



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE GUAYAQUIL**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**APLICACIÓN DE LA MECATRÓNICA PARA EL PROCESO DE INCUBACIÓN ARTIFICIAL DE HUEVOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Kenneth Marcelo Aldas Avila  
Aarón Josué López Pinela  
TUTOR: Ing. Nino Tello Vega Ureta.

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to one of the authors or the tutor, is located in the bottom left corner of the page.

Guayaquil - Ecuador  
2024

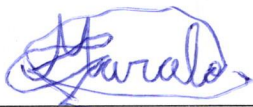
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Kenneth Marcelo Aldas Avila** con documento de identificación N° **2400446734** y **Aarón Josué López Pinela** con documento de identificación N° **0956117840**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 8 de Marzo del año 2024

Atentamente,



---

Kenneth Marcelo Aldas Avila  
2400446734



---

Aarón Josué López Pinela  
0956117840

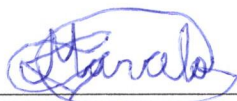
## CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, **Kenneth Marcelo Aldas Avila** con documento de identificación N° **2400446734** y **Aarón Josué López Pinela** con documento de identificación N° **0956117840**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Trabajo de titulación: APLICACIÓN DE LA MECATRÓNICA PARA EL PROCESO DE INCUBACIÓN ARTIFICIAL DE HUEVOS.**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 8 de Marzo del año 2024

Atentamente,



---

Kenneth Marcelo Aldas Avila  
0928904671



---

Aarón Josué López Pinela  
0956117840

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Nino Tello Vega Ureta**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **APLICACIÓN DE LA MECATRÓNICA PARA EL PROCESO DE INCUBACIÓN ARTIFICIAL DE HUEVOS**, realizado por **Kenneth Marcelo Aldas Avila** con documento de identificación N° **2400446734** y por **Aarón Josué López Pinela** con documento de identificación N° **0956117840**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 8 de marzo del año 2024

Atentamente,



---

Ing. Nino Tello Vega Ureta, M.Sc.  
0963020193

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron al éxito de este proyecto de titulación. En primer lugar a Dios, a mi familia. También estoy profundamente agradecido con mi tutor, por su orientación, paciencia y apoyo continuo a lo largo de todo el proceso. Sus conocimientos y consejos fueron fundamentales para la realización de este proyecto.

Además, expreso mi gratitud a mis amigos y compañeros por su constante aliento y comprensión durante este desafiante período. Sin su apoyo incondicional, este logro no habría sido posible. Estoy verdaderamente agradecido por todas las personas que han contribuido de alguna manera en este proyecto.

**Kenneth Marcelo Aldas Avila**

Quiero agradecer primeramente a mi Dios quien me ha sostenido toda mi vida y me ha ayudado durante todo este proceso universitario, el nunca me dejó y estuvo en cada momento ayudándome, dándome fuerzas, salud y las ganas de seguir adelante, por eso y por el simple hecho de ser Dios lo honro y le agradezco porque él es bueno y misericordioso. Por Jesús he podido llegar hasta donde estoy, el me ha dado las fuerzas a través de su Espíritu Santo siempre, te amo mi Dios.

A mis padres por ser luchadores y amar a Dios, los cuales siempre me han estado apoyando en las altas y bajas y han dado su mayor esfuerzo por mí, para que tenga siempre una buena educación tanto espiritual como profesional, ellos son los que merecen ser reconocidos y aplaudidos. Ellos me ayudaron en todo el proceso de tesis y estuvieron conmigo para que pueda conseguir todo lo que necesitaba, los amo mucho.

A mis hermanas que siempre me han estado apoyando tanto emocional como económicamente, ellas también han sido mi inspiración para seguir adelante en los estudios y para poder superarme cada día más. Las quiero muchas hermanas.

A mis familiares los cuales siempre me han dado sus palabras de aliento, las cuales han llegado como un vaso de agua en su debido tiempo y me han hecho avanzar en este camino. A todos mis profesores que tengo durante este trayecto universitario y en especial al tutor, el Msc. Ing. Nino Vega, quien es una persona muy profesional, amable y paciente, el cual fue el promotor de esta idea y siempre ha estado presto a escucharnos y a ayudarnos para poder seguir adelante en esta tesis. Al director de la carrera de mecatrónica el Msc. Ing. Jorge Fariño quien siempre está dispuesto a brindar su ayuda en cualquier proceso que esté pasando algún estudiante para que puede superarse.

**Aarón Josué López Pinela**

## I. RESUMEN

En el presente proyecto se efectuó la construcción e implementación de una máquina incubadora artificial de huevos de gallina, el prototipo está enfocado específicamente para pequeños avicultores con un bajo porcentaje de incubabilidad. El sistema de incubación utiliza parámetros de temperatura, humedad, ventilación y un sistema de volteo, con el propósito de recrear un ambiente de incubación preciso y seguro.

Se realizó el estudio del sistema de incubación artificial, también se desarrolló la implementación del sistema eléctrico y mecánico para la obtención de un ambiente preciso para los embriones. También se realizaron las pruebas requeridas para el sistema de calentamiento y humedad, funcione adecuadamente. También se realizaron pruebas de incubación donde se obtuvo un resultado positivo para el nacimiento de los pollitos.

El prototipo cuenta con un sistema mecánico de volteo de biela manivela balancín, además de un sistema de ventilación diseñado para extraer la humedad del interior de la incubadora. La temperatura de funcionamiento del proceso de incubación oscilará entre los 37 °C y 38 °C mientras que el sistema de humidificación mantendrá un nivel de humedad aproximado del 70 % al 80 %.

Para la estructura mecánica, se empleó un material de acero inoxidable Aisi 304, mientras que para las bases de las cubetas se implementaron perfiles de aluminio 6061. El análisis mecánico de la estructura se llevó a cabo utilizando el software Inventor, el cual facilitó el análisis de las piezas y el ensamblaje de la estructura mecánica. La elección de estos materiales y el uso del software permitieron garantizar la durabilidad, resistencia y eficiencia del prototipo de la máquina.

**Palabras claves:** incubación, huevos, temperatura, humedad, ventilación, incubadora, artificial, prototipo.

## II. ABSTRACT

In this project, the construction and implementation of an artificial chicken egg incubator machine was carried out. The prototype is specifically focused on small poultry farmers with a low hatchability percentage. The incubation system uses parameters of temperature, humidity, ventilation and a turning system, with the purpose of recreating a precise and safe incubation environment.

The study of the artificial incubation system was carried out, the implementation of the electrical and mechanical system was also developed to obtain a precise environment for the embryos. The tests required for the heating and humidity system to function properly were also carried out. I carried out incubation tests where a positive result was obtained for the birth of the chicks.

The prototype has a mechanical rocker arm crank turning system, as well as a ventilation system designed to extract humidity from the inside of the incubator. The operating temperature of the incubation process will range between 37°C and 38°C while the humidification system will maintain an approximate humidity level of 70 % to 80 %.

For the mechanical structure, an Aisi 304 stainless steel material was used, while 6061 aluminum profiles were implemented for the bases of the basins. The mechanical analysis of the structure was carried out using the Inventor software, which facilitated the analysis of the parts and the assembly of the mechanical structure. The choice of these materials and the use of the software allowed us to guarantee the durability, resistance and efficiency of the machine prototype.

**Keywords:** incubation, eggs, temperature, humidity, ventilation, incubator, artificial, prototype.

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>RESUMEN</b>	6
<b>II.</b>	<b>ABSTRACT</b>	7
<b>III.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>IV.</b>	<b>PROBLEMA DE ESTUDIO</b>	2
<b>V.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	4
<b>VI.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	5
VI-A.	Objetivo General . . . . .	5
VI-B.	Objetivos específicos . . . . .	5
<b>VII.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	6
VII-A.	Métodos de incubación. . . . .	6
VII-A1.	Incubación Natural . . . . .	6
VII-A2.	Incubación artificial . . . . .	6
VII-B.	Tipos de incubadoras . . . . .	7
VII-B1.	Incubadora manual . . . . .	7
VII-B2.	Incubadora semi-automática . . . . .	7
VII-B3.	Incubadora automática . . . . .	8
VII-C.	Factores que intervienen en el proceso de incubación. . . . .	9
VII-C1.	Ubicación geográfica . . . . .	9
VII-C2.	Infertilidad del huevo . . . . .	9
VII-C3.	Almacenamiento del huevo fértil . . . . .	10
VII-C4.	Defecto en la cascara del huevo . . . . .	10
VII-C5.	Parámetro de Temperatura . . . . .	11
VII-C6.	Parámetro de Humedad . . . . .	11
VII-C7.	Ventilación del sistema . . . . .	11
VII-C8.	período de incubación . . . . .	12
VII-C9.	Sistema de volteo . . . . .	12
VII-D.	Características del huevo en periodo de incubación . . . . .	13
VII-E.	Sistema de movimiento rotacional . . . . .	13
VII-E1.	Mecanismos de cuatro barras . . . . .	13
VII-E2.	Mecanismo manivela balancín . . . . .	14
VII-F.	Estructura del Control PID . . . . .	15
VII-F1.	Sistema de control en lazo abierto . . . . .	15
VII-F2.	Sistema de control en lazo cerrado . . . . .	16
VII-G.	Sistema de Control PID . . . . .	17
VII-G1.	Control proporcional . . . . .	17
VII-G2.	Control proporcional integral . . . . .	17
VII-G3.	Control proporcional derivativo . . . . .	18
VII-G4.	Control proporcional integral derivativo . . . . .	19
VII-G5.	Método de ziegler nichols . . . . .	20
VII-H.	Materiales de incubadora . . . . .	21



<b>VIII. MARCO METODOLÓGICO</b>	22
VIII-A. Análisis del sistema mecánico . . . . .	22
VIII-B. Calculo para base de cubetas . . . . .	22
VIII-C. Análisis de Base de cubetas . . . . .	24
VIII-D. Análisis de biela manivela . . . . .	26
VIII-E. Cálculos de termodinámica . . . . .	30
VIII-E1. Calculo de potencia para la resistencia de calor . . . . .	30
VIII-E2. Calculo de potencia para la resistencia de inmersión . . . . .	34
VIII-F. Cálculos del sistema eléctrico . . . . .	34
VIII-F1. Especificaciones de motor eléctrico . . . . .	34
VIII-F2. Cálculos del motor eléctrico . . . . .	35
VIII-F3. Especificaciones eléctricas . . . . .	35
<b>IX. DISEÑO Y DIAGRAMA</b>	36
IX-A. Diseño del circuito eléctrico. . . . .	36
IX-B. Diseño del hardware . . . . .	37
IX-B1. Diagrama de microcontrolador ESP32 . . . . .	37
IX-B2. Diagrama electrónico de control PID . . . . .	38
IX-B3. Diseño de pistas de placa electrónica . . . . .	39
IX-B4. Diseño en 3d de placa electrónica . . . . .	39
IX-C. Diseño del software . . . . .	40
IX-C1. Diagrama de flujo de la programación . . . . .	40
IX-D. Diseño del sistema de control . . . . .	42
IX-D1. Modelo matemático . . . . .	42
IX-D2. Controlador PID de la incubadora . . . . .	44
IX-D3. Calibración del controlador PID . . . . .	45
<b>X. IMPLEMENTACION DEL PROTOTIPO</b>	46
X-A. Implementación de software . . . . .	46
X-A1. Setpoint Establecidos . . . . .	46
X-A2. Constantes de control PID . . . . .	46
X-B. Acondicionamiento de la nevera . . . . .	48
X-C. Implementación de la estructura mecánica . . . . .	49
X-D. Implementación del sistema de movimiento . . . . .	52
X-E. Implementación del tablero de control . . . . .	53
X-E1. Implementación de breaker general y cableado . . . . .	53
X-E2. Implementación de breaker general y cableado . . . . .	53
X-E3. Implementación del distribuidor de fuente . . . . .	54
X-E4. Implementación del distribuidor de fuente . . . . .	54
X-F. Implementación de la tarjeta electrónica. . . . .	55
X-F1. Desarrollo de tarjeta de control ATmega328p . . . . .	55
X-F2. Desarrollo de tarjeta de control con ESP32 . . . . .	55
X-F3. Implementación del circuito electrónico en tablero . . . . .	56
X-G. Implementación del sistema de calentamiento y humedad . . . . .	56
X-G1. Circuito de entrada y salida del sistema de calentamiento y humedad . . . . .	56
X-G2. Implementación del circuito electrónico en tablero . . . . .	57
X-G3. Implementación del circuito electrónico en tablero . . . . .	57

<b>XI. PRUEBAS DE SIMULACIÓN</b>	58
XI-A. simulación del mecanismo biela manivela . . . . .	58
XI-B. Pruebas del sistema de control . . . . .	60
XI-B1. Prueba en lazo abierto de temperatura . . . . .	60
XI-B2. Pruebas PID de temperatura . . . . .	60
XI-B3. Controlador PID con Perturbaciones Superiores . . . . .	63
XI-B4. Controlador PID con Perturbaciones Inferiores . . . . .	65
XI-B5. Validación del sistema de control en la planta real . . . . .	67
XI-C. Pruebas de incubación. . . . .	68
XI-C1. Condición del huevo día uno . . . . .	68
XI-C2. Monitoreo de temperatura y humedad día uno . . . . .	68
XI-C3. Monitoreo de temperatura y humedad día dos . . . . .	69
XI-C4. Sistema de volteo automático . . . . .	69
XI-C5. Monitoreo de temperatura y humedad día cinco . . . . .	70
XI-C6. Monitoreo de temperatura y humedad día nueve . . . . .	70
XI-C7. Inspección de huevos con movimiento del embrión . . . . .	71
XI-C8. Inspección de huevos sin embrión formado . . . . .	71
XI-C9. Monitoreo de temperatura y humedad día quince . . . . .	72
XI-C10. Finalización del sistema de volteo en día quince . . . . .	72
XI-C11. Ajuste de parámetro de temperatura y humedad día dieciocho . . . . .	73
XI-C12. Monitoreo de temperatura y humedad día diecinueve . . . . .	73
XI-C13. Picoteo del cascarón del huevo día diecinueve . . . . .	74
XI-C14. Formación del pollo día veintiuno . . . . .	74
<b>XII. RESULTADOS</b>	75
XII-A. Resultado pruebas de incubación . . . . .	75
XII-B. Porcentaje promedio de incubabilidad. . . . .	75
XII-B1. Porcentaje de incubabilidad en primera prueba de incubación. . . . .	75
XII-C. Gráfico 1 porcentaje de incubación. . . . .	76
XII-C1. Porcentaje de incubabilidad en segunda prueba de incubación. . . . .	76
XII-D. Gráfico 2 porcentaje de incubación. . . . .	77
<b>XIII. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b>	78
<b>XIV. PRESUPUESTO</b>	79
<b>XV. CONCLUSIÓN</b>	80
<b>XVI. RECOMENDACIONES</b>	81
<b>Referencias</b>	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Produccion por semanal de huevos.(Autores)	2
2.	Cantidad de gallinas reproductoras en Ecuador.(Autores)	3
3.	metodo de incubacion natural [3].	6
4.	método de incubación artificial [5].	7
5.	Sistema de incubación manual [7].	7
6.	Sistema de incubación semiautomático[9].	8
7.	Sistema de incubación automático [11].	8
8.	Porcentaje de oxigeno en altura.(Autores)	9
9.	Característica del huevo no fecundado [14].	9
10.	defectos del cascaron [16].	10
11.	Sistema de ventilación[20].	12
12.	Ángulo de volteo de cubetas[22].	12
13.	Mecanismo biela manivela de balancín [24].	14
14.	Mecanismo biela manivela de balancín [26].	14
15.	Diagrama de lazo abierto. (autores)	15
16.	Diagrama de lazo cerrado (autores)	16
17.	Diagrama método ziegler nichols[27].	20
18.	Diagrama 2 método de ziegler nichols[29].	20
19.	Base de cubetas ensamblada.	24
20.	Propiedades del material.	24
21.	Propiedades de base de cubetas.	24
22.	Análisis de deformación de cubeta.	25
23.	Factor de seguridad.	25
24.	Brazo manivela en 45 grados.	26
25.	Análisis de desplazamiento de base de cubeta.	27
26.	Factor de seguridad.	27
27.	Brazo manivela en 90 grados	28
28.	Análisis de desplazamiento de base de cubeta.	29
29.	Factor de seguridad.	29
30.	Factor de seguridad.	30
31.	Diseño eléctrico de fuerza y control	36
32.	Diagrama de entradas y salidas	37
33.	Hoja de la entrada de los pines al microcontrolador	38
34.	Diseño de las pistas de la placa	39
35.	Placa electrónica elaborada en el programa altium	39
36.	Diagrama de flujo del software	41
37.	Curva de reacción de la temperatura de la incubadora a una entrada escalón de 115 voltios en la planta real.	42
38.	Curva de reacción de Ziegler Nichols.	42
39.	Diagrama de bloque del sistema simulado en simulink.	43
40.	Simulación de la función de transferencia (ecuación 2563) a una entrada de 115 voltios.	43
41.	Diagrama de bloque del controlador PID.	44
42.	Diagrama de control de lazo cerrado PID.	44
43.	Señal de Temperatura de la incubadora con el controlador PID calibrado.	45
44.	Señal de voltaje que se aplica al actuador para generar la salida de la (figura 43).	45
45.	Setpoint de temperatura y humedad en Visual Code.	46
46.	Constantes del PID.	47
47.	Corte de lamina sobrante.	48
48.	Implementación y restauración de lamina de acero.	48

49.	Restauración de la nevera. . . . .	49
50.	Estructura de soporte para las bandejas. . . . .	49
51.	Base de platina para los tubos cuadrado. . . . .	50
52.	Rodamiento y ejes para las bandejas. . . . .	50
53.	Estructura de aluminio para las bandejas. . . . .	51
54.	Implementación de bases para cubetas. . . . .	51
55.	Implementación del motor síncrono. . . . .	52
56.	Implementación del brazo biela manivela. . . . .	52
57.	Implementación del breaker general y contactor. . . . .	53
58.	Corte de los agujeros para cableado del tablero de control. . . . .	53
59.	Implementación del distribuidor de carga y fuente. . . . .	54
60.	Implementación de las botoneras y del cableado. . . . .	54
61.	Tarjeta de control con ATmega328P. . . . .	55
62.	Tarjeta de control con ESP32. . . . .	55
63.	Implementación del circuito electrónico en tablero de control. . . . .	56
64.	Circuito del sistema de salida y entrada. . . . .	56
65.	Implementación del circuito terminado. . . . .	57
66.	Implementación del sistema de humedad y temperatura. . . . .	57
67.	Dibujo 2d del mecanismo de 4 barras. . . . .	58
68.	Movimiento del mecanismo 4 barras. . . . .	58
69.	Gráfica del movimiento de posición. . . . .	59
70.	Gráfica de la velocidad. . . . .	59
71.	Gráfica de estabilización de temperatura en lazo abierto a 49.15 Celsius. . . . .	60
72.	Grafica PID de temperatura. . . . .	61
73.	Gráfica del PID de temperatura final. . . . .	62
74.	Gráfico de Estabilización en 37.8°C. . . . .	62
75.	Diseño del sistema PID para control de perturbación de temperatura. . . . .	63
76.	Sistema de control en lazo cerrado con perturbación de +2°C dentro de la incubadora. . . . .	63
77.	Perturbación de 2 grados de la temperatura dentro de la incubadora. . . . .	64
78.	Temperatura de salida de la incubadora ante la permutación de + 2°C. . . . .	64
79.	Voltaje aplicado al actuador con la perturbación de +2°C. . . . .	65
80.	Sistema de control en lazo cerrado con perturbación de -2°C dentro de la incubadora. . . . .	65
81.	Temperatura de salida de la incubadora ante la permutación de - 2°C. . . . .	66
82.	Voltaje aplicado al actuador con la perturbación de -2°C. . . . .	66
83.	Gráfica de estabilización de temperatura en lazo abierto a 49.15 Celsius. . . . .	67
84.	Huevo criollo de incubación . . . . .	68
85.	Día uno de incubación . . . . .	68
86.	Día dos de incubación . . . . .	69
87.	Volteo de bandejas automático . . . . .	69
88.	Datos enviados por ubidots de la caída de temperatura. . . . .	70
89.	Día 9 de incubación . . . . .	70
90.	Embrión en Movimiento dentro del cascaron. . . . .	71
91.	Huevo sin embrión formado en el día 9. . . . .	71
92.	Día 15 de incubación. . . . .	72
93.	Volteo de gavetas finalizado. . . . .	72
94.	Registro de temperatura mostrada por la app de ubidots . . . . .	73
95.	Día 19 de incubación . . . . .	73
96.	Picoteo del pollo al cascaron en el día 19 . . . . .	74
97.	formación del pollo . . . . .	74
98.	porcentaje de incubabilidad[13]. . . . .	75

99.	porcentajes de prueba 1 [13]. . . . .	76
100.	porcentaje de prueba 2 [13]. . . . .	77
101.	Diseño 3d brazo largo . . . . .	84
102.	Diseño 3d base de cubetas . . . . .	85
103.	Diseño 3d brazo corto . . . . .	86
104.	Diseño 3d base de estructura . . . . .	87
105.	Diseño 3d agarradera de base . . . . .	88
106.	Diseño 3d transmisor de movimiento . . . . .	89
107.	Diseño 3d de cubetas . . . . .	90

## ÍNDICE DE TABLAS

I.	Porcentaje temperatura y humedad en almacenamiento . . . . .	10
II.	Parámetro de temperatura de 21 días . . . . .	11
III.	Parámetro de humedad de 21 días . . . . .	11
IV.	Especificaciones del motor eléctrico . . . . .	34
V.	especificaciones eléctricas . . . . .	35
VI.	Datos de porcentaje de incubación . . . . .	75
VII.	Datos de porcentaje de incubación . . . . .	76
VIII.	Cronograma de actividades. . . . .	78
IX.	Cronograma de actividades . . . . .	79

### III. INTRODUCCIÓN

La incubación de los huevos de gallina es un proceso esencial en la cría de aves, permitiendo un control eficiente de la reproducción. Durante este proceso, los huevos se exponen a condiciones específicas de temperatura, humedad y ventilación para fomentar un desarrollo embrionario óptimo. A menudo se lleva a cabo en incubadoras artificiales, aunque también puede ocurrir naturalmente bajo el cuidado de una gallina madre.

Los fundamentos de la incubación de huevos de gallina, desde la preparación inicial de los huevos hasta el cuidado de los pollitos recién nacidos. Se abordarán diferentes métodos de incubación, las condiciones ideales para el éxito del proceso y los pasos necesarios para criar pollos saludables.

El éxito de la incubación está determinado por varios factores, incluyendo la calidad genética de los huevos, su adecuada manipulación durante la recolección, almacenamiento y el mantenimiento preciso de las condiciones ambientales en la incubadora.

Una vez concluida la incubación, los huevos eclosionan, dando origen a pollitos que, con el cuidado adecuado, se desarrollarán hasta convertirse en gallinas adultas. Por lo tanto, la incubación de huevos de gallina representa un paso crucial en la industria avícola, asegurando su continuidad y éxito.

#### IV. PROBLEMA DE ESTUDIO

En Ecuador el huevo de gallina es uno de los productos indispensables que está incluido en la canasta básica, esto quiere decir que este es un alimento imprescindible en todas las viviendas ecuatorianas. Para satisfacer la alta demanda de este producto han surgido muchos productores avícolas, entre los cuales se destacan a los productores independientes, que cuentan con una producción mínima en comparación a los grandes productores. Basados en la encuesta de superficie y Producción Agropecuaria, en el Ecuador se llegan a producir alrededor de 2.500 millones de huevos al año y más de 48 millones de huevos por semana, como se evidencia en la (figura 1), siendo el 14 % de producción de campo y 86 % de planteles avícolas[1].



Figura 1. Produccion por semanal de huevos.(Autores)

Los productores de campo o independientes cuentan con el típico proceso tradicional, de incubación natural, la cual puede llegar a ser afectada por distintos factores, como el cambio climático, el mal manejo sanitario, control de nutrición, etc. Estos productores carecen del conocimiento de los modernos métodos de incubación, debido a la falta de empresas que las elaboren por su excesivo costo en el mercado.



Los excesivos costos de las máquinas que las empresas demandan, hacen que no puedan ser adquiridas sino por las grandes avícolas que lideran el mercado y así los productores de campo se van eliminando de manera inminente, pues los grandes mercados adquieren la materia prima de estas empresas que las facilitan a toda la población.

Puesto que la demanda en producción de pollos que requiere la población es alta, en comparación a lo que satisface la producción ecuatoriana (figura 2), es necesario que los productores independientes cuenten con un sistema moderno y accesible, para realizar una mayor producción y satisfacer la demanda del consumo en Ecuador.

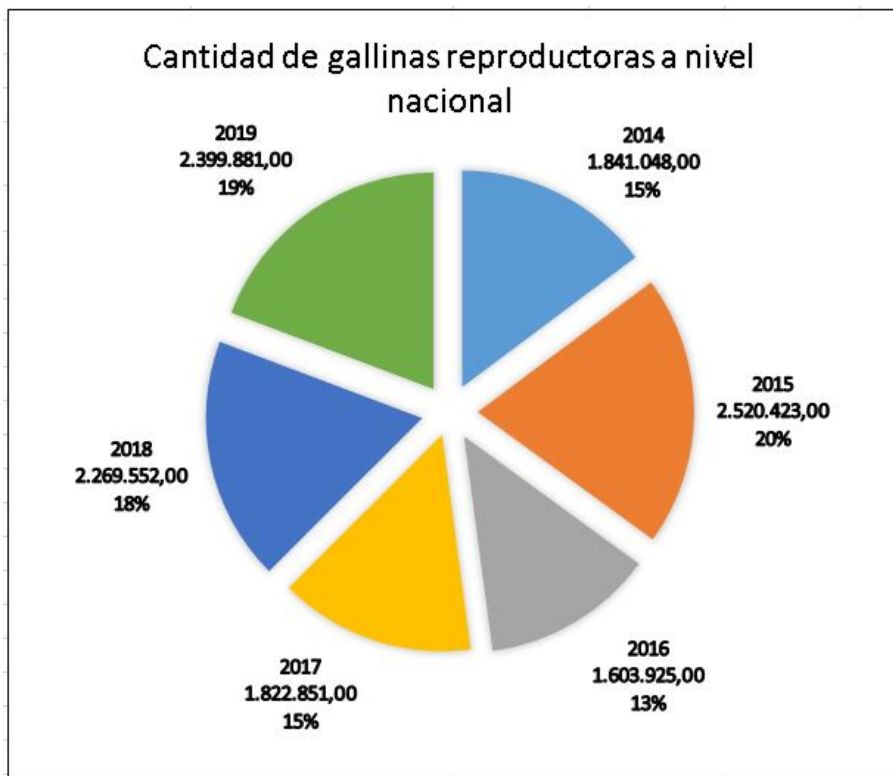


Figura 2. Cantidad de gallinas reproductoras en Ecuador. (Autores)

## V. JUSTIFICACIÓN

La incubación de los huevos de gallina es un proceso esencial en la cría de aves, permitiendo un control eficiente de la reproducción. Durante este proceso, los huevos se exponen a condiciones específicas de temperatura, humedad y ventilación para fomentar un desarrollo embrionario óptimo. A menudo se lleva a cabo en incubadoras artificiales, aunque también puede ocurrir naturalmente bajo el cuidado de una gallina madre.

Los fundamentos de la incubación de huevos de gallina, desde la preparación inicial de los huevos hasta el cuidado de los pollitos recién nacidos. Se abordarán diferentes métodos de incubación, las condiciones ideales para el éxito del proceso y los pasos necesarios para criar pollos saludables.

El éxito de la incubación está determinado por varios factores, incluyendo la calidad genética de los huevos, su adecuada manipulación durante la recolección y almacenamiento, y el mantenimiento preciso de las condiciones ambientales en la incubadora.

Una vez concluida la incubación, los huevos eclosionan, dando origen a pollitos que, con el cuidado adecuado, se desarrollarán hasta convertirse en gallinas adultas. Por lo tanto, la incubación de huevos de gallina representa un paso crucial en la industria avícola, asegurando su continuidad y éxito.

## VI. OBJETIVOS

### VI-A. *Objetivo General*

Desarrollar una incubadora de huevos, que sea automática, utilizando conocimientos mecatrónicos, que permitan la generación de un ambiente adecuado de incubación.

### VI-B. *Objetivos específicos*

- Estudiar los sistemas que componen una incubadora artificial para la implementación de un prototipo.
- Desarrollar los sistemas eléctricos y mecánicos del prototipo, que permitan la generación de un ambiente de incubación adecuado.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo para la verificación de su funcionalidad en base a los parámetros de incubación.
- Realizar pruebas con una cantidad de huevos para la verificación de la efectividad del prototipo, en un proceso de incubación.

