

DESARROLLO DE UNA INCUBADORA DE HUEVOS AUTOMATIZADA EN LA VEREDA
LA TEMPESTUOSA MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE CHUCURÍ

LEVINSON SEBASTIAN ANGULO ZUÑIGA

RAUL SCHNEIDER ALQUICHIRE LOPEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

2024

DESARROLLO DE UNA INCUBADORA DE HUEVOS AUTOMATIZADA EN LA VEREDA
LA TEMPESTUOSA MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE CHUCURÍ

LEVINSON SEBASTIAN ANGULO ZUÑIGA

RAUL SCHNEIDER ALQUICHIRE LOPEZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR: YENNIFER YULIANA RÍOS DIAZ

CODIRECTOR: JUAN PABLO FLÓREZ MERA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

2024

Dedicatoria

Quiero dedicar este proyecto a mi familia, mi pareja y a mis suegros, quienes han sido pilares fundamentales en mi vida y en mi etapa universitaria. Su constante ayuda, apoyo incondicional y palabras de aliento han sido la fuerza que me impulsó a superar los desafíos y alcanzar mis metas académicas.

Agradecimientos

Al culminar esta etapa tan importante en mi vida, quiero agradecer de todo corazón a mi familia y seres queridos, por creer en mí y por su apoyo incondicional.

A mis padres, les agradezco por ser mi mayor ejemplo de dedicación y esfuerzo. Su constante aliento y enseñanzas me han guiado en este camino, enseñándome el valor del trabajo arduo y la perseverancia.

A Dani, mi más profundo agradecimiento por su inmenso apoyo y amor durante todo este tiempo. Su comprensión, paciencia y aliento fueron mi mayor motivación en los momentos difíciles.

A doña Elda y don Germán, les agradezco por acogerme como uno más, por su cariño sincero y por hacerme sentir parte de su hogar.

A mis tíos Javier, Alcidez, Bernardo y Karen, les agradezco por la ayuda y apoyo brindados a lo largo de este proyecto. Su orientación, consejos y aliento fueron fundamentales para mí.

A las señoras Helena y Angela y a los señores Rodolfo y Levi, su sabiduría han sido faro en mi camino, han sido parte de inspiración constante en mi vida.

Gracias a la universidad y en especial a la profesora Yennifer que debido a su apoyo, orientación y conocimiento científico lograron de este proyecto algo inimaginable. (Levinson)

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres por el apoyo incondicional, por siempre impulsarme a ser mejor y lograr con éxito mi carrera

Agradecimientos

Agradecer primeramente a Dios por permitirme culminar con éxito mi carrera profesional, darme buena salud y fortaleza en todo momento.

A mis familiares, amigos y todos aquellos que estuvieron presentes, me acompañaron y apoyaron en este proceso brindándome sus consejos y buenos deseos.

A la profesora Yennifer Yuliana Ríos Diaz por su grandiosa asesoría académica como directora de proyecto y los demás académicos que nos orientaron y brindaron sus conocimientos.

A la Universidad Industrial de Santander y la escuela de Ingeniería Mecánica por recibirme y brindarme la mejor educación con excelentes profesores. (Raul)

Tabla de Contenido

1.	Planteamiento del Problema.....	15
2.	Objetivos	17
	2.1. Objetivo General.....	17
	2.2. Objetivos Específicos.....	17
3.	Justificación del Problema	18
4.	Marco Referencial.....	20
	4.1. Estado del Arte.....	23
5.	Metodología	25
	5.1. Identificar las Variables y Parámetros Críticos para una Adecuada Incubación de Huevos.....	25
	5.1.1. Variables Críticas.	25
	5.1.2. Parámetros Críticos.....	26
	5.1.2.1. Selección de Huevos.	27
	5.1.2.2. Almacenamiento.	27
	5.1.2.3. Incubación.....	27
	5.1.2.4. Humedad.....	28
	5.1.2.5. Temperatura.	28
	5.1.2.6. Rotación de los Huevos.	28
	5.2. Diseñar un Espacio con Condiciones Ambientales Reguladas que Permitan una Incubación Adecuada de 200 Huevos	29
	5.2.1. Selección de Material.....	29
	5.2.2. Análisis de Resistencia de Materiales.....	31

5.2.2.1.	Deformación por Compresión.....	37
5.2.2.2.	Esfuerzo por Flexión.....	38
5.2.2.3.	Esfuerzo Cortante.....	39
5.2.2.4.	Momento Flector.....	40
5.2.3.	Transferencia de Calor	43
5.2.3.1.	Transferencia de Calor en las Paredes	43
5.2.3.2.	Transferencia de Calor en los Huevos	46
5.2.4.	Análisis Estático y Dinámico de los Huevos	50
5.2.4.1.	Análisis Estático.....	50
5.2.4.2.	Análisis Dinámico.....	52
5.2.5.	Revoluciones del Motor.....	55
5.2.6.	Ajuste de Controladores.....	58
5.2.7.	Análisis de Distribución de Temperatura.....	59
5.2.7.1.	Primera Fase.....	60
5.2.7.2.	Segunda Fase.	62
5.3.	Construir una Incubadora de Huevos que Cumpla con las Condiciones y Requerimientos Necesarias para el Proceso de Incubación	63
5.3.1.	Construcción del Armazón.....	63
5.3.2.	Estructura de Rotación de los Huevos	67
5.3.3.	Componentes Eléctricos y Electrónicos.....	70
5.4.	Evaluar el Desempeño del Sistema Automatizado para el Proceso de Incubación de Huevos.....	71
5.4.1.	Monitoreo de las Condiciones Ambientales	71

5.4.2.	Desempeño del Equipo	74
5.4.3.	Primera prueba de incubación.....	77
5.4.4.	Segunda prueba de incubación.....	80
6.	Costos.....	85
7.	Conclusiones	87
8.	Recomendaciones.....	88
	Bibliografía	90
	Apéndices.....	93

Tabla de Figuras

Figura 1. Indicadores de fertilidad por medio de transiluminación.	21
Figura 2. Temperatura media San Vicente de Chucuri.	25
Figura 3. Humedad media San Vicente de Chucuri.	26
Figura 4. Paredes de madera que soportaran las cargas.	31
Figura 5. Dimensionamiento de las caras.	32
Figura 6. Sección transversal de la estructura.	33
Figura 7. Ubicación del centroide de la estructura.	34
Figura 8. Factor de fijación de extremos.	35
Figura 9. Distribución de fuerzas para las bandejas.	38
Figura 10. DCL para realizar el análisis de momentos en las bandejas.	39
Figura 11. Diagrama de esfuerzo cortante.	40
Figura 12. Diagrama para momento flector.	41
Figura 13. Sección transversal de la madera.	42
Figura 14. Modelado de la estructura de rotación de huevos.	43
Figura 15. Sección transversal de capas de materiales.	44
Figura 16. Transferencia de calor en el vidrio.	46
Figura 17. Coeficiente de convección para diversos procesos.	47
Figura 18. Conductividad térmica de ovoproductos líquidos.	47
Figura 19. Dimensiones de un huevo.	48
Figura 20. Volumen de un elipsoide.	49
Figura 21. Análisis estático de los huevos.	50
Figura 22. Análisis de fuerza en la canastilla.	51

Figura 23. Diagrama dinámico y de fuerzas.	53
Figura 24. Dimensionamiento de las bandejas de huevos.	56
Figura 25. Factores de servicio.	57
Figura 26. Grafica de temperatura vs tiempo para cálculo de constantes para los controladores.	59
Figura 27. Estructura base de la incubadora.	60
Figura 28. Configuración seleccionada para la primera fase.	61
Figura 29. Análisis de distribución de temperatura para la configuración seleccionada.	61
Figura 30. Análisis de distribución de temperatura definitiva para la incubadora.	62
Figura 31. Proceso de corte de la madera.	64
Figura 32. Armado de la estructura para la incubadora.	65
Figura 33. Incorporación de aberturas en la estructura.	66
Figura 34. Bastidor de la incubadora ensamblado.	67
Figura 35. Estructura de rotación de los huevos.	69
Figura 36. Diagrama de circuito de protección.	70
Figura 37. Diagrama de conexiones eléctricas y electrónicas.	71
Figura 38. Gráfico del comportamiento de la temperatura a través del tiempo.	72
Figura 39. Gráfico del comportamiento de la humedad a través del tiempo.	73
Figura 40. Comportamiento del sistema funcionando sin una resistencia eléctrica.	75
Figura 41. Comportamiento del sistema siendo sometido a una perturbación.	76
Figura 42. Comportamiento del sistema con la puerta abierta.	77
Figura 43. Ubicación de los huevos para la primera prueba de incubación.	78
Figura 44. Puesta en marcha primera prueba de incubación.	78
Figura 45. Resultado de la primera prueba.	79

Figura 46. Ubicación de los huevos para la segunda prueba.	80
Figura 47. Día 0 de incubación.	81
Figura 48. Día 1 de incubación.	81
Figura 49. Día 3 de incubación.	81
Figura 50. Día 5 de incubación.	82
Figura 51. Día 8 de incubación.	82
Figura 52. Día 10 de incubación.	82
Figura 53. Día 12 de incubación.	83
Figura 54. Día 15 de incubación.	83
Figura 55. Día 18 de incubación.	83
Figura 56. Día 20 de incubación.	84

Tabla de Tablas

Tabla 1. Factores para evaluación de los materiales.	29
Tabla 2. Puntuación para los materiales.....	30
Tabla 3. Ponderado total para cada material.	30
Tabla 4. Tabla de centroides de la estructura.	33
Tabla 5. Masas de los materiales.....	37
Tabla 6. Propiedades de los materiales para la incubadora.....	44
Tabla 7. Tabla de fuerzas respecto al tiempo.	54
Tabla 8. Masas de las bandejas y los huevos.	55
Tabla 9. Costos por componentes eléctricos y electrónicos.....	85
Tabla 10. Costos por componente estructurales.....	85
Tabla 11. Costos por servicios externos.....	86
Tabla 12. Costos totales.	86

Tabla de Apéndices

Apéndice A. Encuesta de caracterización comunidad de la vereda la tempestuosa.	93
Apéndice B. Directrices para la evaluación de los materiales.	94
Apéndice C. Configuraciones de distribución de temperatura evaluadas.....	99
Apéndice D. Características de los componentes electrónicos.	107
Apéndice E. Evolución del huevo X durante la incubación.	116

RESUMEN

TITULO: DESARROLLO DE UNA INCUBADORA DE HUEVOS AUTOMATIZADA EN LA VEREDA LA TEMPESTUOSA MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE CHUCURÍ.

AUTORES: Levinson Sebastián Angulo Zúñiga, Raul Schneider Alquichire López.

PALABRAS CLAVE: Incubadora de huevos, Automatización, Control de temperatura, Control de humedad.

DESCRIPCIÓN: Se realizó el diseño y construcción de una incubadora de huevos automatizada, dirigida a una familia avicultora ubicada en la vereda La Tempestuosa del municipio de San Vicente de Chucuri, con la finalidad de generar una alternativa para aquellos pequeños avicultores que aún recurren a métodos de incubación artesanales y manuales, los cuales pueden generar bajas tasas de eclosión que conllevan pérdidas económicas. Por lo tanto, mediante el prototipo de incubadora automatizada propuesto, se buscará aumentar las tasas de eclosión para estos avicultores.

Este prototipo de incubadora ofrece un control sobre la temperatura, la cual es monitorizada a través de una termocupla tipo K con adaptador Max 6675; la humedad, medida mediante un sensor DHT11; y la rotación de los huevos, ejecutada mediante finales de carrera y un motor reversible de bajas revoluciones.

Como método de evaluación, se realizó una primera prueba donde se incubaron 41 huevos ubicados en distintas posiciones sobre las tres bandejas para evaluar la mayor cantidad de volumen posible, de los cuales, un total de 35 huevos eclosionaron de manera exitosa y otros 6 huevos no eclosionaron. Cabe recalcar que 2 de los huevos que no eclosionaron ya se encontraban infértiles y no eran aptos para ser incubados, ya que a diferencia de los otros no presentaron ningún indicio de desarrollo del embrión.

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED EGG INCUBATOR IN THE VILLAGE OF LA TEMPESTUOSA MUNICIPALITY OF SAN VICENTE DE CHUCURÍ.

AUTHORS: Levinson Sebastián Angulo Zúñiga, Raul Schneider Alquichire López.

KEY WORDS: Egg Incubator, Automation, Temperature Control, Humidity Control.

DESCRIPTION: The design and construction of an automated egg incubator was carried out aimed at a poultry farming family located in the village of La Tempestuosa in the municipality of San Vicente de Chucuri in order to generate an alternative for small poultry farmers who still resort to artisanal and manual incubation methods, which can generate low hatching rates that lead to economic losses. Therefore, the proposed automated incubator prototype will seek to increase hatching rates for these poultry farmers.

This prototype incubator offers temperature control, monitored through a K-type thermocouple with a Max 6675 adapter; humidity, measured by a DHT11 sensor; and egg rotation, executed by the end of the race and a reversible low rev engine.

As an evaluation method, a first test was carried out where 41 eggs were incubated in different positions on the three trays to evaluate as much volume as possible, of which 35 eggs hatched successfully, and another six eggs did not hatch. It should be noted that 2 of the eggs that did not hatch were already infertile and unsuitable for incubation since, unlike the others, they did not indicate embryo development.

1. Planteamiento del Problema

La avicultura es un sector productivo a nivel mundial que juega un papel protagónico en los mercados internacionales. Además, en Colombia representa uno de los sectores más sólidos de la industria nacional gracias a su crecimiento económico, productivo y mejoras sanitarias, La avicultura en Colombia representa un aporte del 36.5% en el Producto Interno Bruto (PIB) pecuario; a su vez, representa un 14.3% en el PIB Agropecuario; por último, participa con el 0.7% del PIB Nacional (Cuéllar, 2022). Esta cifra demuestra el alto valor económico y la fortaleza del sector avícola en el desarrollo del país y su solidez económica.

Lo que demanda la implementación de mejoras en el diseño y construcción de equipos para disminuir los costos de producción y ser más competitivos en el mercado nacional e internacional.

Actualmente, en la vereda la tempestuosa la mayoría de los productores avícolas realizan el proceso de incubación de forma natural o recurriendo a métodos artesanales como se evidencia en la encuesta realizada (Apéndice A), de esta forma, no se tienen en cuenta factores cruciales como la humedad y la adecuada rotación de los huevos. Esta práctica ha dado lugar a una importante pérdida económica debido a la alta tasa de mortalidad y rechazo de los pollitos. Se estima que hasta el 40% de los huevos incubados de forma artesanal no logran eclosionar exitosamente, debido a problemas en el manejo de la temperatura y humedad, lo que trae consigo aparición de deformidades y enfermedades.

Debido a esto, surge la necesidad de evaluar los factores esenciales para llevar a cabo la elaboración de una incubadora de huevos automatizada, con la finalidad de generar una mejora en la producción para los pequeños avicultores.

