pequeñas granjas avícolas una herramienta accesible y eficiente. Esta incubadora no solo automatiza el proceso de incubación, sino que también permite a los productores monitorear en tiempo real las condiciones dentro de la incubadora a través de dispositivos móviles. Esto facilita la intervención temprana en caso de problemas y mejora significativamente la tasa de eclosión.

Con el objetivo de contextualizar y comparar esta propuesta con las opciones comerciales disponibles en el mercado, a continuación se presenta una comparación de costos y características de incubadoras automáticas similares. Esta comparación permitirá identificar las ventajas competitivas de nuestra incubadora con monitoreo IoT, considerando factores como el precio, la funcionalidad y la tecnología disponible.

**Tabla 2.15.1.1***Comparación de precios y características*

<b>Incubadora</b>	<b>Capacidad (Huevos)</b>	<b>Características Principales</b>	<b>Precio</b>	<b>Ventajas y Desventajas</b>
Propia	210 huevos	Control automático de temperatura y humedad, monitoreo IoT, volteo automático, alertas y notificaciones	C\$ 19,072	Ventajas: Integración con IoT, monitoreo remoto, precio accesible, capacidad ideal para pequeñas granjas.
HHD 250	250 huevos	Control de temperatura y humedad, volteo automático, pantalla LCD	C\$ 19,010	Ventajas: Bajo costo inicial, tamaño adecuado para pequeñas granjas. Desventajas: No incluye monitoreo remoto ni IoT, no tan avanzado en términos de automatización y monitoreo a distancia.
Brinsea Ova-Easy 190	190 huevos	Control avanzado de temperatura y humedad, volteo automático, ventilación controlada	C\$ 66,680	Ventajas: Marca de alta calidad, control avanzado, características premium. Desventajas: Muy costosa, no incluye integración con IoT de fábrica, lo que hace que el costo no esté justificado para productores de pequeña escala.
IncuTech IT-180	180 huevos	Control digital, volteo automático, alarmas, buena relación calidad-precio	C\$ 7,580	Ventajas: Precio accesible, buenas características de automatización. Desventajas: No incluye IoT ni monitoreo remoto, capacidad algo limitada (180 huevos) para ciertas necesidades.
Rcom King Suro 20	48 huevos	Control de temperatura y humedad, compacto y fácil de usar, volteo automático	C\$ 13,080	Ventajas: Diseño compacto y adecuado para granjas pequeñas. Desventajas: Capacidad muy limitada, no tiene monitoreo IoT, precio relativamente alto para la capacidad.

## Ventajas de la Incubadora Automática con IoT (Propia)

### Monitoreo IoT y Conectividad Remota:

Ofrecer un sistema de monitoreo remoto mediante IoT es una de las características más destacadas de la incubadora propuesta en este proyecto. Permitir a los productores avícolas monitorear la temperatura, humedad y volteo de los huevos desde cualquier lugar mediante una plataforma web brinda una ventaja significativa frente a otras incubadoras que no ofrecen estas capacidades. Los usuarios pueden recibir alertas en tiempo real sobre cualquier fluctuación fuera del rango ideal, lo que aumenta la eficiencia y reduce el riesgo de fallos durante el ciclo de incubación.

Comparar con incubadoras como la HHD 250 o IncuTech IT-180, que si bien ofrecen funciones automáticas de control de temperatura y humedad, no cuentan con la capacidad de monitoreo remoto. Este aspecto limita la capacidad del productor para intervenir rápidamente en caso de problemas. En cambio, las incubadoras de tu proyecto permiten a los productores tomar decisiones informadas desde cualquier ubicación, sin necesidad de estar físicamente presentes en la granja.

### Precio Competitivo con Funcionalidad Avanzada:

Con un costo de 500 USD, la incubadora propuesta proporciona una relación costo-beneficio excepcional, ya que ofrece monitoreo IoT, automatización total y una capacidad de 210 huevos, lo que es ideal para pequeñas granjas avícolas. En comparación, la Brinsea Ova-Easy 190 (C\$ 66,680) ofrece un control avanzado, pero no incluye integración con IoT y resulta significativamente más cara para la capacidad y funciones que ofrece. Esto hace que la incubadora con monitoreo IoT sea una opción mucho más asequible para los pequeños productores.

La HHD 250, que tiene un precio similar, no ofrece las funciones de monitoreo remoto. Si bien es más económica, su falta de conectividad IoT significa que los productores deben controlar manualmente los parámetros de incubación, lo que aumenta el riesgo de errores humanos. Por otro lado, la incubadora propuesta en este proyecto, con su precio accesible, mejora la eficiencia y la precisión del proceso.

### Escalabilidad y Flexibilidad:

El diseño de la incubadora con capacidad para 210 huevos es adecuado para una gran variedad de granjas avícolas pequeñas, que generalmente no requieren grandes capacidades de incubación. Esta capacidad es lo suficientemente grande como para ser eficiente sin ser excesiva, lo que la convierte en una opción flexible para muchos productores.

Las incubadoras como la Rcom King Suro 20, con una capacidad de solo 48 huevos, son demasiado pequeñas para ser competitivas en un mercado de incubadoras para granjas avícolas. Por otro lado, las incubadoras de mayor capacidad como la Brinsea Ova-Easy 190 (190 huevos) pueden resultar excesivas y costosas para productores más pequeños.