## VII. MARCO TEÓRICO

### VII-A. Métodos de incubación.

La incubación de los huevos de gallina constituye un proceso esencial en la crianza de aves, tanto para la producción de carne como para la de huevos. Existen varios métodos para incubar huevos de gallina, cada uno con sus propias ventajas y características. En este contexto, exploraremos los dos principales métodos de incubación utilizados:

- **Incubación Natural.**
- **Incubación Artificial.**

*VII-A1. Incubación Natural:* La incubación natural de huevos se refiere al proceso biológico en el cual una gallina, impulsada por sus instintos reproductivos, se encarga de incubar sus propios huevos para facilitar el desarrollo embrionario y la eventual eclosión de los pollos, como se ilustra en la (figura 3). Durante este proceso, la gallina se posa sobre los huevos para transmitirles calor a través de su propio cuerpo, manteniendo así una temperatura óptima para el desarrollo embrionario. Además, realiza periódicamente el volteo de los huevos para asegurar un desarrollo uniforme de los embriones.

Durante este período, la gallina también actúa como protectora, ofreciendo cuidado y vigilancia constante para garantizar la seguridad de los huevos y, más adelante, de los pollitos recién nacidos. Este método de incubación natural es una práctica arraigada en la cría de aves, aprovechando los comportamientos instintivos de las gallinas para asegurar la reproducción exitosa de la especie. [2].



Figura 3. metodo de incubacion natural [3].

*VII-A2. Incubación artificial:* La proceso de incubación artificial de huevos de gallina es un procedimiento controlado y asistido por el ser humano, en el cual los huevos son colocados en incubadoras diseñadas específicamente para reproducir las condiciones necesarias para el desarrollo embrionario y la eclosión de los pollos. Implica la intervención humana para mantener parámetros como la temperatura, humedad y ventilación en niveles óptimos.

Durante este proceso, los huevos son colocados en una incubadora que controla cuidadosamente la temperatura, proporciona humedad controlada y, en algunos casos, simula el giro de los huevos, como se observa en la (figura 4). Estas condiciones controladas buscan replicar el entorno ideal para el desarrollo embrionario. Este método ofrece mayor control sobre las variables ambientales, permitiendo una gestión más precisa del proceso de incubación. La incubación artificial representa un avance tecnológico importante en la cría de aves, permitiendo una reproducción más eficiente y controlada que beneficia tanto a la industria avícola como a los productores. [4].



Figura 4. método de incubación artificial [5].

### VII-B. Tipos de incubadoras

*VII-B1. Incubadora manual:* Las incubadora manual para huevos son dispositivos que permiten a los avicultores controlar de manera manual los parámetros cruciales, como la temperatura y la humedad. En términos de diseño y capacidad, estos modelos de incubadoras pueden variar; algunas están diseñadas para un manejo más sencillo y son adecuadas para pequeñas cantidades de huevos, como se ve en la siguiente (figura 5). Este tipo de incubadoras ofrece a los criadores, la flexibilidad requerida para ajustarse a diversas exigencias de producción y dimensiones de las explotaciones avícolas.

Además de controlar la temperatura y la humedad, los avicultores también deben realizar tareas como el volteo manual de los huevos, que ayuda a prevenir La adhesión del embrión a la cáscara y promover un desarrollo uniforme. También es común que las incubadoras manuales estén equipadas con sistemas de ventilación para asegurar una circulación adecuada del aire dentro de la incubadora.[6].



Figura 5. Sistema de incubación manual [7].

*VII-B2. Incubadora semi-automática:* La incubadora de huevos semiautomática es un dispositivo diseñado para incubar huevos de gallina de manera parcialmente automatizada. Estos modelos de incubadoras suelen estar equipados con funciones automáticas, como se muestra en la siguiente (figura 6), como la temperatura, humedad y sistema de volteo. Esto permite a los criadores tener un mejor control sobre el proceso de incubación y aumentar la tasa de éxito en la eclosión de los huevos.

las incubadoras semiautomáticas han mejorado sus sistemas de ventilación para garantizar una distribución uniforme del aire. Las bandejas diseñadas para sostener los huevos también se han mejorado para facilitar la rotación automática y asegurar un desarrollo embrionario uniforme. [8].



Figura 6. Sistema de incubación semiautomático[9].

*VII-B3. Incubadora automática:* Una incubadora de huevos automática es un dispositivo diseñado para simular las condiciones naturales necesarias para incubar huevos de aves, como pollos, patos, gansos, entre otros. Estas incubadoras son programables y controlan automáticamente la temperatura, humedad y ventilación para garantizar un ambiente óptimo para el desarrollo embrionario de los huevos. La mayoría de los modelos también pueden voltear automáticamente los huevos para simular el movimiento que experimentarían si estuvieran siendo incubados por la madre.

Estas incubadoras se caracterizan por contar con sistemas avanzados de control totalmente automático de temperatura y humedad, lo que permite realizar ajustes precisos para crear condiciones óptimas de incubación. La interfaz de usuario se ha modernizado con pantallas táctiles y controles digitales, facilitando la configuración y el monitoreo remoto de las condiciones ambientales, como se observa en la siguiente (figura 7). Además, una gran parte de las incubadoras automáticas permiten la conectividad a Internet para el monitoreo remoto, alertas y ajustes en tiempo real. [10].



Figura 7. Sistema de incubación automático [11].

### VII-C. Factores que intervienen en el proceso de incubación.

VII-C1. *Ubicación geográfica:* La ubicación geográfica es un factor crucial que influye en el proceso de incubación de los huevos de gallina. Por ejemplo, Si el sistema es instalado en altitudes que exceden los 1500 metros sobre el nivel del mar, varios desafíos particulares surgirán. Entre ellos se incluyen la reducción del crecimiento embrionario, períodos de incubación más prolongados y una tasa de eclosión más baja. Esto se debe a que, a mayor altitud, la presión del aire disminuye, Lo que conduce a una disminución en la cantidad de oxígeno disponible en el entorno. El aire comúnmente contiene alrededor del 21 % de oxígeno, que se muestran en la siguiente (figura 8), pero a elevadas altitudes, esta proporción disminuye. Por lo tanto, los embriones en desarrollo reciben menos oxígeno y pueden experimentar una mayor deshidratación. Este fenómeno puede tener un impacto significativo en la eficacia de la incubación de los huevos de gallina en áreas montañosas o elevadas [12].

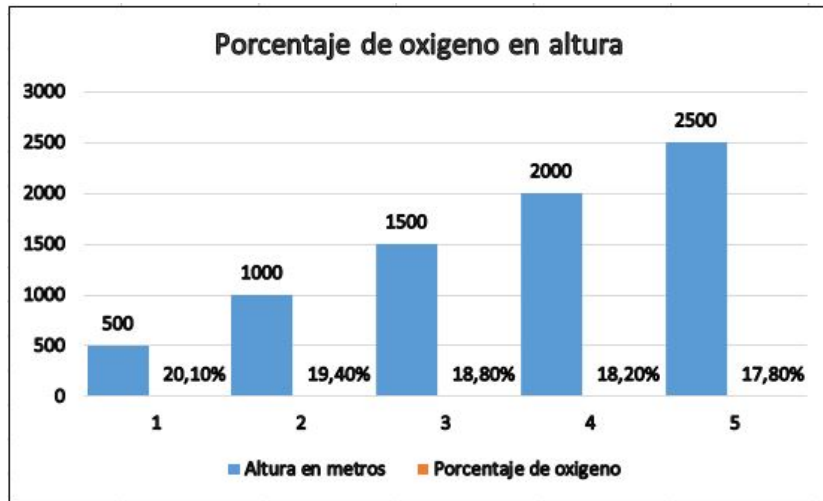


Figura 8. Porcentaje de oxígeno en altura.(Autores)

VII-C2. *Infertilidad del huevo:* Un huevo infértil es aquel que no ha sido fecundado por el gallo durante el proceso de formación en la gallina. Carece de la presencia de un embrión en desarrollo y, por lo tanto, no tiene la capacidad de eclosionar.

La principal característica del huevo infértil es la presencia del blastodisco, que se muestra como un diminuto punto blanquecino con una forma simple y, en ocasiones, irregular. En contraste, en el huevo fértil, el blastodisco o disco germinal tiene una forma regular de círculos concéntricos, como se observa en la (figura 9), similar a una corona que lo rodea [13].

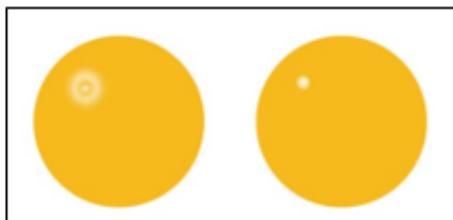


Figura 9. Característica del huevo no fecundado [14].

VII-C3. *Almacenamiento del huevo fértil:* Las condiciones de conservación y almacenamiento de huevos de gallina para incubar se refieren a los parámetros específicos que deben cumplirse los cuales son de un promedio para la temperatura de 20°C a 11°C y para la humedad del 70% al 80%, como se muestra en la (tabla II).en la para mantener la viabilidad y salud de los huevos antes de su incubación,a continuación se muestra los porcentajes de temperatura y humedad [15].

Tabla I  
PORCENTAJE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN ALMACENAMIENTO

Tiempo de almacenamiento	Temperatura 2	Humedad relativa 3
1 a 3 días	20°C	70% - 75%
4 a 7 días	13°C - 16°C	75% - 80%
8 a 14 días	11°C - 12°C	80% - 85%
14 a 21 días	11°C- 12°C	80% - 85%

No se aconseja la prolongada conservación de los huevos antes de la incubación, dado que los huevos frescos muestran tasas de eclosión más altas. Si se almacenan durante más de una semana, la tasa de eclosión puede disminuir. Está ampliamente demostrado que el almacenamiento de los huevos para incubar produce una serie de efectos no deseados, tales como:

- disminución en la calidad interna del huevo, con el albumen volviéndose más acuoso y la membrana vitelina debilitándose.
- influencia negativa al crecimiento posterior.
- Reducción en la tasa de eclosión.
- prolongación en el tiempo de incubación.

VII-C4. *Defecto en la cascara del huevo:* La cáscara de huevo tiene un grosor que varía entre 1,4 y 2,4 mm, lo que influye en la deshidratación durante el proceso de incubación. Se deben excluir los huevos con anomalías en la cáscara o grietas, como se muestra en la (figura 10), ya que presentan un mayor riesgo de contaminación por microorganismos patógenos.



Figura 10. defectos del cascara [16].



VII-C5. *Parámetro de Temperatura:* La temperatura en un sistema de incubación de huevos de gallina se define como la temperatura ambiente que se controla y mantiene constantemente dentro de una incubadora diseñada específicamente para promover la eclosión de los huevos de gallina y garantizar el desarrollo embrionario adecuado de los embriones. El calentamiento de los huevos durante la incubación artificial ocurre a través del intercambio de calor entre el aire y los huevos, lo que hace que la temperatura del aire sea el factor principal en este procedimiento. Las incubadoras mantienen una temperatura que oscila entre 37.5°C y 38.3°C.

Durante los últimos 3 días de incubación, es necesario disminuir el nivel de temperatura a un rango de 36.5°C a 37.3 °C centígrados, como se muestra en la (tabla II), ajustando así la temperatura según las etapas de incubación correspondientes [17].

Tabla II  
PARÁMETRO DE TEMPERATURA DE 21 DÍAS

Parámetro	1 fase de incubación	2 fase de incubación
Temperatura Relativa	37.5°C - 37.7°C	36.7°C - 37°C

VII-C6. *Parámetro de Humedad:* La humedad en un sistema de incubación de huevos de gallina se define como el nivel de vapor de agua que está presente en el aire dentro de la incubadora. Este parámetro es crucial para garantizar un entorno adecuado para el desarrollo embrionario y una eclosión exitosa de los huevos.

Durante la incubación, la humedad desempeña un papel crucial. Se recomienda mantener una humedad del 50 %-60 % durante los primeros 18 días, y luego aumentarla al 60 %-80 % durante los últimos días antes de la eclosión, como se muestra en la (tabla III). Estos parámetros son fundamentales para lograr una tasa de eclosión exitosa en la incubación de huevos de gallina [18].

Tabla III  
PARÁMETRO DE HUMEDAD DE 21 DÍAS

Parámetro	1 fase de incubación	2 fase de incubación
Humedad Relativa	50 % - 60 %	60 % - 80 %

VII-C7. *Ventilación del sistema:* La ventilación en un sistema de incubación de huevos de gallina implica el intercambio de aire dentro de la incubadora, con el fin de mantener niveles apropiados de oxígeno y eliminar el dióxido de carbono y otros gases perjudiciales, como se observa en la (figura 11). Este proceso es esencial para crear un ambiente saludable y propicio para el desarrollo embrionario.

La ventilación en una incubadora se logra mediante diferentes métodos, que pueden incluir sistemas de ventilación mecánica que regulan el flujo de aire mediante ventiladores (figura 100), así como también por medio de aberturas de ventilación que posibilitan el flujo de aire de forma natural, permitiendo su entrada y salida [19].

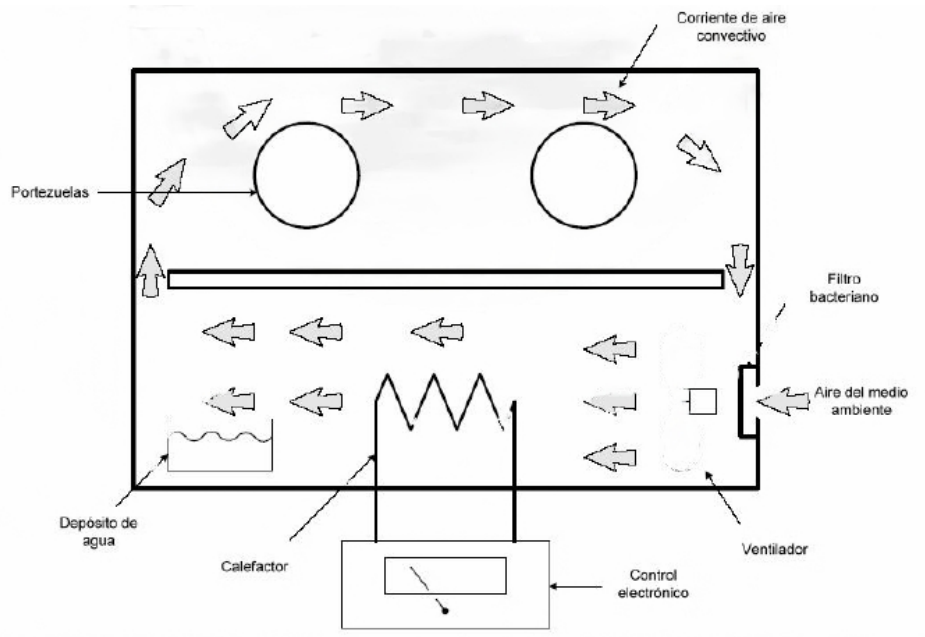


Figura 11. Sistema de ventilación[20].

**VII-C8. período de incubación:** El período de incubación de los huevos de gallina es de alrededor de 21 días. Durante este período, Se requiere mantener los huevos en condiciones específicas de temperatura y humedad para asegurar un desarrollo adecuado del embrión.

**VII-C9. Sistema de volteo:** El sistema de volteo desempeña un papel crucial en asegurar que el embrión del huevo no se pegue a las membranas internas de la cáscara, lo que podría ocasionar su fallecimiento. El sistema debe operar en dos etapas. Durante los primeros 18 días, se recomienda un volteo aproximadamente cada 2 horas, lo que suma un total de 12 veces al día. Luego, se debe detener el volteo de los huevos durante los últimos 6 días de incubación. Este protocolo es fundamental para promover un suministro adecuado de oxígeno y nutrientes al embrión en crecimiento.

El ángulo de volteo puede variar según el diseño de la incubadora y las sugerencias proporcionadas por el fabricante. En la mayoría de los casos, suele oscilar alrededor de  $45^\circ$ , como se observa en la (figura 12). Algunas incubadoras incluso permiten ajustar este ángulo para adaptarse a diferentes tipos de huevos o para satisfacer las preferencias específicas del usuario [21].

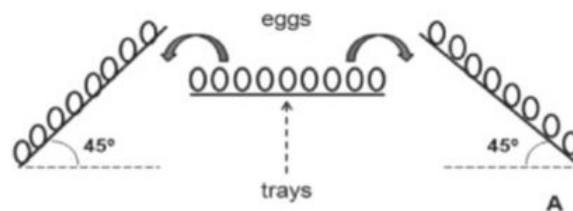


Figura 12. Ángulo de volteo de cubetas[22].

#### VII-D. Características del huevo en periodo de incubación

Las características del proceso de incubación en el siguiente orden:

- **Día 1:** Fertilización y comienzo del desarrollo embrionario. El huevo incubado se mantiene a una temperatura adecuada para el desarrollo del embrión.
- **Día 2:** Comienzan a formarse las primeras células del embrión, y se puede observar una pequeña mancha en el huevo llamada blastodisco.
- **Día 3:** Se forman más células y se desarrolla el embrión. La estructura celular comienza a organizarse en una mórula.
- **Día 4:** El embrión sigue desarrollándose y comienza a tomar una forma más definida. Las células comienzan a especializarse en diferentes tejidos y órganos.
- **Día 5:** Se pueden identificar las tres capas germinales primarias: ectodermo, endodermo y mesodermo. Durante este período, se forman las primeras estructuras del sistema nervioso y los inicios de los órganos internos.
- **Día 6-7:** Continúa el desarrollo de órganos y tejidos. Se forman los pliegues neurales, que darán lugar al sistema nervioso central.
- **Día 8-9:** Se observan los primeros signos de los sistemas circulatorio y digestivo en desarrollo. El embrión crece significativamente en tamaño.
- **Día 10-11:** Los ojos y las extremidades comienzan a formarse. Se desarrollan las primeras plumas.
- **Día 12-13:** El embrión se mueve dentro del huevo y se pueden observar los movimientos del desarrollo, como la cabeza girando y las extremidades moviéndose.
- **Día 14-16:** Se forman más plumas y el pico se desarrolla más completamente. Los órganos internos continúan desarrollándose y madurando.
- **Día 17-18:** El espacio dentro del huevo es principalmente ocupado por el embrión, mientras que el saco vitelino disminuye a medida que éste utiliza los nutrientes almacenados en su interior.
- **Día 19-20:** El embrión se prepara para la eclosión. Adopta una posición adecuada dentro del huevo y se absorbe el líquido amniótico para facilitar la ruptura de la cáscara.
- **Día 21:** El pollo rompe la cáscara del huevo con su pico y sale del cascarón.

#### VII-E. Sistema de movimiento rotacional

*VII-E1. Mecanismos de cuatro barras:* El diseño y disposición de un mecanismo de cuatro barras se basa en principios de cinemática y mecánica, considerando aspectos como la longitud de las barras, la ubicación de las articulaciones y las restricciones de movimiento deseadas. La geometría del mecanismo determina las trayectorias y velocidades de los elementos móviles, lo que permite cumplir con funciones específicas de acuerdo con las necesidades del sistema[23].

La versatilidad de estos mecanismos radica en su capacidad para generar una amplia variedad de movimientos, como se muestra en la (figura13), como la conversión de movimiento rotativo en movimiento lineal, la creación de trayectorias complejas y la eficiente transmisión de potencia. Por lo tanto, son fundamentales en el diseño de maquinaria y dispositivos que requieren precisión en la transmisión de movimiento y control de posiciones, debido a su versatilidad y capacidad para convertir diferentes tipos de movimientos como por ejemplo de tipo:

- **Mecanismo de doble manivela:** Cuando el eslabón más corto permanece inmóvil, los dos eslabones adyacentes al fijo giran completamente.
- **Mecanismo de manivela balancín:** Si el eslabón más corto está próximo al eslabón fijo.
- **Mecanismo de doble balancín:** Si el eslabón más corto está en posición opuesta al fijo.

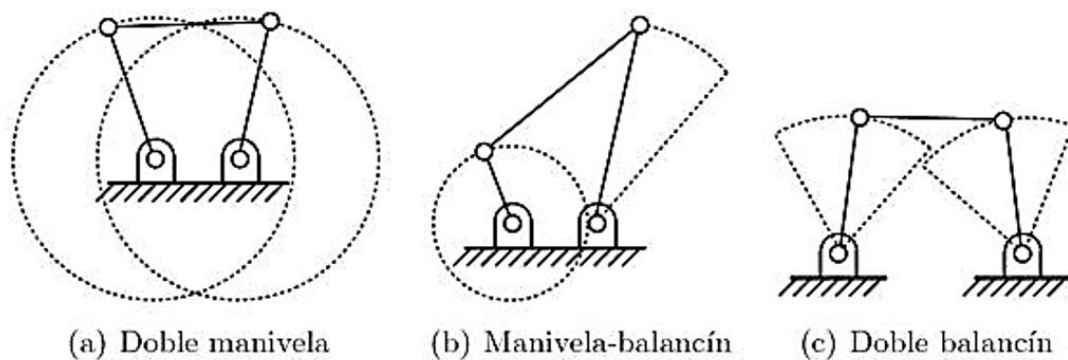


Figura 13. Mecanismo biela manivela de balancín [24].

VII-E2. *Mecanismo manivela balancín:* El mecanismo de biela manivela de balancín utilizado en nuestro sistema de movimiento. Se compone de tres elementos interrelacionados: la biela, la manivela y el balancín. La biela, se caracteriza por su forma alargada, como se observa en la (figura14) sirve como enlace crucial entre la manivela y el balancín un mecanismo que transforma el movimiento circular por la manivela en movimiento lineal del balancín. Por otra parte, el balancín, es un brazo con pivote en un punto fijo, desempeña un papel fundamental al amplificar y direccionar el movimiento generado por la biela [25].

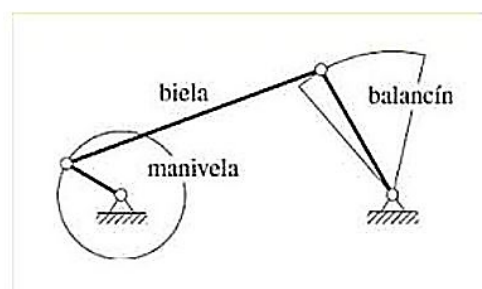


Figura 14. Mecanismo biela manivela de balancín [26].

## VII-F. Estructura del Control PID

*VII-F1. Sistema de control en lazo abierto:* El control de lazo abierto, conocido también como control no retroalimentado, se refiere a un método de control en el cual la salida del sistema no afecta directamente al proceso de control. En otras palabras, en un sistema de control de lazo abierto, la acción de control se ejecuta sin considerar la respuesta del sistema a dicha acción. En este tipo de sistema, se emiten comandos o señales de control predefinidos con el objetivo de alcanzar un resultado deseado, pero no se realizan mediciones ni correcciones basadas en la salida real del sistema, como se ve en la (figura15). Esto implica que el controlador no ajusta su actuación en función del desempeño en tiempo real del sistema.

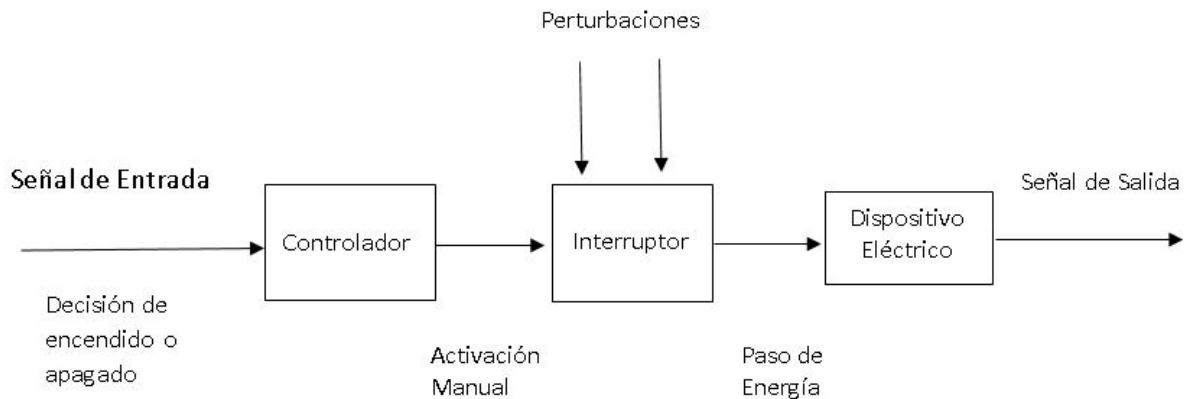


Figura 15. Diagrama de lazo abierto. (autores)

Los elementos que lo integran son:

- **Señal de entrada:** Señal fijada en el sistema de control.
- **Controlador:** Dispositivos encargados de controlar el proceso.
- **Interruptor:** Encargado de realizar el proceso de inicio del dispositivo eléctrico.
- **Perturbaciones:** Se refiere a señales no deseadas que impactan el rendimiento del sistema.
- **Dispositivo eléctrico:** Dispositivo al cual se le asigna cumplir una tarea.
- **Señal de salida:** Es una señal que dirige el sistema.

VII-F2. *Sistema de control en lazo cerrado:* El control de lazo cerrado implica una retroalimentación continua del estado del sistema, permitiendo que el controlador tome decisiones en tiempo real para corregir cualquier discrepancia con la salida deseada. Este método resulta particularmente efectivo en situaciones donde las condiciones del sistema pueden variar o fluctuar con el tiempo, dado que el controlador puede ajustarse dinámicamente para mantener un rendimiento óptimo, como se observa en la siguiente (figura18). óptimo del sistema.

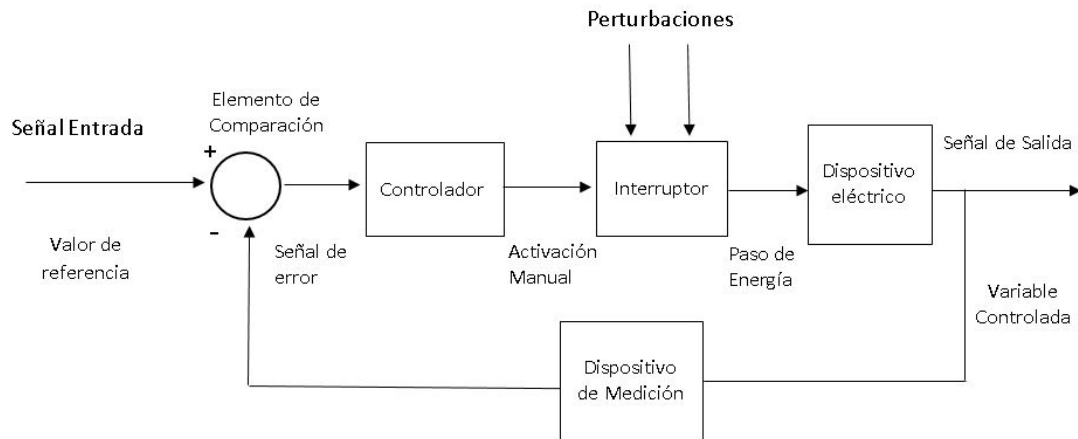


Figura 16. Diagrama de lazo cerrado (autores)

Los elementos que lo integran son:

- **Señal de entrada:** Señal fijada en el sistema de control.
- **Elemento de Comparación:** Su función principal es comparar la señal de referencia deseada con la señal medida de la variable controlada.
- **Controlador:** Dispositivos encargados de controlar el proceso.
- **Interruptor:** Encargado de realizar el proceso de inicio del dispositivo eléctrico.
- **Perturbaciones:** Se refiere a señales no deseadas que impactan el rendimiento del sistema.
- **Dispositivo eléctrico:** Dispositivo al cual se le asigna cumplir una tarea.
- **Dispositivo de medición:** Mide la salida real o la variable constante del proceso.
- **Valor de referencia:** Se trata de un valor constante que se busca alcanzar.
- **Variable controlada:** Variable del sistema la cual está siendo controlada por el sistema de medición.
- **Señal de error:** Se define como la discrepancia entre la salida deseada (referencia) y la salida real detectada por el sensor.
- **Señal de salida:** Señal que controla el sistema.

## VII-G. Sistema de Control PID

*VII-G1. Control proporcional:* El control proporcional. Es la forma más básica de control continuo aplicable en un sistema de bucle cerrado.

Aunque el controlador Proporcional ofrece la ventaja de un tiempo de respuesta más rápido, genera una desviación del punto de ajuste, conocida como desplazamiento. Esta desviación implica que el sistema no puede mantenerse en el punto de ajuste deseado en estado estacionario. El desplazamiento puede minimizarse combinando el control P con otro tipo de control, como el control (I) o (D).

La acción de control proporcional da una salida del controlador que es equivalente al error (ecuación 1).

$$u(t) = K_p * e(t) \quad (1)$$

- la variable  $u(t)$  es la señal de control que se aplica al sistema.
- La constante  $K_p$  representa la ganancia proporcional del sistema.
- La variable  $e(t)$  representa el error del controlador, se representa de la siguiente manera:  $e(t) = SP - PV(t)$ , donde SP es el punto de establecimiento, y  $PV(t)$  es la variable de proceso.
- Donde  $t$  es el tiempo o tiempo instantáneo actual.