Por consiguiente, se llevó a cabo el desarrollo de una incubadora con una capacidad de 200 huevos, que aporte en el progreso tecnológico de la vereda la tempestuosa, con el propósito de aumentar la tasa de natalidad.

2. Objetivos

2.1. *Objetivo General*

Desarrollar una incubadora de huevos automatizada en la vereda la Tempestuosa municipio de San Vicente de Chucurí.

2.2. *Objetivos Específicos*

- Identificar variables y parámetros críticos necesarios para una adecuada incubación de huevos.
- Diseñar un espacio que cumpla con condiciones ambientales reguladas que permitan una adecuada incubación de 200 huevos.
- Construir una incubadora de huevos que satisfaga las condiciones y requerimientos necesarios para el proceso de incubación.
- Evaluar el desempeño del sistema automatizado para el proceso de incubación de huevos.

3. Justificación del Problema

La producción de huevos ejerce un impacto significativo a nivel global, evidenciado por su constante crecimiento en la industria alimentaria. En la última década, la tasa de producción ha experimentado un aumento notable del 24%. Donde China, como el principal productor, supera notablemente a otras regiones como la Unión Europea, Estados Unidos e India (IEC, 2018).

Por otro lado, a nivel nacional en el año 2021, el ministro de Agricultura informó que se produjeron más de 17 mil millones de unidades de huevos en Colombia, estos números representan un crecimiento del 4% respecto al 2020. Donde los principales productores a nivel nacional se concentran en Santander, Valle, Antioquia y la región del Eje Cafetero (Rodríguez T., 2023).

A pesar de que estos números muestren un crecimiento en la producción avícola en Colombia, y particularmente en Santander como uno de los mayores representantes, lamentablemente existen pequeñas granjas que luchan por mantenerse a través de la producción de huevos. Debido a que se enfrentan a diversos desafíos en el proceso de incubación, ya que la eficiencia en la eclosión de los huevos rara vez es eficiente. Como ejemplo, los habitantes de la vereda a Tempestuosa en el municipio de San Vicente de Chucurí aun recurren a métodos artesanales en su proceso de incubación.

Este enfoque artesanal se basa en el uso de pequeños recipientes, generalmente hechos de poliestireno expandido y bombillos incandescentes. Omitiendo aspectos cruciales en el proceso de incubación, como el control de la humedad, la circulación de aire y la rotación de los huevos. Debido a estos factores, los métodos de incubación artesanales comúnmente usados presentan tasas de eclosión regulares. Teniendo en cuenta que, una tasa de eclosión inferior al 55% es

considerada deficiente, una tasa entre el 55 y 75% es considerada regular y tasas superiores al 75% son consideradas buenas (Polyedro, 2023).

Se ha observado que estos recipientes de poliestireno expandido comúnmente pueden albergar alrededor de 40 huevos, de los cuales, solo entre 25 y 30 de ellos llegan a eclosionar de manera exitosa. Esta diferencia entre la capacidad y la tasa de éxito en la eclosión resalta la necesidad de diseñar y construir una incubadora de huevos que brinde una capacidad considerable y que además permita el control de las variables esenciales como lo son: la temperatura, humedad y rotación de los huevos. Es decir, que sea automatizada, con esta incubadora se espera mejorar la producción y aportar al crecimiento para las pequeñas granjas y productores locales avícolas.

4. Marco Referencial

El concepto de incubación está definido como un proceso en el cual se proporcionan niveles adecuados de temperatura y humedad para que un embrión se desarrolle de manera saludable (Macas y Salazar, 2022). Y existen dos tipos de incubaciones generales:

- Incubación Natural: Es un proceso en el cual los animales ovíparos, especialmente las aves, empollan o incuban sus huevos al sentarse sobre ellos para mantenerlos calientes y permitir el desarrollo de los embriones (Vargas et al, 2021).
- Incubación Artificial: Es aquella que mediante dispositivos se brinda un ambiente adecuado y controlado que permite el desarrollo del embrión (Macas y Salazar, 2022).

Además, una incubadora se define como un dispositivo electrónico que brinda una temperatura y humedad determinada para la eclosión de huevos (Shehzad et al, 2016).

Actualmente se encuentran tres tipos de incubadoras:

- Manuales: Este tipo de incubadoras son aquellas donde la intervención del hombre es total, debido a que se debe mantener un monitoreo constante del estado de los huevos, es decir, se debe revisar la temperatura, rotar los huevos con mucha frecuencia y esto tiene como consecuencia que la producción sea baja debido al extenso cuidado y supervisión que requiere (Ramón, 2019).
- Semiautomática: Existe una interacción hombre-máquina debido a que las tareas de control de temperatura y humedad son automáticas, pero la rotación de los huevos aún es ejecutada por el hombre (Ramón, 2019).

- Automática: Poseen un sistema de volteo constante y temporizado, además de su ventilación forzada, todas las características de control son automáticas (Ramón, 2019).

Por otro lado, el proceso de incubación inicia con la recolección de huevos fértiles y sanos que deben ser almacenados correctamente por menos de 10 días, debido a que la incubabilidad disminuye rápidamente cuando los huevos son almacenados por más de 10 días, después del día 7 la incubabilidad disminuye de 0.5 a 1.5% por día (Agrovet, 2023).

El almacenar los huevos por lo menos 3 días ayuda a prepararlos para la incubación, sin embargo, los huevos frescos y almacenados no deben colocarse juntos, se deben separar por la fecha en la cual fueron recogidos. Una forma de evaluar la fertilidad de los huevos se da mediante el método de visualización a contraluz, en un cuarto oscuro se acerca una fuente de luz brillante al huevo para transiluminar la cascara y visualizar la ramificación de los vasos sanguíneos como se observa en la Figura 1, ya que estos son indicadores de fertilidad.

Figura 1.

Indicadores de fertilidad por medio de transiluminación.



Nota. *Visualización de huevo fértil por transiluminación con presencia de vasos sanguíneos* [Fotografía],

Marques et al, 2022, Disponible en: <https://blog.agrovetmarket.com/guia-huevos-fertiles/>

La temperatura a la que estos huevos deben ser almacenados debe estar entre los 12.8 y 18.3 °C. Debido a que si alcanzan temperaturas superiores a 22.2 °C, los embriones empezaran a desarrollarse de forma anormal, debilitarse y morir. De la misma forma, si se encuentran almacenados a temperaturas inferiores a 7.8 °C habrá alta mortalidad embrionaria. Además, deben encontrarse en un ambiente con una humedad relativa entre el 70 y 80%, niveles muy altos de humedad pueden ocasionar que se forme la condensación en la cascara del huevo y obstruir sus poros lo que puede sofocar al embrión. (Agrovet, 2023).

La incubadora debe estar en un cuarto sin corrientes de aire, ni luz solar directa, se debe desinfectar y dejar funcionar hasta que la temperatura y humedad de la incubadora sean correctas y estables.

Antes de colocar los huevos en la incubadora se deben dejar reposar a temperatura ambiente alrededor de 4 a 8 horas, debido a que, si se colocan fríos sobre la incubadora, se puede generar condensación que lleva a la contaminación y sofocación del embrión.

Por último, se deben colocar los huevos con el extremo pequeño hacia abajo, debido a que un embrión en desarrollo se orienta para que su cabeza se desarrolle hacia la celda de aire que se encuentra en el extremo grande del huevo.

Los huevos seleccionados se colocan en la incubadora a una temperatura constante de 37,5°C a 38°C y una humedad adecuada de 50% a 60% para un desarrollo óptimo. Además, se requiere rotar los huevos cada 6 horas para distribuir la temperatura y evitar que el embrión se adhiera a la cáscara, favoreciendo su desarrollo. Finalmente, al día 21, los pollitos rompen la cáscara con su pico y emergen al mundo exterior, marcando el final del proceso de incubación.

4.1. Estado del Arte

En el estado del arte encontramos antecedentes nacionales e internacionales que nos aportan al desarrollo del proyecto, un antecedente nacional destacado es el presentado por (Ramón, 2019), quien llevo a cabo el diseño y construcción de un prototipo de incubadora con supervisión inteligente para la eclosión de huevos, el objetivo principal de este proyecto fue reemplazar el método tradicional de incubación por uno automatizado, este se enfoca en la implementación un sistema de visión artificial y control desde el inicio hasta la eclosión del huevo, reduciendo la intervención humana en un 80%. El proyecto tuvo un éxito del 70%, con 7 de los 10 huevos incubados eclosionando con éxito. Además, se concluyó que para una incubación y eclosión exitosa se requiere una temperatura de 38°C durante los primeros 18 días y 37°C durante los últimos 3 días, con una humedad relativa del 45% al 50% respectivamente.

Por otro lado, (Castellanos, 2022) efectuó el diseño y construcción de un prototipo de incubadora de huevos buscando mejorar la producción y eficiencia del proceso de incubación de huevos de aves de corral mediante la implementación de un sistema más eficiente y automatizado, aplicando el enfoque de la industria 4.0 y utilizando ciencias aplicadas como la electrónica y la programación en sistemas de medición, monitoreo y procesamiento de datos. La metodología utilizada en el desarrollo del proyecto se dividió en seis etapas: reconocimiento del problema, estudio y caracterización del proceso de incubación, diseño del prototipo, implementación y programación, pruebas de funcionamiento, y evaluación e identificación de mejoras. Después de dos pruebas experimentales, el dispositivo automatizado logró una tasa de eclosión exitosa del 57,68%, en comparación con el 30,3% obtenido por un dispositivo artesanal. Aunque los resultados no alcanzaron las expectativas, se concluye que la incubación automatizada genera una mejora significativa respecto al proceso artesanal, lo que demuestra que

la implementación de este tipo de dispositivos es viable para mejorar la eficiencia del proceso de incubación.

5. Metodología

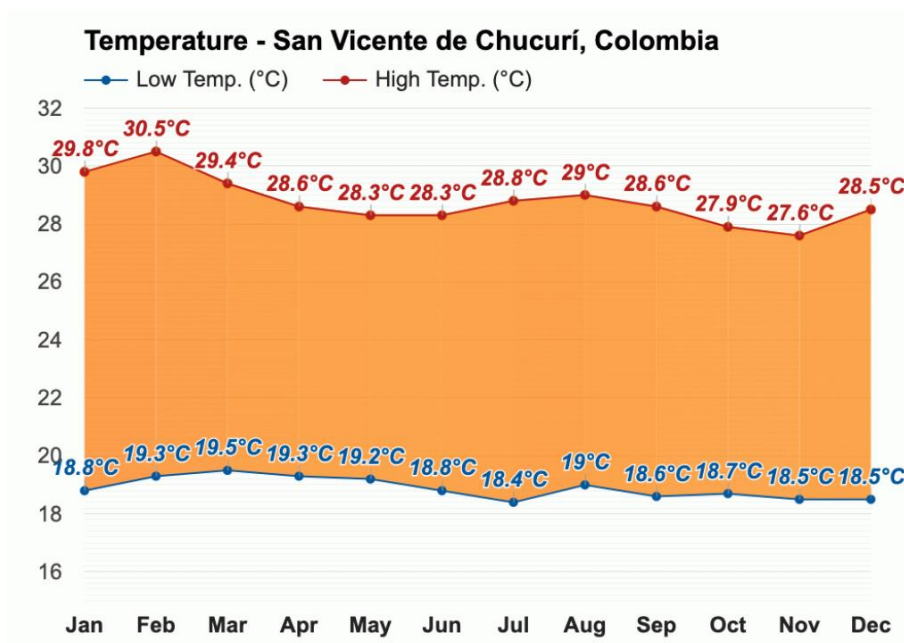
5.1. Identificar las Variables y Parámetros Críticos para una Adecuada Incubación de Huevos

5.1.1. Variables Críticas.

En esta etapa se llevó a cabo la recopilación de datos sobre las variables críticas como la temperatura y la humedad en el sector donde se realizará el proceso de incubación. La zona conocida como "Vereda La Tempestuosa" generalmente tiene un clima fresco, en la Figura 2 y 3 se ilustra el comportamiento de la temperatura y la humedad durante el año 2023, donde el valor promedio de la temperatura máxima se encuentra rondando los 28°C, mientras que el valor promedio de la humedad es del 77%.

Figura 2.

Temperatura media San Vicente de Chucuri.

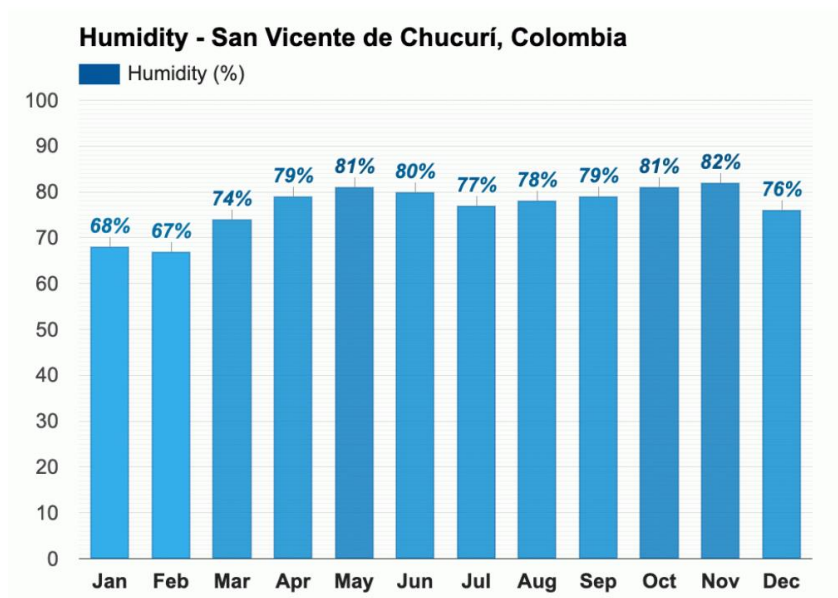


Nota. *Temperatura media San Vicente de Chucuri* [Grafico], Weather Atlas, 2023, Disponible en:

<https://www.weather-atlas.com/es/colombia/san-vicente-de-chucuri-clima>.

Figura 3.

Humedad media San Vicente de Chucuri.



Nota. *Humedad media San Vicente de Chucuri* [Grafico], Weather Atlas, 2023, Disponible en:

<https://www.weather-atlas.com/es/colombia/san-vicente-de-chucuri-clima>.

Sin embargo, para el proceso de incubación, se busca un entorno que no se vea significativamente afectado por las condiciones climáticas externas, por lo tanto, la incubadora será ubicada en una pequeña habitación cerrada. En esta habitación, la temperatura tiende a mantenerse constante, oscilando entre 31 y 32°C, independientemente de las condiciones climáticas exteriores. Es importante señalar que, aunque la temperatura es estable, la humedad en la habitación puede experimentar variaciones notables, fluctuando entre el 50% y el 65%.

5.1.2. Parámetros Críticos.

Consiste en la recopilación bibliográfica de los factores que pueden provocar un cambio significativo en el proceso de incubación. Es importante mencionar que el proceso de incubación inicia desde que se recoge el huevo hasta que este mismo logra eclosionar de manera exitosa.