### Accesibilidad para Pequeños Productores:

El precio de C\$19,072 hace que la incubadora con monitoreo IoT sea accesible para pequeños productores avícolas, quienes suelen estar limitados por el presupuesto. Con este costo, se obtiene una solución eficiente y tecnológica que ayuda a mejorar la tasa de eclosión, reducir el trabajo manual y garantizar el éxito del ciclo de incubación sin necesidad de grandes inversiones iniciales.

Las incubadoras como la Brinsea Ova-Easy 190 y la IncuTech IT-180, aunque de alta calidad, tienen precios mucho más altos que hacen que no sean opciones viables para productores con recursos limitados.

El proyecto de incubadora con monitoreo IoT se presenta como una opción superior frente a las incubadoras comerciales actualmente disponibles en el mercado, especialmente para pequeños productores avícolas que buscan optimizar sus procesos de incubación sin realizar una gran inversión. A pesar de que las incubadoras tradicionales ofrecen control automático de temperatura, humedad y volteo de huevos, la integración de tecnología IoT en tu incubadora ofrece control remoto, monitoreo en tiempo real y alertas automáticas, características que no están disponibles en las incubadoras convencionales. Además, el precio de C\$19,072 de la incubadora hace

que sea una opción asequible y altamente competitiva, especialmente cuando se compara con el costo de incubadoras más caras como la Brinsea Ova-Easy 190.

## **2.16. PLAN DE CAPACITACIÓN (USO Y MANTENIMIENTO)**

El objetivo principal del plan de capacitación para el uso de la incubadora es asegurar que los usuarios sean capaces de operar el equipo de manera eficiente, aprovechando al máximo sus funcionalidades y capacidades. Para ello, es necesario que los usuarios comprendan la importancia de monitorear el proceso de manera constante y tomar decisiones informadas a través del sistema de monitoreo IoT.

Además, se abordará otro plan de capacitación de mantenimiento, el cual, tiene como objetivo enseñar a los usuarios a realizar las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar que la incubadora siga funcionando de manera eficiente durante toda su vida útil. La capacitación incluye tanto la inspección regular de componentes como la reparación de fallos comunes, minimizando el tiempo de inactividad y maximizando el rendimiento de la incubadora.

### **2.16.1. Plan de capacitación de uso**

Es fundamental que los usuarios comprendan los componentes principales de la incubadora, como el sistema de control de temperatura, la humedad, el volteo y la ventilación, y cómo estos afectan directamente al proceso de incubación. El entrenamiento incluye una explicación detallada sobre el sistema IoT integrado, que permite monitorear en tiempo real los datos de la incubadora a través de una plataforma móvil.

Introducción al sistema y sus funcionalidades:

- Explicar el funcionamiento de la incubadora: temperatura, humedad, volteo y ventilación.
- Describir cómo el sistema IoT permite monitorear los parámetros en tiempo real desde una plataforma móvil.

Configuración inicial de la incubadora:

- Colocar la incubadora en un lugar adecuado y asegurarse de que esté nivelada.

- Conectar la incubadora a Internet para habilitar el monitoreo remoto.

Monitoreo del ciclo de incubación:

- Acceder a la plataforma de monitoreo para visualizar los datos de temperatura, humedad.
- Verificar regularmente los parámetros para asegurarse de que estén dentro de los rangos óptimos.

Buenas prácticas de manejo:

- Colocar los huevos de manera adecuada y asegurarse de que el sistema de rotación funcione correctamente.
- Realizar la limpieza periódica de la incubadora.
- Mantener un control constante sobre los parámetros de incubación.

Interpretación y respuesta a alertas:

- Identificar alertas relacionadas con fluctuaciones de temperatura o humedad a través del sistema IoT.
- Tomar acciones correctivas en caso de desvíos en los parámetros establecidos.

Resolución de problemas comunes:

- Diagnosticar y corregir problemas comunes como variaciones en la temperatura, humedad, volteo o ventilación.
- Consultar las alertas de fallos en sensores o componentes e intervenir de manera rápida.

### **2.16.2. Plan de capacitación de mantenimiento**

El mantenimiento adecuado de la incubadora es esencial para garantizar su funcionamiento eficiente y prolongar su vida útil. Un plan de capacitación en mantenimiento debe centrarse en prevención de fallos y solución de problemas cuando ocurran, con el fin de minimizar el tiempo de inactividad y asegurar que la incubadora siga funcionando bajo condiciones óptimas durante su ciclo de vida.

## Mantenimiento Preventivo

Limpieza regular:

- Limpiar los componentes internos de la incubadora para eliminar polvo y residuos que puedan interferir con los sensores y el sistema de ventilación.

Inspección de los sensores:

- Verificar el funcionamiento de los sensores de temperatura y humedad.

Revisión del sistema de ventilación:

- Asegurarse de que el flujo de aire sea adecuado y que no haya obstrucciones.

Revisión de componentes eléctricos:

- Inspeccionar cables y conexiones para detectar posibles fallos eléctricos.
- Reemplazar componentes eléctricos defectuosos como cables.

Revisión de la estructura física:

- Verificar que las bandejas de huevos estén en buenas condiciones.
- Comprobar que el sistema de rotación esté funcionando correctamente.

## Mantenimiento Correctivo

Diagnóstico de fallos:

- Identificar y diagnosticar problemas relacionados con temperatura, humedad, ventilación o rotación de huevos.

Reemplazo de piezas defectuosas:

- Reemplazar sensores, ventiladores o cualquier otro componente defectuoso que afecte el funcionamiento de la incubadora.