La formula de función de transferencia del control proporcional (P) se define en la (ecuación 2).

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (2)$$

*VII-G2. Control proporcional integral:* El control PI es un método de control PID que excluye el método derivativo. El control proporcional integral (PI) es una técnica de control utilizada en sistemas de retroalimentación que combina la acción proporcional y la acción integral. La acción proporcional (P) responde al error actual multiplicándolo por una constante proporcional, mientras que la acción integral (I), integra el error acumulado a lo largo del tiempo y ajusta la salida del sistema (ecuación 3). Esta combinación permite un control más rápido y preciso en comparación con el control proporcional (P), ya que ayuda a eliminar el error en estado estacionario y a mejorar la estabilidad del sistema.

$$u(t) = K_p * e(t) + k_i * \int_0^T e(T) dT \quad (3)$$

- $K_p$  representa la ganancia proporcional.
- $K_i$  es la ganancia integral del controlador.
- $e(t)$  es el error actual del sistema, definido como la diferencia entre la salida deseada y la salida real del sistema.
- $e(T)dT$  es la integral del error acumulado desde el inicio del tiempo hasta el tiempo actual.

La formula de función de transferencia del control proporcional integral (PI) se define en la (ecuación 4).

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i * s} \right) \quad (4)$$

- $K_p$  es la ganancia proporcional del controlador.
- $T_i$  es el tiempo de acción integral, y ambos son valores ajustables.
- $(s)$  es la variable de Laplace, que representa el dominio de la frecuencia compleja.

*VII-G3. Control proporcional derivativo:* El control proporcional derivativo (PD) es una técnica de control utilizada en sistemas de retroalimentación que combina dos componentes principales: la acción proporcional y la acción derivativa (ecuación 5). En el control proporcional (PD), la salida de control es una combinación lineal de la señal de error y su derivada.

El control (PD) contiene la amortiguación del control proporcional de la fluctuación y la predicción del error de proceso del control derivado. En otras palabras, el control derivativo evalúa la pendiente instantánea del error  $e(t)$ , lo que permite predecir la magnitud del sobrepico y aplicar las correcciones necesarias antes de que ocurra.

$$u(s) = K_p e(t) + K_d * T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

- $K_p$  es la ganancia proporcional del controlador.
- $K_d$  es la ganancia derivativa del controlador.
- $de(t)/dt$  es la derivada del error con respecto al tiempo.



La formula de función de transferencia del control proporcional derivativo (PD) se define en la (ecuación 6).

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_d * s \quad (6)$$

- $K_p$  es la ganancia proporcional del controlador.
- $K_d$  es la ganancia derivativa del controlador.
- $(s)$  es la variable de Laplace, que representa el dominio de la frecuencia compleja.
- $e(t)$  es el error actual del sistema, definido como la diferencia entre la salida deseada y la salida real del sistema.

*VII-G4. Control proporcional integral derivativo:* El control proporcional integral derivado es una combinación de los tres tipos de métodos de control. El control PID es el más utilizado porque combina las ventajas de cada tipo de control. Esto incluye un tiempo de respuesta más rápido debido al control solo P, junto con el desplazamiento decrecido/cero de los controladores combinados derivados e integrales (ecuación 7). Una de sus ventajas es su capacidad para eliminar el desplazamiento o offset que el control proporcional(P) por sí solo no puede corregir, lo que resulta en la eliminación del error en estado estacionario. Sin embargo, esta combinación de estrategias también puede presentar algunas desventajas, como la posibilidad de inducir una respuesta oscilatoria en el sistema, lo que podría llevar a la inestabilidad del mismo.

$$u(s) = K_p e(t) + k_i * \int_0^T e(T) dT + K_d * T d \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

- $K_p$  es la ganancia proporcional del controlador.
- $K_i$  es la ganancia integral del controlador.
- $K_d$  es la ganancia derivativa del controlador.

La formula de función de transferencia del control proporcional integral derivativo (PID) se define con la siguiente (ecuación 8).

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right) \quad (8)$$

- $T_i$  es el tiempo integral del sistema.
- $T_d$  es la constante del tiempo derivada.
- $(s)$  es la variable compleja de Laplace.

VII-G5. *Método de ziegler nichols*: El método de sintonización de reguladores PID de Ziegler Nichols posibilita la determinación de las constantes o ganancias proporcional ( $K_p$ ), integral ( $K_i$ ) y derivativa ( $K_d$ ) a partir de la respuesta del sistema en lazo abierto o en lazo cerrado. Este enfoque se adapta especialmente bien a los sistemas que exhiben estabilidad en lazo abierto y que experimentan un tiempo de retardo desde la recepción de la señal de control hasta el inicio de su respuesta, que se ve en la (figura17). Para evaluar la respuesta al escalón de la planta o del sistema controlado, es necesario quitar el controlador PID y sustituirlo con una señal de escalón aplicada al actuador.

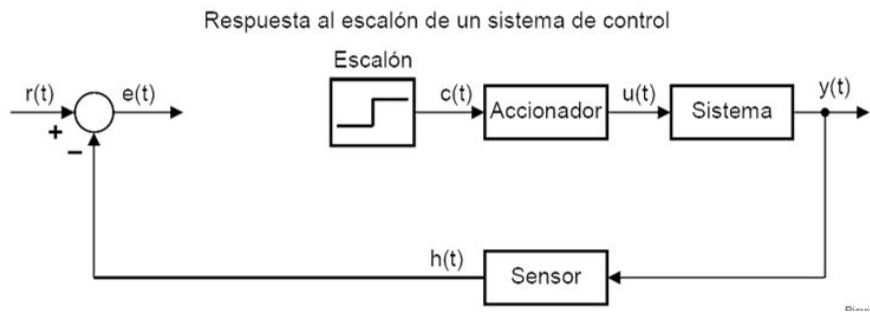


Figura 17. Diagrama método ziegler nichols[27].

La siguiente ilustración (figura 18) muestra los ajustes requeridos en el sistema de control en lazo cerrado para convertirlo en un sistema en lazo abierto capaz de responder a una señal de escalón, eliminando el controlador PID [28].

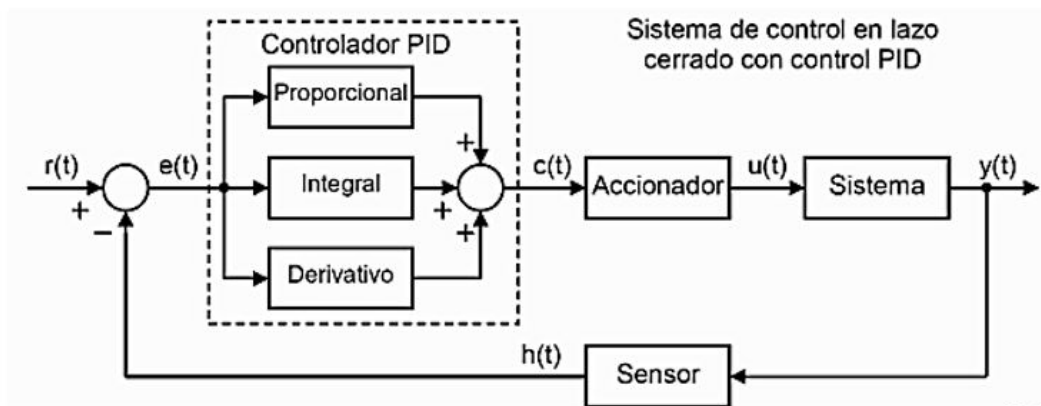


Figura 18. Diagrama 2 método de ziegler nichols[29].

## VII-H. Materiales de incubadora

- **Breaker:** Para la elección del disyuntor eléctrico, se realizó la elección de un interruptor eléctrico, que soporte un máximo de 20 amperios, así previniendo subidas anormales de la corriente eléctrica y disminuyendo el riesgo de incendios en el sistema eléctrico.
- **Contacto:** Colocamos un interruptor electromagnético que habilite o deshabilite el flujo de corriente eléctrica en respuesta a los interruptores de marcha y paro del sistema de control.
- **Motor síncrono:** Para la elección del sistema eléctrico, se seleccionó un motor de 3.3 RPM que genere un alto torque de momento, para el movimiento del sistema de brazo biela manivela, el cual realizará un giro de 45 grados en ambos lados de las cubetas.
- **Resistencia de inmersión:** Diseñada para calentar líquidos cuando se sumerge directamente en ellos, consta de un tubo metálico, comúnmente fabricado con acero inoxidable.
- **Resistencia en espiral:** Diseñada para generar calor mediante la resistencia al flujo de corriente eléctrica, presenta una estructura en forma de espiral que aumenta la superficie de contacto, mejorando así la eficiencia en la generación de calor.
- **Alimentación:** La fuente de alimentación de 12 voltios DC se implementó para el uso del suministro de energía en los circuitos electrónicos, como la placa base, la cual alimentará a todo el circuito electrónico.
- **Esp32:** El uso del circuito integrado ESP32 cumple la función importante de lectura del código de programación, junto con un integrado de procesamiento de doble núcleo, también con capacidades de conexión Wi-Fi y Bluetooth..
- **Dimmer:** El dispositivo Dimmer permite regular el aumento o reducción de la potencia en la resistencia eléctrica de espiral, así disminuyendo o aumentando la temperatura según sea requerido en el interior de la incubadora.
- **Relé:** El relé es un dispositivo electromecánico crucial en la conmutación y regulación de los circuitos eléctricos. Se compone de una bobina y un interruptor relacionado.
- **Sensor DHT22:** El sensor DHT22 es un dispositivo utilizado para medir la temperatura y la humedad en entornos diversos.
- **Sensor de Boya:** El sensor de boya es un aparato creado para identificar y cuantificar modificaciones en el nivel de líquidos. Cuando la boya experimenta un cambio en su posición, acciona un interruptor del sensor que emite una señal eléctrica para indicar la variación en el nivel del líquido.
- **Final de carrera:** Este dispositivo es un interruptor compacto que consiste en una palanca que se acciona mecánicamente cuando se alcanza una posición específica.
- **Bomba de agua:** la bomba de corriente continua es un dispositivo electromecánico creado para trasladar fluidos mediante la utilización de energía eléctrica. Su funcionamiento radica en la transformación de la energía eléctrica provista por una fuente de corriente continua en energía mecánica para producir el flujo deseado.

- **Pantalla Lcd:** La pantalla LCD 20x4 del proyecto contiene una interfaz I2C es un dispositivo visual utilizado en aplicaciones electrónicas para mostrar información de manera legible.
- **Ventiladores DC:** El ventilador de modelo TFD-8025, para corriente continua de 12V es un dispositivo electromecánico diseñado para producir movimiento de aire mediante el empleo de corriente continua (DC) proporcionada por una fuente de alimentación de 12 voltios.
- **Perfil de aluminio:** El perfil de aluminio es un componente estructural fabricado a partir de aluminio, diseñado con una forma específica y sección transversal que proporciona resistencia y rigidez en diversas aplicaciones.
- **Tubo cuadrado acero inoxidable:** El tubo cuadrado de acero inoxidable es un componente estructural fabricado con acero inoxidable AISI 304 y tiene una sección transversal de forma cuadrangular.
- **Platina acero inoxidable:** La platina de acero inoxidable AISI 304, se define como una lámina plana y delgada elaborada a partir de acero inoxidable. La capacidad del acero inoxidable para resistir la corrosión lo convierte en un material especialmente beneficioso en ambientes susceptibles a la oxidación y corrosión.
- **Pernos:** El perno es una elemento mecánico, el cual es esencialmente utilizado para unir materiales de acero y diversas partes en una estructuras o máquina.

## VIII. MARCO METODOLÓGICO

### *VIII-A. Análisis del sistema mecánico*

En esta sección del sistema mecánico se destacan los análisis más relevantes y necesarios de una incubadora de huevos de gallina. Un análisis adecuado de la estructura de la incubadora es crucial para asegurar el éxito del proceso de incubación y el bienestar de los embriones en desarrollo.

### *VIII-B. Calculo para base de cubetas*

Para efectuar el siguiente calculo debemos conocer el peso aproximado de cada huevo el cual es de un valor de 58 gramos y el total de cubetas que se usara para el sistema es de 5, el cálculo que se debemos realizar, para encontrar el peso total de cada cubeta esta en la siguiente formula (ecuación 9).

$p$  = peso aproximado de cada huevo

$n$  = número de huevos por cubeta

$W$  = peso total

$$W = p * n \tag{9}$$

$$W = 0,058kg * 88 \tag{10}$$

$$W = 4,6kg \tag{11}$$

Después de realizar el cálculo por cada cubeta se procede a multiplicarlo por el total de las cubetas, como se muestra en la (ecuación 12).

$W$  = peso total

$Q$  = total de cubetas

$W_c$  = peso total de todas las cubetas

$$W_c = W * Q \quad (12)$$

$$W_c = 4,6kg * 5 \quad (13)$$

$$W_c = 23kg \quad (14)$$

A continuación, calculamos la fuerza en newton, con el dato del peso total y la aceleración como se muestra en la siguiente formula (ecuación 15).

$F$  = fuerza total de cubetas

$W_c$  = peso total de todas las cubetas

$a$  = fuerza de aceleración de gravedad

$$F = W_c * a \quad (15)$$

$$F = 23kg * 9,8 \frac{m}{s^2} \quad (16)$$

$$F = 225,40N \quad (17)$$

Con el resultado obtenido de la fuerza total realizamos el cálculo de la fuerza total sobre cada cubeta, como se observa a continuación (ecuación 18).

$F_c$  = fuerza por cada cubeta

$F$  = fuerza total en newton

$Q$  = total de cubetas

$$F_c = \frac{F}{Q} \quad (18)$$

$$F_c = \frac{225,4N}{5} \quad (19)$$

$$F_c = 48,08N \quad (20)$$

### VIII-C. Análisis de Base de cubetas

Diseño en 3d para las bases de las cubetas, las cuales se realizaron con el ensamble de los perfiles y soportes de las aluminio 6061, el cual fue hecho con el programa inventor 3d (figura19).

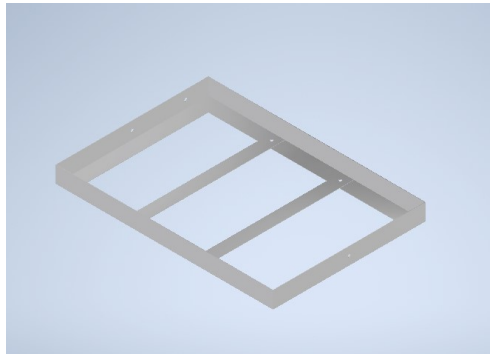


Figura 19. Base de cubetas ensamblada.

El tipo de material usado para la estructura es de aluminio, ya que es un material con buena resistencia al esfuerzo y corrosión, ya que se expondrá a la humedad por el sistema de humificación.

Nombre	Aluminio 6061	
General	Densidad de masa	2,7 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	275 MPa
	Resistencia máxima a tracción	310 MPa
Tensión	Módulo de Young	68,9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	25,9023 GPa
Nombre(s) de pieza	base de cubetas.ipt soporte de cubeta.ipt soporte de cubeta.ipt	

Figura 20. Propiedades del material.

Propiedades físicas del material.

Masa	0,397172 kg
Área	0,299263 m <sup>2</sup>
Volumen	0,000147101 m <sup>3</sup>
Centro de gravedad	x=-0,0114724 m y=-0,00669627 m z=0,0010177 m

Figura 21. Propiedades de base de cubetas.

Para el análisis de esfuerzos en la base de las cubetas se aplicó la fuerza unitaria por cada cubeta, la cual tiene el valor de 45,08 newton. Con este dato podemos encontrar los esfuerzos normales, cortantes y el factor de seguridad, esto se efectúa para comprobar que la estructura de las cubetas es segura y resistente a los esfuerzos por el peso de los huevos. A continuación, presentamos los resultados del análisis.

En el siguiente análisis que se planteó en el programa de inventor se realizó un análisis de deformación (figura 22), para las bases de cubetas, con la fuerza calculada por cada cubeta de la (ecuación 20) .

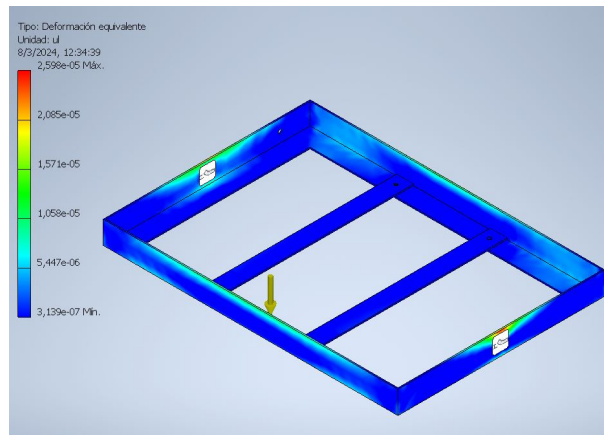


Figura 22. Análisis de deformación de cubeta.

A continuación, en el siguiente análisis se realiza la simulación para el valor de factor de seguridad en la base de cubeta, como se muestra en la siguiente fórmula (figura 23).

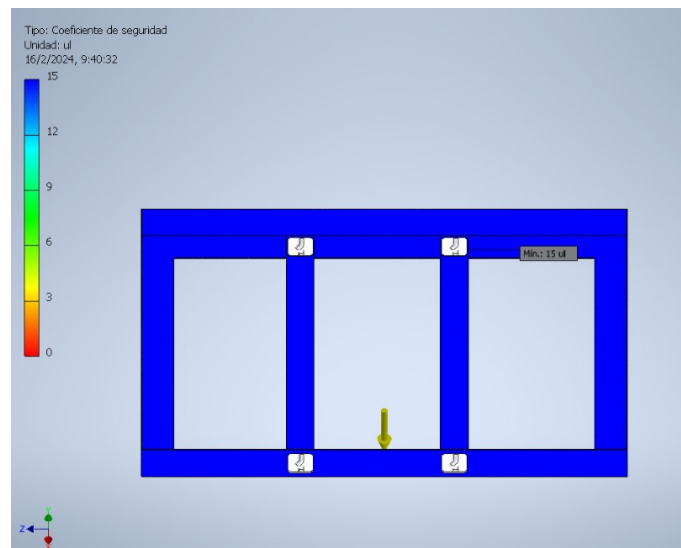


Figura 23. Factor de seguridad.

#### VIII-D. Análisis de biela manivela

Para este análisis del movimiento de la biela realizaremos una cinemática de giro del brazo de la biela. El primer movimiento que analizaremos de la biela será en el estado base del base corto y ángulo de  $45^\circ$  en el brazo largo. A continuación, presentamos la imagen 3d de la biela.

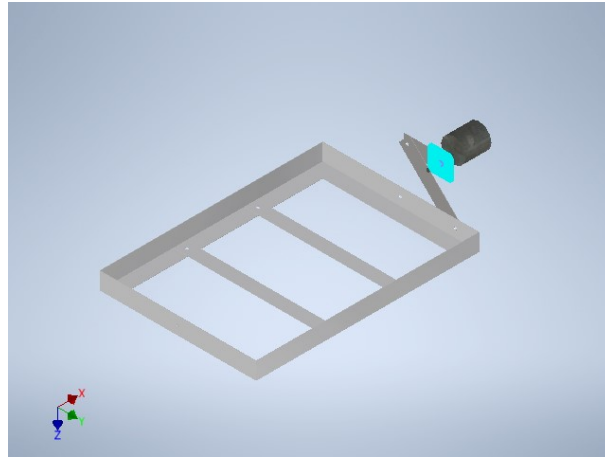


Figura 24. Brazo manivela en 45 grados.

Para esta posición de la biela se aplica una fuerza en  $45^\circ$ , para el brazo largo de la manivela, la cual por la fórmula trigonométrica, se multiplica la fuerza por el seno del ángulo, aplicando esta fórmula obtenemos el resultado, como lo mostraremos a continuación:

$F_p$  = Fuerza de inclinación de 45 grados

$F$  = Fuerza total de cubetas

$a$  = Ángulo de inclinación

$$F_p = \frac{F}{\text{sen}(a)} \quad (21)$$

$$F_p = \frac{225,4}{\text{sen}(45)} \quad (22)$$

$$F_p = 318,77N \quad (23)$$



Para el análisis brazo mecánico implementamos la fuerza inclinada de la cubeta que se calcula en la siguiente (ecuación 23), la cual nos permitirá realizar el Análisis de desplazamiento (figura 25) en la base de la cubeta.

Obteniendo el valor de la fuerza inclinada en la (ecuación 23), posteriormente con este resultado, analizaremos los esfuerzos de desplazamiento y factor de seguridad de la biela manivela.

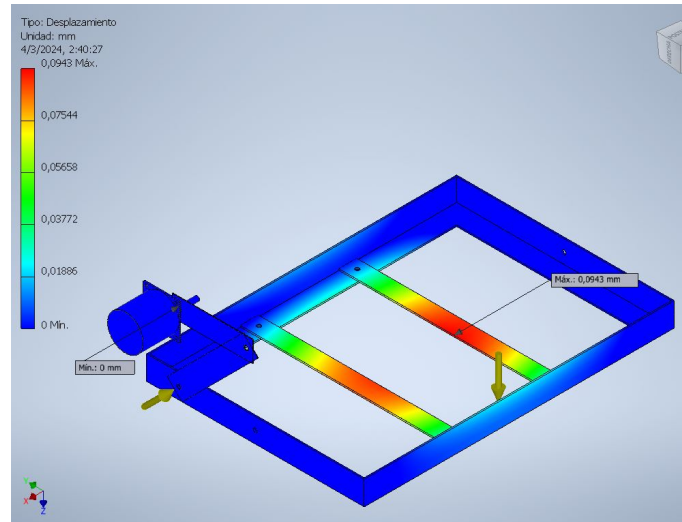


Figura 25. Análisis de desplazamiento de base de cubeta.

Para confirmar que nuestro mecanismo de biela manivela sea seguro realizamos, el siguiente análisis de factor de seguridad (figura 26).

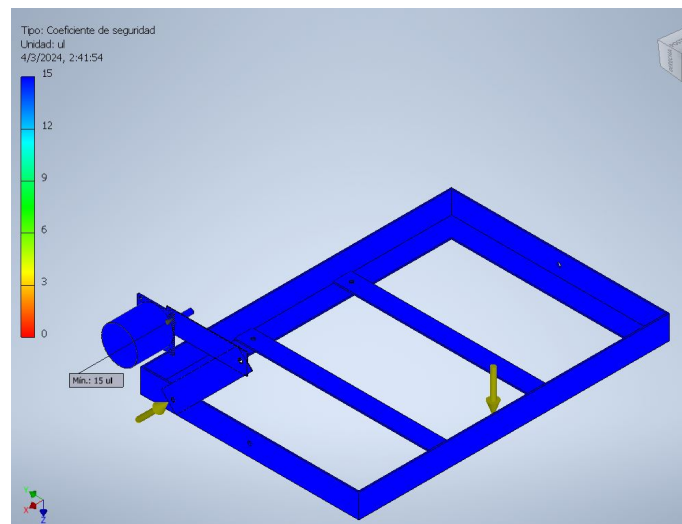


Figura 26. Factor de seguridad.

Para el siguiente análisis de movimiento de la biela, realizaremos un movimiento de rotación de 90°, donde se unen el brazo corto y el brazo largo, en el cual el mecanismo realiza un esfuerzo por la transmisión lineal del peso de las cubetas, a continuación, la imagen 3d de la biela.

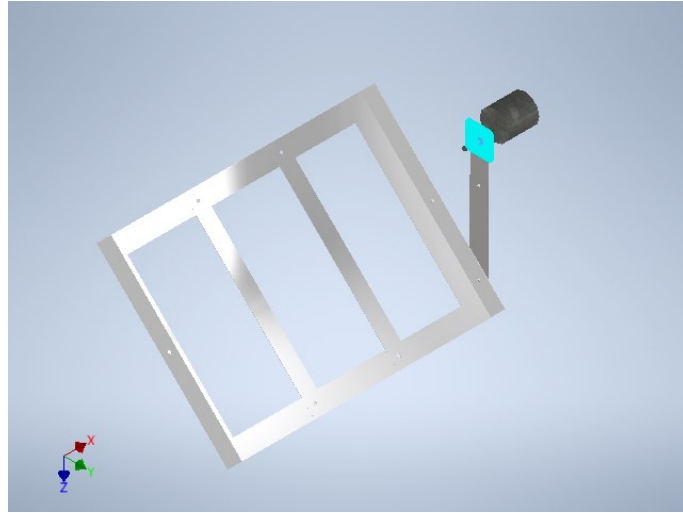


Figura 27. Brazo manivela en 90 grados

En la posición de la biela se aplicó una fuerza de 90°, para el brazo largo de la manivela, por lo cual, se multiplica la fuerza por el seno del Ángulo de giro, con la siguiente fórmula (ecuación 24) obtenemos el resultado, como lo mostraremos a continuación:

$F_d$  = Fuerza de inclinación de 90 grados

$F$  = Fuerza total de cubetas

$a$  = Ángulo de inclinación

$$F_d = F_p * \cos(a) \quad (24)$$

$$F_d = 318,77 * \cos(45) \quad (25)$$

$$f_d = 225,40N \quad (26)$$

Para el siguiente análisis del mecanismo del brazo manivela, que se calcula con la siguiente (ecuación 26), la cual aplicaremos para realizar el Análisis de desplazamiento (figura 28) de la base de la cubeta.

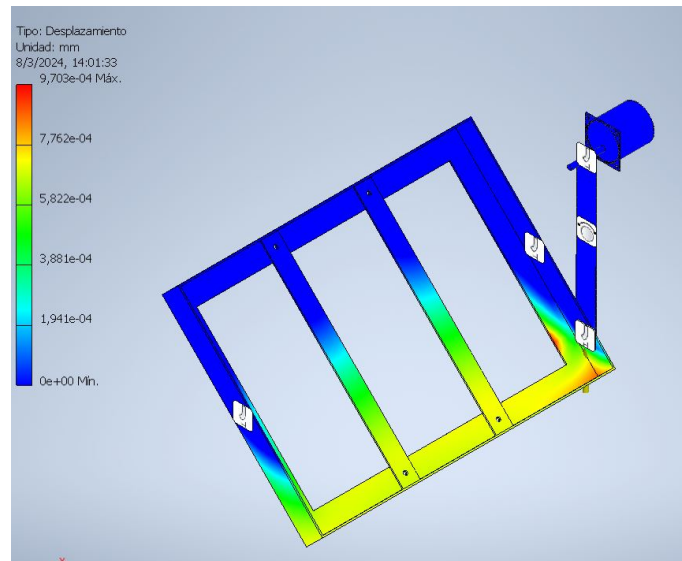


Figura 28. Análisis de desplazamiento de base de cubeta.

Para asegurar que el mecanismo sea seguro en este ángulo realizamos el siguiente análisis de factor de seguridad (figura 29).

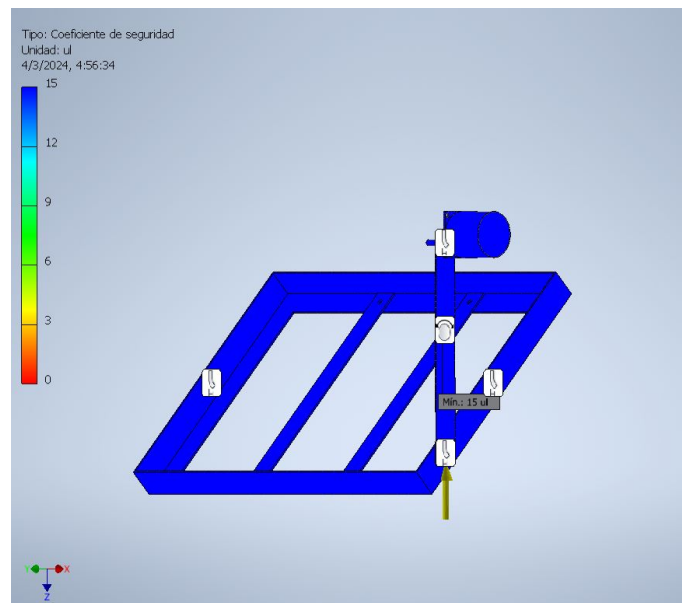


Figura 29. Factor de seguridad.

A continuación se realizó el Análisis de esfuerzo cortante para el perno que hace el agarre en el brazo de la biela manivela que se muestran en la (figura 30).