5.1.2.1. Selección de Huevos.

En el proceso de selección de los huevos se deben evitar huevos con cascaras agrietadas debido a que estos estarían más expuestos a las infecciones bacterianas, también es recomendable evitar diferencias considerables en el tamaño de los huevos ya que esto puede variar el tiempo de eclosión y el tamaño del polluelo. Por otro lado, un huevo limpio o sucio no es relevante debido a que esta actúa como una capa protectora y, por último, se recomienda almacenar los huevos por un corto periodo de tiempo antes de ser incubados (Smith, 2013).

5.1.2.2. Almacenamiento.

En el proceso de almacenamiento se debe tener en cuenta que el embrión comienza a desarrollarse desde antes que inicie el proceso de incubación, debido a este factor, se genera la necesidad de un cuidado apropiado en el almacenamiento del huevo. Por lo tanto, se deben tener en un lugar fresco con temperaturas menores a 22°C y mayores a 7°C con humedades entre el 70 y 80% (Agrovet, 2023), además, se debe cambiar la posición del huevo una vez al día mientras inicia el proceso de incubación. Por otro lado, la fertilidad del huevo empieza a disminuir rápidamente después del día 10 de almacenamiento, por lo tanto, se aconseja incubar los huevos entre los días 4 al 6 de almacenamiento para lograr obtener una tasa de eclosión alta.

5.1.2.3. Incubación.

En esta etapa se permite el desarrollo y maduración de los órganos y sistemas fisiológicos de los pollitos, por lo tanto, el proceso de incubación de huevos de gallina requiere de un periodo de tiempo igual a 21 días, de los cuales 18 de estos días estarán en la incubadora mientras que, los 3 días restantes en la nacedora (Ruiz et al, 2016).

5.1.2.4. Humedad.

En el proceso de incubación de los huevos, la humedad tiene un papel fundamental para el desarrollo embrionario, debido a que esta genera ambientes saludables para el embrión y disminuye la tasa de infecciones transmitidas por el aire, además, disminuye el riesgo de deshidratación. Por eso es recomendable que durante los primeros 18 días la humedad se debe mantener entre 55-65 HR, mientras que, en los últimos 3 días la humedad requerida es de 65 HR, ya que esto ayudara a ablandar la cascara y permitir la fácil eclosión de los polluelos, (Smith, 2013).

5.1.2.5. Temperatura.

La temperatura se considera como el factor con más impacto en la eclosión de los huevos, ya que un pequeño aumento o disminución de la temperatura puede provocar una pérdida embrionaria significativa. Para que la eclosión de huevos sea exitosa la temperatura ideal de la cascara debe ser de 37,5°C con una tolerancia bilateral de 0,5°C durante los primeros 18 días, y para los últimos 3 días del proceso se requiere que su temperatura baje 1° C.

5.1.2.6. Rotación de los Huevos.

El giro de los huevos puede influenciar en varios aspectos fisiológicos, físicos del embrión, y las membranas extraembrionarias, donde también se incluye la formación del líquido sub embrionario, el uso de albumina, y el crecimiento del embrión. Es por esta razón, que muchas empresas de incubación comercial implementan la rotación de estos huevos, donde se encargan de garantizar un ángulo entre 43° a 45° hacia cada lado, teniendo una frecuencia de rotación igual a 6 horas, es decir, se requiere la rotación de estos huevos por una cantidad 4 veces al día. Cabe destacar que, los 3 primeros días de incubación son los más críticos para la rotación,

pero después del día 18 la rotación no es necesaria, debido a que si se detiene no afecta la incubabilidad, (Mostafa, 2020).

5.2. Diseñar un Espacio con Condiciones Ambientales Reguladas que Permitan una Incubación Adecuada de 200 Huevos

5.2.1. Selección de Material

La adecuada selección de los materiales es fundamental para cumplir con los requisitos y especificaciones de diseño. Por lo tanto, es necesario que se realice una evaluación de las diversas alternativas teniendo en cuenta las necesidades de la comunidad a la cual va dirigido el proyecto. En la Tabla 1, se establecieron los principales factores para la selección del material y su valor ponderado que estará en el rango de 1 a 5, siendo 5 la ponderación más alta por lo tanto la de mayor importancia y 1 la de menor importancia, la puntuación de cada ítem se encuentra acorde a los requerimientos presentados por la comunidad de la vereda la tempestuosa donde el costo es el factor de mayor importancia (Apéndice A), mientras que la resistencia a la humedad del material y sus propiedades como aislante térmico son los de menor importancia, teniendo en cuenta que la incubadora será ubicada en una habitación cerrada donde no estará expuesta a la intemperie, y las paredes de la incubadora contarán con una capa adicional de un aislante que se encargará de garantizar la conservación del calor, por otro lado, su durabilidad es de vital importancia ya que esta garantiza la seguridad, la fiabilidad y la sostenibilidad de la máquina.

Tabla 1.

Factores para evaluación de los materiales.

Factor	Ponderación
Disponibilidad	3
Costo	5
Resistencia a la humedad	3

Durabilidad	4
Aislante térmico	3

En la Tabla 2, se presentan las principales alternativas de materiales para la construcción de la incubadora, estas serán evaluadas mediante las directrices planteadas en el Apéndice B.

Tabla 2.

Puntuación para los materiales.

Material	Disponibilidad	Costo	Resistencia a la humedad	Durabilidad	Aislante térmico
Madera	5	5	3	4	3
EPS	4	5	2	2	5
Fibra de vidrio	3	2	5	5	4
Aluminio	4	3	4	4	2
Acero inoxidable	3	2	5	5	2

Finalmente, en la Tabla 3 se presenta el valor ponderado total que permitirá definir la selección del material con el cual se construirá la incubadora.

Tabla 3.

Ponderado total para cada material

Material	Ponderado Total
Madera	74
EPS	66
Fibra de vidrio	66
Aluminio	61
Acero inoxidable	60

La madera tipo cedro para ser más específicos obtiene la puntuación más alta marcando diferencia por su disponibilidad, durabilidad y bajo costo, lo que la hace una opción asequible y

fácil de encontrar, además cuenta con el agregado que es un material fácil de trabajar. Sin embargo, sufre un poco en términos de resistencia a la humedad lo que le representa una restricción para trabajar en ambientes húmedos.

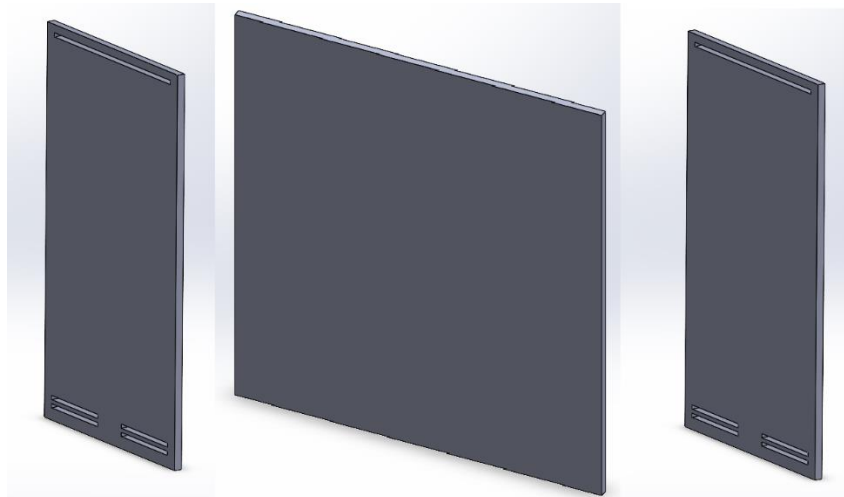
5.2.2. Análisis de Resistencia de Materiales

Una vez se ha definido el material para la elaboración de la incubadora, se debe evaluar si aquel material soportara las cargas a las que estarán expuestas en condición de funcionamiento.

Inicialmente se evalúan las paredes que se utilizarán como soporte estructural de la incubadora, estas paredes funcionan como columnas de madera las cuales soportarán todas las cargas, en la Figura 4, se pueden visualizar dichas paredes.

Figura 4.

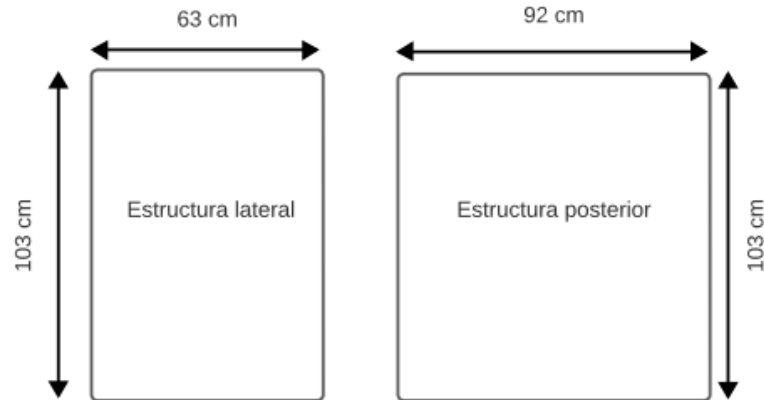
Paredes de madera que soportaran las cargas.



Esta estructura estará elaborada con madera tipo cedro, conocida por características como su resistencia, las dimensiones de las caras laterales y posterior son de 63x103 cm y 92x103 cm respectivamente y todas cuentan con un grosor de 1,5 cm.

Figura 5.

Dimensionamiento de las caras.



Inicialmente se realizará el cálculo de la relación de esbeltez, la cual relaciona la rigidez de una sección transversal con la longitud de pandeo o efectiva:

$$R_e: \frac{L_e}{R_g} \quad (1)$$

Donde (L_e) corresponde a la longitud efectiva y (R_g) corresponde al radio de giro el cual se calcula mediante la Ecuación 2:

$$R_g: \sqrt{\left(\frac{I}{A}\right)} \quad (2)$$

Donde (I) corresponde al momento de inercia y (A) corresponde al área de sección transversal del perfil de ángulo.

Para el cálculo del momento de inercia se deben conocer las áreas y los centroides de las paredes de la estructura. Mediante la Ecuación 3 y 4 se calcula el área lateral y posterior respectivamente.

$$A_{lateral}: 15 * 630 = 9450 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

$$A_{posterior}: 15 * 920 = 13800 \text{ mm}^2 \quad (4)$$

En la Figura 6 y Tabla 5, se puede evidenciar la ubicación de los centroides en las paredes y sus respectivos datos.

Figura 6.

Sección transversal de la estructura.

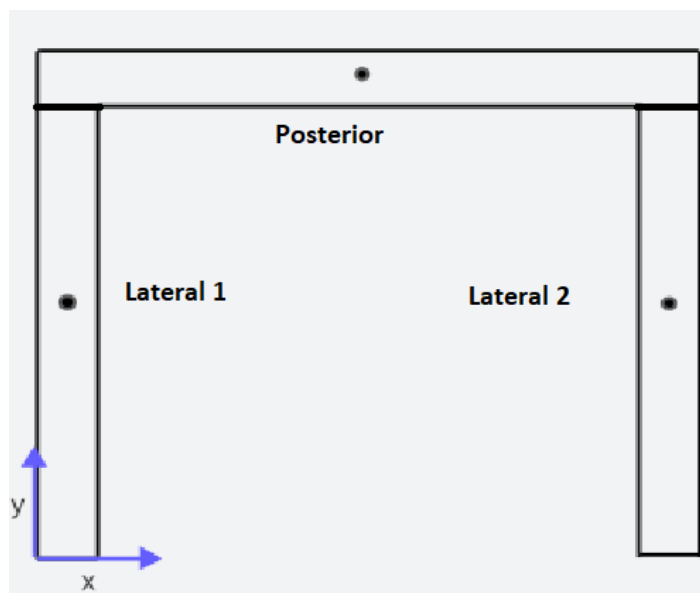


Tabla 4.

Tabla de centroides de la estructura.

Estructura	Área (mm ²)	Xi (mm)	Yi (mm)	Área*Xi (mm ³)	Área*Yi (mm ³)
Lateral 1	9450	7,5	315	70875	2976750
Lateral 2	9450	942,5	315	8906625	2976750
Posterior	13800	460	622,5	6348000	8590500
Total	32700			15325500	14544000

Una vez obtenidos los centroides de la estructura, mediante la Ecuación 5 y 6 se calculará el centroide en X y Y respectivamente.

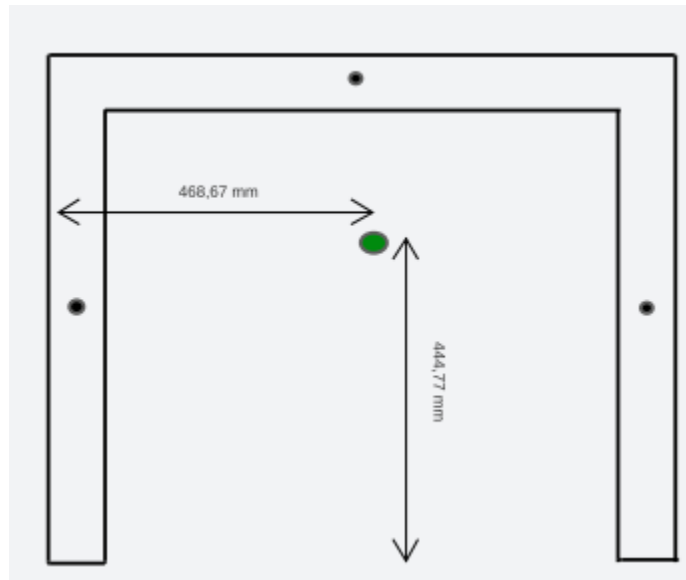
$$Centroide_x: \frac{\sum \text{Área} \cdot X_i}{\sum \text{Área}}: \frac{15325500}{32700} = 468,67 \text{ mm} \quad (5)$$

$$Centroide_Y: \frac{\sum \text{Área} \cdot Y_i}{\sum \text{Área}}: \frac{14544000}{32700} = 444,77 \text{ mm} \quad (6)$$

Una vez se han realizado los cálculos pertinentes, se obtiene la ubicación del centroide de la estructura que se ilustra en la Figura 7.

Figura 7.

Ubicación del centroide de la estructura.