## **CAPÍTULO III: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **3.1. CONCLUSIÓN**

Se concluye con la finalización total de la incubadora, realizando las pruebas pertinentes necesarias, que el código final presentado en este proyecto de incubación con ESP32 ha sido diseñado para ser robusto, eficiente y visualmente atractivo. Integra funcionalidades clave como la lectura de temperatura y humedad mediante el sensor DHT22, el control automático de los relés mediante un sistema PID, y una interfaz web que muestra datos críticos de manera clara y accesible. Además, se han implementado características de persistencia de datos para asegurar que la información se mantenga incluso después de cortes de energía o reinicios.

La implementación de una incubadora automática con capacidad para 210 huevos, enfocada en el monitoreo y seguimiento del ciclo de incubación mediante tecnología IoT, representa un avance significativo para pequeñas granjas avícolas. A lo largo del desarrollo del proyecto, se han analizado los requerimientos óptimos para el desarrollo de embriones de gallinas, se ha diseñado un sistema electrónico eficiente que incluye monitoreo en tiempo real, alarmas y respaldo eléctrico, y se han realizado simulaciones y programaciones que aseguran el correcto funcionamiento de la incubadora. La integración de sensores, relés y módulos de conectividad ha permitido no solo un control preciso de temperatura y humedad, sino también una interfaz de usuario amigable que facilita la gestión y supervisión del proceso de incubación.

Este enfoque innovador no solo mejora las tasas de éxito en la incubación, sino que también proporciona a los agricultores herramientas valiosas para optimizar la producción avícola, fomentando así el desarrollo sostenible y la eficiencia en la industria.

### **3.2. RECOMENDACIONES**

- Agregar el proceso de ovoscopia para que los usuarios puedan diagnosticar si el huevo puede ubicarse dentro de la incubadora.
- Considerar la implementación de un sistema de monitoreo remoto a través de una aplicación móvil o un portal web para facilitar el acceso a datos y la gestión del proceso de incubación desde cualquier ubicación.
- Elaborar un manual de usuario para una futura incubadora, dicho manual será de mucha utilidad para las personas a las que se proveerá dicha implementación.
- Implementar una función para almacenar y analizar datos históricos sobre el proceso de incubación puede ofrecer información valiosa para futuras mejoras en el sistema y en la técnica de incubación.

## BIBLIOGRAFÍA

- AliExpress. (2025). *HHD 250 Pollo Digital Automático Turner Automático Barato Torneado y Alarma 264 Incubadora de Huevos*. Recuperado de: <https://es.aliexpress.com/i/1005006725244736.html>
- Amazon. (2025). *Brinsea OVA Easy Advance EX 190*. Recuperado de: <https://www.amazon.es/Brinsea-OVA-Easy-Advance-190/dp/B071GQZY3X>
- Amazon. (2025). *JAEDO Incubadora automática de huevos 150 ~ 180 Incubadora de huevos digital automática con giro de huevos para pollos, patos, gansos, pájaros*. Recuperado de: <https://www.amazon.com/-/es/Incubadora-autom%C3%A1tica-huevos-digital-p%C3%A1jaros/dp/B08BWKZFDL>
- Amazon (2025). *R-Com RCOM King Suro 20 Incubadora digital de huevos totalmente automática*. Recuperado de: <https://www.amazon.com/-/es/King-Suro-20-Incubadora-totalmente/dp/B00HUZTE9Q>
- Cámara de Comercio de Valencia. (s.f.). *¿Qué es Internet de las cosas?* Cámara de Comercio de Valencia. Recuperado de: <https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/que-es-internet-de-las-cosas/#:~:text=En%20los%20%C3%BAltimos%20a%C3%B1os%2C%20la,a%20explicar%20todos%20los%20detalles>.
- Castilla et al. (2014, 16 de mayo). *Diseño y construcción de un prototipo de incubadora avícola basado en el análisis fenomenológico del equipo*.
- Castillo, R. (2010, 07 de abril). *Exceso de Humedad y falta de humedad durante la incubación*. Recuperado de: [https://www.engormix.com/avicultura/incubacion-huevo/exceso-humedad-falta-humedad\\_f11093/](https://www.engormix.com/avicultura/incubacion-huevo/exceso-humedad-falta-humedad_f11093/)
- Cevallos Sánchez et al. (2005). *Construcción de una incubadora*. [Construcción de una incubadora. \(espe.edu.ec\)](http://www.espe.edu.ec)

- C&D tecnologia. (2024). *Fuente de energía conmutada 24V 2A-20<sup>a</sup>*. <https://cdtecnologia.net/fuentes-de-energia/2965-1186-fuente-de-energia-conmutada-24v-2a-20a-.html>
- C&D tecnologia. (2024). *Módulo Protector de Voltaje de Batería XH-M609 12-36V*. <https://cdtecnologia.net/baterias/2654-modulo-protector-de-voltaje-de-bateria-xh-m609-12-36v.html>
- Cobb & Vantress (2013). *Guía de manejo de la incubadora*. Recuperado de <https://www.cobbgenetics.com/>
- Cuéllar Sáenz et al. (2021. 07 de enero). *Incubación: obtención de pollitas para puesta y de pollitos para carne*. Veterinaria Digital. Recuperado de: <https://www.veterinariadigital.com/articulos/incubacion-en-gallinas-ponedoras/>
- Díaz, Miguel. (2016, 12 de diciembre). *Nuevo módulo ESP32 con Wifi y Bluetooth de Expressif*. <https://arduinoamnete.blogspot.com/2015/12/nuevo-modulo-esp32-con-wifi-y-bluetooth.html>
- Diffen. (2011, 21 de septiembre). *Analog vs Digital*. Recuperado de: [https://www.diffen.com/difference/Analog\\_vs\\_Digital](https://www.diffen.com/difference/Analog_vs_Digital)
- DigiKey (2024). *Como sentir con precisión la temperatura usando termistores*. Recuperado de: <https://www.digikey.com/es/articles/how-to-accurately-sense-temperature-using-thermistors>
- DirectIndustry (2024). *Fuente de alimentación*. Recuperado de: <https://guide.directindustry.com/es/que-fuente-de-alimentacion-electrica-elegir/>
- Electrical Engineering. (2023). *Why can't I trigger my relay?* <https://electronics.stackexchange.com/questions/520565/why-cant-i-trigger-my-relay>