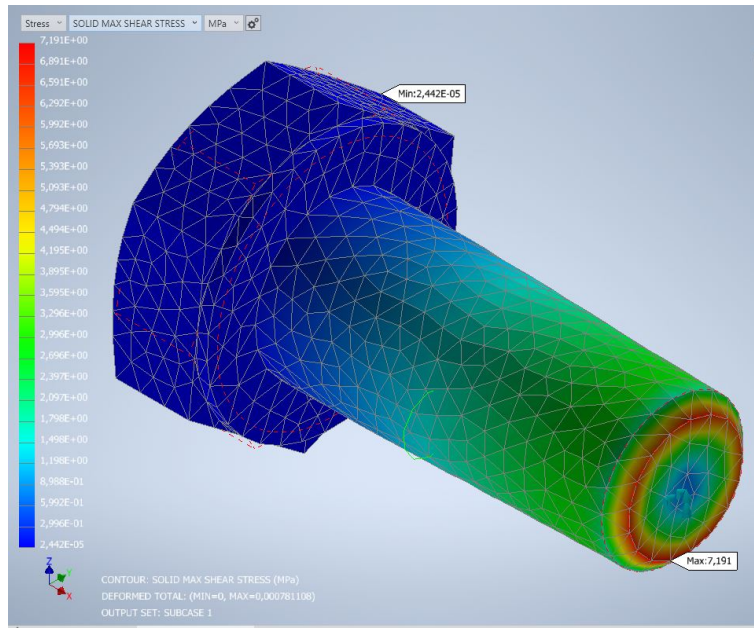


Figura 30. Factor de seguridad.

#### VIII-E. Cálculos de termodinámica

*VIII-E1. Calculo de potencia para la resistencia de calor:* Es necesario calcular el consumo de potencia de las resistencias, para un adecuado abastecimiento de calor, y una selección correcta del componente que se utilizara.

A continuación formularemos el calculo de la resistencia eléctrica de calentamiento, necesitamos conocer el caudal del ventilador, el cual su modelo es TFD-8025, con un caudal de 25,02 CFM, obteniendo esta variable, se calculara la potencia que debe necesitar la resistencia, para calentar el caudal de aire del ventilador.

En los siguiente casos se trabajara en el tipo de sistema termodinámico transitorio o abierto, en el cual se calcula el calentamiento del aire que entra por el ventilador de extracción, en el que se calcula una temperatura externa de 25°C, a continuación realizamos el calculo (ecuación 27) de la masa del aire que ingresa al interior de la incubadora.

$\dot{v}$  = caudal de ventilador

$\rho$  = densidad del aire en 25°C

$\dot{m}$  = masa del aire

$$\dot{m} = \rho * \dot{v} \quad (27)$$

$$\dot{m} = 1,184 \frac{kg}{m^3} * 0,118 \frac{m^3}{s} \quad (28)$$

$$\dot{m} = 0,139 \frac{kg}{s} \quad (29)$$

A continuación de hallar el valor de la masa, debemos obtener el potencia que requiere la resistencia para calentar el aire que pasa por el ventilador (ecuación 30).

$\dot{Q}$  = potencia requerida del ventilador

$\dot{m}$  = masa del aire

CP = calor especifico del aire

$\Delta T$  = cambio de temperatura

$$\dot{Q} = \dot{m} * CP * \Delta T \quad (30)$$

$$\dot{Q} = 0,0139 \frac{kg}{s} * 1,007 \frac{J}{kg} * (37,7C - 25C) \quad (31)$$

$$\dot{Q} = 177,76W \quad (32)$$

En la resistencia de inmersión se calcula la entalpía del agua que se intercambia hacia el entorno del ambiente dentro de la incubadora, se obtiene el contenido de humedad sobre de aire seco a la temperatura de 25°C, y con una diferencia de 37,3°C de calor de la resistencia, para este calculo se utilizo la carta psicometría a temperaturas normales, en la que se hallo la masa del aire del entorno (ecuación 33).

$\dot{Q}$  = potencia requerida del entorno

$\dot{m}$  = masa del aire

CP = calor especifico de entalpía a 100°C

$$\dot{Q} = \dot{m} * CP \quad (33)$$

$$\dot{Q} = 0,000184 \frac{kg}{s} * 2257 \frac{kJ}{Kg} \quad (34)$$

$$\dot{Q} = 416,64W \quad (35)$$

En el siguiente caso se trabajara en el tipo de sistema termodinámico cerrado o estable. A continuación se calculara la potencia que requiere la resistencia, para calentar el interior de la incubadora, en el que necesita un aproximado de 20 minutos en funcionamiento de la resistencia, también calcularemos la masa del aire dentro de la cámara de incubación, utilizando la variable de volumen total del interior de la incubadora (ecuación 36).

V = volumen de la incubadora

$\dot{m}$  = masa del aire

$\rho$  = densidad del aire a 37,7°C

$$\dot{m} = V * \rho \quad (36)$$

$$\dot{m} = 0,5099m^3 * 1,145 \frac{kg}{m^3} \quad (37)$$

$$\dot{m} = 0,5838kg \quad (38)$$

Posteriormente se calcula (ecuación 39) la potencia necesaria en la resistencia, que requiere para calentar dentro de la incubadora, a una temperatura interna de 37,7°C, y una temperatura externa de 25°C, en el tiempo de 20 minutos.

$\dot{Q}$  = potencia requerida por el volumen

$\dot{m}$  = masa del aire

CP = calor especifico del aire

$\Delta T$  = cambio de temperatura

$$\dot{Q} = \dot{m} * CP * \Delta T \quad (39)$$

$$\dot{Q} = 0,5838kg * 1,007 \frac{J}{kg} * (37,7C - 25C) \quad (40)$$

$$\dot{Q} = \frac{7466,15J}{1200sg} \quad (41)$$

$$\dot{Q} = 6,22W \quad (42)$$

La potencia requerida en la resistencia de calor, para el calentamiento de los huevos, en el que se tiene un total de 440 y un peso de 58 gr, el que fue calculado previamente, en el tiempo que se analizara el cambio de temperatura sera de 1 hora para que no sea un cambio abrupto en la temperatura de los huevos. A continuación utilizamos la siguiente formula (ecuación 43).

$\dot{Q}$  = potencia requerida por huevos

$\dot{m}$  = masa del huevo

CP = calor especifico del aire

$\Delta T$  = cambio de temperatura

$$\dot{Q} = \dot{m} * CP * \Delta T \quad (43)$$

$$\dot{Q} = 25,08kg * 1,007 \frac{J}{kg} * (37,7C - 25C) \quad (44)$$

$$\dot{Q} = \frac{320745,61}{3600sg} \quad (45)$$

$$\dot{Q} = 89,09W \quad (46)$$

Realizamos el calculo para la puerta frontal de la incubadora, que esta hecho de un material de vidrio con un grosor de 3cm , en el cual se obtendrá una perdida de energía hacia el exterior, el que analizaremos con la siguiente formula (ecuación 47).

$\dot{Q}$  = potencia requerida del vidrio

K = conductividad térmica del vidrio

A = área del vidrio

$\Delta T$  = cambio de temperatura

E = espesor del vidrio

$$\dot{Q} = \frac{K * A * \Delta T}{E} \quad (47)$$

$$\dot{Q} = \frac{0,7 \frac{W}{m} * 1,47m * 0,68m * (37,7C - 25C)}{0,03m} \quad (48)$$

$$\dot{Q} = \frac{8,88}{0,03m} \quad (49)$$

$$\dot{Q} = 296W \quad (50)$$

La suma de todas las potencias requeridas en la resistencia de calor, nos da un total de 985,73, se debe considerara que se requiere una resistencia de calor de 1000 watts para un adecuado funcionamiento del sistema, el cual la resistencia del sistema si cumple, como se observa en la siguiente imagen de la tabla de potencias (tabla V).

VIII-E2. *Calculo de potencia para la resistencia de inmersión:* En este sistema térmico se utilizara un sistema termodinámico cerrado, para el recipiente donde se colocara la resistencia, se calculara (ecuación 51) la potencia del humidificador, que sea adecuada a la selección del componente según los valores de las ecuaciones.

A continuación se calculara la potencia requerida en la resistencia de inmersión, de en donde la masa del agua se expresara en Kilogramos, y se convertirá 3 litro de agua del recipiente de agua a 3 Kilogramo de masa.

$\dot{Q}$  = potencia requerida para resistencia de inmersión

$\dot{m}$  = masa de agua en kilogramo

CP = calor especifico del agua

$\Delta T$  = cambio de temperatura

$$\dot{Q} = \dot{m} * CP * \Delta T \quad (51)$$

$$\dot{Q} = 3kg * 4181 \frac{J}{kg} * (79C - 25C) \quad (52)$$

$$\dot{Q} = \frac{677322J}{1500sg} \quad (53)$$

$$\dot{Q} = 451,54W \quad (54)$$

El consumo de potencia que consumiera nuestra resistencia de inmersión es de 451,54 watts, para la implementación de la resistencia se debe considerar una potencia mayor o igual, la cual la resistencia del sistema si cumple, como se observa en la siguiente imagen de la tabla de potencias (tabla V).

#### VIII-F. *Cálculos del sistema eléctrico*

VIII-F1. *Especificaciones de motor eléctrico:* En este apartado tenemos las características del motor eléctrico el cual es ideal para el sistema que se usara ya que consta con un RPM de 3,3 lo cual es una velocidad muy baja para que el volteo de las bandejas sea forma suave y no haya ninguna vibración brusca en los embriones.

Tabla IV  
ESPECIFICACIONES DEL MOTOR ELÉCTRICO

Voltaje(V)	Amperaje(A)	Potencia de entrada	Potencia de salida(w)	Revoluciones Por minuto (RPM)
110	0,036	14	4	3,3



VIII-F2. *Cálculos del motor eléctrico:* En la siguiente fórmula (ecuación 55) hallaremos los caballos de fuerza del motor, el que debe resultar un valor bajo, ya que nuestro motor no consigue una velocidad en altos RPM, por lo que no se obtiene una alta velocidad en los caballos de fuerza (tabla IV).

Cf = caballos de fuerza

P = potencia

$$Cf = \frac{P}{746} \quad (55)$$

$$Cf = \frac{4}{746} \quad (56)$$

$$Cf = 0,0054HP \quad (57)$$

realizamos calculo del torque del motor, para obtener el dato de peso máximo de cargas el cual se calcula a continuación (ecuación 58).

T = torque

P = potencia

Rpm = revoluciones por minuto

$$T = \frac{9548 * P}{RPM} \quad (58)$$

$$T = \frac{9548 * 4}{3,3} \quad (59)$$

$$T = 11,573kNm \quad (60)$$

VIII-F3. *Especificaciones eléctricas:* En la siguiente (tabla V), se muestran las características de cada elemento eléctrico utilizado tanto como las resistencias y el motor eléctrico.

Tabla V  
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

<b>Tabla de especificaciones eléctricas</b>			
	<b>Voltaje</b>	<b>Amperaje</b>	<b>Potencia</b>
<b>Resistencia térmica</b>	110V	9,5A	1045W
<b>Resistencia de inmersión</b>	110V	4,5A	495W
<b>Motor ac</b>	110V	0,036A	4W

Las potencias suministradas por las resistencias son ideales para que el proceso de calentamiento y humidificación se den de forma rápida en la encendido de la incubadora.

## IX. DISEÑO Y DIAGRAMA

### IX-A. Diseño del circuito eléctrico.

En la (Figura 31), se presenta el diagrama del circuito de control de la incubadora elaborado en CADeSIMU. En este diseño, se realizó primero el circuito de control, que incluye contactos abiertos y cerrados para encender y apagar el circuito. Se cuenta con contactos de marcha, paro y paro de emergencia, los cuales activarán y desactivarán el equipo cuando se accionen.

En segundo lugar, se encuentra el diseño del control de fuerza, que comprende un disyuntor general para la alimentación del circuito, un contactor para activar el motor y también se incluyen dos resistencias térmicas que se activarán mediante el sistema de control.

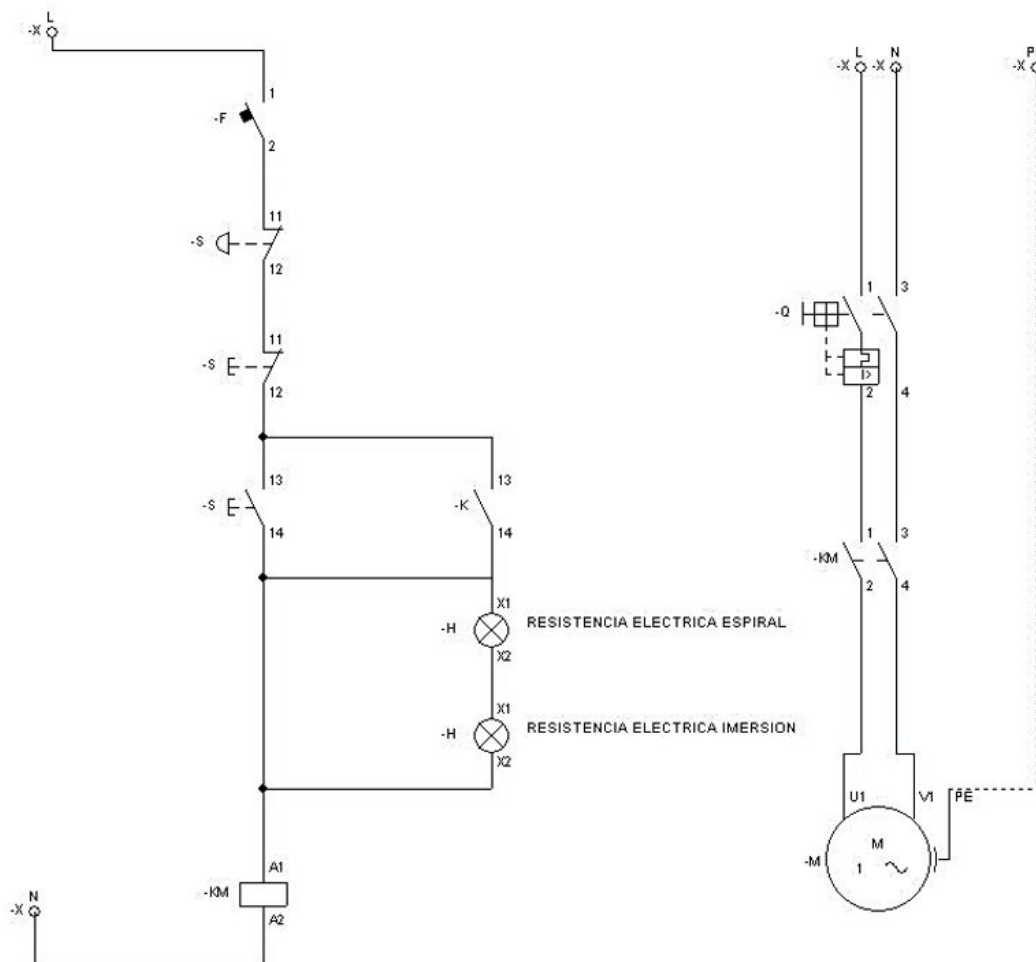


Figura 31. Diseño eléctrico de fuerza y control

IX-B. Diseño del hardware

IX-B1. Diagrama de microcontrolador ESP32: En la (Figura 32), se muestra el diagrama de entradas y salidas hacia el microcontrolador, el cual abarca una variedad de elementos como sensores, actuadores e indicadores. Este esquema ofrece una representación visual de la interconexión y comunicación de estos componentes con el microcontrolador en el sistema electrónico en consideración.

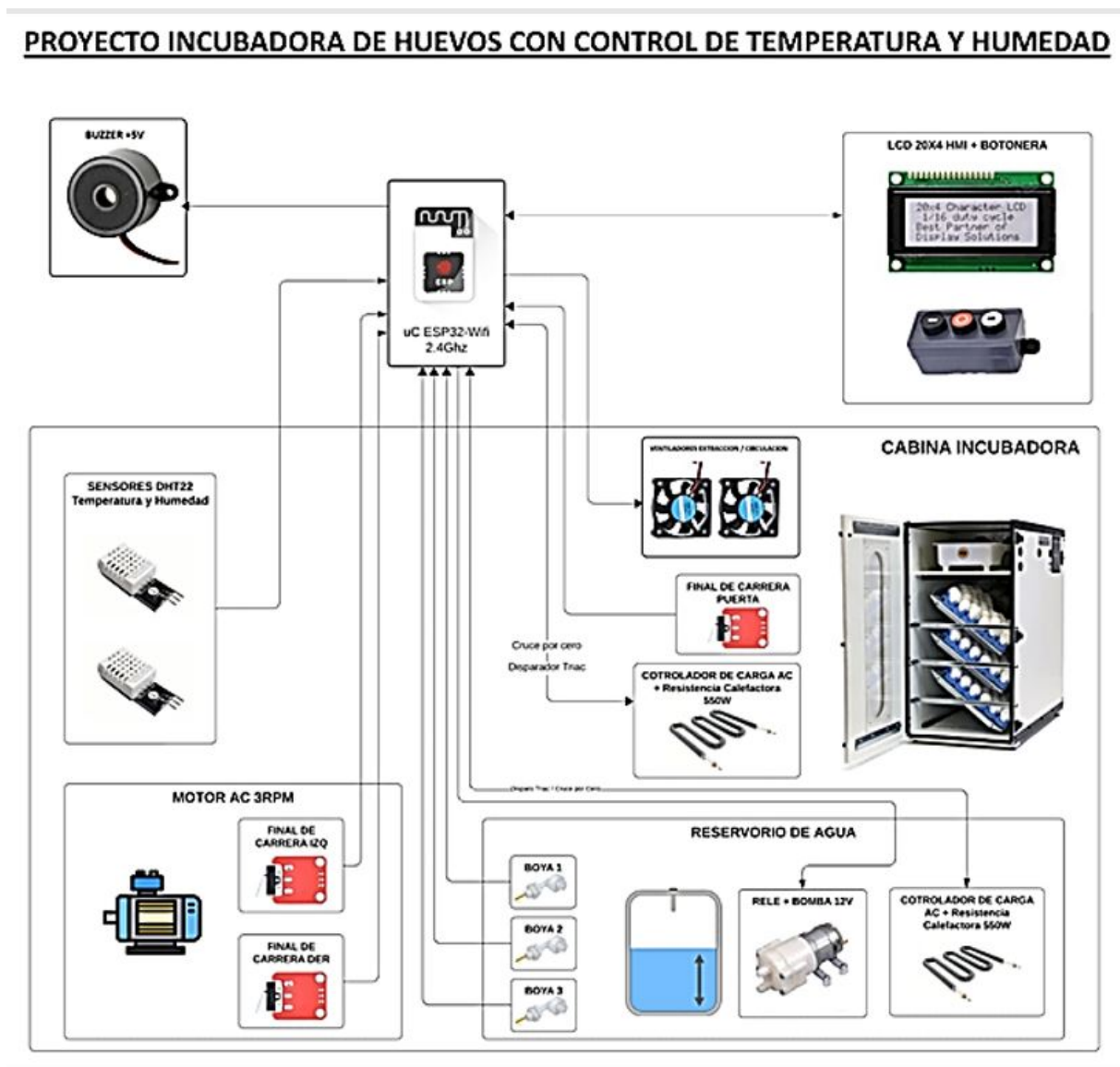


Figura 32. Diagrama de entradas y salidas

IX-B2. Diagrama electrónico de control PID : En la (Figura 33), se muestran los pines asociados a todas las entradas y salidas que están vinculadas al ESP32, abarcando tanto los sensores como los actuadores. Estos pines posibilitan la comunicación y el control del ESP32 con los diversos componentes del sistema electrónico.

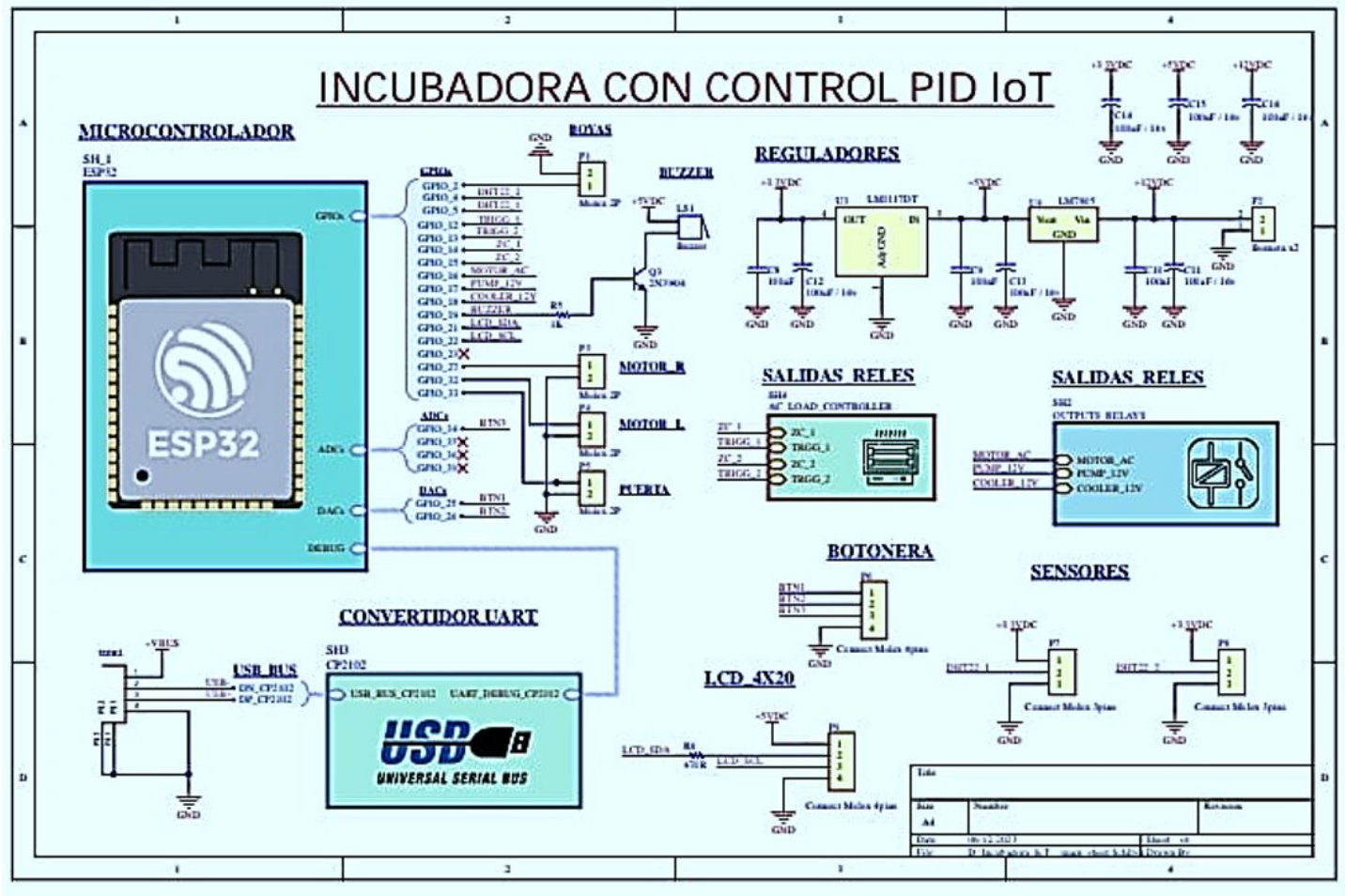


Figura 33. Hoja de la entrada de los pines al microcontrolador

*IX-B3. Diseño de pistas de placa electrónica:* En el diseño de diagrama de la placa, se puede observar las líneas en color azul donde se realizaron la mayoría de las pistas de la placa, también se puede observar las medidas de base y alto de la placa electrónica, en la siguiente ilustración (figura 34) se muestra el diseño en 3d de la placa.

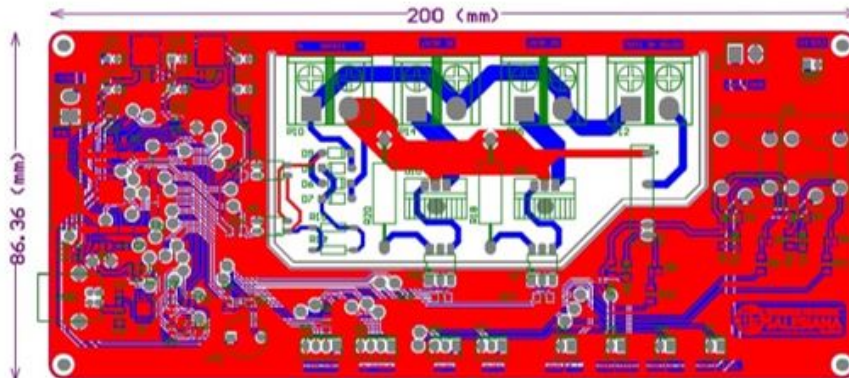


Figura 34. Diseño de las pistas de la placa

*IX-B4. Diseño en 3d de placa electrónica:* Aquí se presenta el diseño final en 3D de la tarjeta electrónica elaborada en el programa Altium, como se ilustra en la figura adjunta, con el propósito de proceder a su impresión. La tarjeta incluye componentes clave como el microprocesador ESP32, así como entradas de fuerza y señal.

Entre los componentes adicionales, se encuentran los controladores Dimmer y el relay de activación del motor de inclinación, así como dispositivos como la bomba y los ventiladores. Estos elementos están dispuestos estratégicamente en la tarjeta para garantizar una conexión eficiente y un funcionamiento óptimo del sistema electrónico.

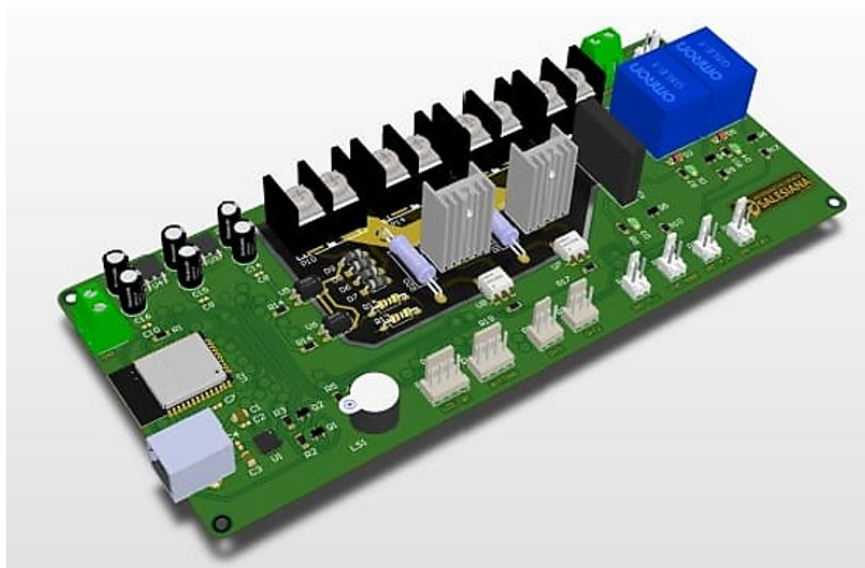


Figura 35. Placa electrónica elaborada en el programa altium

## *IX-C. Diseño del software*

*IX-C1. Diagrama de flujo de la programación:* En la (figura 36) se presenta el diagrama de flujo del software de la incubadora. El proceso comienza con la inicialización de la pantalla y la configuración de las entradas y salidas del hardware. Posteriormente, se procede a la conexión Wi-Fi del ESP32.

Si el dispositivo no logra establecer conexión a internet, el proceso se reinicia. Por el contrario, si la conexión es exitosa, el programa avanza al siguiente bucle, que consiste en la inicialización del control PID utilizando los valores de setpoint establecidos previamente. Además, se lleva a cabo la conexión al servidor con Ubidots y la lectura y escritura de la memoria flash.

Una vez completado este proceso, el programa evalúa la cantidad de días de incubación transcurridos. Si el día de incubación es superior a 21, el proceso se finaliza. En caso contrario, se inicializa el proceso en el día número 1 de incubación. En este punto, se ejecutan una serie de procesos adicionales y la ejecución de acciones correspondientes a cada día de incubación las cuales son:

- Activación del motor ac (sistema de volteo control on/off)].
- Activación de los ventiladores (sistema de extracción de aire).
- Activación del sistema de humedad bomba de agua.
- Activación de los sensores dht22 y sensor de boya para recepción de datos.
- Activación de la pantalla y el envío de datos al servidor de ubidots.