Posteriormente, se aplicará el teorema de ejes paralelos donde inicialmente se calculará el momento de inercia lateral y posterior mediante la Ecuación 7 y 8 respectivamente.

$$I_{lateral}: I + A * d^2 \quad (7)$$

$$I_{lateral}: \frac{1}{12}(15)(630)^3 + (15)(630)(444,77 - 315)^2 = 471699139,9 \text{ mm}^4$$

$$I_{posterior}: I + A * d^2 \quad (8)$$

$$I_{posterior}: \frac{1}{12}(920)(15)^3 + (920)(15)(622,5 - 444,77)^2 = 436172500 \text{ mm}^4$$

Para calcular el valor total del momento de inercia, se deben sumar los valores que fueron obtenidos anteriormente, como se evidencia en la Ecuación 9, cabe recalcar que el momento de inercia lateral se multiplica por dos debido a que son dos paredes.

$$I_{total} : I_{lateral} * 2 + I_{posterior} \quad (9)$$

$$I_{total} : 471699139,9 * 2 + 436172500 = 1379570780 \text{ mm}^4$$

Reemplazando los valores obtenidos de momento de inercia y área de sección transversal en la Ecuación 2, se obtiene el valor del radio de giro

$$R_g : \sqrt{\left(\frac{1379570780}{32700}\right)} = 205,39 \text{ mm}$$


Posteriormente, se puede hallar el valor de la relación de esbeltez, pero previamente se requiere calcular el valor de la longitud efectiva, mediante la Ecuación 10.

$$L_e : K * L \quad (10)$$

Donde (L) es la longitud de la estructura y (K) es un factor utilizado para la fijación de los extremos, al ser ambos extremos de la columna articulados, dicho factor K se obtiene de la Figura 8.

Figura 8.

Factor de fijación de extremos.

Descripción de la condición de los extremos	Ambos extremos articulados
Ilustración de la condición de los extremos	
Longitud teórica efectiva de la columna	$l_e = l$
Longitud efectiva de la columna recomendada-AISC (1989)	$l_e = l$

Nota. Tomado de Hamrock, et al. Elementos de Maquinas 1 ed. McGraw-Hill (2000).

Luego de conocer los valores de longitud efectiva y radio de giro, se procede a reemplazar estos valores en la Ecuación 1, obteniendo el valor de relación de esbeltez. Cabe recalcar que, la relación de esbeltez es un número adimensional.

$$R_e: \frac{1 * 1050}{205,39} = 5,11$$

Ahora, el valor de relación de esbeltez es comparado con el cambio crítico, el cual se calcula mediante la Ecuación 11.

$$C_c: \sqrt{\left(\frac{2 * \pi^2 * E}{S_y}\right)} \quad (11)$$

Donde (E) representa el módulo de elasticidad del material de la columna y (Sy) su resistencia a la fluencia.

El módulo de elasticidad para el cedro es de 8,06 gigapascales, y su resistencia a la fluencia es de 0,03 gigapascales, (Sonelastic, 2022).

Reemplazando estos valores en la Ecuación 11, se obtiene el valor del cambio crítico.

$$C_c: \sqrt{\left(\frac{2 * \pi^2 * 8,06}{0,03}\right)} = 72,823$$

Al ser la relación de esbeltez menor que el cambio crítico se utiliza el método de Euler, donde la fuerza crítica es la multiplicación de un factor de seguridad por la fuerza, en este caso, se calcula la fuerza crítica ($P_{crítica}$) mediante la Ecuación 12, y con esto se obtiene el factor de seguridad de las columnas.

$$P_{crítica}: \frac{\pi^2 * E * A}{R_e^2}: \frac{\pi^2 * 8,06 * 10^9 * 32700 * \left(\frac{1}{1000}\right)^2}{5,11^2} = 99,62 * 10^6 \text{ N} \quad (12)$$

Para el cálculo de la fuerza total, se realiza la sumatoria de todos los componentes que conforman la incubadora (Tabla 6), cabe recalcar que, para esto, se suman todas sus masas y posteriormente se multiplica por la gravedad.

Tabla 5.*Masas de los materiales.*

Material	Masa (kg)	Peso (N)
Componentes eléctricos	7,4	72,6
Sistema de rotación	16,8	164,808
Huevos	12,96	127,13
Bastidor	55,4	543,474

Una vez se realiza la respectiva suma, el valor de la fuerza total es de 908,01 N, este valor permite evaluar el factor de seguridad para las columnas (Ecuación 13).

$$F_{seguridad} : \frac{99,62 \times 10^6}{908,01} = 109,7 \times 10^3 \quad (13)$$

El factor de seguridad obtenido es demasiado alto, lo que indica que dicha estructura tiene la suficiente capacidad para resistir todos los elementos e incluso mucho más.

5.2.2.1. *Deformación por Compresión.*

En este ítem se calculará la deformación de la columna cuando el material se encuentra expuesto a una carga por aplastamiento (Ecuación 14).

$$\delta : \frac{P * L}{A * E} \quad (14)$$

Donde (P) es la fuerza aplicada a cada columna, (L) longitud de la columna, (A) Área transversal de la columna, (E) Módulo de elasticidad del material de la columna.

Reemplazando en la Ecuación 14, se obtiene el valor de deformación por compresión.

$$\delta : \frac{908,01 * 1,05}{32700 * \left(\frac{1}{1000}\right)^2 * 8,06 \times 10^9} : 3,61 \times 10^{-6} m = 0,00361 mm$$

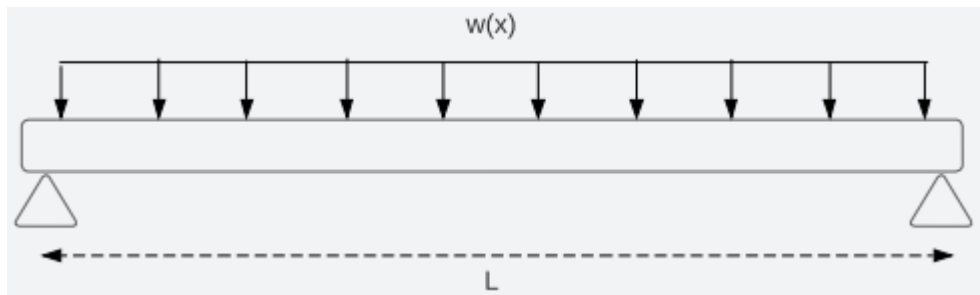
Las columnas sufrirán una deformación aproximadamente de 0,00361 mm.

5.2.2.2. Esfuerzo por Flexión.

Se requiere determinar el esfuerzo soportado por la bandeja cuando esta se encuentra expuesta bajo la carga de los huevos, para poder analizar este esfuerzo se plantea una distribución rectangular uniforme de dicha carga (Figura 9).

Figura 9.

Distribución de fuerzas para las bandejas.



La carga distribuida es representada por (w) y es calculada mediante la Ecuación 15:

$$w : \frac{F}{L} \quad (15)$$

Donde (F) es el peso del sistema de rotación y (L) la longitud de la bandeja.

Reemplazando en la Ecuación 15, se obtiene:

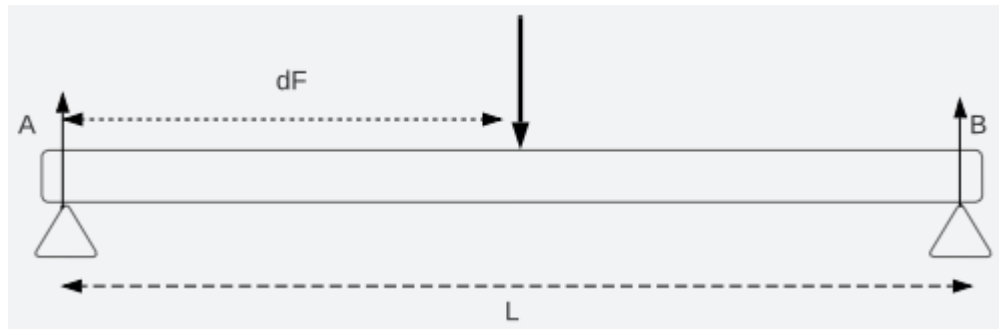
$$w : \frac{16,8 * 9,81}{0,7} = 235,44 \frac{N}{m}$$

Cuando la carga es distribuida de manera rectangular, su carga puntual es ubicada en el centro de la barra que soporta todo el peso. Esta fuerza o carga puntual sería de 149,7 N al multiplicar la masa de las bandejas y los huevos con la gravedad.

Posteriormente, se realiza el análisis de los momentos y de las fuerzas de las bandejas generadas por los apoyos que se encuentran en sus extremos, tal como se puede visualizar en la Figura 10.

Figura 10.

DCL para realizar el análisis de momentos en las bandejas.



Para el cálculo de la fuerza que ejerce cada extremo, se realiza primeramente la sumatoria de momentos desde el punto A (Ecuación 16).

$$\sum M_A : (d_F * F) - (L * B) = 0 \quad (16)$$

Donde (d_F) es la distancia desde el punto A hasta la fuerza puntual, (B) representa la fuerza en el extremo B y (F) la fuerza puntual.

Reemplazando en la Ecuación 16, se obtiene:

$$\frac{0,7}{2} * 149,7 = 0,7 * B$$

$$B = 74,85 \text{ N}$$

Posteriormente, para calcular el valor de la fuerza en el extremo A se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje Y (Ecuación 17).

$$\sum F_y : A - F + B = 0 \quad (17)$$

Reemplazando en la Ecuación 17, se obtiene:

$$A: 149,7 - 74,85 = 74,85 \text{ N}$$

Los resultados muestran que cada apoyo soporta la mitad de la fuerza puntual, lo que demuestra que la carga se distribuye de manera uniforme.

5.2.2.3. *Esfuerzo Cortante.*

El cálculo del esfuerzo cortante es realizado mediante la Ecuación 18:

$$v: \frac{F}{2} \quad (18)$$

Donde (F) es la fuerza puntual aplicada.

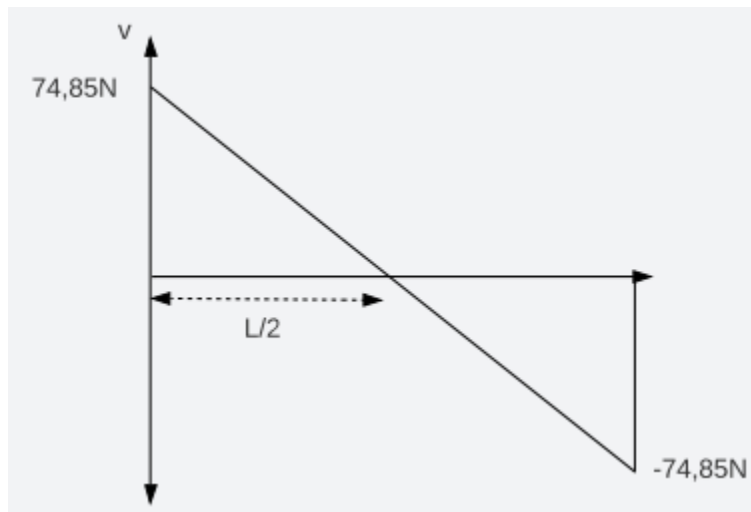
Reemplazando en la Ecuación 18, se obtiene:

$$v: \frac{149,7}{2} = 74,85 \text{ N}$$

Este valor coincide con el de las fuerzas en sus extremos, por lo tanto, el diagrama del esfuerzo cortante se ilustra en la Figura 11.

Figura 11.

Diagrama de esfuerzo cortante.



5.2.2.4. *Momento Flector.*

Cuando la viga es simplemente apoyada en sus extremos, el momento máximo se produce cuando su fuerza cortante es igual a 0, es decir, su momento flector máximo se consigue a una distancia de 0,375 metros, por lo tanto:

$$M_{m\acute{a}x} : \frac{w * L^2}{8} \quad (19)$$

Donde (W) es la carga distribuida y (L) la longitud de la bandeja.

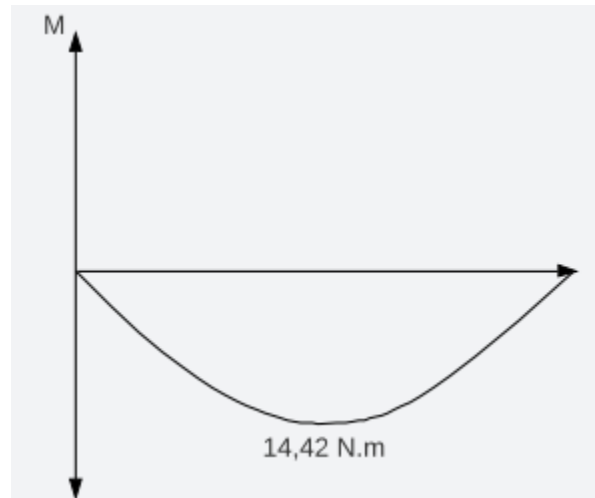
Reemplazando en la Ecuación 19, se obtiene:

$$M_{\text{máx}} : \frac{235,44 * 0,7^2}{8} = 14,42 \text{ N.m}$$

El momento flector máximo visualiza en la Figura 12.

Figura 12.

Diagrama para momento flector.



Posteriormente se calcula el esfuerzo admisible de las bandejas de huevos:

$$\sigma_{adm} : \frac{RM}{N_s} \tag{20}$$

Donde (RM) es la resistencia última del material de la bandeja y (Ns) el factor de seguridad.

Teniendo en cuenta que el material que se utilizara para la bandeja de huevos es madera cedro y que estas bandejas cuentan con un espesor de 1 cm, se obtiene el valor del esfuerzo admisible reemplazando en la Ecuación 20.

$$\sigma_{adm} : \frac{73,84}{1,5} = 49,22 \text{ Mpa}$$

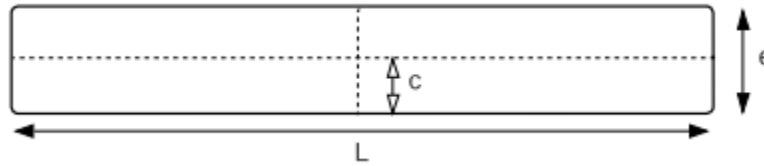
Con el valor de esfuerzo admisible se calculará el valor mínimo del espesor de la madera, mediante la Ecuación 21, se obtiene el valor de módulo de sección.

$$M_s : \frac{I}{c} \tag{21}$$

Donde (I) es el momento de inercia y (C) La distancia desde el centro hasta su extremo.

Figura 13.

Sección transversal de la madera.