ElectroStore (2019). Recuperado de: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/reguladores-de-voltaje/modulo-reductor-de-voltaje-5a-xl4015-ajustable-step-down-buck/>

EPY electrónica Bolivia. (s.f.). *Módulo Relé 4 canales 5v.* <https://epyelectronica.com/tienda/modulos-actuadores/relevadores/modulo-rele-4-canales-5v/>

ESP32 SERIES. (2024). Recuperado de: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)

Espinoza et al. (2010, febrero). *Evaluación de los factores del proceso de incubación que intervienen en la ventana de nacimiento de los pollitos, en la incubadora PIPASA- Nicaragua, en el periodo de enero a Julio, 2009.* [Descripción: Evaluacion de los factores del proceso de incubacion que intervienen en la ventana de nacimiento de los pollitos, en la incubadora PIPASA-Nicaragua, en el periodo de Enero a Julio, 2009 \(csuca.org\)](#)

Fidestec. (2019). *Cómo funcionan las fuentes de alimentación conmutadas I.* <https://fidestec.com/blog/fuentes-de-alimentacion-conmutadas-01/>

Fonseca et al. (2017, 15 de febrero). *Incubadora automática de huevos de aves de corral, con capacidad de 100 huevos, natalidad del 70%, monitoreo remoto y de bajo costo.* Recuperado de: <https://repositoriosidca.csuca.org/Record/RepoUNI1357>

Gonzales, Andrés. (s.f.). *Monitoreo de la temperatura corporal.* <https://medium.com/ingenier%C3%ADa-salud-y-educaci%C3%B3n/monitoreo-de-la-temperatura-corporal-f8f670e01de0>

Guo et al. (2016, 30 de marzo). *Incubación y genética.* AviNews. Recuperado de: <https://avicultura.info/control-de-la-temperatura-de-la-cascara-y-su-relacion-con-la-calidad-del-pollito-y-el-rendimiento-del->

[pollo/#:~:text=Para%20que%20la%20incubaci%C3%B3n%20de,Lourens%20e  
t%20al%2C%202005](#)

Howels Models. (2024). *45KG High Torque Metal Geared Waterproof Digital Servo DS3245SG*. <https://howesmodels.co.uk/product/45kg-high-torque-metal-geared-waterproof-digital-servo-ds3245sg/>

Logistics Cluster. (2024) Nicaragua 34: Telecomunicaciones. Logistics Cluster. Recuperado de <https://lca.logcluster.org/es/nicaragua-34-telecomunicaciones#:~:text=Porcentaje%20aproximado%20de%20cobertura%20nacional,entre%20Claro%2C%20TIGO%20y%20Telecable.>

Maxim Integrated. (s.f.). *DS18B20*. Recuperado de <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

Ministerio Agropecuario (2022). *Producción Nacional de Carne de Pollo y Huevo 2022 - Nicaragua mostró excelentes indicadores*. Recuperado de <https://www.mag.gob.ni/index.php/noticias?view=article&id=51:produccion-nacional-de-carne-de-pollo-y-huevo-mostro-excelentes-indicadores-durante-el-ano-2022&catid=11>

Miranda, Juan (2017, 09 de julio). *Dispositivo para monitorio de temperatura*. Recuperado de: <https://silo.tips/download/dispositivo-para-monitoreo-de-temperatura-humedad-y-ph-en-sistemas-de-lombricult>

Naylamp Mechatronics. (2023). *Tutorial de uso módulo L298N*. [https://naylampmechatronics.com/blog/11\\_tutorial-de-uso-del-modulo-l298n.html](https://naylampmechatronics.com/blog/11_tutorial-de-uso-del-modulo-l298n.html)

Openstax (2024). *Transferencia de calor, calor específico y calorimetría*. <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-2/pages/1-4-transferencia-de-calor-calor-especifico-y-calorimetria>

Plata Chana et al. (2014). *Tecnología artificial para la incubación de huevos de gallina*. [Tecnología Artificial para la Incubación de Huevos de Gallina \(umsa.bo\)](#)