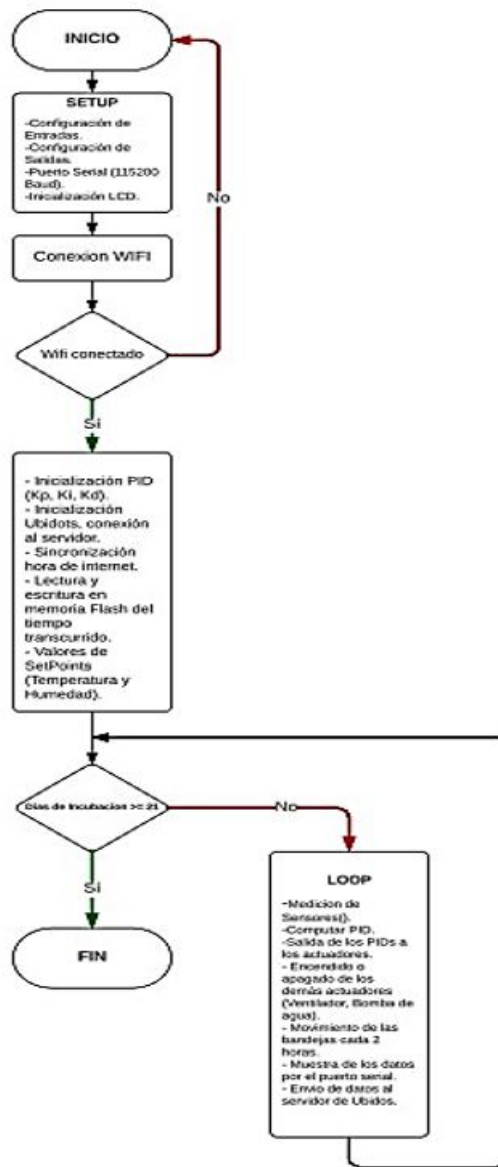


Figura 36. Diagrama de flujo del software



#### IX-D. Diseño del sistema de control

IX-D1. *Modelo matemático:* Para obtener el modelo matemático del sistema se realiza una prueba experimental colocando una señal tipo escalón a la entrada del sistema de incubación en lazo abierto, en este caso se ingresa un valor de 115 voltios y esperar que se estabilice.

En la (figura 37) se tiene el gráfico de la señal de salida de esta prueba, en la que se observar que la forma de onda es sigmoïdal como la propone Ziegler Nichols (Figura 38), en la que se debe medir las constantes K,L,T, para definir el modelo como sistema de primer orden y la función de transferencia de este sistema tendrá la forma de la (ecuación 61).

$$G = \frac{Ke^{-ls}}{Ts + 1} \quad (61)$$



Figura 37. Curva de reacción de la temperatura de la incubadora a una entrada escalón de 115 voltios en la planta real.

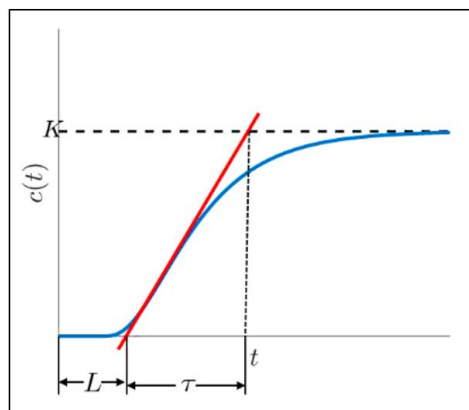


Figura 38. Curva de reacción de Ziegler Nichols.

En la (figura 37) Se observa que el tiempo que demora la planta en estabilizar es de aproximadamente 94 minutos los cuales equivalen a 5640 segundos que tarda en llegar a los 50 grados centígrados el sistema.



Al medir los parámetros de la curva de la (figura 38) en la (figura 37) se obtienen los valores:

$K=0.2$ ;  $L=0.001h$ ,  $T=1800$ , con lo que se genera la siguiente función de transferencia (ecuación 62).

$$G = \frac{0,2e^{-0,001s}}{1800s + 1} \quad (62)$$

Con la (ecuación 62) se realiza la simulación del sistema en Simulink los resultados de esta simulación se muestran en las (figura 39 y 40), en la que se observa que al ser  $L= 5$  minutos un valor muy pequeño comparado con tiempo de estabilización de la planta, no le afecta significativamente al retardo en la salida de temperatura de la incubadora, por lo que se considerara despreciable, entonces la función de transferencia del sistema queda reducida como a la (ecuación 63), función de transferencia genera una salida aproximada a la de la (figura 39).

$$G = \frac{0,2}{1800s + 1} \quad (63)$$

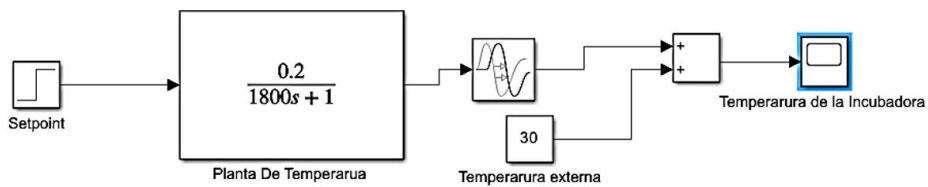


Figura 39. Diagrama de bloque del sistema simulado en simulink.

Si se compara la curva de temperatura de la planta real (figura 37) con la curva del modelo matemático obtenido (figura 40), se observa que los parámetros como tiempo de estabilización (5640 segundos), valor en estado estacionario (50 grados centígrados) son aproximadamente iguales, con lo que se puede concluir que el modelo de la planta es aproximado al de la (ecuación 63).

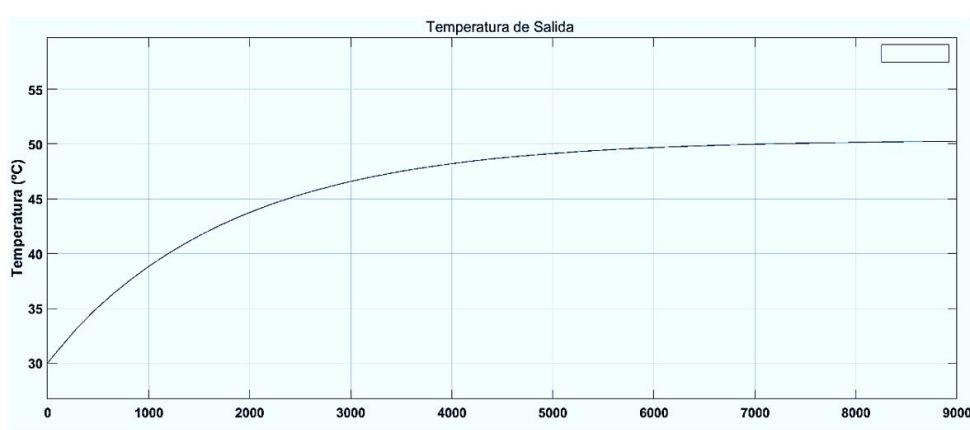


Figura 40. Simulación de la función de transferencia (ecuación 2563) a una entrada de 115 voltios.

IX-D2. Controlador PID de la incubadora: Para la calibración del controlador PID se utilizará la estructura del diagrama de bloque que se muestra en la (figura 41), la cual es gobernada por la siguiente ecuación:

$$u = Kp * e + ki \int edt + k \frac{de}{dt} \quad (64)$$

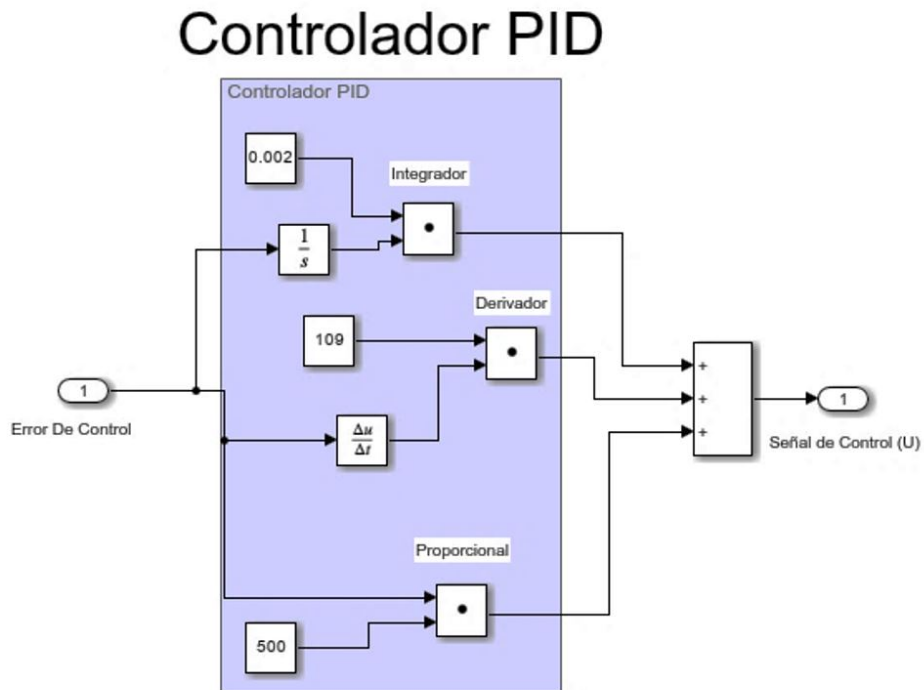


Figura 41. Diagrama de bloque del controlador PID.

Con este diagrama de la (figura 41) se arma el sistema de control en lazo cerrado que se muestra en la figura (figura 42), en el que se tienen en la entrada el Setpoint, temperatura de trabajo de 37.5°C, el controlador PID, la planta de incubación la cual da como salida la temperatura de la incubadora, a este modelo se le a colocado un saturador, limitante del voltaje que se le puede suministrar al calentador es de 120 voltios, valor que se tiene disponible en los tomacorriente de las instalaciones domésticas, así como también la temperatura ambiente.

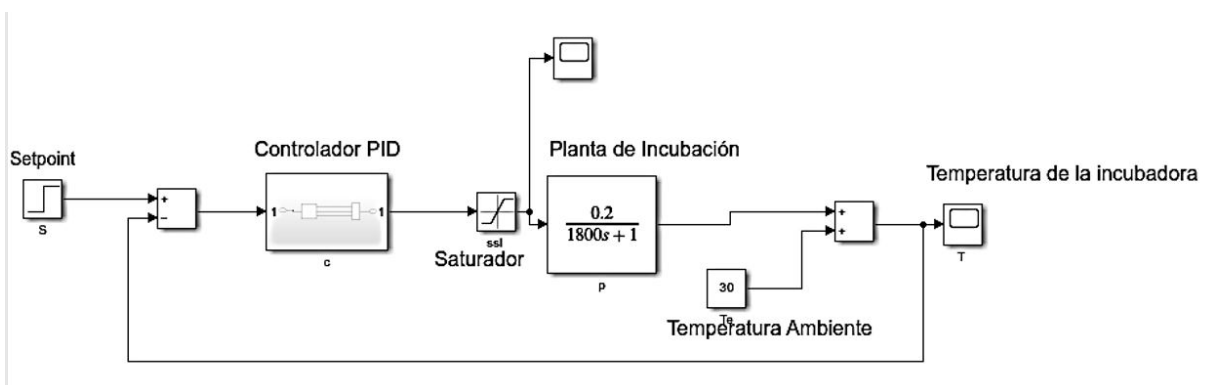


Figura 42. Diagrama de control de lazo cerrado PID.

*IX-D3. Calibración del controlador PID:* Con este diagrama de bloque se procede a realizar la simulación del sistema de control en lazo cerrado en el que se ha calibrado las constante del control PID (ecuación 64), a los valores:  $K_p=500$ ;  $K_i=0.002$  y  $K_d=109$ , con estos valores se obtuvieron la respuesta de salida de temperatura de la incubadora como se muestra en (figura 43), en la que el tiempo de estabilización de la variable de salida en ir desde la temperatura ambiente a los 37.5 grados es de aproximadamente 800 segundos.

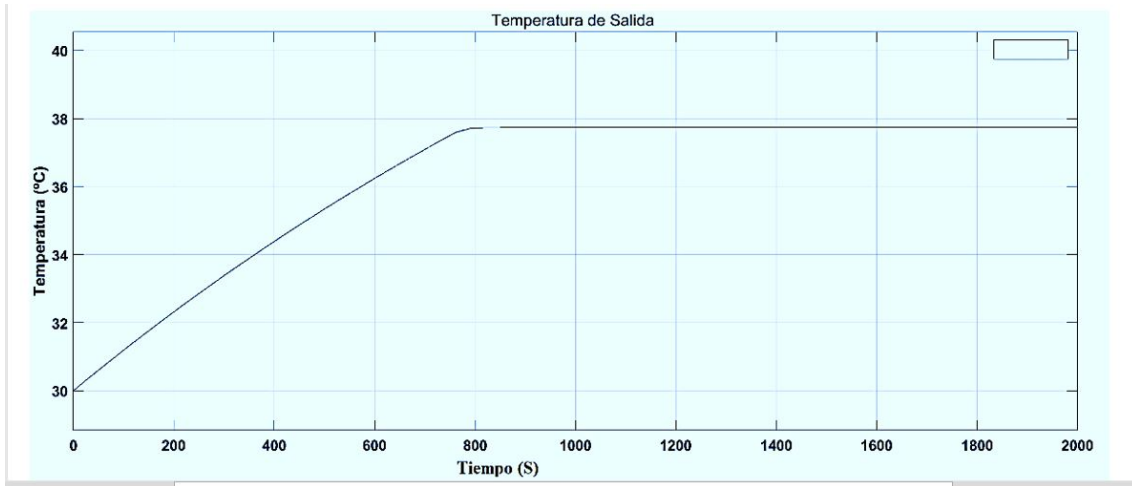


Figura 43. Señal de Temperatura de la incubadora con el controlador PID calibrado.

La señal que genera el controlador en conjunto con el saturador para la salida de la (figura 43) es el que se muestra en la (figura 44), en donde este genera el máximo valor de voltaje aplicado al calentador de 115 voltios hasta los 780 segundos aproximadamente, luego de eso, el controlador baja el voltaje hasta llegar aproximadamente a los 40 voltios en 50 segundos al punto de operación de la planta (37.5 °C).

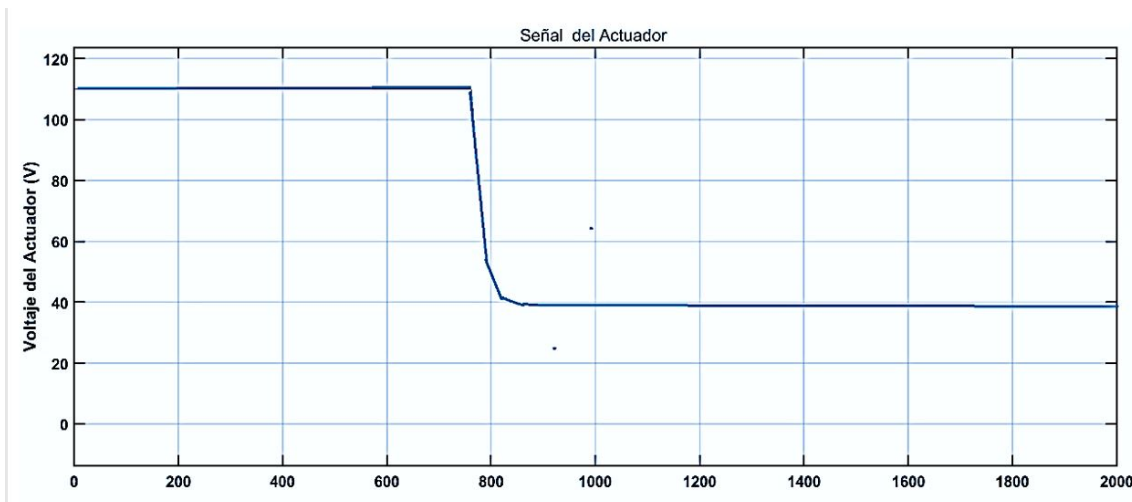


Figura 44. Señal de voltaje que se aplica al actuador para generar la salida de la (figura 43).

## X. IMPLEMENTACION DEL PROTOTIPO

### X-A. Implementación de software

X-A1. *Setpoint Establecidos*: En el programa desarrollado en Visual Estudio Code, se han establecido los valores de referencia, conocidos como "setpoint", para la temperatura y la humedad durante las dos etapas de incubación del sistema. En la figura adjunta se muestran los valores asignados durante la primera etapa, que abarca hasta el día 19.

```
379
380   if(first_time_cooler && temp_average > Setpoint_t-2.5){
381       digitalWrite(COOLER_PIN,HIGH);
382   }else{
383       if(first_time_cooler){
384           if(current_days >= 19){
385               Setpoint_t = 36.8;
386               Setpoint_h = 80.0;
387           }else{
388               Setpoint_t = 38.0;
389               Setpoint_h = 55.0;
390               digitalWrite(COOLER_PIN,LOW);
391           }
392       }
393   }
394
395   if(temp_average > Setpoint_t){
396       digitalWrite(COOLER_PIN,HIGH);
397       first_time_cooler = false;
398   }else{
399       if(!first_time_cooler){
400           digitalWrite(COOLER_PIN,LOW);
401           if(current_days >= 19){
402               Setpoint_t = 36.8;
403               Setpoint_h = 80.0;
404           }else{
405               Setpoint_t = 37.8;
406               Setpoint_h = 55.0;
407           }
```

Figura 45. Setpoint de temperatura y humedad en Visual Code.

Durante esta primera etapa, los valores establecidos para el setpoint fueron de 37.8 grados Celsius para la temperatura y de 55 % para la humedad. Estos valores fueron cuidadosamente seleccionados para proporcionar un entorno óptimo para el desarrollo embrionario durante esta fase inicial del proceso de incubación.

Para la segunda etapa, que comprende los últimos tres días de incubación, se han ajustado los valores del setpoint. Específicamente, se ha establecido un valor de 36.8 grados Celsius para la temperatura y de 80 % para la humedad. Estos nuevos valores reflejan las condiciones ideales para la etapa final del proceso de incubación, garantizando un ambiente adecuado para la finalización del desarrollo embrionario y el éxito del proceso de eclosión.

X-A2. *Constantes de control PID*: En la siguiente (figura 46) se muestran los valores dados a las constantes Kp, Kd, Ki para el controlador PID, los cuales se establecieron en:

- Kp = 85
- Kd = 0.00001
- Ki = 0.08

Esos valores fueron asignados para el sistema de calentamiento de la cámara.

```
80
81 bool first_time_cooler = true;
82
83 double Setpoint_t, Input_t, Output_t;
84
85 double Kp_t=85,
86         Ki_t=0.00001,
87         Kd_t=0.08;
88
89 double Setpoint_h, Input_h, Output_h;
90
91 double Kp_h=90,
92         Ki_h=0.00001,
93         Kd_h=0.08;
94
95 const int days_of_incubation = 21;
96 int current_days;
97
98 PID PID_Temperature(&Input_t, &Output_t, &Setpoint_t, Kp_t, Ki_t, Kd_t, DIRECT);
99 PID PID_Humidity(&Input_h, &Output_h, &Setpoint_h, Kp_h, Ki_h, Kd_h, DIRECT);
100
```

Figura 46. Constantes del PID.

Los valores de las constantes para el sistema de humedad se dieron de la siguiente manera:

- $K_p = 90$
- $K_d = 0.00001$
- $K_i = 0.08$

Con las pruebas experimentales se pudieron ajustar los valores para poder llegar a la estabilización de cada parámetro e implementarlos en el software y así obtener las condiciones apropiadas en la cámara de incubación.

### *X-B. Acondicionamiento de la nevera*

La nevera utilizada para el proyecto fue reutilizada y se realizaron las adecuaciones necesarias para transformarla en una incubadora. Su estructura consta de un cuerpo interior de acero inoxidable, recubierto con espuma térmica, y un cuerpo exterior fabricado en lámina de acero, todo esto para conservar la temperatura de manera eficiente dentro de la cámara. Durante el proceso de restauración, se agregó una lámina de acero inoxidable de 0.9mm para darle forma de cajón a todo el interior, mejorando así su funcionalidad como incubadora.



Figura 47. Corte de lamina sobrante.

Se llevó a cabo el corte de la lámina de acero inoxidable, seguido por el sellado y lijado de la misma en la parte inferior de la cámara de incubación. Este proceso se realizó con el propósito de prevenir la pérdida de calor y humedad hacia el exterior.



Figura 48. Implementación y restauración de lamina de acero.

A continuación en la siguiente (figura 49) se muestra el acabado final en la lamina sobrante, la cual se hizo un corte en la parte inferior, para obtener un mayor espacio en el interior de la incubadora, en el cual se colocara las resistencias y la resistencia de inmersión, las cuales simularan la temperatura ambiente dentro de la incubadora.



Figura 49. Restauración de la nevera.

#### *X-C. Implementación de la estructura mecánica*

En el desarrollo del sistema mecánico, se llevó a cabo la construcción inicial de la estructura que serviría como soporte para las bandejas (figura 50). Se procedió a realizar los cortes necesarios en los tubos cuadrados, los cuales desempeñarían la función de sostener las bandejas de incubación. En estos tubos, se practicaron cinco agujeros estratégicos destinados a alojar los rodamientos necesarios para la colocación de las bandejas.



Figura 50. Estructura de soporte para las bandejas.

Para realizar las bases de platina, se realizo el corte de las platinas de acero, para luego darle su forma rectangular y con sus dos agarraderas a los lados, en la que se hizo dos perforaciones en diagonal, para el agarre de las platinas con los pernos, como se puede observar en la siguiente (figura 51).



Figura 51. Base de platina para los tubos cuadrado.

Cada agujero se dispuso con un espacio de 15 cm entre ellos, garantizando así una mayor movilidad al introducir los huevos en las bandejas (figura 52). Este diseño permitirá un manejo eficiente de las bandejas y facilitará el proceso de carga y descarga de los huevos en el sistema, en la parte posterior del tubo se realizo soldadura, para que las base de platina se mantengan fijas y consigan un mejor agarre en la estructura.



Figura 52. Rodamiento y ejes para las bandejas.



Para la estructura de las cubetas se realizo el corte de las platinas de aluminio para las esquinas (figura 53), el cual se realizo en forma de L, para el centro de la estructura se coloco dos platinas como soportes para el apoyo en el centro de las cubetas.

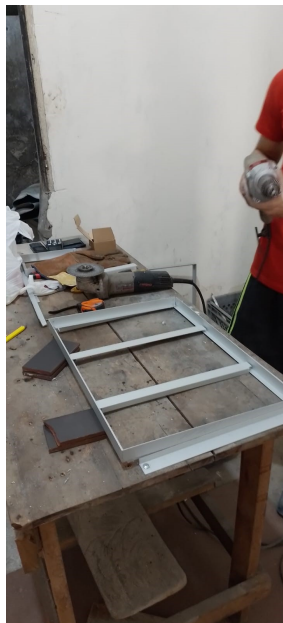


Figura 53. Estructura de aluminio para las bandejas.

Posteriormente se implemento los elementos de apoyo para las bases de cubetas (figura 54), en el cual los tubos cuadrados realizan la función de mantener fija la estructura de las cubetas, la cual recibirá toda la fuerza por los transmisores de movimiento y el peso total de todas las cubetas.



Figura 54. Implementación de bases para cubetas.

#### *X-D. Implementación del sistema de movimiento*

En el diseño del sistema de volteo, se optó por la incorporación de un motor síncrono y un sistema de brazos biela manivela (figura 55). La elección de un motor síncrono se basó en su capacidad para proporcionar un movimiento constante y preciso, características esenciales para el adecuado volteo de las bandejas de incubación. Se seleccionó un motor síncrono de velocidad lenta, operando a 3.3 RPM, con el objetivo de garantizar que el proceso de inclinación de las bandejas sea suave y no cause impactos negativos en los embriones.

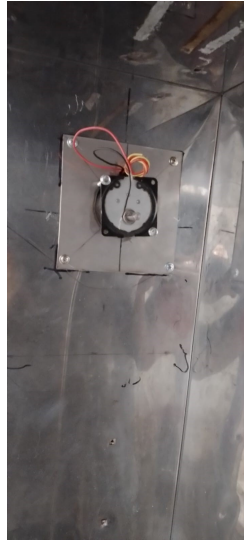


Figura 55. Implementación del motor síncrono.

El sistema biela-manivela se implementó estratégicamente para evitar la necesidad de controlarlo mediante tarjetas y códigos complejos. Esta elección permite que la inclinación se realice de manera efectiva para ambos lados de la incubadora (figura 56), asegurando que los huevos alcancen la inclinación óptima de 45 grados. La combinación de estas tecnologías contribuye a un sistema de volteo eficiente y de bajo impacto para el desarrollo embrionario.



Figura 56. Implementación del brazo biela manivela.

## X-E. Implementación del tablero de control

*X-E1. Implementación de breaker general y cableado:* En la configuración del tablero de control, se llevó a cabo la implementación de componentes clave para asegurar el funcionamiento óptimo y seguro de la incubadora. Se incluyó un breaker general de 25 amperios y un contactor del mismo amperaje (figura 57), considerando la carga significativa de los actuadores presentes en el sistema. La elección de cables calibre 12 asegura la conducción adecuada de la corriente eléctrica.



Figura 57. Implementación del breaker general y contactor.

*X-E2. Implementación de breaker general y cableado:* Para el cableado del tablero de control se realizaron unos huecos en la parte de inferior del tablero (figura 58), para la introducción de los cables en el tablero se utilizó un acople tipo rosca el cual mantiene fijo y estable el cable eléctrico.

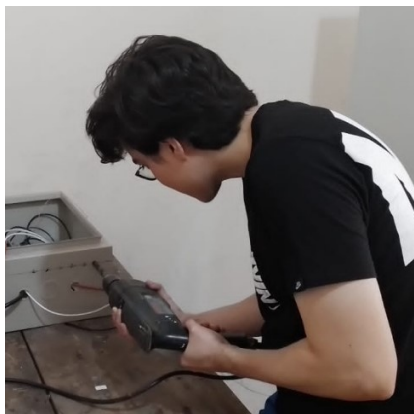


Figura 58. Corte de los agujeros para cableado del tablero de control.

*X-E3. Implementación del distribuidor de fuente:* Adicionalmente, se integró un distribuidor de carga para una distribución eficiente de la electricidad en el sistema (figura 59). La implementación del breaker y el contactor de 25 amperios se llevó a cabo considerando la carga específica de los actuadores, asegurando así un rendimiento confiable y seguro del sistema de control de la incubadora.



Figura 59. Implementación del distribuidor de carga y fuente.

*X-E4. Implementación del distribuidor de fuente:* Se incorporaron botoneras de marcha, paro y paro de emergencia (figura 60). Estas botoneras desempeñan un papel crucial en la operación segura y la gestión de situaciones inesperadas. Para facilitar el control y monitoreo del encendido y apagado de la incubadora



Figura 60. Implementación de las botoneras y del cableado.

## X-F. Implementación de la tarjeta electrónica.

*X-F1. Desarrollo de tarjeta de control ATmega328p:* En la etapa inicial del desarrollo de la tarjeta electrónica, se optó por la utilización del integrado ATmega328P de Arduino, y se procedió a implementar el circuito de acuerdo con la disposición detallada en la figura correspondiente. Sin embargo, durante las pruebas realizadas, se identificó un desperfecto en alguna de las pistas del circuito, lo que resultó en el daño y posterior quemado de la placa (figura 61). Esta incidencia imprevista generó la interrupción del trabajo con dicha placa, requiriendo un replanteamiento en la estrategia para avanzar en el desarrollo de la tarjeta electrónica.

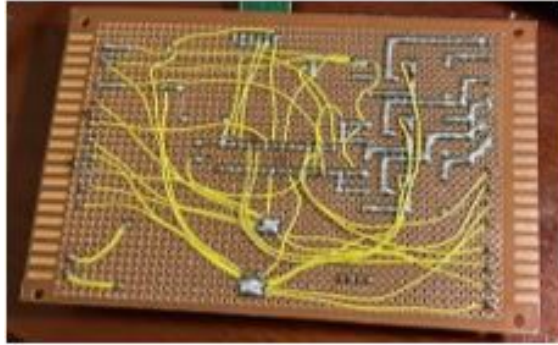


Figura 61. Tarjeta de control con ATmega328P.

*X-F2. Desarrollo de tarjeta de control con ESP32:* Posterior al inconveniente con la placa inicial, se optó por el diseño y la impresión de una nueva tarjeta electrónica utilizando el software Altium. En esta ocasión, se eligió el microcontrolador ESP32 (figura 62), que ofrece conectividad a internet, lo cual es fundamental para integrar capacidades de Internet de las cosas (IoT). Se realizó una separación clara entre la sección de potencia y la de control en la nueva placa diseñada. Una vez confeccionada, la placa se implementó con éxito en el tablero de control, proporcionando una solución integral para el sistema de la incubadora.

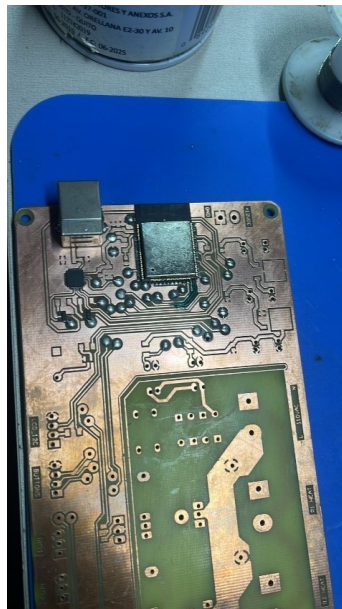


Figura 62. Tarjeta de control con ESP32.