Pero, existe otra ecuación del esfuerzo admisible (Ecuación 22) la cual es de utilidad para el cálculo del valor del espesor mínimo.

$$\sigma_{adm} : \frac{M_{m\acute{a}x}}{M_s} \quad (22)$$

De la Ecuación 22, se tiene únicamente como incógnita el módulo de sección, por lo tanto, este se despejará de la ecuación:

$$M_s : \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{adm}} : \frac{14,42}{49220000} = 2,93 \times 10^{-7} m^3$$

El valor del momento de inercia se calcula mediante la Ecuación 23:

$$I : \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 : \frac{1}{12} \cdot L \cdot e^3 \quad (23)$$

Mientras que, la distancia desde el centro hasta su extremo se obtiene de la Ecuación 24:

$$C : \frac{e}{2} \quad (24)$$

Reemplazado la Ecuación 23 y 24 en la Ecuación 21 y despejando el espesor que será la única incógnita, se obtiene:

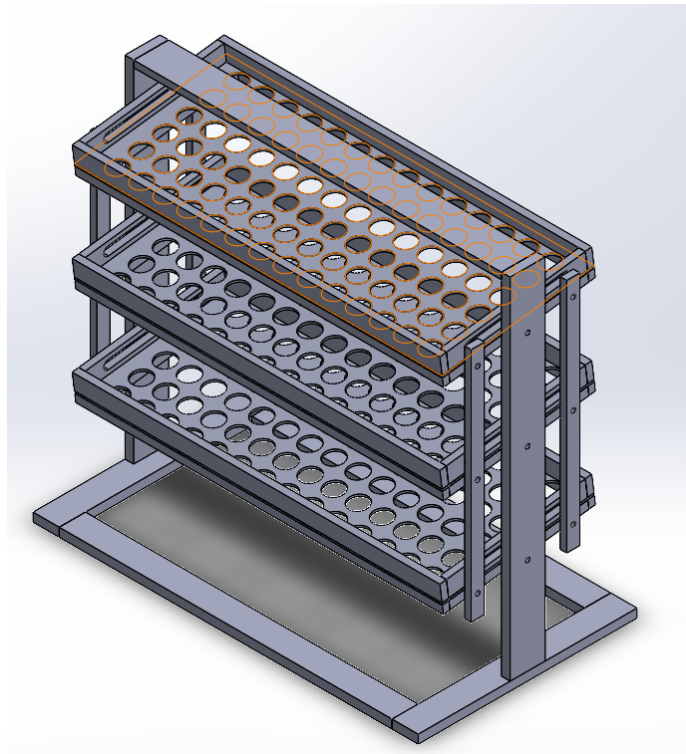
$$e : \sqrt{\left(\frac{6 \cdot M_s}{L}\right)} : \sqrt{\left(\frac{6 \cdot 2,93 \times 10^{-7}}{0,7}\right)} = 1,58 \times 10^{-3} m = 1,656 mm$$

El valor de espesor mínimo obtenido es de 1,656 mm, por lo tanto, se puede concluir que las bandejas son aptas para soportar los esfuerzos a los cuales serán sometidas, debido a que

estas cuentan con un espesor de 10 mm. En la Figura 14 se puede visualizar un modelado virtual de la estructura de rotación de los huevos.

Figura 14.

Modelado de la estructura de rotación de huevos.



5.2.3. Transferencia de Calor

5.2.3.1. Transferencia de Calor en las Paredes

Se busca determinar el calor necesario para que el huevo logre mantener una temperatura requerida, y en lo posible evitar pérdidas durante el proceso. La incubadora se conformará por dos capas, la primera capa son las paredes estructurales de madera tipo cedro y la segunda capa estará conformada por polietileno expandido conocido comercialmente como aislante térmico thermolon que ayudará a conservar el calor en el espacio de incubación. Las propiedades de estos materiales son los siguientes:

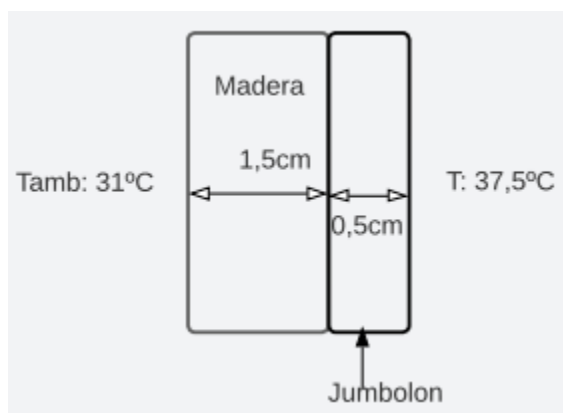
Tabla 6.

Propiedades de los materiales para la incubadora.

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m.K)
Madera	0,015	0,13
Thermolon	0,005	0,048

Figura 15.

Sección transversal de capas de materiales.



Conociendo los materiales y sus propiedades se procederá a calcular la transferencia de calor a través de las paredes, cabe aclarar que estas mismas están compuestas mayormente de madera, a excepción de las puertas que poseen un vidrio la cual permite la visualización hacia el interior de la incubadora.

La transmisión de calor a través de paredes se calculará mediante la Ecuación 25:

$$Q: U * A * \Delta T \quad (25)$$

Donde (U) representa el coeficiente total de transferencia de calor, (A) el Área de la superficie y (ΔT) el diferencial de temperatura.

La diferencia de temperatura representa la resta entre la temperatura que se buscara en el interior de la incubadora y la temperatura ambiente donde se ubicara la incubadora. Por lo tanto, esta diferencia de temperatura será de 6,5 ° C.

El coeficiente total de transferencia de calor se puede calcular mediante la Ecuación 26:

$$U: \frac{1}{R_{total}} \quad (26)$$

Donde (R_{total}) representa la resistencia térmica total a través de las paredes.

Para el cálculo de las resistencias térmicas totales a través de las paredes se usará la siguiente ecuación:

$$R_{total}: \frac{e_{madera}}{K_{madera}} + \frac{e_{jumbolon}}{K_{jumbolon}} \quad (27)$$

Al reemplazar estos valores, obtenemos una resistencia térmica total de 0,2195 m².K/W.

Este valor permite encontrar el coeficiente de transferencia de calor total al reemplazarlo en la Ecuación 26.

$$U: \frac{1}{0,2195} =: 4,55 \frac{W}{m^2 * K}$$

Posteriormente, se calculará el área de las paredes de la incubadora:

$$A: 2 * (0,6 * 1,05 + 0,9 * 0,6 + 0,9 * 1,05) = 4,23 m^2 \quad (28)$$

Reemplazando los valores encontrados en la Ecuación 25, obtenemos el valor de transferencia de calor en las paredes:

$$Q: 4,55 * 4,23 * 6,5 = 125,1 W$$

Este valor de 125,1 W es el transferido desde el interior de la incubadora hacia el ambiente. Ahora, se realizará el cálculo de transferencia de calor a través del vidrio, dicho vidrio tiene unas dimensiones de 32 x 22 cm.

Figura 16.

Transferencia de calor en el vidrio.



Se realiza el mismo proceso anterior, pero en este caso se usará la conductividad térmica del vidrio que es igual a 1,16. Teniendo las medidas del vidrio, la transferencia de calor en el interior de la incubadora al ambiente a través del vidrio es:

$$Q = 106,16 \text{ W}$$

5.2.3.2. *Transferencia de Calor en los Huevos*

Es un requisito que en el interior de la incubadora la temperatura se mantenga en 37,5°C, para que se pueda realizar el proceso de incubación de una manera correcta. Para determinar la transferencia de calor en los huevos se utilizará la Ecuación 29:

$$q : \frac{T_{interior} - T_{ambiente}}{\frac{1}{h} + \frac{e_{huevo}}{k}} \quad (29)$$

Donde (h) es el coeficiente de convección, (e_{huevo}) el espesor de la cascara del huevo y (k) la conductividad térmica.

Figura 17.

Coefficiente de convección para diversos procesos.

Proceso	h (W/m ² · K)
Convección libre	
Gases	2-25
Líquidos	50-1000
Convección forzada	
Gases	25-250
Líquidos	50-20,000
Convección con cambio de fase	
Ebullición o condensación	2500-100,000

Nota. Tomado de Incropera, Frank P. Fundamentos de Transferencia de Calor 4 ed. Prentice Hall (1999).

Como se busca que el flujo de aire recircule al interior de la incubadora con la ayuda de unos ventiladores, será convección forzada, por lo tanto, se asume el valor del coeficiente de convección igual a 120.

Para hallar la conductividad térmica del huevo es necesario hacer el uso de la Figura 18.

Figura 18.

Conductividad térmica de ovoproductos líquidos.

Thermal conductivity (kWm ⁻¹ K ⁻¹) of liquid egg products											
W_w	Temperature (K)										
	273	275	278	281	285	291	295	298	301	307	311
0.518	0.407	0.403	0.403	0.400	0.399	0.397	0.396	0.393	0.393	0.390	0.389
0.591	0.433	0.435	0.433	0.430	0.429	0.428	0.428	0.424	0.426	0.421	0.421
0.664	0.481	0.464	0.467	0.459	0.459	0.458	0.461	0.453	0.459	0.452	0.453
0.736	0.493	0.498	0.493	0.494	0.491	0.490	0.493	0.486	0.490	0.485	0.486
0.809	0.541	0.526	0.529	0.522	0.522	0.522	0.525	0.518	0.522	0.517	0.518
0.882	0.554	0.560	0.555	0.552	0.551	0.552	0.558	0.547	0.555	0.547	0.550

Al extremo izquierdo se encuentra la humedad y en la parte superior se encuentra la temperatura en Kelvin, por lo tanto, para una temperatura de 37,5°C es decir de 310,5°K, y con una humedad de 59,1%, la conductividad térmica será de 0,421 kW/m.K.

Posteriormente se realizará la medición del espesor de la cascara en varios huevos para obtener una medida promedio de este valor, luego de realizar las mediciones se obtuvo un espesor promedio de 0,5 mm.

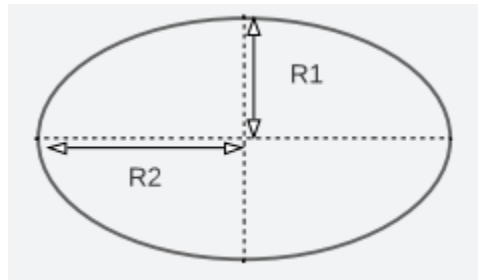
Por lo tanto, se determinará el calor transferido por unidad de área desde el interior hacia el ambiente reemplazando los valores en la Ecuación 29.

$$q: \frac{37,5 - 31}{\frac{1}{120} + \frac{0,0005}{421}} = 779,9 \frac{W}{m^2}$$

Ahora se buscará hallar el calor transferido por unidad de área de cada huevo, para ello es necesario calcular el área promedio de los huevos.

Figura 19.

Dimensiones de un huevo.



Los huevos tienen forma de elipsoide, por lo tanto, para el cálculo del área se usará la siguiente ecuación:

$$A: R1 * R2 * \pi \tag{30}$$

Luego de tomar los datos de las dimensiones de 10 distintos huevos se obtiene un valor promedio para R1 de 2,1 cm y para R2 de 2,9 cm, y reemplazando en la Ecuación 30 el área promedio es igual a 19,13 cm².

Por lo tanto, el calor transferido por el área de cada huevo es de:

$$q_{huevo}: 779,9 * 0,001913: 1,492 W \tag{31}$$

Posteriormente, se procede a calcular el calor transferido por la totalidad de huevos mediante la Ecuación 32:

$$q_{total}: 1,492 * 216: 322,25 W \quad (32)$$

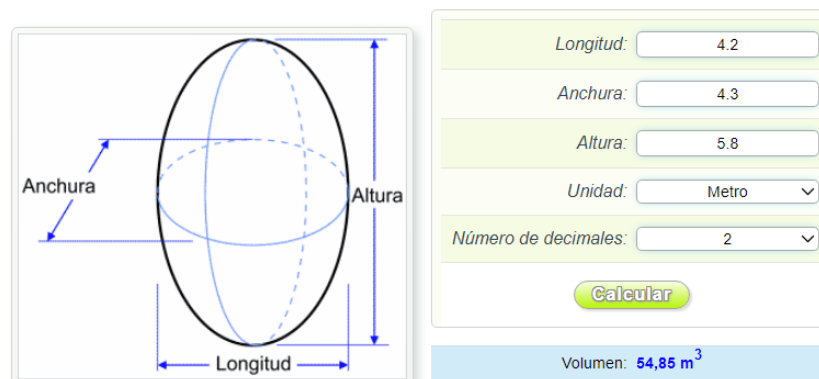
Esto indica el calor que va de los huevos al interior de la incubadora. Por consiguiente, se calculará el valor del número de Biot mediante la Ecuación 33, para determinar si existe una temperatura uniforme entre la cascará de huevo y el fluido.

$$Bi: \frac{h \cdot L_c}{k} \quad (33)$$

Donde (h) y (k) fueron calculados anteriormente, pero se debe encontrar la relación entre volumen y área del huevo (L_c).

Figura 20.

Volumen de un elipsoide.



Reemplazando los valores promedio de longitud, ancho y altura de un huevo se obtiene un volumen promedio igual a 54.85m³. Con este valor se procede a calcular la relación de volumen y área del huevo:

$$L_c: \frac{54,85 \times 10^{-5}}{0,001913} = 0,02867 m \quad (34)$$

Reemplazando en la Ecuación 33, se obtiene un número de Biot igual a 0,008, debido a que este número es inferior a 0,1 se concluye que la distribución de la temperatura es uniforme.

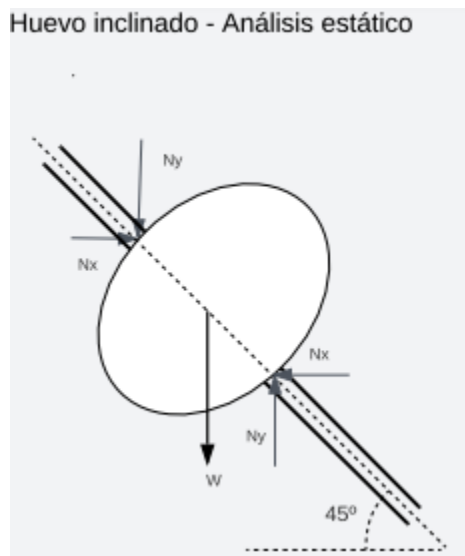
5.2.4. Análisis Estático y Dinámico de los Huevos

5.2.4.1. Análisis Estático.

Los huevos se ubican en una lámina de madera cedro de 10 milímetros de espesor, la cual posee medidas de 70 x 40 cm, cada lámina tiene capacidad para 72 huevos, lo que indica que con tres láminas se tiene un total de 216 huevos, es decir, se satisface el requerimiento correspondiente a la capacidad solicitada. En la Figura 21, se visualiza el análisis estático de los huevos.

Figura 21.

Análisis estático de los huevos.



A continuación, se realizará un análisis de fuerzas entre el huevo y el orificio donde se posa dicho huevo. Cabe aclarar que, la masa promedio de los huevos es de aproximadamente 60 gramos. En la Ecuación 35 y 36 se realiza el análisis de fuerzas entre el huevo y la superficie en los ejes X y Y respectivamente.

$$W_x : m * g * \sin(45) = 0,416 N \quad (35)$$

$$W_y : m * g * \cos(45) = 0,416 N \quad (36)$$

Posteriormente se aplica la segunda ley de Newton obteniendo:

$$\sum F_x : N_x - W_x = 0 \quad (37)$$

$$\sum F_y : N_y - W_y = 0 \quad (38)$$

Por lo tanto, las fuerzas normales y los pesos en los dos ejes son de magnitud de 0,416 N.

Posteriormente se realiza un análisis cuando la bandeja se encuentra horizontalmente (Ecuación 39).

$$W : m * g : 0,06 * 9,81 = 0,5886 \text{ N} \quad (39)$$

Nuevamente se aplica la segunda ley de Newton (Ecuación 40).