- Robots Argentina (2022). *Sensores – Integrados para medir temperatura*. Recuperado de: [https://robots-argentina.com.ar/Sensores\\_integradost.htm](https://robots-argentina.com.ar/Sensores_integradost.htm)
- Romanini, Eduardo (2022, 26 de mayo). *Efecto de perfil de temperatura frío y caliente en las nacedoras sobre la incubabilidad y la calidad de los pollitos*. Recuperado de: <https://www.petersime.com/es/experiencia/efecto-de-perfil-de-temperatura-frio-y-caliente-en-las-nacedoras-sobre-la-incubabilidad-y-la-calidad-de-los-pollitos#:~:text=Conclusi%C3%B3n,101%2C5%20%C2%B0F>).
- RS. (s.f.). *Luz piloto, LED, diámetro 22mm, IP65*. <https://es.rs-online.com/web/p/pilotos/7637921>
- Texas Instruments. (s.f.). *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. Recuperado de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- Unit Electronics. (2016). *Sensor de Temperatura DHT22 AM2302*. <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-temperatura-dht22-am2302/>
- Unit Electronics. (2016). *XL4015 Módulo regulador Step Down 50W 5A*. <https://uelectronics.com/producto/modulo-regulador-step-up-1-25-35v-xl4015-5-40v-5a/>
- Unit Electronics (2023). *Sensor de Temperatura DHT22 AM2302*. Recuperado de <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-temperatura-dht22-am2302/>
- Verhels et al. (2015, 13 de octubre). *Técnicas modernas de incubación*. Recuperado de: <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/tecnicas-modernas-incubacion-impacto-t32654.htm>
- W. Smith (2013, 17 de septiembre). *Procedimiento para la incubación de huevos*. Recuperado de: <https://www.avicultura.mx/destacado/Procedimiento-para-la-incubacion-de-huevos>

## ANEXOS

### 1. Código del sistema de incubación

A continuación, se muestra el código con el que se implementa los primeros los requisitos para hacer el control del sistema de incubación completo y ejecutando un servidor web para la visualización de los datos en tiempo real.

A continuación se muestra la estructuración de las librerías a utilizar para los ensayos en el sistema de incubación.

```
1 from machine import Pin, I2C, Timer, PWM, RTC
2 import time
3 import network
4 import ntptime
5 from ssd1306 import SSD1306_I2C
6 from dht import DHT22
7 import ujson as json
8 from microWebSrv import MicroWebSrv
9
10 # Configuración del I2C para el OLED
11 i2c = I2C(0, scl=Pin(22), sda=Pin(21), freq=400000)
12
13 # Crear el objeto OLED
14 oled_width = 128
15 oled_height = 64
16 oled = SSD1306_I2C(oled_width, oled_height, i2c)
17
18 # Pines para los pulsadores
19 button_nav = Pin(12, Pin.IN, Pin.PULL_UP)
20 button_select = Pin(14, Pin.IN, Pin.PULL_UP)
21
22 # Configuración del DHT22
23 dht22_pin = Pin(4)
24 dht22 = DHT22(dht22_pin)
25
```

#### Figura 1.1

##### *Librerías del código.*

Selección de los pines a utilizar para cada elemento electrónico que son los fanes, válvula de alimentación, resistencias calefactoras de agua, ambiente selección del de la red a la que se conectara nuestro ESP32, sincronización de tiempo real e inicialización del menú para el proceso de incubación.

```
Fichero Editar Visualizar Ejecutar Herramientas Ayuda
incu_web_fun.py
26 # Configuración del servomotor
27 servo_pin = Pin(5)
28 servo = PWM(servo_pin, freq=50)
29 servo.duty(0)
30
31 # Configuración del relé
32 relay_heater = Pin(16, Pin.OUT) # Resistencia calefactora
33 relay_water_heater = Pin(17, Pin.OUT) # Resistencia de agua
34 relay_valve = Pin(18, Pin.OUT) # Electroválvula
35 relay_fan = Pin(19, Pin.OUT) # Ventilador
36
37 # Configuración de Wi-Fi
38 ssid = 'Skynet'
39 password = '66UfqDbst@Nn@w9'
40 wifi = network.WLAN(network.STA_IF)
41 wifi.active(True)
42
43 # Configuración de RTC y NTP
44 rtc = RTC()
45 ntp.time.host = 'pool.ntp.org'
46
47 # Variables para el menú
48 menu_stage = 0 # 0: Bienvenido, 1: Conexión Wi-Fi, 2: IP y Sincronización, 3: Iniciar Incubación, 4: Monitoreo
49 is_incubating = False
50
```

**Figura 1.2**  
*Asignación de pines.*

Conversión del tiempo de incubación en milisegundos comenzando el periodo de incubación en 0, determinación de un archivo ISO para el almacenaje de las variables de incubación durante el proceso, creación de la función para leer el sensor DHT22 con el manejo de errores si se presenta.

```
Fichero Editar Visualizar Ejecutar Herramientas Ayuda
incu_web_fun.py x
51 # Variables para el proceso de incubación
52 incubation_time = 21 * 24 * 60 * 60 * 1000 # 21 días en milisegundos
53 incubation_start_time = 0
54 timer = Timer(0)
55
56 # Persistencia de datos
57 state_file = 'incubation_state.json'
58
59 # Función para leer el sensor DHT22 con manejo de errores
60 def read_dht22():
61     try:
62         dht22.measure()
63         temp = dht22.temperature()
64         hum = dht22.humidity()
65         return temp, hum
66     except OSError as e:
67         print("Error reading DHT22:", e)
68         return None, None
69
70 # Inicialización de variables para temperatura y humedad
71 temp, hum = read_dht22()
72
```