*X-F3. Implementación del circuito electrónico en tablero:* En la siguiente (figura 63) se puede observar la posición de la placa base electrónica, la cual posteriormente se realizó las medidas, para realizar su colocación en el tablero de control.



Figura 63. Implementación del circuito electrónico en tablero de control.

*X-G. Implementación del sistema de calentamiento y humedad*

*X-G1. Circuito de entrada y salida del sistema de calentamiento y humedad:* En la etapa inicial del sistema de calentamiento, se instalaron resistencias de resorte; sin embargo, surgieron inconvenientes, ya que estas presentaban problemas de quemado y fractura. Ante esta situación, se tomó la decisión de reemplazarlas con una resistencia tipo bobina de 1100W (figura ??). Este ajuste resultó efectivo para evitar los problemas previamente mencionados, mejorando así la eficiencia y confiabilidad del sistema de calentamiento en la incubadora.



Figura 64. Circuito del sistema de salida y entrada.



*X-G2. Implementación del circuito electrónico en tablero:* Para la colocación del tablero de control se realizó el atornillado de la caja de control, la cual esta colocada en el costado derecho de la incubadora, como se observa en la siguiente (figura 65).



Figura 65. Implementación del circuito terminado.

*X-G3. Implementación del circuito electrónico en tablero:* Finalmente se realizó la implementación de la resistencia de calor y de humedad, para mantener una temperatura constante en el interior, en la cual la resistencia de calor se colocó con una base de aluminio para mantener posición fija, la cual recibirá aire para su flujo constante de temperatura en el interior de la incubadora, como se muestra en la siguiente (figura 66).

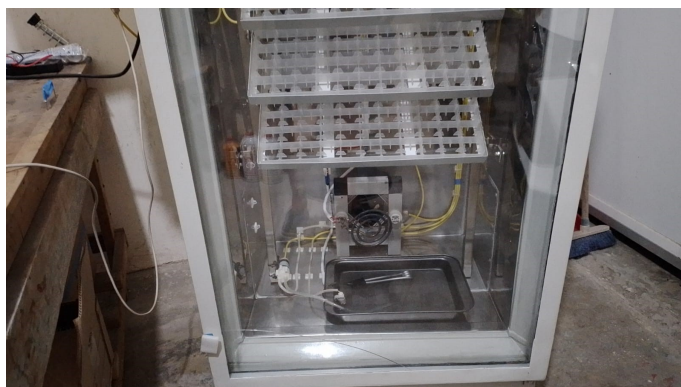


Figura 66. Implementación del sistema de humedad y temperatura.

## XI. PRUEBAS DE SIMULACIÓN

### XI-A. simulación del mecanismo biela manivela

En la siguiente simulación realizamos el dibujo del mecanismo de 4 barras (figura67), en el cual, se le dio una rotación libre en la parte de la manivela y una restricción de rotación en la biela la cual realizara un movimiento de balanceo, para que así el mecanismo obtenga una rotación necesario para un movimiento libre.

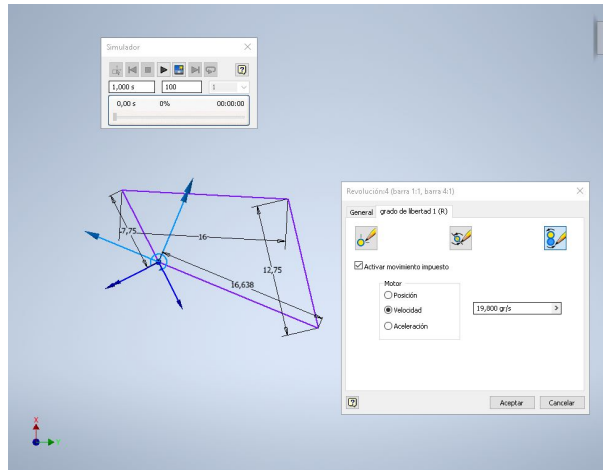


Figura 67. Dibujo 2d del mecanismo de 4 barras.

En la siguiente (figura 68), se muestra el avance en simulación del mecanismo de 4 barras, en el que se le dio un tiempo de simulación de 20 segundo, en el cual hizo el recorrido completo del movimiento giratorio y lineal del sistema.

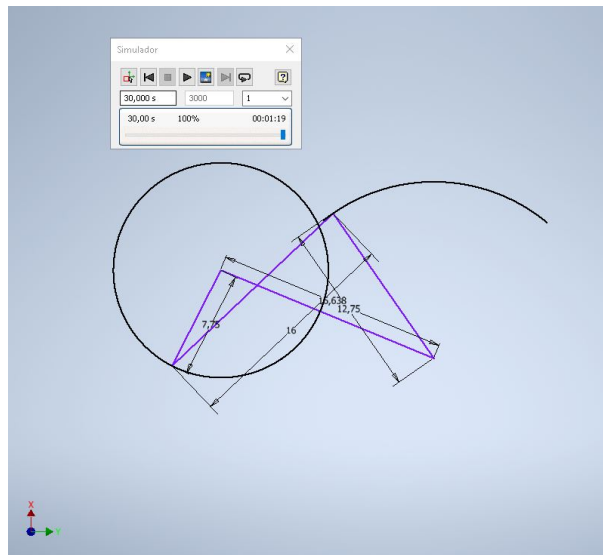


Figura 68. Movimiento del mecanismo 4 barras.



En la siguiente (figura69), se muestra las velocidades, de los ejes de movimiento de la manivela y biela del sistema, en el que se mostró resultados en ondas de frecuencia.

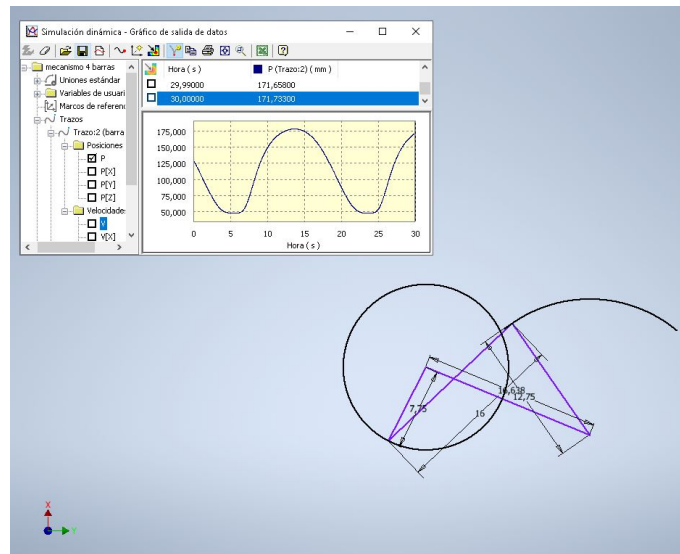


Figura 69. Gráfica del movimiento de posición.

En la ultima figura se muestra la aceleración del mecanismo de biela mecanismo, el cual se puede observar a continuación (figura70).

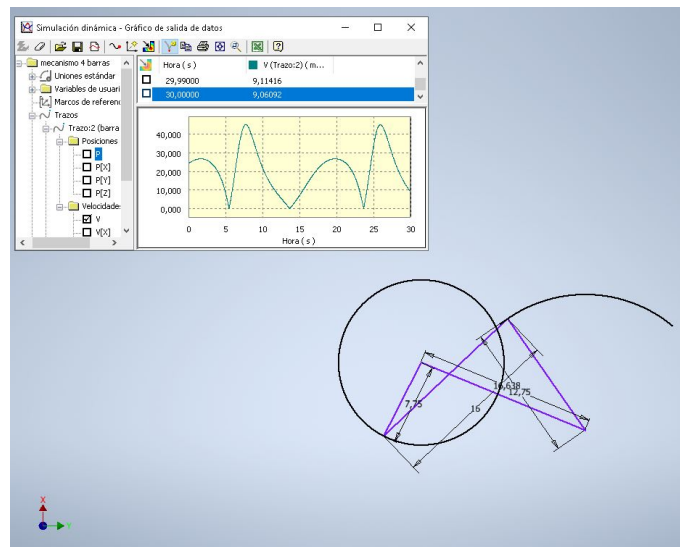


Figura 70. Gráfica de la velocidad.

## XI-B. Pruebas del sistema de control

**XI-B1. Prueba en lazo abierto de temperatura:** En la prueba realizada para determinar la temperatura máxima del calentador, se llevó a cabo un experimento en lazo abierto en el interior de la cámara de incubación. La duración de la prueba fue de 6 horas, durante las cuales se monitoreó la temperatura hasta alcanzar la estabilización. La temperatura máxima registrada fue de 49.15 grados Celsius, lograda al operar el resistor al 100 % de su capacidad.



Figura 71. Gráfica de estabilización de temperatura en lazo abierto a 49.15 Celsius.

Como se observa en la imagen, inicialmente, los datos de temperatura registraron 31 grados Celsius. En respuesta a esto, se activó el calentador a su máxima potencia (100 %). Se pudo constatar que el resistor térmico requería 16 minutos para alcanzar la temperatura ideal de incubación, que era de 37.8 grados Celsius, llegando a un pico de 51 grados Celsius. Posteriormente, la temperatura descendió dos grados y se mantuvo estable.

**XI-B2. Pruebas PID de temperatura:** En el transcurso de esta prueba, se implementó el controlador PID de temperatura con el objetivo de llevar el calentador a un estado de estabilización. Para que el controlador PID funcione, se estableció inicialmente un set point de 37.8 grados Celsius. Posteriormente, se asignaron valores a cada constante del controlador proporcional integral derivativo (PID), siendo los valores de esta primera prueba  $k_p=235$ ,  $k_i=0.001$ ,  $k_d=69$ , seleccionados de manera aleatoria. Las pruebas se llevaron a cabo con estos parámetros, y los resultados fueron observados y registrados para evaluar el desempeño del controlador en las condiciones establecidas.

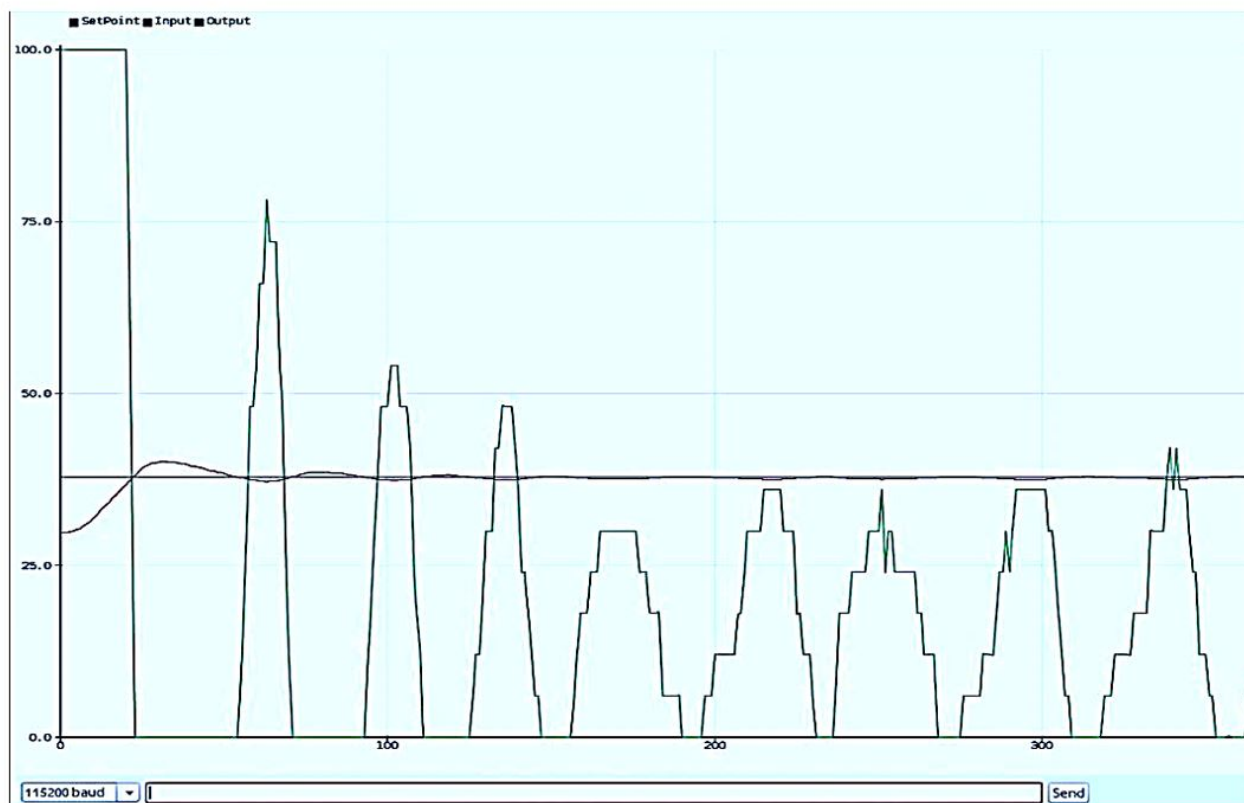


Figura 72. Grafica PID de temperatura.

Al iniciar la prueba con una temperatura inicial de 29 grados Celsius, se procedió a activar el sistema de calefacción, el cual fue regulado por los valores asignados a cada constante del controlador PID. Aunque el controlador logró estabilizar la resistencia térmica en aproximadamente 20 minutos, se observó que el pico de temperatura superó los 39 grados Celsius, un nivel potencialmente peligroso para los embriones. En consecuencia, se determinó la necesidad de ajustar los valores del controlador para garantizar un entorno seguro para la incubación.

Después de realizar varias pruebas y ajustes, se identificaron los valores óptimos que permitieron al controlador estabilizar la temperatura a través del calentador. Estos valores ideales para las constantes con un set point de 37.8 grados son los siguientes:

- Kp: 85
- Ki: 0.00001
- Kd: 0.08

Se estableció un rango de temperatura para la incubación entre 37.5 grados y 38.3 grados Celsius. Esta configuración facilita al controlador mantener la temperatura dentro de los límites ideales para garantizar que los embriones se encuentren fuera de la zona crítica de mortalidad.

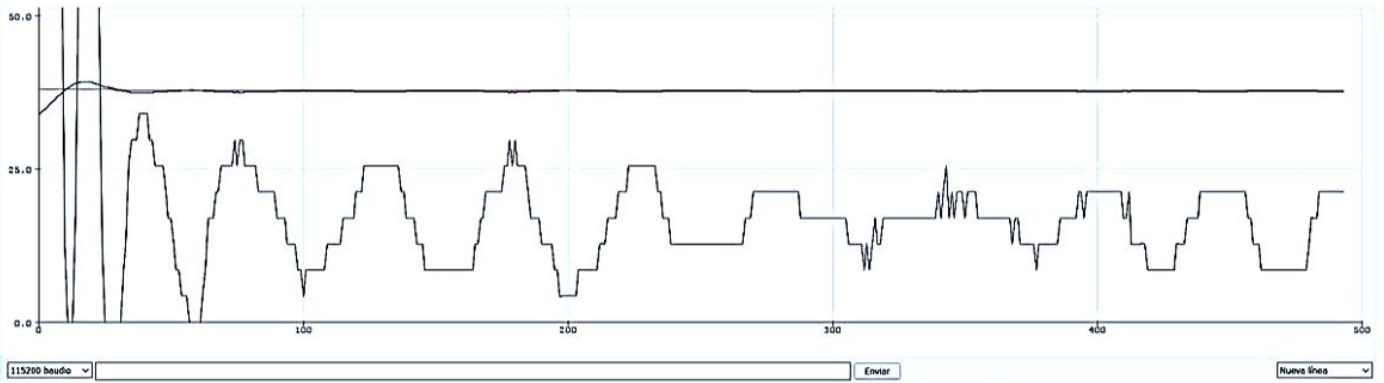


Figura 73. Gráfica del PID de temperatura final.

En la prueba simulada en Matlab, se asignaron valores específicos a cada constante del controlador PID con el fin de evaluar su desempeño en un entorno controlado. Las constantes utilizadas fueron  $k_p=500$ ,  $k_i=0.002$ ,  $k_d=109$ . Estos valores fueron seleccionados para observar la respuesta del controlador frente a variaciones y perturbaciones en el sistema de calefacción. Cabe destacar que se introdujo deliberadamente una perturbación en el sistema para evaluar la capacidad del controlador para ajustarse y mantener la estabilidad.



Figura 74. Gráfico de Estabilización en 37.8°C.

Es importante señalar que el controlador PID, con las constantes  $k_p=500$ ,  $k_i=0.002$ ,  $k_d=109$ , demostró ser eficaz en la regulación de la temperatura, incluso frente a perturbaciones simuladas. La capacidad de respuesta y la capacidad de ajuste del controlador son aspectos cruciales para garantizar un control preciso y estable del sistema de calefacción en diversas condiciones.

En respuesta a la perturbación introducida durante la simulación, el controlador PID demostró su capacidad para realizar ajustes y restablecer la estabilidad en el sistema de calefacción. A pesar de la perturbación, el controlador se esforzó por mantener la temperatura en línea con el set point establecido, lo que llevó aproximadamente 10 minutos para regresar a la estabilización deseada.

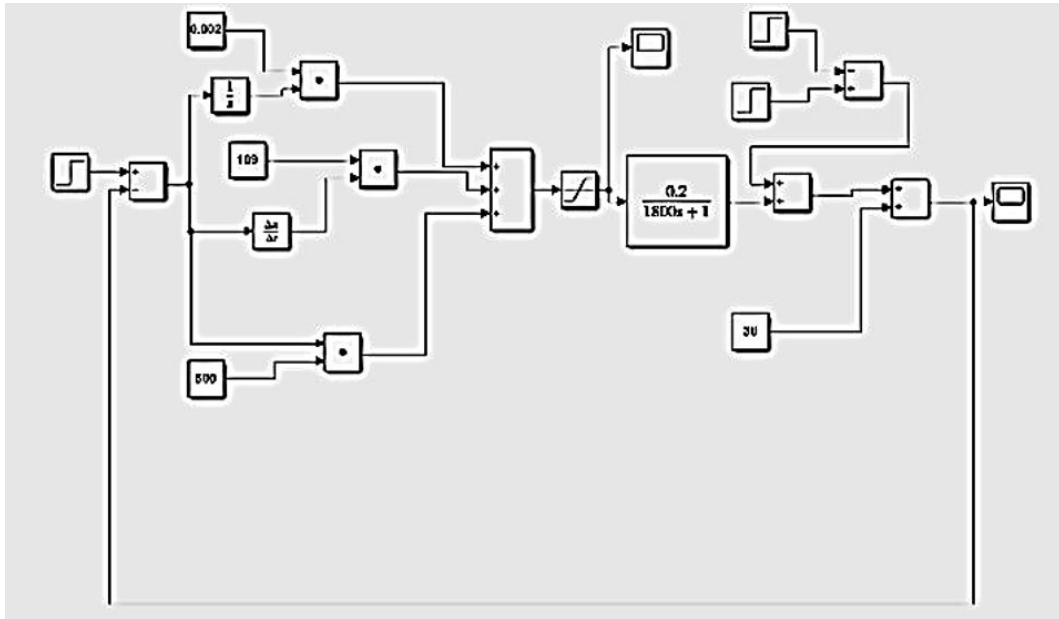


Figura 75. Diseño del sistema PID para control de perturbación de temperatura.

*XI-B3. Controlador PID con Perturbaciones Superiores:* Para observar como evoluciona el sistema ante una aumento de temperatura en la resistencia en la incubadora lo que implica una subida de temperatura en la cámara de incubación, se le coloca una perturbación positiva de 2°C, efecto se muestra en la gráfica de la (figura 76). El pulso de perturbación es el mismo de la (figura 77), pero como se colocó una resta en el diagrama de bloque este aumenta la temperatura de salida.

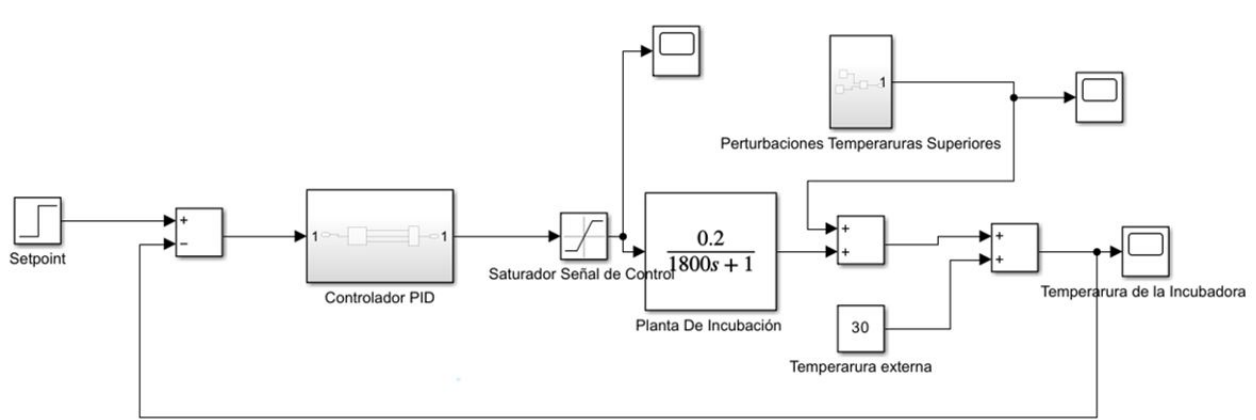


Figura 76. Sistema de control en lazo cerrado con perturbación de +2°C dentro de la incubadora.

Para la validación el sistema automatizado se realiza el calibrado y simulado del sistema de control con perturbaciones (figura 76), simulado que se aumenta la temperatura 2 °C dentro de la incubadora, desde los 1200 segundos a 1400 segundos, al termino de este tiempo se le elimina la perturbación, esta efecto se muestra en la (figura 77) en la que se observa el pulso del aumento de temperatura.

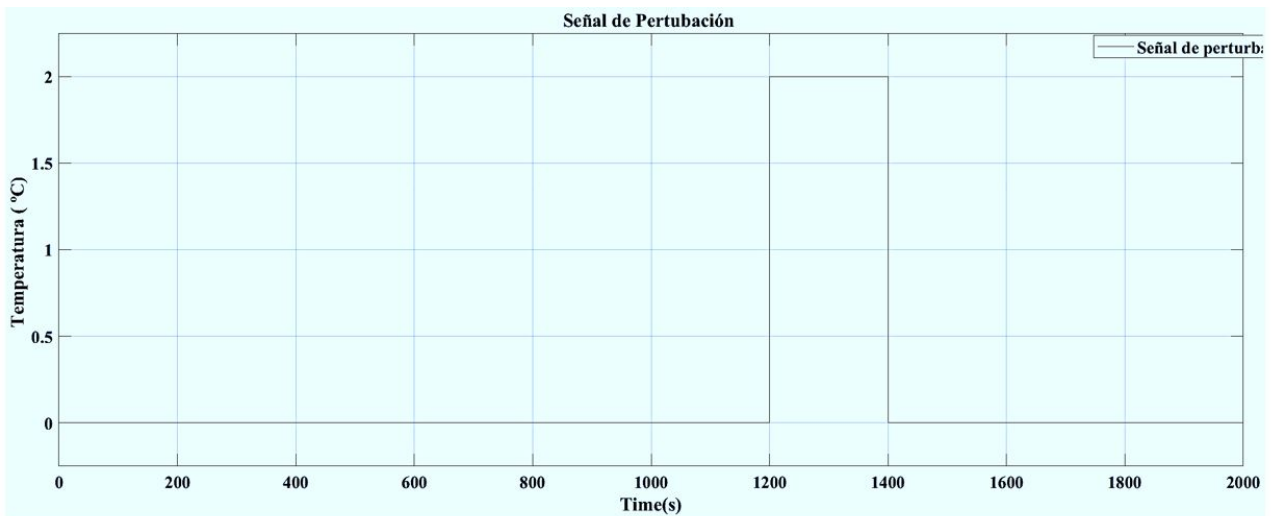


Figura 77. Perturbación de 2 grados de la temperatura dentro de la incubadora.

La señal de salida de la planta ante la perturbación aplicada de la (figura 77) se presenta en la (figura 78, en donde se observa que a los 1200 segundos la planta tiene este incremento en 2 grado la temperatura, pero el controlador empieza a bajarla variado la señal de control (Figura 79) hasta llegar nuevamente a la temperatura deseada.

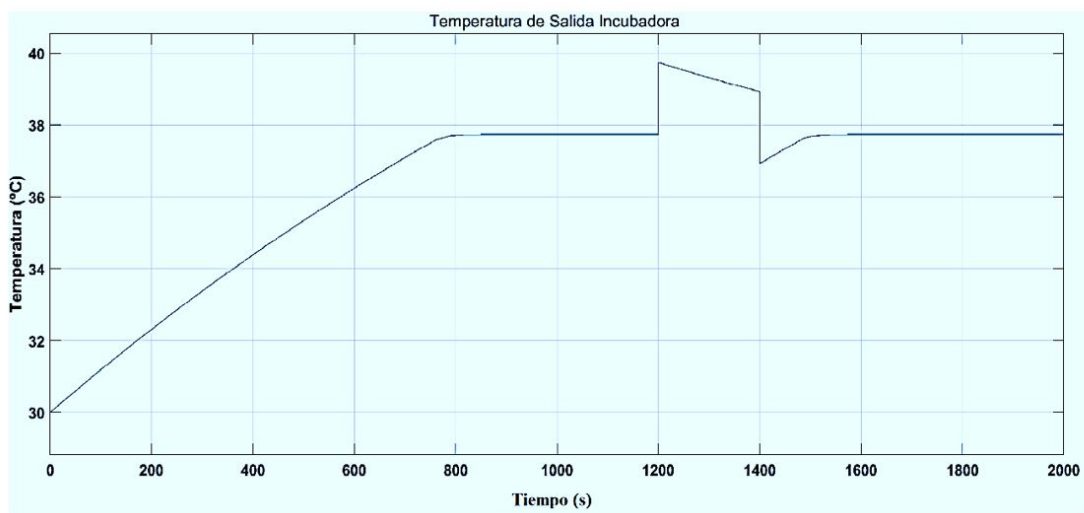


Figura 78. Temperatura de salida de la incubadora ante la permutación de + 2°C.

El voltaje que se aplica al actuador (señal de control) se va a un valor mínimo 0 voltios a los 1200 segundos y dura aproximadamente 200 segundos que permanece la perturbación, luego de lo cual, debido a la desaparición de la temperatura de perturbación, regresa al máximo valor máximo y va bajando hasta llegar nuevamente a los 40 voltios cuando la temperatura de sistema se estabiliza nuevamente en la 37.5 grados.

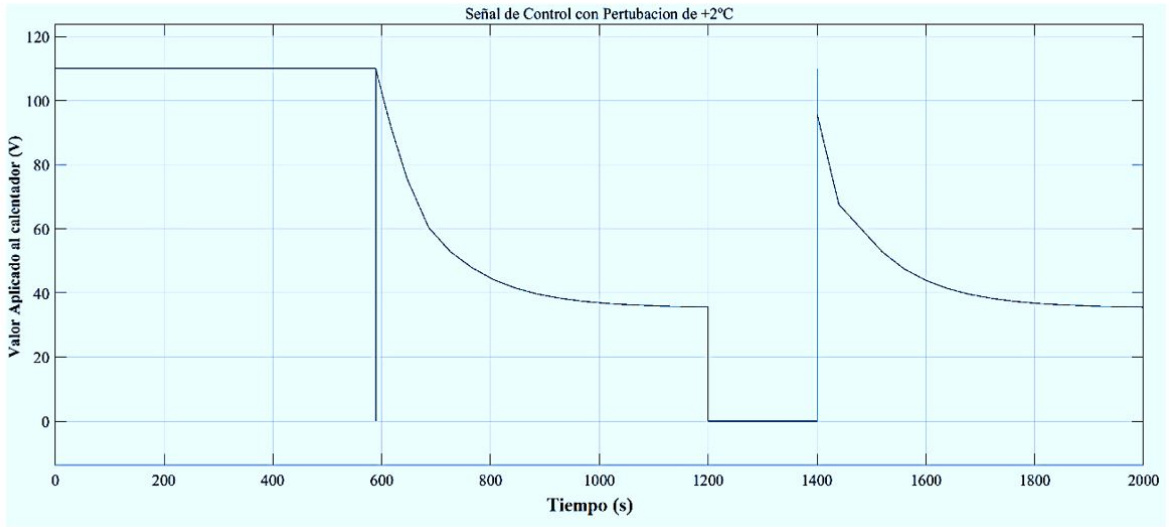


Figura 79. Voltaje aplicado al actuador con la perturbación de +2°C.

*XI-B4. Controlador PID con Perturbaciones Inferiores:* Para realizar observar como evoluciona el sistema ante una apertura de puerta en la incubadora lo que implica un ingreso de aire frío a la cámara de incubación, se le coloca una perturbación negativa de -2°C, efecto se muestra en la gráfica de la (figura 80). El pulso de perturbación es el mismo de la (figura 81), pero como se colocó una resta en el diagrama de bloque este decremента la temperatura de salida.