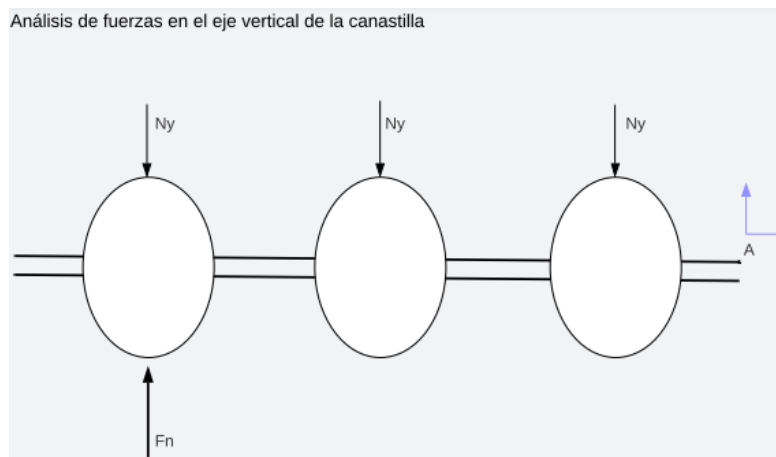
$$\sum F_y : N - W = 0 \quad (40)$$

Por lo tanto, (N) tiene la misma magnitud del peso cuando la bandeja está totalmente horizontal.

Además, se realiza un análisis de fuerzas en la mitad de la bandeja, se aclara que cada bandeja cuenta con 6 columnas y 12 filas, lo que significa que se analizan 36 huevos, se realiza de esta manera debido a que es necesario desbalancear las fuerzas al máximo y calcular la fuerza máxima.

Figura 22.

Análisis de fuerza en la canastilla.



Se realizo un análisis de momento en el eje Y mediante la Ecuación 41, para hallar la fuerza necesaria para provocar un movimiento en la canastilla.

$$\sum M_A : 12 \cdot N_y * (d_1 + d_2 + d_3) - F_n * d_1 = 0 \quad (41)$$

Donde (Ny) representa la fuerza normal cuando la bandeja se encuentra horizontalmente, (D1) es la distancia desde (A) hasta el huevo en el extremo izquierdo, (D2) la distancia desde (A) hasta el centro del huevo, (D3) la distancia desde (A) hasta el extremo derecho y (Fn) la fuerza necesaria para mover la canastilla.

La distancia entre centros para cada huevo es de 5,5 cm, donde 1,5 cm pertenecen a las separaciones que existen entre cada huevo y el diámetro del orificio donde se ubican los huevos es de 4 cm, reemplazando los valores en la Ecuación 41:

$$\sum M_A : 12 * 0,5886 * (0,1375 + 0,0825 + 0,0275) - F_n * 0,1375 = 0$$

Despejando (Fn) que es la única incógnita de la ecuación, se obtiene:

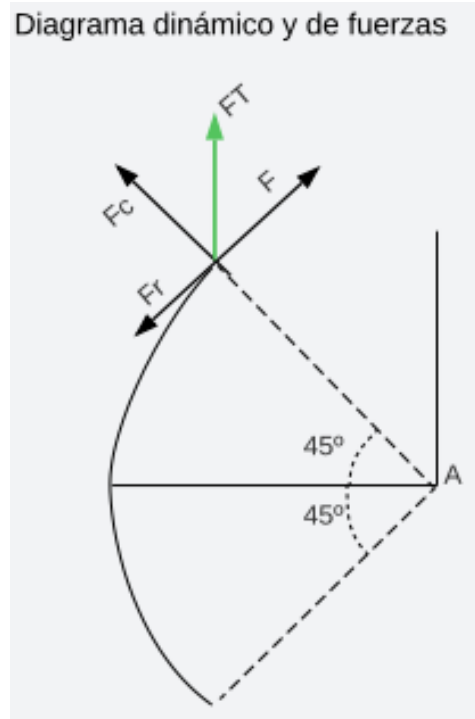
$$F_n : 12,71 N$$

5.2.4.2. *Análisis Dinámico.*

Se requiere saber con exactitud la velocidad del giro en rpm, para evitar que el giro se realice demasiado lento, pero tampoco se quiere que los huevos salgan arrojados hacia el exterior, por dicha razón se realiza el siguiente análisis dinámico.

Figura 23.

Diagrama dinámico y de fuerzas.



Las bandejas requieren hacer un giro de 90 grados, además se conoce el radio de giro que sería la mitad de la medida de la bandeja, por lo que se requiere determinar el tiempo de giro. La ecuación para la fuerza centrífuga es la siguiente:

$$F_c : m * w^2 * r \quad (42)$$

Donde (F_c) representa la fuerza centrífuga, (W) la velocidad angular y (R) el radio de giro.

A pesar de esto, se poseen incógnitas de las fuerzas centrífugas y la velocidad angular, lo que genera la búsqueda de alternativas que ayuden a resolver esas incógnitas, una alternativa es la utilizada en la Ecuación 43:

$$w : \frac{v}{r} : \frac{\theta}{t} \quad (43)$$

Donde (V) representa la velocidad, (θ) el giro en grados y (t) el tiempo en hacer el giro.

Para el cálculo de la fuerza resultante se halla la raíz cuadrada de la sumatoria de la fuerza centrífuga al cuadrado con (F_p) al cuadrado. Cabe recalcar que, (F_p) es la resta de (F) y la fuerza de rozamiento (F_r) .

Para el cálculo (F_p) se requiere dividir la ecuación de la energía cinética, con el perímetro de movimiento circular del giro que sería 90 grados (Ecuación 44).

$$F_p : \frac{\frac{1}{2} * m * v^2}{\frac{1}{2} * \pi * r} : \frac{m * \left(\frac{\theta}{t} * r\right)^2}{\pi * r} : \frac{m * \left(\frac{\theta}{t}\right)^2 * r}{\pi} \quad (44)$$

Para este cálculo el valor de (θ) debe estar representado en radianes y la masa será la mínima de un huevo (50 gramos), debido a que se busca la fuerza mínima para provocar este movimiento.

Tabla 7.

Tabla de fuerzas respecto al tiempo.

Tiempo (seg)	Fc (N)	Fp (N)	FT (N)
1	0,02467	0,000785	0,02589
2	0,00616	0,001963	0,00647
3	0,002741	0,0008726	0,00287
4	0,001542	0,0004908	0,00161
5	0,0009869	0,0003141	0,00103
6	0,0006853	0,0002181	0,000719

La Tabla 8 demuestra que, el tiempo es inversamente proporcional a la fuerza resultante total y al movimiento. Entonces, se calculará la fuerza normal cuando la bandeja se encuentra a 45 grados con la masa mínima, y teniendo en cuenta la fuerza de rozamiento (Ecuación 45), donde su coeficiente de rozamiento para la madera es de 0,35.

$$F_r : \mu_r * N_y : 0,35 * 0,05 * 9,81 = 0,1716 N \quad (45)$$

Posteriormente, mediante la Ecuación 46 se calculará el valor de la masa en Y:

$$W_y : m * g * \cos(45) : 0,347 \text{ N} \quad (46)$$

Por lo tanto, al realizar la sumatoria de las fuerzas en el eje Y, se puede encontrar la fuerza normal (Ecuación 47).

$$\sum F : N - W_y - F_r = 0 \quad (47)$$

La fuerza normal tiene un valor de 0,518 N, si la fuerza total es mayor que la fuerza normal, entonces el huevo saldría arrojado, pero en este caso, en los datos obtenidos en la Tabla 6, ninguno de los tiempos obtiene una fuerza resultante total mayor que la fuerza normal calculada, pero a pesar de esto, se requiere que estos huevos giren cuidadosamente, por lo tanto, se ha tomado un tiempo de giro que se encuentre en el rango de 10 a 15 segundos.

5.2.5. Revoluciones del Motor

Es necesario hallar las revoluciones del motor para realizar la rotación de los huevos.

Para esto debemos tener en cuenta las masas de las bandejas y de los huevos.

Tabla 8.

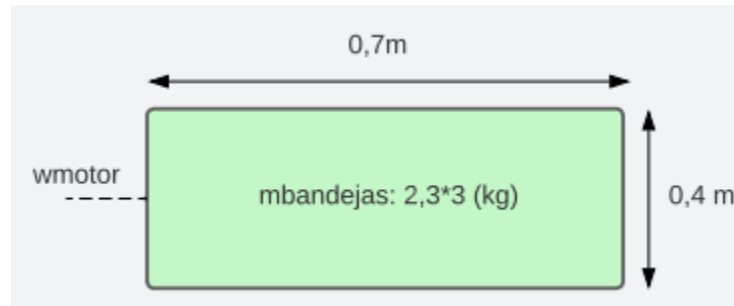
Masas de las bandejas y los huevos.

Elemento	Masa (kg)	Cantidad	Peso (N)
Bandeja	2,3	3	67,689
Huevos	0,06	216	127,14

En la Figura 24 se evidencia el dimensionamiento de las bandejas.

Figura 24.

Dimensionamiento de las bandejas de huevos.



Reemplazando estos datos en la Ecuación 48 se puede calcular la inercia del motor:

$$I: \frac{1}{12} * m_{total} * a^2 \quad (48)$$

Donde (m_{total}) representa la sumatoria de las masas de bandejas y huevos, además (a) equivale al ancho de la bandeja.

Reemplazando en la Ecuación 48, se obtiene:

$$I: \frac{1}{12} * (2,3 * 3 + 0,06 * 216) * (0,4)^2 = 0,2648 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Esta es la inercia que el motor debe vencer. Posteriormente, se determina la velocidad angular de este movimiento mediante la Ecuación 49:

$$w: \frac{\theta}{T}: \frac{\frac{\pi}{2}}{1} = 1,5707 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (49)$$

Donde (T) representa el periodo de giro por ángulo en segundos.

Mientras que la aceleración angular se calcula mediante la Ecuación 50:

$$\alpha: \frac{w}{t}: \frac{1,5707}{15} = 0,1047 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \quad (50)$$

Con la aceleración angular, y la inercia del motor se calculará el torque del motor (Ecuación 51).

$$\text{Torque}_{motor}: I * \alpha: 0,2648 * 0,1047 = 0,02772 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (51)$$

El torque obtenido es igual a 0,02772 N.m, esta es la magnitud del momento en el eje una vez que se realice el giro de las bandejas. Posteriormente, se procede a calcular la potencia del eje del motor mediante la Ecuación 52.

$$Potencia_{motor} : Torque_{motor} \cdot w : 0,02772 * 1,5707 : 0,043 W \quad (52)$$

Luego, se calcula la potencia de diseño, para esto se requiere de un factor de seguridad o también conocido como factor de servicio. En la Figura 25, se evidencian los criterios para la selección de factor de servicio.

Figura 25.

Factores de servicio.

FACTORES DE SERVICIO				
TIPO DE MOTOR QUE ACCIONA EL REDUCTOR	HORAS / DIA	TIPO DE CARGA		
		UNIFORME	MEDIA	CON CHOQUES
MOTOR ELECTRICO ENTRADA CONSTANTE	2	0.9	1.1	1.5
	10	1.0	1.25	2.75
	24	1.25	1.50	2.00
MEDIANAMENTE IMPULSIVA	2	1.0	1.35	1.75
	10	1.25	1.50	2.00
	24	1.50	1.75	2.50

Nota. *Factores de servicio* [Figura], Revista Electro Industria, 2007, Disponible en:

<https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=701>

Teniendo en cuenta que es un motor eléctrico y asumiendo una carga media, se selecciona un factor de servicio alto con el objetivo de evitar futuros fallos. Por lo tanto, la potencia de diseño se calcula mediante la Ecuación 53:

$$Potencia_{diseño} : Potencia_{motor} \cdot N_s : 0,043 * 1,5 : 0,0653 W \quad (53)$$

Una vez calculado el valor de potencia de diseño, es posible hallar las revoluciones por minuto necesarias para el motor eléctrico, mediante la Ecuación 54:

$$RPM : \frac{60 * Potencia_{motor}}{2\pi * Torque_{motor}} \quad (54)$$

Reemplazando en la Ecuación 54, obtenemos:

$$RPM: \frac{60 * 0,043}{2\pi * 0,02772} : 14,81 \text{ rpm}$$

La velocidad necesaria para que las bandejas hagan el giro debe estar alrededor de 15 revoluciones por minuto, esto bajo la condición de tiempo de giro igual a 15 segundos, en caso de que se aumentara el tiempo de giro las revoluciones disminuirían. Una vez, se realiza el cálculo y se analizan los valores se procede a seleccionar un motor que cumpla con estos parámetros.

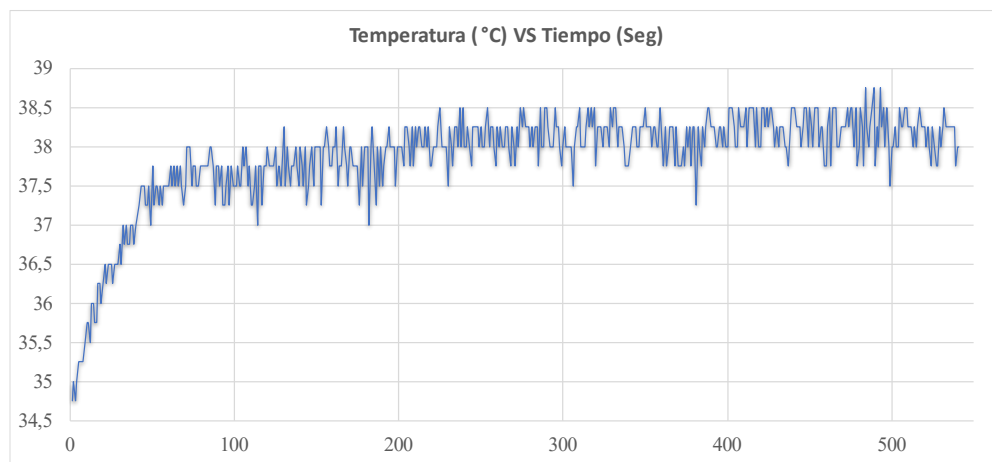
5.2.6. Ajuste de Controladores

Existen diversas técnicas para ajustar estos parámetros, entre las cuales se incluyen el método de Ziegler-Nichols, el método del lugar de las raíces e incluso el ajuste manual.

En un primer paso, se procedió a la recopilación de datos al operar el sistema en su estado de lazo abierto, llevándolo a su temperatura máxima. El resultado de esta operación se muestra en la siguiente Figura:

Figura 26.

Grafica de temperatura vs tiempo para cálculo de constantes de los controladores



La temperatura máxima alcanzada es de 38,75°C, ligeramente por encima de la temperatura deseada, lo que es aceptable. Además, se puede notar que el sistema exhibe un comportamiento de primer orden, con una pequeña respuesta transitoria. Es importante destacar que se recopilieron más de 500 datos, con un intervalo de muestreo de 3 segundos entre cada medición, una vez obtenidos estos datos, mediante un sistema de cómputo numérico se obtuvieron los valores para el controlador proporcional e integral de 0.25 y 0.03 respectivamente en base a los datos obtenidos en la prueba.