**Figura 1.3**  
*Declaración de funciones.*

## Declaración de la función para mostrar el menú en la pantalla OLED.

```
Hichero Editar Visualizar Ejecutar Herramientas Ayuda
incu_web_fun.py
/2
73 # Función para mostrar el menú en la pantalla OLED
74 def display_menu():
75     oled.fill(0)
76     if menu_stage == 0:
77         oled.text("Bienvenido", 0, 0)
78         oled.text("> Conectar Wi-Fi", 0, 10)
79     elif menu_stage == 1:
80         oled.text("Conectando Wi-Fi", 0, 0)
81     elif menu_stage == 2:
82         ip = wifi.ifconfig()[0]
83         oled.text("IP: {}".format(ip), 0, 0)
84         date_time = rtc.datetime()
85         oled.text("{}:{:02}:{:02}:{:02}".format(date_time[4], date_time[5], date_time[6]), 0, 10)
86         oled.text("{}:{:02}/{:02}/{:04}".format(date_time[2], date_time[1], date_time[0]), 0, 20)
87     elif menu_stage == 3:
88         oled.text("Menu:", 0, 0)
89         oled.text("> Start Incubation", 0, 10)
90     elif menu_stage == 4:
91         time_left = (incubation_start_time + incubation_time - time.ticks_ms()) // 1000
92         oled.text("Time left: {}s".format(time_left), 0, 0)
93         temp, hum = read_dht22()
94         if temp is not None and hum is not None:
95             oled.text("Temp: {}C".format(temp), 0, 10)
96             oled.text("Hum: {}%".format(hum), 0, 20)
```

**Figura 1.4**  
*Declaración de la función display.*

Declaración de funciones: inicializar proceso de incubación y actualizar el estado de incubación.

```
97     else:
98         oled.text("Sensor error", 0, 10)
99         date_time = rtc.datetime()
100         oled.text("{}:{:02}:{:02}:{:02}".format(date_time[4], date_time[5], date_time[6]), 0, 30)
101         oled.text("{}:{:02}/{:02}/{:04}".format(date_time[2], date_time[1], date_time[0]), 0, 40)
102         if wifi.isconnected():
103             oled.text("Wi-Fi: OK", 0, 50)
104         else:
105             oled.text("Wi-Fi: NO", 0, 50)
106     oled.show()
107
108 # Función para iniciar el proceso de incubación
109 def start_incubation():
110     global is_incubating, incubation_start_time
111     is_incubating = True
112     incubation_start_time = time.ticks_ms()
113     display_menu()
114     timer.init(period=1000, mode=Timer.PERIODIC, callback=update_incubation_status)
115     save_state()
116     print("Incubation started")
117
118 # Función para actualizar el estado de incubación
119 def update_incubation_status(timer):
120     if is_incubating:
121         if time.ticks_diff(time.ticks_ms(), incubation_start_time) > incubation_time:
122             finish_incubation()
123         else:
124             display_menu()
125             rotate_eggs()
```

**Figura 1.5**  
*Inicialización de proceso de incubación.*

Declaración de funciones: finalizar el proceso de incubación y seleccionar un elemento del menú.

```
128 # Función para finalizar el proceso de incubación
129 def finish_incubation():
130     global is_incubating
131     is_incubating = False
132     timer.deinit()
133     oled.fill(0)
134     oled.text("Incubation Done!", 0, 0)
135     oled.show()
136     time.sleep_ms(2000)
137     display_menu()
138     print("Incubation finished")
139
140 # Función para seleccionar un elemento del menú
141 def select_menu_item():
142     global menu_stage
143     if menu_stage == 0:
144         menu_stage = 1 # Conexión Wi-Fi
145         connect_wifi()
146     elif menu_stage == 1:
147         menu_stage = 2 # Mostrar IP y sincronizar hora
148         sync_time()
149     elif menu_stage == 2:
150         menu_stage = 3 # Mostrar menú de incubación
151         display_menu()
152     elif menu_stage == 3:
153         start_incubation()
154         menu_stage = 4 # Monitoreo
155         display_menu()
```

**Figura 1.6**

*Finalización de proceso de incubación.*

Función de la rotación de las bandejas, control de entorno temperatura y humedad.

```
157 # Función para rotar los huevos
158 def rotate_eggs():
159     current_time = time.ticks_ms()
160     if current_time % (6 * 60 * 60 * 1000) < 1000: # Cada 6 horas
161         servo.duty(40) # Rotar a la posición 1
162         time.sleep(0.5)
163         servo.duty(115) # Rotar a la posición 2
164         time.sleep(0.5)
165         servo.duty(0) # Posición inicial
166
167 # Función para controlar el entorno (temperatura y humedad)
168 def control_environment():
169     temp, hum = read_dht22()
170     if temp is not None and hum is not None:
171         if temp < 37.5:
172             relay_heater.on()
173         else:
174             relay_heater.off()
175
176         if hum < 55.0:
177             relay_water_heater.on()
178             relay_valve.on()
179         else:
180             relay_water_heater.off()
181             relay_valve.off()
182
183         relay_fan.on()
184     else:
185         # Error de sensor, apaga todos los dispositivos
```

**Figura 1.7**

*Nuevas funciones para la incubadora.*

A continuación, se muestra cuáles son las funciones para guardar el estado y para cargar el estado.

```
183     relay_fan.on()
184     else:
185         # Error de sensor, apaga todos los dispositivos
186         relay_heater.off()
187         relay_water_heater.off()
188         relay_valve.off()
189         relay_fan.off()
190
191 # Función para guardar el estado
192 def save_state():
193     state = {
194         'is_incubating': is_incubating,
195         'incubation_start_time': incubation_start_time
196     }
197     with open(state_file, 'w') as f:
198         json.dump(state, f)
199
200 # Función para cargar el estado
201 def load_state():
202     global is_incubating, incubation_start_time
203     try:
204         with open(state_file, 'r') as f:
205             state = json.load(f)
206             is_incubating = state['is_incubating']
207             incubation_start_time = state['incubation_start_time']
208     except:
209         pass
210
```