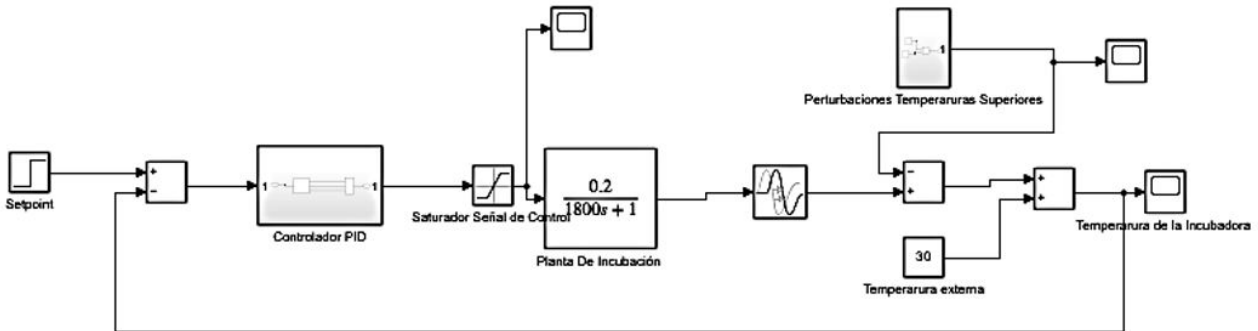


Figura 80. Sistema de control en lazo cerrado con perturbación de -2°C dentro de la incubadora.

En la (figura 81) se presenta la temperatura de salida de la incubadora ante la perturbación de  $-2^{\circ}\text{C}$  aplicada a la Cámara de Calentamiento entre los minutos 1200 segundos y 1400 segundos, se puede notar que en este tiempo la temperatura decrece los 2 grados pero el controlador lleva la planta nuevamente al punto de operación, a los 1400 segundos se nota un pico en la temperatura debido a que es el tiempo en el cual desaparece la perturbación bruscamente, el pulso de temperatura negativa se lo quita bruscamente.

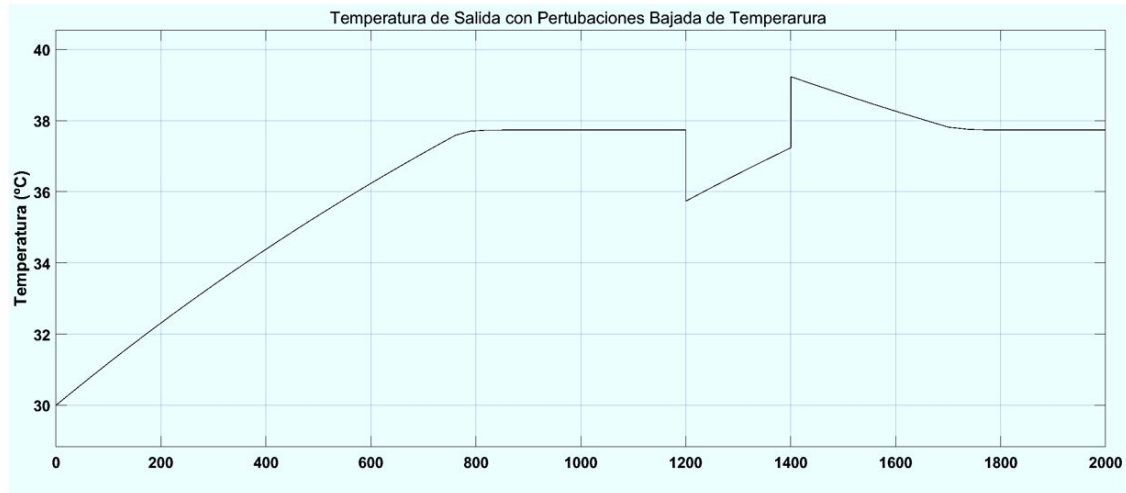


Figura 81. Temperatura de salida de la incubadora ante la permutación de  $-2^{\circ}\text{C}$ .

El voltaje que se aplica al actuador (señal de control figura 82) se va a un valor máximo 115 voltios a los 1200 segundos para aumentar la temperatura ya que disminuyo en 2 grados, y dura aproximadamente 200 segundos que permanece la perturbación, luego de lo cual, debido a la desaparición de la temperatura de perturbación, regresa al mínimo para nuevamente empezara subir hasta los 40 voltios que es el valor con el cual se mantiene la temperatura en 37.5 grados.

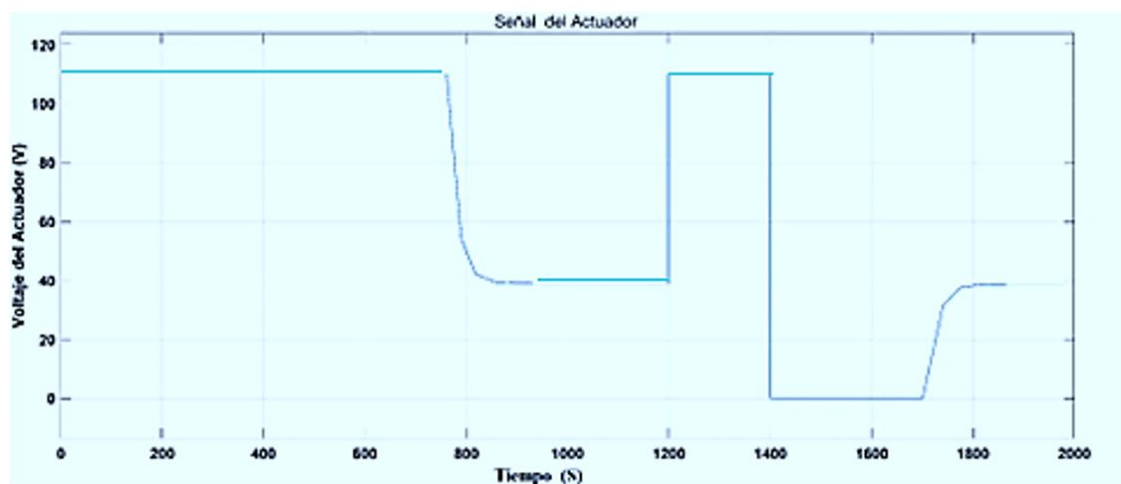


Figura 82. Voltaje aplicado al actuador con la perturbación de  $-2^{\circ}\text{C}$ .



*XI-B5. Validación del sistema de control en la planta real:* Una vez calibrado el controlador PID de la incubadora por simulación, se procede a implementarlo en el software de control del equipo físico, para esta prueba se le coloca como punto de operación 37.5 °C, la evolución de la temperatura de la Cámara de calentamiento se muestra en la (figura 83), en donde la incubadora demora aproximadamente unos 20 minutos en llegar al punto de operación, y tiene un sobre nivel porcentual que llega a los de aproximadamente el 4 %, es decir llega con un sobre pico de 39 °C al inicio luego se estabiliza en 37.5 °C, se observan pequeñas oscilaciones entre 37.5 °C y 37.8 °C.

La señal que se entrega al actuador en porcentaje se muestra de color gris de la (figura 83), en la que se presenta oscilaciones entre un 10 % y 20 % en la parte estable de la temperatura, aunque en la parte transitoria se observan valores más altos.

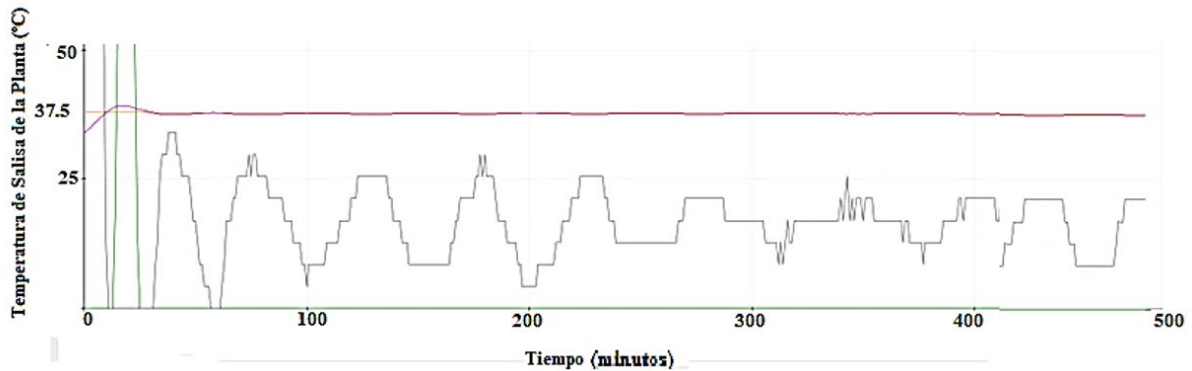


Figura 83. Gráfica de estabilización de temperatura en lazo abierto a 49.15 Celsius.

Con lo observado en la (figura 83) se puede afirmar que el controlador que se ha desarrollado para mantener en un punto de operación la Cámara de Incubación funciona correctamente, mantienen la temperatura dentro del valor de incubación de embriones de aves de corral, la cual oscila entre 37.5 °C y 37.8 °C. lo cual es muy beneficioso para producción industrial pollos.

*XI-C. Pruebas de incubación.*

*XI-C1. Condición del huevo día uno:* En la (figura 84) se constata que las condiciones del huevo destinado a la incubación son óptimas y no presentan manchas ni anomalías perceptibles. Previamente a su inserción en la incubadora, se sometió a una exhaustiva revisión para garantizar su frescura y viabilidad. Este proceso incluyó sumergir el huevo en un recipiente con agua con el propósito de verificar su estado fresco, descartando así cualquier indicio de deterioro que pudiera comprometer su desarrollo durante el proceso de incubación.



Figura 84. Huevo criollo de incubación

*XI-C2. Monitoreo de temperatura y humedad día uno:* Una vez completada y satisfactoriamente verificada esta etapa preliminar, el huevo fue introducido cuidadosamente en la incubadora, tal como se muestra en la (figura 85). Inmediatamente después, se procedió a iniciar el día 1 de incubación, marcando así el comienzo oficial del proceso. Durante este primer día, el equipo responsable de la incubadora se aseguró de que los parámetros ambientales esenciales, como la temperatura y la humedad, estuvieran ajustados y estabilizados de acuerdo con los estándares establecidos previamente para garantizar un entorno óptimo para el desarrollo embrionario.



Figura 85. Día uno de incubación

*XI-C3. Monitoreo de temperatura y humedad día dos:* En el día número 2, se llevó a cabo la verificación del correcto funcionamiento de la incubadora, como se evidencia en la (figura 86). En dicha inspección, se constató que la temperatura se encontraba establecida en 37.65 grados Celsius, mientras que la humedad registraba un valor del 55.80%. Estos datos confirman la efectividad del proceso de incubación, dado que ambos parámetros se hallaban dentro del rango óptimo establecido para el desarrollo embrionario.



Figura 86. Día dos de incubación

*XI-C4. Sistema de volteo automático:* Además, se verificó el cumplimiento de los parámetros de rotación de las bandejas, las cuales fueron giradas cada dos horas de acuerdo con las recomendaciones establecidas. Este procedimiento garantiza una distribución uniforme del calor y la humedad dentro de la incubadora, promoviendo así un ambiente propicio para el adecuado desarrollo de los embriones.



Figura 87. Volteo de bandejas automático

*XI-C5. Monitoreo de temperatura y humedad día cinco:* En el día 5 de incubación hubo un corte de energía durante 11 horas, por lo que los embriones quedaron sin la temperatura y humedad ideales para continuar con su proceso de formación, como se muestra en la (figura 74 88) la temperatura descendió hasta los 31 grados celsius quedando fuera del rango de incubabilidad y la humedad se elevo a hasta alcanzar un 80%( humedad ambiente), luego de retornar la energía se retomo la incubación los cuales se establecieron de forma adecuada.

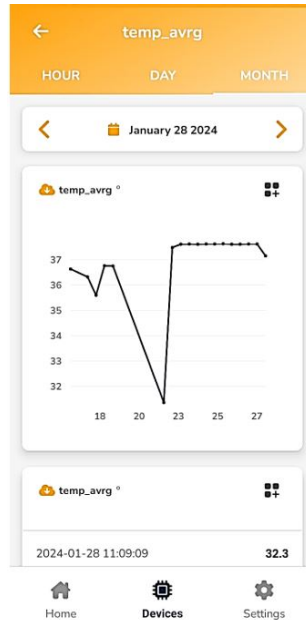


Figura 88. Datos enviados por ubidots de la caída de temperatura.

*XI-C6. Monitoreo de temperatura y humedad día nueve:* En los días posteriores, se llevó a cabo una verificación para determinar si los embriones continuaban con vida o si la pérdida de energía del día 5 había interrumpido el proceso embrionario. Para ello, se tomaron muestras de los embriones y se observó que el proceso seguía en curso.

Como se puede apreciar en la (figura 89), se observó la presencia de una sombra en la parte superior del huevo, lo que indica la formación del embrión en relación con los primeros días de incubación. Este hallazgo proporciona evidencia sólida de que el proceso embrionario no se detuvo y que los embriones continúan desarrollándose normalmente.



Figura 89. Día 9 de incubación

*XI-C7. Inspección de huevos con movimiento del embrión:* La detección de estos movimientos proporciona una evidencia inequívoca del desarrollo activo del embrión y confirma que el proceso de incubación está progresando de manera satisfactoria. Estos movimientos son indicativos de que el embrión ha alcanzado un nivel de desarrollo en el cual sus funciones fisiológicas básicas, como las contracciones musculares, están presentes y activas.



Figura 90. Embrión en Movimiento dentro del cascaron.

*XI-C8. Inspección de huevos sin embrión formado:* En el día 9 del proceso, también se inició el proceso de descarte de huevos que no presentaban el embrión formado, como se ilustra en la (figura 91). Durante la inspección, no se observó ninguna sombra que indicara la presencia del embrión dentro del huevo, lo que llevó a descartarlo.

Esta medida de descarte se basa en la ausencia de evidencia visual del desarrollo embrionario en el huevo en cuestión. La falta de una sombra visible sugiere que el embrión no se ha desarrollado adecuadamente o que no ha comenzado su desarrollo en absoluto. Por lo tanto, se considera que estos huevos no son viables para continuar con el proceso de incubación.



Figura 91. Huevo sin embrión formado en el día 9.

*XI-C9. Monitoreo de temperatura y humedad día quince:* El proceso de volteo de los huevos se estableció con un período de 15 días, debido a que durante este período inicial el líquido de los embriones puede quedar adherido a la cáscara y provocar la muerte del embrión. En consonancia con los parámetros de incubación establecidos, se llevó a cabo el volteo de los huevos durante los primeros 15 días del proceso, como se ilustra en las (figura 92 y figura 93).



Figura 92. Día 15 de incubación.

*XI-C10. Finalización del sistema de volteo en día quince:* Esta práctica de volteo tiene como objetivo evitar la adhesión del líquido embrionario a la cáscara y garantizar un desarrollo embrionario saludable. Sin embargo, una vez transcurridos los primeros 15 días, se interrumpió este proceso de volteo para el resto de la incubación, como se observa en las figuras proporcionadas (92 y 93).



Figura 93. Volteo de gavetas finalizado.

*XI-C11. Ajuste de parámetro de temperatura y humedad día dieciocho:* En el día 18 del proceso de incubación, se completaron los parámetros establecidos en la primera etapa y se procedió a avanzar hacia la segunda etapa. En esta fase, se ajustaron los parámetros de la incubadora para mantener una temperatura en el rango de 36.5 a 37.8 grados Celsius (figura 94) y una humedad entre el 60% y el 80%, como se muestra en la (figura 95).

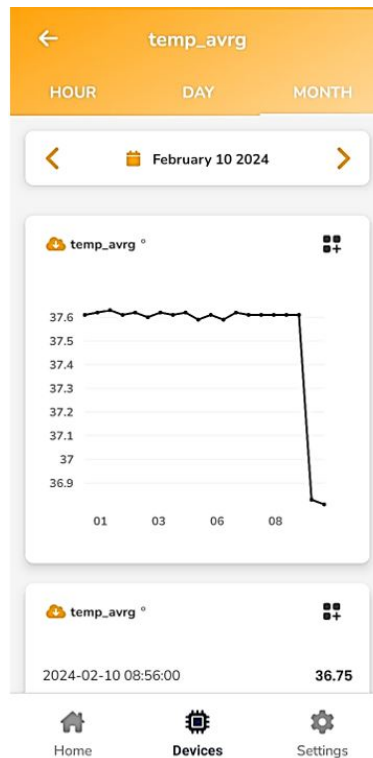


Figura 94. Registro de temperatura mostrada por la app de ubidots

*XI-C12. Monitoreo de temperatura y humedad día diecinueve:* Estos cambios en los parámetros de la incubadora marcan la transición hacia la siguiente fase del proceso de incubación, en la cual se busca crear un ambiente óptimo para el desarrollo avanzado de los embriones. La modificación en la temperatura y la humedad está diseñada para satisfacer las necesidades específicas de esta etapa del desarrollo embrionario.



Figura 95. Día 19 de incubación

*XI-C13. Picoteo del cascaron del huevo día diecinueve:* En el día 19 de incubación, se observó que el embrión ya formado comenzó a picotear el cascarón, indicando que el pollito estaba completamente formado en su interior. Este comportamiento es un claro signo de que el proceso de desarrollo embrionario ha alcanzado su etapa final.

Además, se constató que los parámetros del ambiente de la incubadora estaban aproximados a los valores reales que la gallina proporciona al huevo durante su proceso natural de incubación. Esto sugiere que las condiciones de temperatura y humedad establecidas durante las dos etapas del proceso de incubación fueron adecuadas y se cumplieron satisfactoriamente.



Figura 96. Picoteo del pollo al cascaron en el día 19

*XI-C14. Formación del pollo día veintiuno:* En el último día de incubación el pollo se formó completamente, saliendo de la cascara y con su desarrollo completado, como se ve en la (figura 97).



Figura 97. formación del pollo



## XII. RESULTADOS

### XII-A. Resultado pruebas de incubación

#### XII-B. Porcentaje promedio de incubabilidad.

El porcentaje medio de incubabilidad de los huevos de gallina puede fluctuar debido a una serie de factores, que incluyen la calidad genética de las aves, las condiciones de manejo y el ambiente durante el proceso de incubación. A pesar de estas variaciones, se establece que un rango típico de incubabilidad para los huevos fértiles de gallina oscila entre el 80 % y el 90 %.

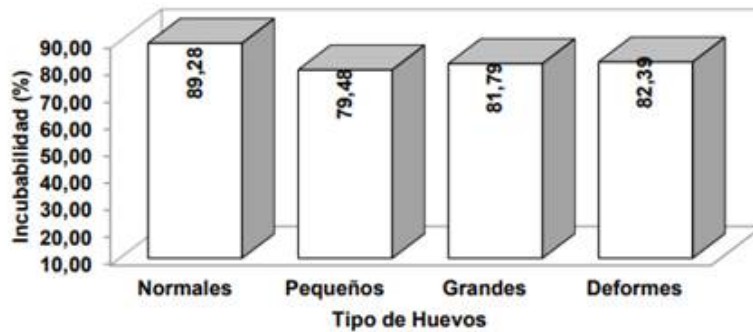


Figura 98. porcentaje de incubabilidad[13].

*XII-B1. Porcentaje de incubabilidad en primera prueba de incubación.:* En la primera prueba presentada, se introdujeron 43 huevos. De este total, el 65 % de los huevos resultaron infértiles, mientras que el 34 % fueron huevos fértiles, de los cuales 9 se desarrollaron exitosamente. Para calcular el porcentaje de incubabilidad en esta situación, se emplea la siguiente fórmula.

P = porcentaje de incubabilidad

N = porcentaje de huevos nacidos

F = porcentaje de huevos fértiles

$$P = \frac{\% \text{ de huevos nacidos}}{\% \text{ de huevos fértiles}} * 100 \quad (65)$$

Tabla VI  
DATOS DE PORCENTAJE DE INCUBACIÓN

Datos	Cantidad de huevos incubados	Porcentaje de incubación
Total de huevos	43	100 %
Huevos fértiles	15	35 %
Huevos infértiles	28	65 %
Total de embriones formados	9	21 %
Nacidos sobre fértiles	-	60 %

XII-C. Gráfico 1 porcentaje de incubación.

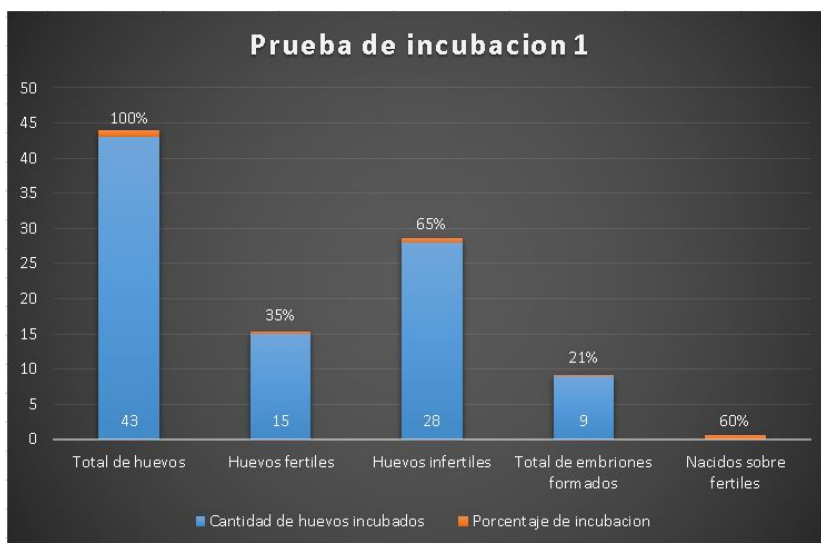


Figura 99. porcentajes de prueba 1[13].

XII-C1. *Porcentaje de incubabilidad en segunda prueba de incubación.*: Para la segunda prueba presentada, se obtuvieron los siguientes valores, en el cual se introdujeron 120 huevos. De este total, el 35% de los huevos resultaron infértiles, mientras que el 65% fueron huevos fértiles, de los cuales 56 se desarrollaron exitosamente. Para calcular el porcentaje de incubabilidad en esta situación, se emplea la siguiente fórmula.

P = porcentaje de incubabilidad

N = porcentaje de huevos nacidos

F = porcentaje de huevos fértiles

$$P = \frac{\% \text{ de huevos nacidos}}{\% \text{ de huevos fértiles}} * 100 \quad (66)$$

Tabla VII  
DATOS DE PORCENTAJE DE INCUBACIÓN

Datos	Cantidad de huevos incubados	Porcentaje de incubación
Total de huevos	120	100%
Huevos fértiles	78	65%
Huevos infértiles	42	35%
Total de embriones formados	56	47%
Nacidos sobre fértiles	-	72%

XII-D. Gráfico 2 porcentaje de incubación.

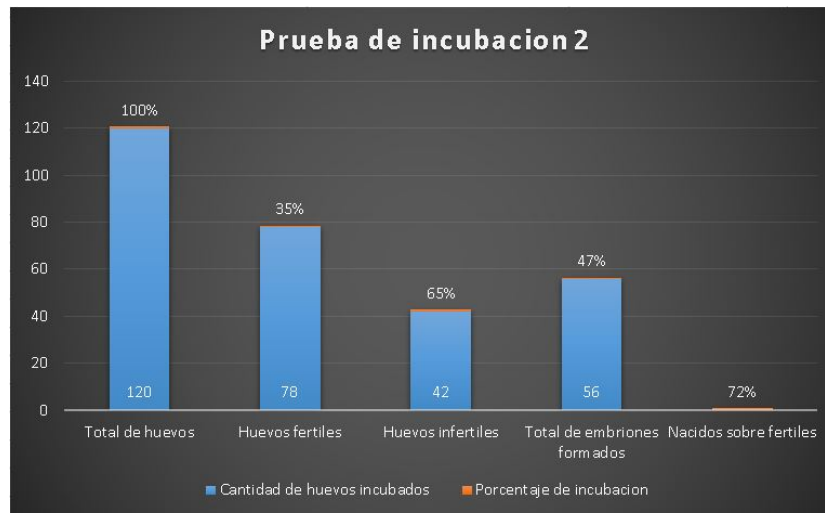


Figura 100. porcentaje de prueba 2 [13].

### XIII. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla VIII  
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

ACTIVIDADES	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																																			
	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				MES 7				MES 8							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
INVESTIGACION DEL TEMA																																				
ANÁLISIS DEL TEMA																																				
PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO																																				
PROPUESTA DEL TEMA DE TITULACION																																				
REVISIÓN DEL TUTOR																																				
CORRECCIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN																																				
AVANCE DEL MARCO PROCEDIMENTAL																																				
REVISIÓN DE COSTOS																																				
ANÁLISIS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO Y MECÁNICO																																				
REVISIÓN DEL TUTOR																																				
COMPRA DE LOS MATERIALES MECÁNICOS																																				
COMPRA DE MATERIALES ELECTRÓNICOS Y ELECTRÓNICOS																																				
ANÁLISIS TÉCNICO																																				
DISEÑO DE PLANOS MECÁNICOS																																				
CONSTRUCCIÓN DE MECANISMOS																																				
DISEÑO DE PLANOS ELECTRÓNICOS																																				
ENSAMBLE DE MAQUINA CON ESTRUCTURA																																				
REVISIÓN DEL TUTOR																																				
CONTRUCCION DEL HARDWARD																																				
ELAVORACION DE PROGRAMACIÓN																																				
ENSAMBLE COMPLETO DE LA MAQUINA																																				
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA																																				
REVISIÓN DEL TUTOR																																				
VERIFICACION DE INCUBACION																																				
ANÁLISIS DE RESULTADOS																																				
REVISIÓN FINAL DEL TUTOR																																				
FINALIZACION																																				

## XIV. PRESUPUESTO

Tabla IX  
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

PRESUPUESTO PARA EL PROTOTIPO INCUBADORA		
	ELEMENTOS	COSTO
MECÁNICOS	BARILLA CUADRADA UNA Y MEDIA PULGADA	255
	PERNOS, TUERCAS Y ANILLOS	105
	RODAMIENTOS	185
	PLATINA	105
	PLANCHA DE ACERO INOX	305
	TORNILLOS	55
	PERFILES DE ALUMINIO	205
ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	BREAKER	155
	CONTACTOR	205
	BOTONERAS	105
	CABLES	505
	TABLERO ELECTRICO	405
	VENTILADORES DC	205
	BOMBA DC	75
	RESITENCIA CALENTADORA	55
	RESISTENCIA DE INMERSION	55
	MOTOR SINCRONO AC	185
	SENSOR DE BOYA	3,55
	SENSOR DHT22	155
	FINALES DE CARRERA	25
	ESP32	205
	RELAYS	105
	PANTALLA LCD 2004	155
	DIMMERS	405
	CONECTORES Y BORNERAS	155
	BOCINA	35
	FUENTE 12V	155
OTROS	BANDEJAS DE HUEVOS	955
	ESPUMAFON	255
	PLACA ELECTRÓNICA	1005
	SOLDADURA	505
	MECÁNICA	1505
	PINTURA	205
	ACONDICIONAMIENTO DE LA NEVERA	505
	ELEMENTOS ELÉCTRICOS ADICIONALES	505
	NEVERA	505
<b>TOTAL</b>		<b>1036.55</b>

## XV. CONCLUSIÓN

El desarrollo e implementación de este prototipo tiene como característica principal , cumplir con los parámetros de incubación ,los cuales se realizaron , a través del controlador pid para un ambiente de temperatura y humedad adecuados. También se implemento el mecanismo de inclinación para las cubetas de huevos que transmite el movimiento a través del sistema de biela manivela, se obtiene una inclinación de 45 grados para las cubetas, así mismo este mecanismo se activara con una frecuencia de 12 veces al día.

Se realizó las pruebas de control PID ,para un adecuado calentamiento del sistema ,el cual se logro calibrar su temperatura de 37.5°C, y su parámetro de humedad en un 70 %, donde se logro un eficaz respuesta de la placa ESP32, en conjunto del controlador dimmer, para manipular las fluctuaciones de temperatura y humedad del sistema.

Se desarrollo las pruebas requeridas para el sistema de calentamiento y humedad funcione adecuadamente. También se realizo pruebas de incubación donde se obtuvo un resultado positivo para el nacimiento de los pollitos. que el sistema tenga.

En conclusión, el proceso de incubación de huevos de gallina surge como una actividad de considerable complejidad que demanda una vigilancia constante de diversos factores ambientales y de manejo. Al mantener condiciones óptimas de temperatura, humedad y sistema de movimiento, los productores avícolas pueden experimentar mejoras significativas en las tasas de eclosión y salvaguardar la salud de los pollos.