5.2.7. Análisis de Distribución de Temperatura

Un análisis de distribución de temperatura permite identificar y controlar las variaciones de temperatura en diversos puntos del espacio de análisis. Además, se debe garantizar una temperatura uniforme y adecuada para asegurar que los embriones se desarrollen de manera saludable, contar con variaciones de temperatura en diversos puntos dentro del volumen de control en la incubadora puede disminuir la tasa de eclosión de los polluelos.

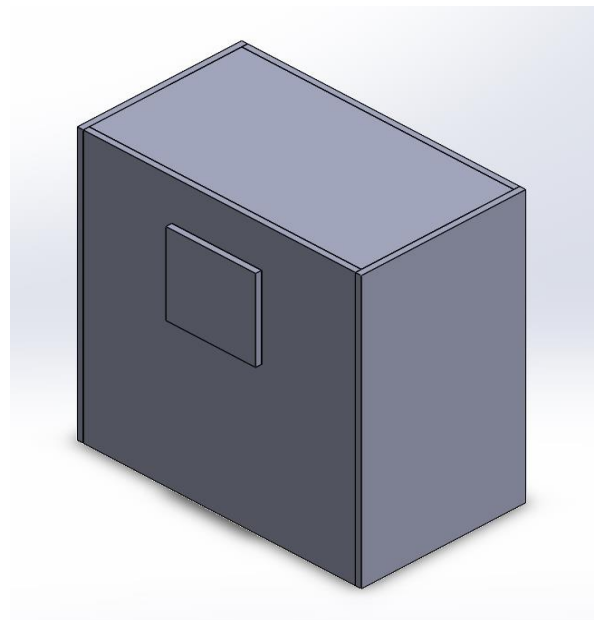
Por lo tanto, se ha realizado un análisis de distribución de temperatura por medio de la herramienta Flow Simulation del software de diseño SolidWorks para determinar la configuración que se usara en la incubadora. Este análisis se dividió en dos fases:

5.2.7.1. Primera Fase.

En esta fase se evaluaron una serie de diversas configuraciones posibles partiendo de la estructura base establecida en los cálculos.

Figura 27.

Estructura base de la incubadora.



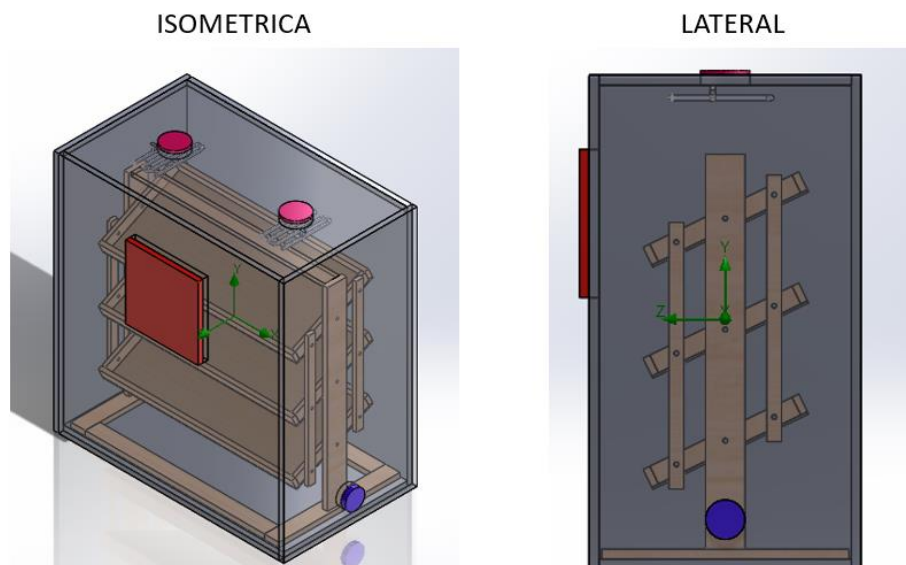
Inicialmente se realizó el análisis en superficies y fluidos para 7 posibles configuraciones, cabe recalcar que para esta primera fase se utilizó un grado de malla igual a 4.

Luego de realizar las respectivas simulaciones y analizar los resultados, fue seleccionada la configuración que presenta menores variaciones de temperatura en la superficie (Figura 29).

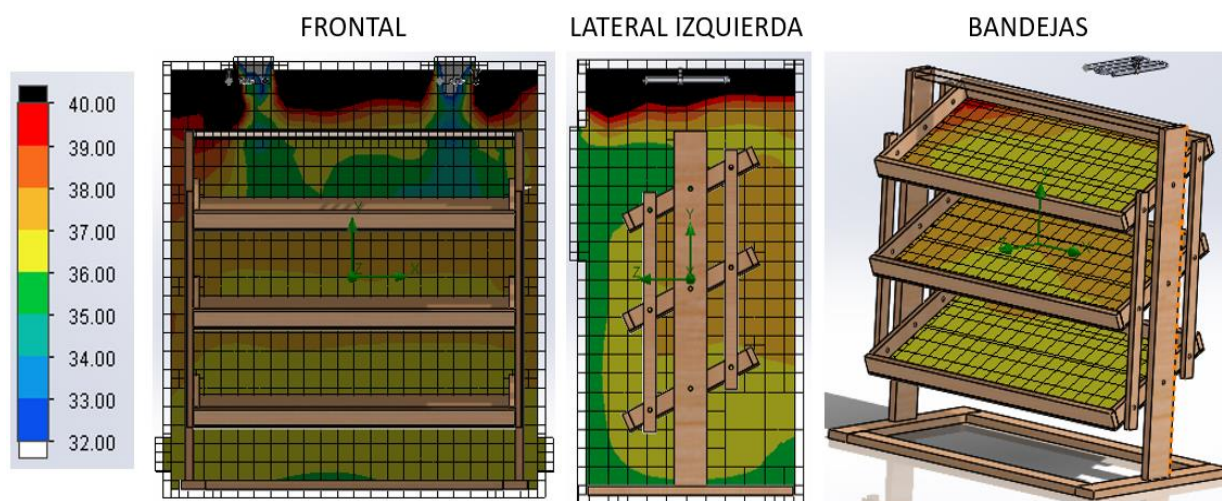
Las configuraciones restantes se encuentran en el Apéndice C.

Figura 28.

Configuración seleccionada para la primera fase

**Figura 29.**

Análisis de distribución de temperatura para la configuración seleccionada.



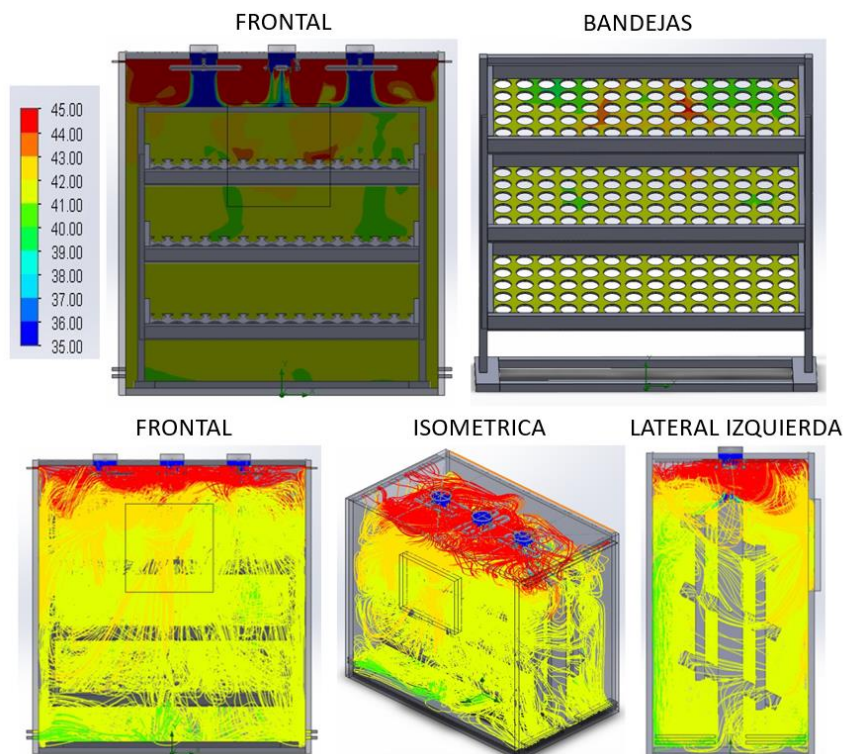
5.2.7.2. Segunda Fase.

Una vez definida la configuración base, se presentan unas nuevas alternativas tomando como referencia el diseño ya establecido, con el objetivo de poder mejorar aún más la distribución de temperatura y obtener un espacio adecuado para la incubación.

Para esta fase se presentaron de nuevo 7 configuraciones más, que fueron evaluadas con un grado de malla igual a 6 para obtener unos resultados más detallados. La configuración que fue finalmente seleccionada se ilustra en la Figura 30, esta fue seleccionada debido a que nos presenta una uniformidad térmica en gran parte de su volumen de análisis, para esta configuración fueron añadidas unas aperturas laterales que permiten la constante recirculación del aire, permitiendo la salida del aire caliente que se acumulaba en la parte superior de la incubadora en la configuración seleccionada en la fase 1.

Figura 30.

Análisis de distribución de temperatura definitiva para la incubadora.



5.3. *Construir una Incubadora de Huevos que Cumpla con las Condiciones y Requerimientos Necesarias para el Proceso de Incubación*

Un requisito fundamental para este proyecto es brindar una capacidad de alojar un mínimo de 200 huevos destinados a la incubación. Esto implica que la incubadora debe ser lo suficientemente grande para albergar esta cantidad de huevos de manera efectiva.

Para comenzar la construcción de la incubadora, el primer paso fue elaboración del armazón que servirá como la estructura base de todo el sistema. El diseño y las dimensiones de este bastidor serán fundamentales, ya que en función de su tamaño se determinará cómo se ajustarán y ensamblarán los demás componentes de la incubadora. Una vez que el bastidor esté listo y en su lugar, se procederá a la fabricación y ensamblaje de los componentes internos que garantizarán un ambiente óptimo para la incubación de los huevos. Este enfoque paso a paso asegurará que la incubadora cumpla con su función de manera efectiva.

5.3.1. Construcción del Armazón

En el contexto de este proyecto, el armazón se construirá utilizando madera de cedro como material principal. La elección de cedro se basa en su disponibilidad y economía. A pesar de que existen diversas opciones de madera, como el guayacán, el pino, entre otras, se optó por el cedro debido a sus propiedades como aislante térmico y su nivel de durabilidad.

El cedro se ha seleccionado por su idoneidad en términos de durabilidad, resistencia y otras características que lo convierten en una opción ideal para construir el armazón de la incubadora. Su capacidad para resistir la humedad, su resistencia a insectos y su estabilidad estructural hacen que el cedro sea la elección óptima para garantizar la robustez y la longevidad del armazón de la incubadora. Esta elección de material asegurará que la incubadora tenga una base sólida y confiable sobre la cual se construirán los componentes adicionales.

En la fase inicial de la construcción de la estructura, se optó por encargar los cortes de la madera en un aserradero. Esta elección se hizo con el propósito de obtener piezas de madera que fueran suaves, bien pulidas y con medidas precisas de acuerdo con las especificaciones requeridas para el proyecto.

Figura 31.

Proceso de corte de la madera.



Con las piezas de madera pulidas y cortadas con las medidas deseadas, se procedió a realizar los ajustes finos utilizando un escoplo. Además, se aseguró de aplicar cola de madera en todas las juntas para garantizar una unión sólida. Una vez que las piezas estuvieron debidamente ajustadas y encoladas, se procedió a fijarlas mediante el uso de tornillos y puntillas para lograr una estructura robusta y resistente. Esta cuidadosa atención al detalle en la construcción del armazón asegurará que la estructura cumpla con los estándares de calidad requeridos para el proyecto.

Figura 32.

Armado de la estructura para la incubadora.



De acuerdo con las simulaciones realizadas anteriormente mediante software SolidWorks, se ha determinado que, para lograr una distribución de temperatura casi homogénea en la incubadora, es esencial incorporar aberturas que permitan la renovación de aire y la salida del exceso de calor. Estas aberturas desempeñarán un papel crítico en el control del ambiente interno de la incubadora.

La incorporación de aberturas estratégicamente ubicadas permitirá que el aire circule de manera efectiva dentro de la incubadora, evitando puntos calientes o fríos que podrían comprometer el proceso de incubación. Además, ayudarán a eliminar el calor acumulado, manteniendo una temperatura equilibrada y adecuada para el desarrollo de los huevos. Esto es

fundamental para garantizar condiciones óptimas de incubación y aumentar las posibilidades de éxito.

Figura 33.

Incorporación de aberturas en la estructura.



Para concluir la construcción de la estructura o armazón de la incubadora de huevos, se diseñaron y fabricaron las puertas de acceso para la entrada y salida de los huevos. Cada una de estas puertas ha sido equipada con una ventana que permite la visualización del interior de la incubadora.

La inclusión de estas ventanas en las puertas es una adición importante, ya que facilita la observación y monitoreo del proceso de incubación sin necesidad de abrir la incubadora, lo que podría alterar las condiciones internas. Estas ventanas proporcionan un medio conveniente para

verificar el desarrollo de los huevos y asegurarse de que todo esté transcurriendo según lo planeado, sin perturbar el ambiente controlado necesario para el éxito de la incubación.

Figura 34.

Bastidor de la incubadora ensamblado.



5.3.2. Estructura de Rotación de los Huevos

La rotación de los huevos desempeña un papel esencial en el proceso de incubación, ya que la permanencia en una sola posición durante un período prolongado puede dar lugar a problemas para el embrión, como la adhesión a la cáscara. Además, la rotación de los huevos influye de manera significativa en aspectos tanto físicos como fisiológicos del embrión y sus membranas extraembrionarias (Mohamed Mostafa, 2020). Por lo tanto, se recomienda que los huevos sean sometidos a un ángulo de rotación en el rango de 40° a 45°.

En este contexto, se llevó a cabo la implementación de un sistema de rotación en la estructura de la incubadora, la cual debe tener una capacidad mínima de alojar 200 huevos. La automatización de este proceso de rotación es de vital importancia para asegurar su ejecución de manera regular y precisa, lo que a su vez minimiza el estrés para los huevos y mejora las condiciones generales de incubación. La mitigación de la intervención humana en este proceso se convierte en un enfoque fundamental, con el fin de garantizar una operación eficiente y prevenir daños a los huevos.

Existen diversas alternativas para lograr la rotación de los huevos durante el proceso de incubación. Dos de las técnicas más comunes son el uso de rodillos y la rotación de bandejas.

La primera técnica implica la colocación de los huevos sobre una bandeja horizontal equipada con rodillos que inducen la rotación de estos. Esta acción es efectiva para garantizar la rotación de los huevos de manera suave. Mientras que, la segunda técnica consiste en la rotación de una bandeja cargada de huevos, y esto se logra mediante la utilización de dispositivos como levas, cilindros hidráulicos o motores. Esta es la metodología más extendida y confiable para llevar a cabo la rotación de los huevos durante la incubación.