**Figura 1.8**  
*Función para guardar y cargar estado.*

Función para conectar a una red Wi-Fi, sincronizar hora con NTP, manejo de las solicitudes HTTP.

```
211 # Función para conectarse a Wi-Fi
212 def connect_wifi():
213     oled.fill(0)
214     oled.text("Connecting to Wi-Fi", 0, 0)
215     oled.show()
216     wifi.connect(ssid, password)
217     while not wifi.isconnected():
218         time.sleep(1)
219     print("Connected to Wi-Fi")
220     display_menu()
221
222 # Función para sincronizar la hora con NTP
223 def sync_time():
224     try:
225         ntptime.settime()
226         print("Time synchronized")
227     except Exception as e:
228         print("Failed to sync time:", e)
229
230 # Función para manejar las solicitudes HTTP
231 def http_handler(httpClient, httpResponse):
232     global temp, hum
233     query_params = httpClient.GetRequestQueryParams()
234     if 'relay' in query_params:
235         relay = query_params['relay']
236         if relay == 'heater':
237             relay_heater.value(not relay_heater.value())
238         elif relay == 'water_heater':
239             relay_water_heater.value(not relay_water_heater.value())
```

**Figura 1.9**  
*Función para conexión Wi-Fi.*

## Función del manejo de las solicitudes HTTP y estructura de la página web.

```
incu_web_fun.py
245 temp, hum = read_dht22()
246 time_left = (incubation_start_time + incubation_time - time.ticks_ms()) // 1000
247 current_time = "{:02}:{:02}:{:02}".format(rtc.datetime()[4], rtc.datetime()[5], rtc.datetime()[6])
248 current_date = "{:02}/{:02}/{:04}".format(rtc.datetime()[2], rtc.datetime()[1], rtc.datetime()[0])
249 wifi_status = "OK" if wifi.isconnected() else "NO"
250
251 content = ""
252 <!DOCTYPE html>
253 <html>
254 <head>
255 <title>ESP32 Incubator Web Server</title>
256 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
257 <style>
258   body {{ font-family: Arial, sans-serif; text-align: center; }}
259   h1 {{ color: #333; }}
260   .status {{ margin: 20px 0; }}
261   .control {{ display: flex; justify-content: center; margin: 20px 0; }}
262   .control div {{ margin: 0 10px; }}
263   .btn {{ padding: 10px 20px; background-color: #007bff; color: #fff; border: none; cursor: pointer; }}
264   .btn:hover {{ background-color: #0056b3; }}
265 </style>
266 <script>
267   function updateStatus() {{
268     fetch('/status').then(response => response.json()).then(data => {{
269       document.getElementById('temp').innerText = data.temp + ' °C';
270       document.getElementById('hum').innerText = data.hum + '%';
271       document.getElementById('time_left').innerText = data.time_left + ' s';
272       document.getElementById('current_time').innerText = data.current_time;
273       document.getElementById('current_date').innerText = data.current_date;
274     }});
275   }}
276 </script>
277
278 </head>
279 <body>
280 <h1>ESP32 Incubator Web Server</h1>
281 <div class="status">
282   <p>Temperatura: <span id="temp">{} &deg;C</span></p>
283   <p>Humedad: <span id="hum">{} %</span></p>
284   <p>Tiempo restante: <span id="time_left">{} s</span></p>
285   <p>Hora actual: <span id="current_time">{}</span></p>
286   <p>Fecha actual: <span id="current_date">{}</span></p>
287   <p>Wi-Fi: <span id="wifi_status">{}</span></p>
288 </div>
289 <div class="control">
290   <div>
291     <button class="btn" onclick="fetch('/control?relay=heater')">Calefactor</button>
292   </div>
293   <div>
294     <button class="btn" onclick="fetch('/control?relay=stop_heater')">Humedad</button>
295   </div>
296 </div>
297
298 # Función para manejar las solicitudes de estado HTTP
299 def http_status_handler(httpClient, httpResponse):
300     temp, hum = read_dht22()
301     time_left = (incubation_start_time + incubation_time - time.ticks_ms()) // 1000
302     current_time = "{:02}:{:02}:{:02}".format(rtc.datetime()[4], rtc.datetime()[5], rtc.datetime()[6])
303     current_date = "{:02}/{:02}/{:04}".format(rtc.datetime()[2], rtc.datetime()[1], rtc.datetime()[0])
304     wifi_status = "OK" if wifi.isconnected() else "NO"
305
306     status_data = {
307         'temp': temp,
308         'hum': hum,
309         'time_left': time_left,
310         'current_time': current_time,
311         'current_date': current_date,
312         'wifi_status': wifi_status
313     }
314
315     httpResponse.WriteResponseOk(headers=None, contentType="application/json", contentCharset="UTF-8", content=json.dumps(status_data))
316
317 # Inicializar el menú
318 display_menu()
319
```

**Figura 1.10**  
*Estructura de la página web.*

Finalmente, declaramos una nueva función “loop”, la cual permite principal leer y mostrar temperatura y humedad.

```
incu_web_fun.py
332
333 # Cargar el estado previo
334 load_state()
335
336 # Configuración y inicio del servidor web
337 srv = MicroWebSrv(routeHandlers=[('/', 'GET', http_handler), ('/status', 'GET', http_status_handler)], port=80)
338 srv.Start(threaded=True)
339 print('Servidor web iniciado en IP:', wifi.ifconfig()[0])
340
341 # Loop principal
342 while True:
343     if button_nav.value() == 0:
344         print("Button NAV pressed")
345         if not is_incubating and menu_stage in [0, 1, 2, 3, 4]:
346             menu_stage = (menu_stage + 1) % 5
347             display_menu()
348             time.sleep_ms(200) # Debounce delay
349
350     if button_select.value() == 0:
351         print("Button SELECT pressed")
352         select_menu_item()
353         time.sleep_ms(200) # Debounce delay
354
355 # Leer y mostrar temperatura y humedad
356 if is_incubating:
357     temp, hum = read_dht22()
358     if temp is not None and hum is not None:
359         print("Temp: {}C, Hum: {}".format(temp, hum))
360     time.sleep(1)
```