## XVI. RECOMENDACIONES

Para garantizar el éxito en el proceso de incubación artificial de huevos de gallina, se requiere mantener condiciones ambientales óptimas dentro de la incubadora. Esto implica una vigilancia constante y ajuste preciso de la temperatura y la humedad para reproducir el entorno natural que proporcionaría la madre gallina. Se aconseja mantener una temperatura constante alrededor de 37.5°C y una humedad relativa entre el 50 % y el 60 %. Además, es fundamental garantizar una ventilación adecuada para preservar la calidad del aire dentro de la incubadora, facilitando así un ambiente propicio para el desarrollo embrionario.

Un aspecto crucial del proceso es la rotación periódica de los huevos dentro de la incubadora, busca simular el movimiento natural experimentado por la gallina. Esto puede lograrse mediante un sistemas de volteo automático, esta rotación regular también previene posibles deformidades en los embriones y fomenta un crecimiento saludable. En el sistema calentamiento y humedad ,se colocó las resistencias y ventiladores de manera específica para garantizar una distribución uniforme de calor y humedad, consiguiendo una temperatura uniforme en todo el interior de la incubadora, que optimiza el proceso de la temperatura ambiente en el interior , y así logrando condiciones de eclosión exitosa.

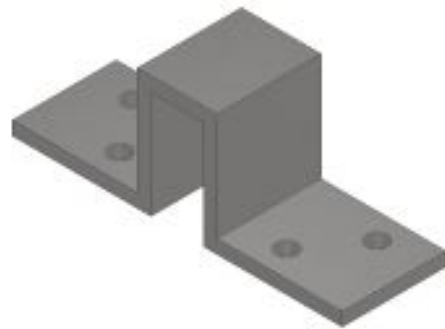
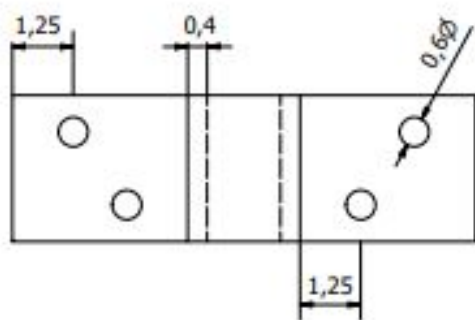
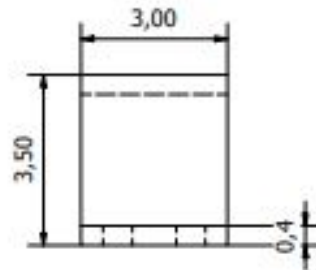
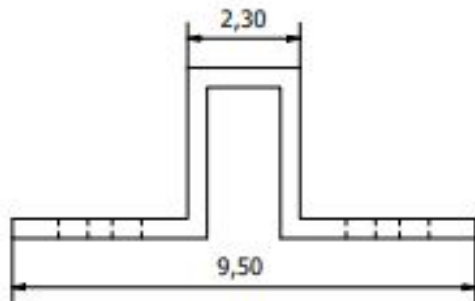
Además, se aconseja realizar una selección y manejo cuidadosos de los huevos antes de colocarlos en la incubadora. Esto implica eliminar los huevos dañados o sucios, así como clasificarlos según su tamaño y calidad. Los huevos deben colocarse en posición horizontal y sin entrar en contacto directo unos con otros para evitar la contaminación cruzada y permitir un desarrollo adecuado. Siguiendo estas recomendaciones, los productores avícolas pueden mejorar significativamente las tasas de eclosión y obtener pollos fuertes y saludables.

## REFERENCIAS

- [1] B. Daniel, «Análisis de la Innovación Tecnológica Avícola Ecuatoriana en el Contexto De Industria 4.0,» [Disponible en: [https://www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion\\_tecnologica/article/view/23/15](https://www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion_tecnologica/article/view/23/15)], 2019.
- [2] Paredes, «Crecimiento y comportamiento reproductivo de la gallina criolla,» [Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1609-91172019000200022](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1609-91172019000200022&tid=618)]; Accedido el: 2 de enero del 2024], 2019.
- [3] M. Coronel, «Sistema automático de ovoscopia para análisis de calidad de huevos de gallina .,» [Disponible en: <https://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3328>]; Accedido el: 2 de enero del 2024], 2022.
- [4] P. Arbelaez, *Construcción de una incubadora artificial de huevos*. Universidad Antonio Narino, 2023.
- [5] J. Plata Chana, «Tecnología artificial para la incubación de huevos de gallina,» [Disponible en: <https://repositorio.umsa.edu.bo/handle/123456789/12345>]; Accedido el: 2 de enero del 2024], 2014.
- [6] A. A. De la Torre Conteron, «Sistema de control para incubadora artesanal de huevos de gallina,» Tesis de maestría., 2023.
- [7] M. Cardona, «Mini Incubadora Manual,» [Disponible en: <https://es.scribd.com/document/584495037/mini-incubadora-manual-espan-ol>]; Accedido el: 2 de enero del 2024], 2024.
- [8] D. X. Ron Castro et al., «Diseño y construcción de una incubadora y criadora artificial para huevos de condor andino,» Tesis de maestría., 2015.
- [9] Sembralia, «Tipos de incubadoras de huevos,» [Disponible en: <https://sembralia.com/blogs/blog/tipos-de-incubadoras-de-huevos>]; Accedido el: 3 de enero del 2024], 2021.
- [10] M. Valencia, «Diseño y construcción de una incubadora automática para huevos de aves de corral,» [Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4230>], 2011.
- [11] Emiliocaceres, «incubadora casera automática,» [Disponible en: <https://bricolaje.facilissimo.com/d/incubadora-casera-automatica945830.html>]; Accedido el: 3 de enero del 2024], 2013.
- [12] D. Acero, «Evaluación del efecto de la edad de las reproductoras y la ubicación del huevo en la incubadora,» [Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/161/>]; Accedido el: 3 de enero del 2024], 2010.
- [13] R. Moya, «Factores que afectan la incubabilidad de huevo fértil en aves de corral,» [Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/revistas/issue/view/issue/show-titles>]; Accedido el: 3 de enero del 2024], 2017.
- [14] Veterinariozootecnista, «La Diferencia entre un Huevo fértil y uno infértil,» [Disponible en: <https://medicoveterinariozootecnista.com/la-diferencia-entre-un-huevo-fertil-y-uno-infertil/>]; Accedido el: 3 de enero del 2024], 2023.
- [15] R. Terrones, *Efectos del tiempo de almacenaje del huevo fértil de reproductoras COBB 500 sobre la incubabilidad en el distrito de Huanchaco*. Universidad Nacional de Cajamarca, 2018.
- [16] J. R. Moya, «Factores que afectan la incubabilidad de huevo fértil en aves de corral,» [Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5877010.pdf>]; Accedido el: 3 de enero del 2024], 2017.
- [17] Ramirez, «Efecto de los tiempos de conservación a temperatura ambiente, en la calidad del huevo de gallinas camperas (*Gallus domesticus*) en la Amazonia Ecuatoriana,» [Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63649052.pdf>]; Accedido el: 3 de enero del 2024], 2016.
- [18] D. Pezo, *Aplicativo en plataforma arduino para el control de temperatura y humedad de incubadora de huevos en la Avícola Angeles Cacatachi 2020*. Universidad Cesar Vallejo, 2020.
- [19] C. Alvarado, *Desarrollo de un prototipo de control de temperatura de una incubadora de pollos aplicando un sistema de ventilación y rotación de bajo presupuesto*. Universidad de Guayaquil, 2019.
- [20] L. A. Perez Guillen, «Cuatro factores físicos fundamentales en la incubación artificial de huevo fértil de gallina (temperatura, humedad, volteo y ventilación),» [Disponible en: <https://repositorio.uaaan.mx/handle/123456789/49081>], 2004.
- [21] C. Torres, *Diseño de un sistema automatizado de Volteo de Portabandejas para ser utilizado en máquinas incubadoras de huevo fértil*. Universidad Cesar Vallejo, 2015.
- [22] emtechl, «Volteo del huevo durante la Incubación,» [Disponible en: <https://www.emtech-systems.com/es/charlas-tecnicas/egg-turning-during-incubation-a-review-by-mohamed-mostafa-el-ashram/>]; Accedido el: 3 de enero del 2024], 2014.
- [23] D. J. Tipantaxi Chiguano y C. A. Villacres Puga, «Desarrollo y construcción de un sistema de bola balancín sobre una plataforma regulada mediante un control Fuzzy,» Tesis de maestría., 2017.

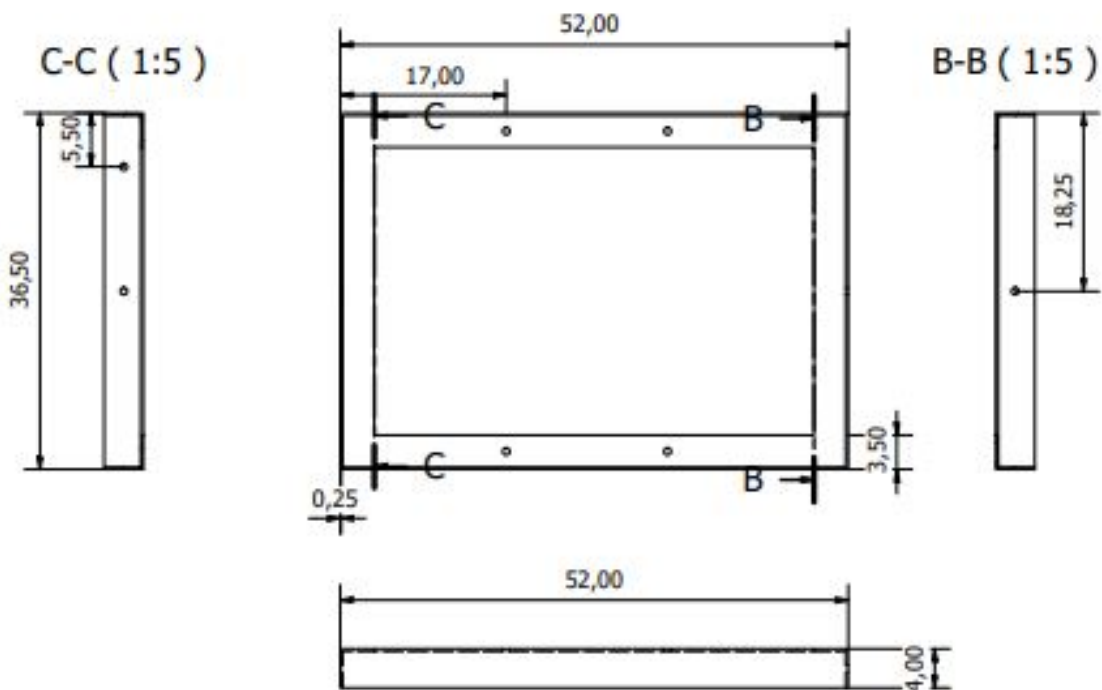


- [24] G. C. Martinez, «Laboratorio Virtual De Un Mecanismo Manivela-Balancin,» Tesis doct., 2014.
- [25] C. Guerrero, «Laboratorio virtual de un mecanismo manivela balancin,» [*Disponible en: <https://mcatronica-cbtis122.jimdofree.com/cynthia-guerrero/mecanismos/>;Accedido el: 3 de enero del 2024*], 2022.
- [26] D. M. Mercado, G. H. Murgas, J. R. MCKinley y J. D. Gonzalez, «Una herramienta computacional didactica para el analisis cinematico de mecanismos planos de cuatro barras,» [*Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/69> .;Accedido el: 3 de enero del 2024*], 2015.
- [27] R. A. Valdivia Corzo, «Modelamiento y control de velocidad de motor DC mediante algoritmo PID basado en reglas de Ziegler-Nichols,» [*Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/76b485d6-5a46-4a35-9ea8-24c7b315569e>.;Accedido el: 3 de enero del 2024*], 2021.
- [28] Marquez, «Sistema de control PID sintonizado por algoritmo de Evolucion Diferencial y Ziegler Nichols aplicado a motores de CD,» [*Disponible en: <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/2722>.;Accedido el: 3 de enero del 2024*], 2021.
- [29] Araque, «CONTROLADOR PID PARA SISTEMA MASA-RESORTE-AMORTIGUADOR USANDO ZIEGLER Y NICHOLS,» [*Disponible en: [https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/SEMINE/ar](https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/SEMINE/ar) 2020*].



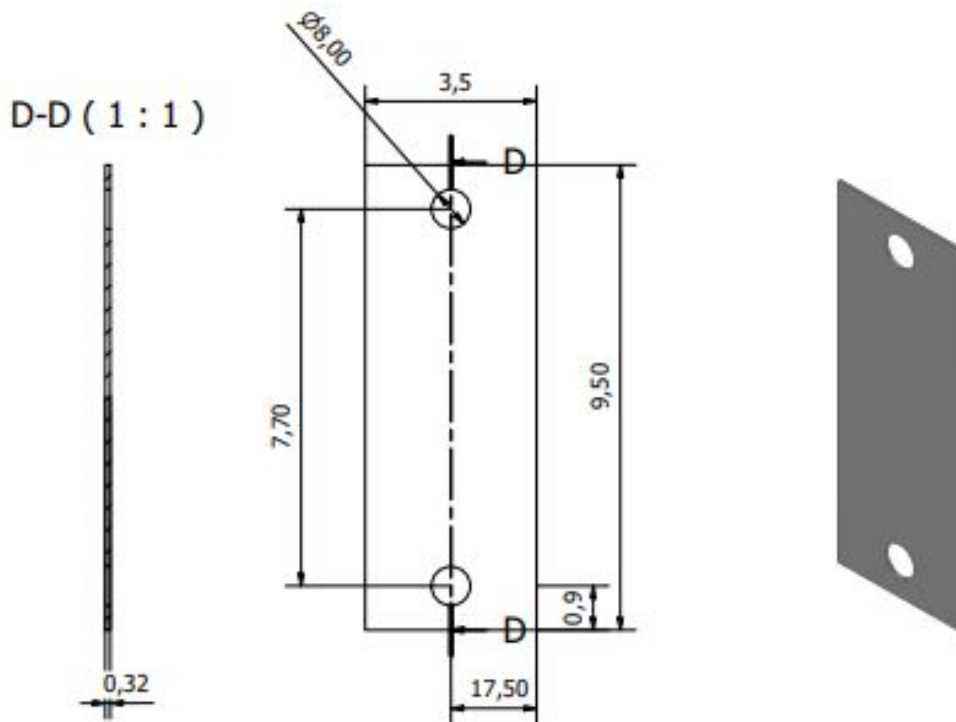
1	4	Acero Inoxidable Aisi 304		Agarradera de acero
Nº#	Cant	Material		Observaciones
	Fecha	Nombre		
Dibujado	9/01/24	A.Lopez	M.Aldas	
Comprobado		Ing.Nino Vega		
t.d.s Normas		Ing.Nino Vega		
Escala	Agarradera de base			Lamina: 1
1:1				Formato: A4
				Grupo: 09

Figura 101. Diseño 3d brazo largo



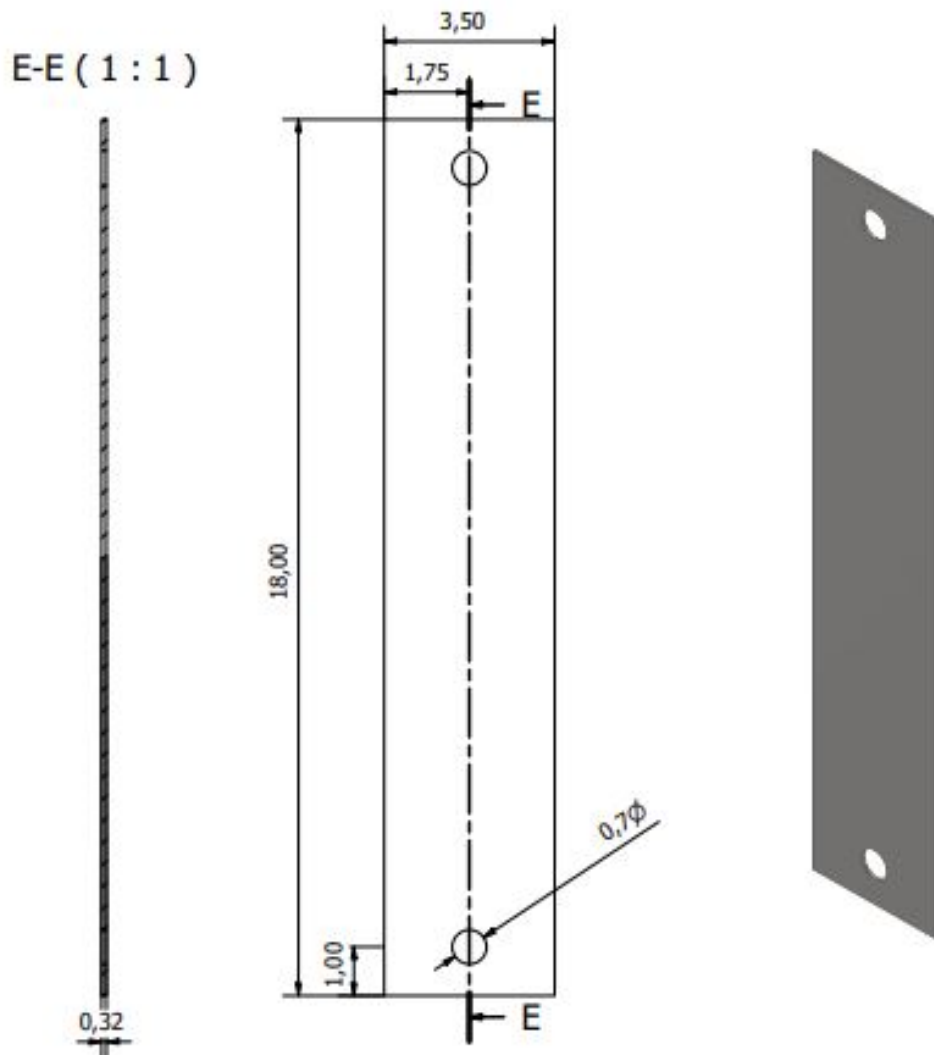
1	5	Aluminio 6061		Bases de Aluminio	
N°#	Cant	Material		Observaciones	
	Fecha	Nombre		Firma	
Dibujado	9/01/24	A.Lopez	M.Aldas		
Comprobado		Ing.Nino Vega			
t.d.s Normas		Ing.Nino Vega			
Escala	Base de cubetas				Lamina: 2
1:5					Formato: A4
					Grupo: 09

Figura 102. Diseño 3d base de cubetas



1	1	Acero Inoxidable Aisi 304		Platina de Acero inoxidable
N°#	Cant	Material		Observaciones
	Fecha	Nombre		
Dibujado	9/01/24	A.Lopez	M.Aldas	
Comprobado		Ing.Nino Vega		
t.d.s Normas		Ing.Nino Vega		
Escala 1:1	Brazo de Manivela			Lamina: 3
				Formato: A4
				Grupo: 09

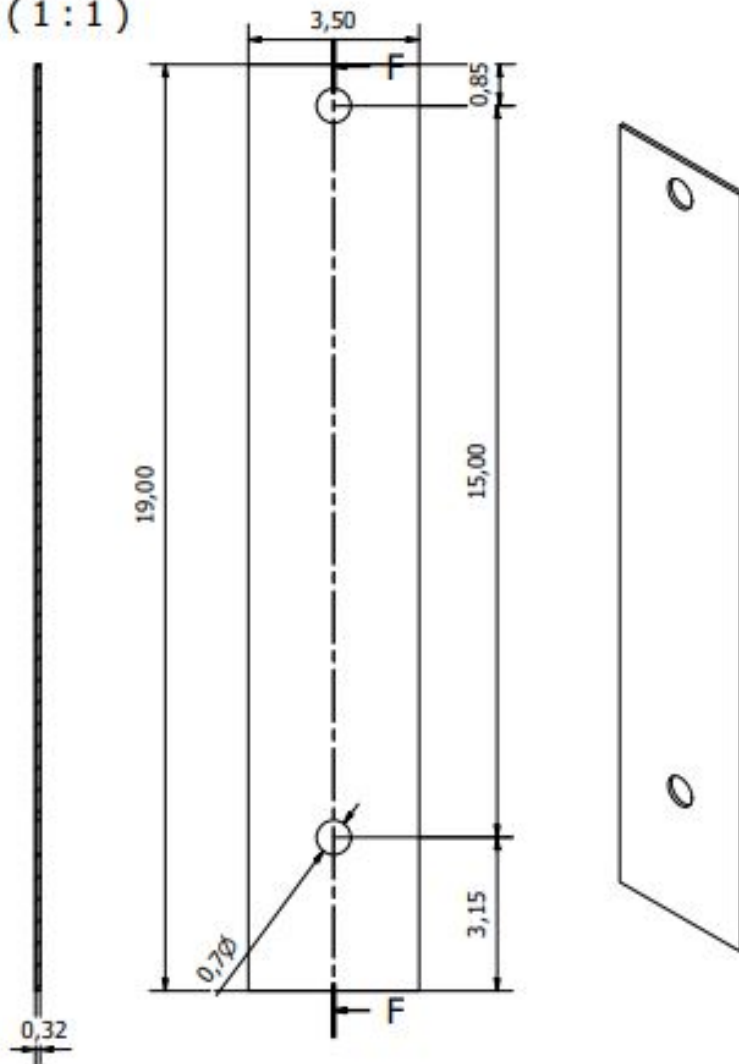
Figura 103. Diseño 3d brazo corto



1	1	Acero Inoxidable Aisi 304		Platina de Acero inoxidable
N°#	Cant	Material		Observaciones
	Fecha	Nombre		
Dibujado	9/01/24	A.Lopez	M.Aldas	
Comprobado		Ing.Nino Vega		
t.d.s Normas		Ing.Nino Vega		
Escala	Brazo de biela			Lamina: 4
1:1				Formato: A4
				Grupo: 09

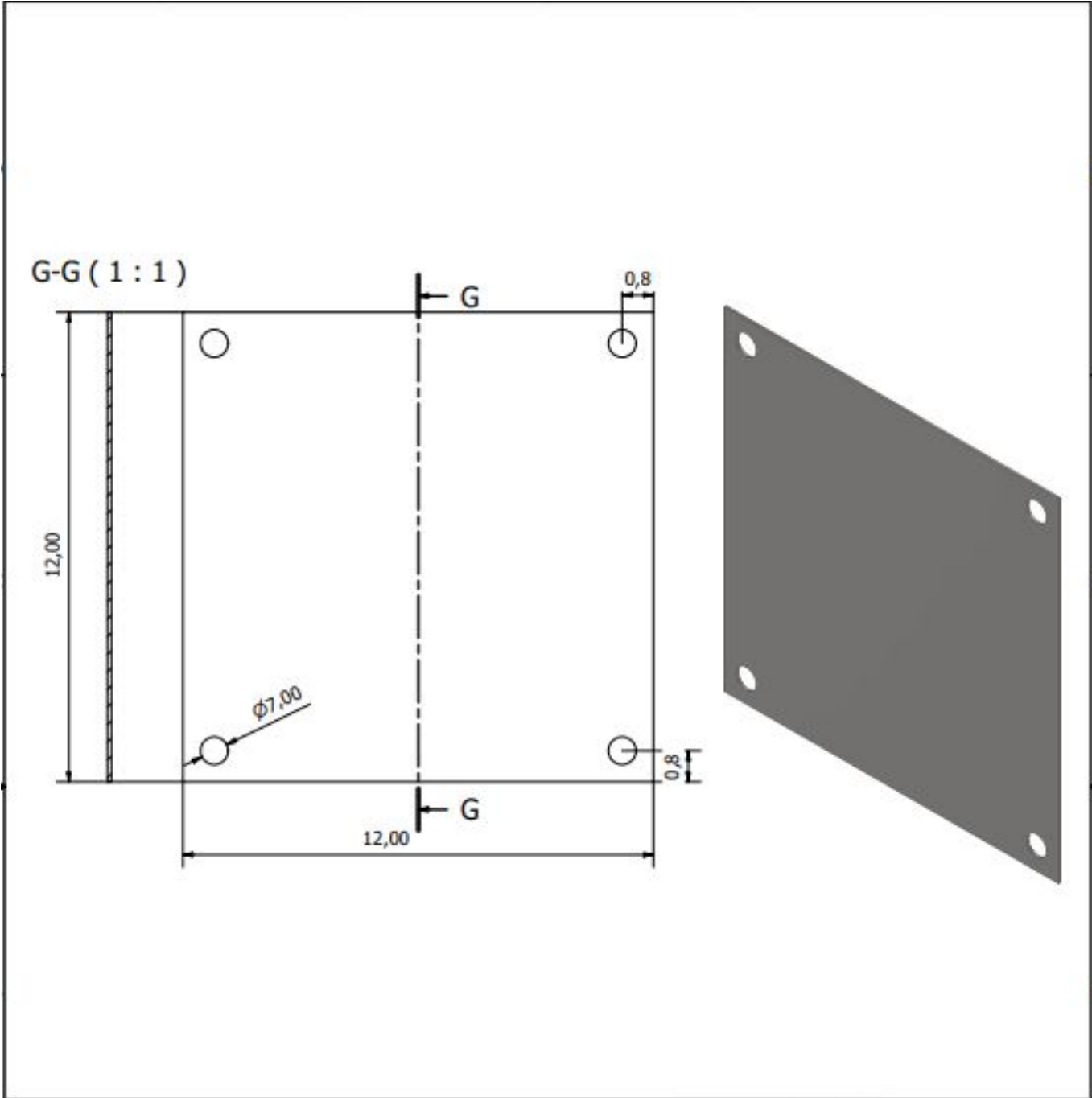
Figura 104. Diseño 3d base de estructura

F-F (1 : 1)



1	4	Acero Inoxidable Aisi 304		Platina de Acero inoxidable
N°#	Cant	Material		Observaciones
	Fecha	Nombre		
Dibujado	9/01/24	A.Lopez	M.Aldas	
Comprobado		Ing.Nino Vega		
t.d.s Normas		Ing.Nino Vega		
Escala	Trasmisor de movimiento			Lamina: 5
1:1				Formato: A4
				Grupo: 09

Figura 105. Diseño 3d agarradera de base

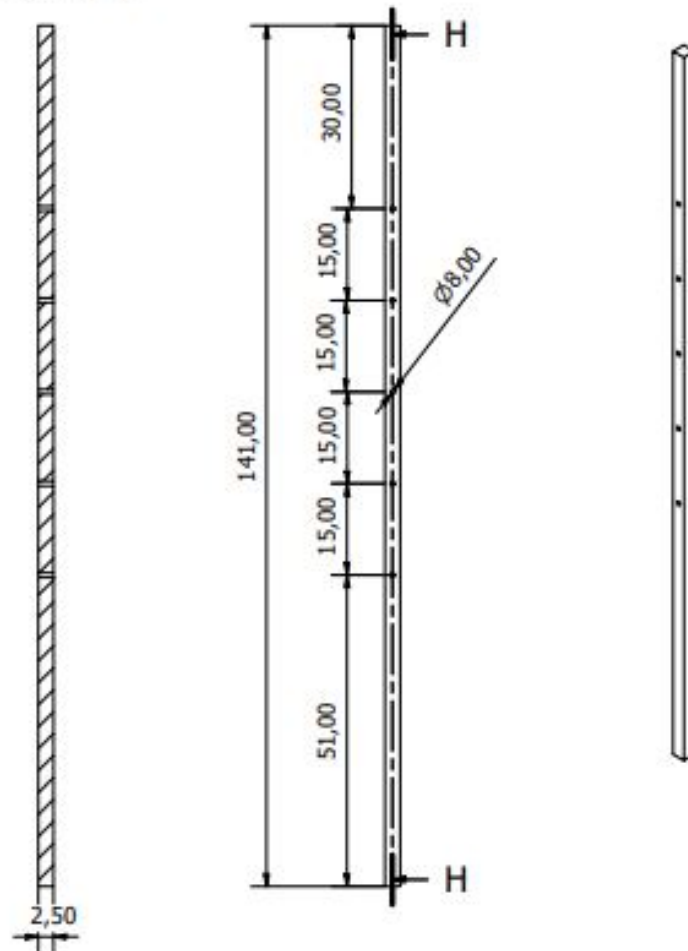


1	1	Acero inoxidable AISI 304		Placa de acero
N°#	Cant	Material		Observaciones
	Fecha	Nombre		
Dibujado	9/01/24	A.Lopez	M.Aldas	
Comprobado		Ing.Nino Vega		
t.d.s Normas		Ing.Nino Vega		
Escala  1:1	Placa base de motor			Lamina: 6
				Formato: A4
				Grupo: 09

Figura 106. Diseño 3d transmisor de movimiento



H-H ( 1:8 )




1	2	Acero inoxidable AISI 304		Base de acero
N°#	Cant	Material		Observaciones
	Fecha	Nombre		
Dibujado	9/01/24	A.Lopez	M.Aldas	
Comprobado		Ing.Nino Vega		
t.d.s Normas		Ing.Nino Vega		
Escala  1:8	Base de estructura			Lamina: 7
				Formato: A4
				Grupo: 09

Figura 107. Diseño 3d de cubetas