**Figura 1.11**  
*Función loop para mostrar temperatura y humedad.*

## 2. Implementación de incubadora automática

Una vez diseñada la estructura de la incubadora, se procede a ensamblarla utilizando materiales como playwood, láminas de zinc lisa, que ofrecen resistencia y ligereza, facilitando la manipulación y transporte. Los componentes electrónicos, como el microcontrolador ESP32, sensores de temperatura y humedad, servomotores para el movimiento de las bandejas y la pantalla OLED, se integran cuidadosamente en la estructura para garantizar accesibilidad y ventilación adecuada.

El sistema de control automático regula la temperatura, humedad y movimiento de las bandejas, asegurando condiciones óptimas para el desarrollo de los huevos.

Tras realizar pruebas funcionales y ajustes en el software, se implementan sistemas de protección contra sobrecargas y fluctuaciones de voltaje para proteger los componentes. Finalmente, la incubadora se pone en funcionamiento, y el sistema de monitoreo IoT permite el control remoto de las condiciones internas, asegurando una operación eficiente y segura.



**Figura 2.112**

*Parte superior de incubadora ensamblada.*



**Figura 2.2**

*Parte frontal de la incubadora y disposición de las bandejas.*

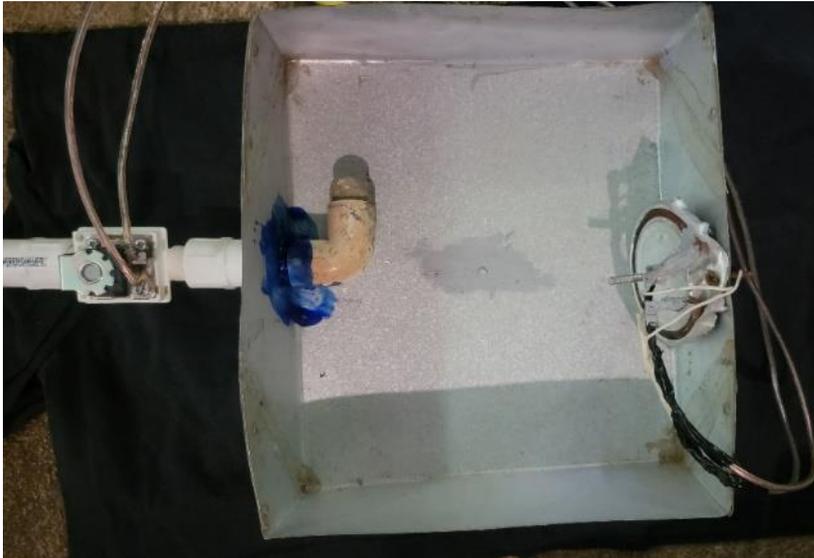


**Figura 2.3**

*Bandeja de agua para producir humedad.*

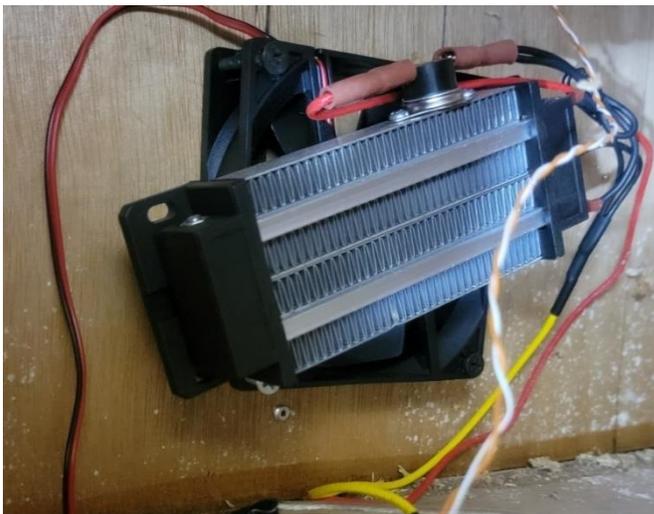
Una vez ensamblada toda la estructura de la incubadora, se procede con la ubicación de sus componentes electrónicos: sensores, resistencias, led, módulos relé, fuente de alimentación, etc.

En la siguiente figura se muestra el sistema de alimentación de agua y calefacción de la misma para la producción de humedad.



**Figura 2.4**  
*Sistema de humedad.*

En la siguiente figura se muestra la instalación del sistema de calefacción donde en la parte posterior de la resistencia se coloca un fan para la distribución uniforme del calor, ya que la ubicación se encuentra en la parte inferior de las bandejas.



**Figura 2.5**  
*Resistencia calentadora 500W.*

En la figura a continuación, se muestra la instalación del sistema de control de movimiento de bandejas de su posición inicial a 45° de inclinación con un movimiento de 5° final a posición inicial.



**Figura 2.6**  
*Ubicación de los motores de movimiento.*

Ubicación del sistema de ventilación externa, sensor de temperatura y humedad en la parte superior interna de la incubadora, para un control de entorno mediante PID.



**Figura 2.7**  
*Sistema de ventilación externa.*