Finalmente se ha optado por emplear bandejas de madera para la rotación debido a su coste asequible y su fácil instalación. Esta elección refleja un enfoque práctico y eficiente en la construcción del sistema de rotación, lo que permite la implementación de una técnica efectiva sin exceder los recursos disponibles para el proyecto.

Figura 35.

Estructura de rotación de los huevos.



Es importante destacar que los orificios en cada eje de las bandejas han sido dimensionados ligeramente más grandes que el diámetro del eje para incorporar bujes con el propósito de reducir la fricción entre la madera y el hierro. Al minimizar la fricción de esta manera, se logra reducir la cantidad de fuerza necesaria para llevar a cabo la rotación de las bandejas, lo que a su vez contribuye a un funcionamiento más eficiente y suave del sistema de rotación.

5.3.3. Componentes Eléctricos y Electrónicos

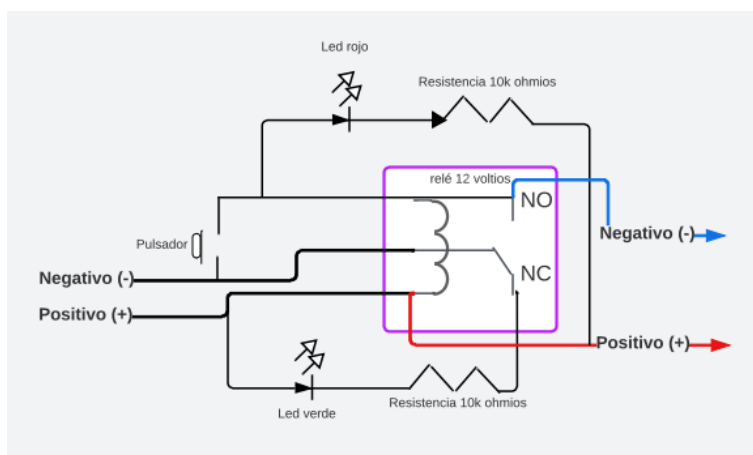
Tras completar la construcción del bastidor y la estructura de la incubadora, el siguiente paso implica la instalación de componentes eléctricos y electrónicos que desempeñarán un papel crucial en la consecución y monitoreo de los parámetros necesarios.

La culminación del proyecto involucró la creación de un circuito que cumple dos funciones esenciales. En primer lugar, se diseñó para proporcionar una fuente de energía con múltiples puertos, lo que permite alimentar y controlar varios componentes del sistema. En segundo lugar, se implementó un circuito de protección que resguarda el sistema contra cortocircuitos y, al mismo tiempo, limita la corriente de entrada al Arduino.

Esta combinación de funcionalidades garantiza un funcionamiento seguro y confiable del sistema, al tiempo que protege los componentes electrónicos de posibles daños debido a cortocircuitos o sobre corriente.

Figura 36.

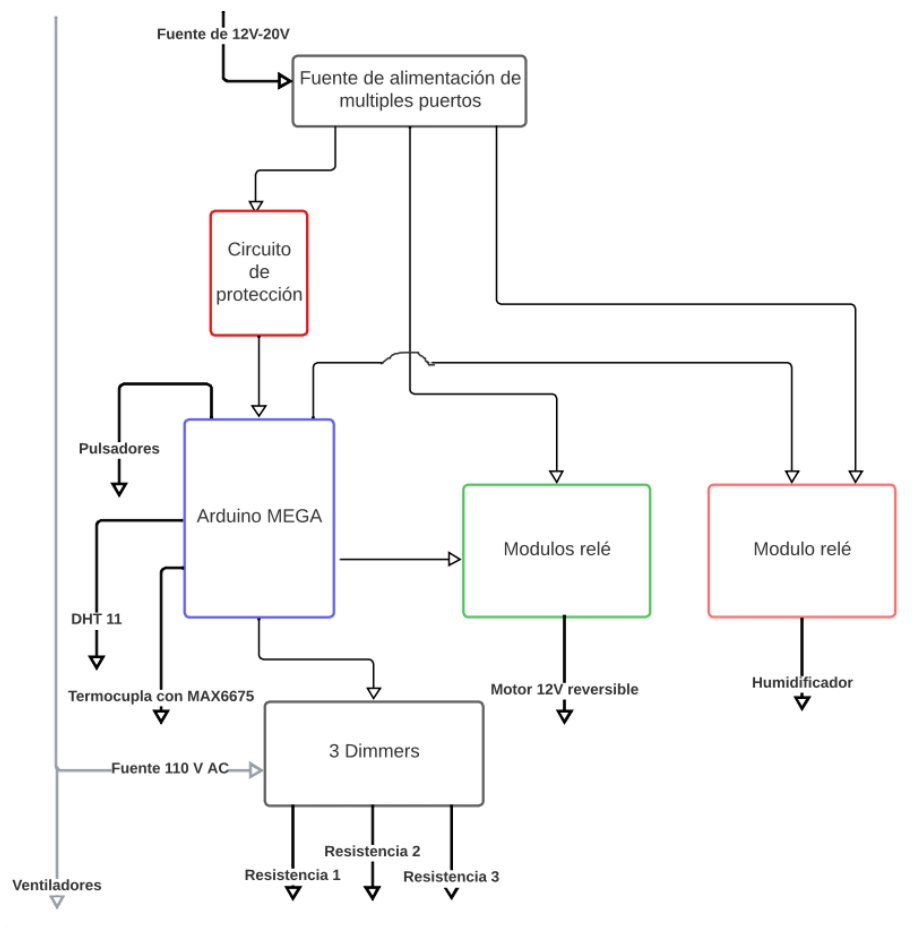
Diagrama de circuito de protección.



Finalmente, todas las conexiones eléctricas y electrónicas se visualizan en la Figura 37.

Figura 37.

Diagrama de conexiones eléctricas y electrónicas.



En el Apéndice D, se encontrará más información detallada de cada elemento que compone las conexiones eléctricas y electrónicas de la incubadora.

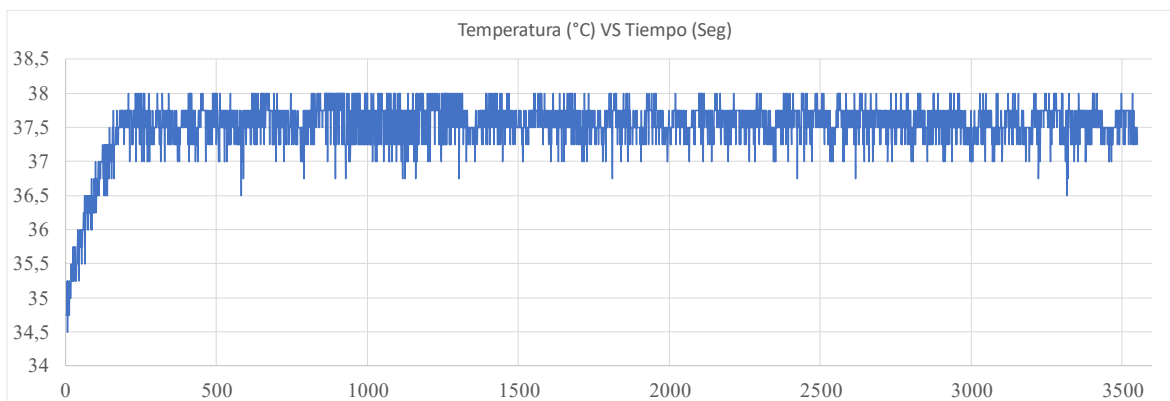
5.4. *Evaluar el Desempeño del Sistema Automatizado para el Proceso de Incubación de Huevos*

5.4.1. Monitoreo de las Condiciones Ambientales

Se realizó la toma de datos de variables como la temperatura y humedad por un periodo de tiempo igual a 1 hora, con la intención de evaluar la estabilidad de estas variables dentro de la incubadora, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 38.

Gráfico del comportamiento de la temperatura a través del tiempo.



La temperatura deseada es de 37,5°C con una tolerancia bidireccional de 0,3°C. En el gráfico se evidencia que la temperatura en el recipiente se mantiene en una franja donde no supera los 38°C y no desciende por debajo de los 37°C, salvo en algunos momentos en los que el sensor de temperatura registró lecturas de 36,75°C. Esta variación en la temperatura puede deberse a diversas razones, como la sensibilidad a las fluctuaciones, donde incluso pequeños cambios en las condiciones ambientales pueden tener un impacto notable en la incubadora. Además, la inercia térmica implica que muchos sistemas no responden de inmediato a cambios en la temperatura, también puede contribuir a esta brecha ocasional.

No obstante, es importante destacar que la variación de temperatura se mantiene dentro de los límites establecidos, a pesar de que muchos sistemas tienen tolerancias extremadamente ajustadas, lo que añade una complejidad adicional al control del proceso.

Se llevó a cabo un análisis minucioso de los datos con el propósito de calcular el promedio y su correspondiente incertidumbre. Los resultados revelan que la temperatura en el interior del recipiente se ubica en aproximadamente $37,52 \pm 0,402$ °C. Este cálculo se considera sumamente satisfactorio, ya que la temperatura promedio se encuentra muy próxima al valor deseado, lo que sugiere que el sistema de control está operando de manera efectiva para

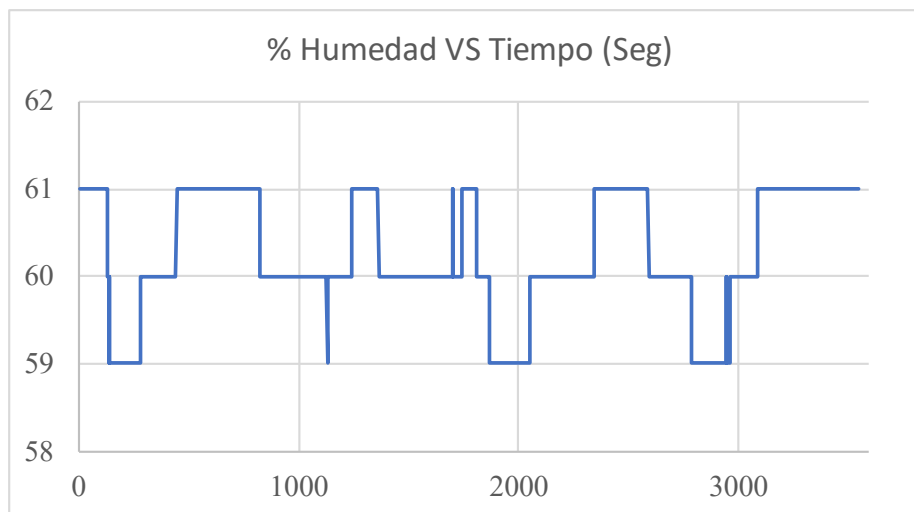
mantenerse dentro del rango deseado. Además, aunque la incertidumbre excede ligeramente nuestra tolerancia establecida, no se aleja significativamente de manera alarmante.

Este resultado también demuestra que, a pesar de algunas fluctuaciones, la temperatura permanece en un rango estrecho y generalmente constante, lo que refuerza la confianza en la estabilidad del sistema de control.

Por otro lado, también se recopilieron datos de la humedad donde se obtuvieron unos datos mucho más estables a comparación de la temperatura, esto se debe a la sensibilidad del sensor de humedad que proporciona valores enteros, omitiendo decimales.

Figura 39.

Gráfico del comportamiento de la humedad a través del tiempo.



Se evidencia que existe una brecha en los niveles de humedad, ya que no se han registrado cambios por encima del 61% ni por debajo del 59%. Al realizar un nuevo análisis de estos datos, se obtiene un promedio de humedad relativa del 60,25%, con una tolerancia bilateral de 0,6%. Estos resultados son altamente satisfactorios, ya que la humedad se encuentra dentro del rango requerido.

Es importante destacar que durante los primeros 18 días del proceso de incubación, se establece que la humedad relativa no debe exceder el 65% ni caer por debajo del 50%. En cambio, en los últimos 3 días del proceso, se requiere un ligero aumento en la humedad por encima del 65%. Dado que la humedad promedio es de 60,25% se encuentra en el rango deseado durante la mayoría del proceso y puede ser ajustada según sea necesario, estos datos indican un control efectivo y una adecuada adaptación a los requisitos específicos de cada etapa de la incubación. Esto contribuye significativamente a la probabilidad de éxito en la incubación de los huevos.

5.4.2. Desempeño del Equipo

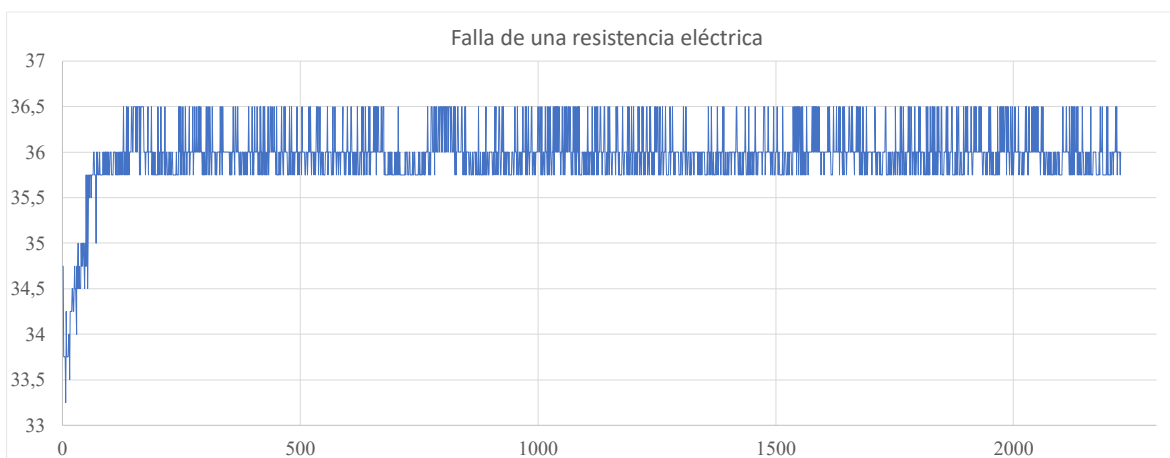
En este ítem, se tiene como objetivo evaluar la eficiencia del equipo en situaciones de fallo o daño simulado. Con este propósito, se llevaron a cabo simulaciones de posibles fallas o averías para analizar cómo el sistema responde ante circunstancias adversas.

Una de las posibles fallas que puede ocurrir es la avería de una resistencia eléctrica. Esta avería puede ser causada por sobrecarga eléctrica, desgaste, sobrecalentamiento o incluso una conexión eléctrica defectuosa. Como resultado de esta avería, la resistencia puede dejar de funcionar adecuadamente o incluso dejar de funcionar por completo.

Para evaluar el impacto de esta avería en el sistema, se tomó la decisión de desconectar una de las resistencias con el propósito de determinar si, a pesar de que una de ellas no esté funcionando, aún se puede alcanzar la temperatura deseada. Los resultados de esta prueba se reflejan en la siguiente Figura:

Figura 40.

Comportamiento del sistema funcionando sin una resistencia eléctrica.

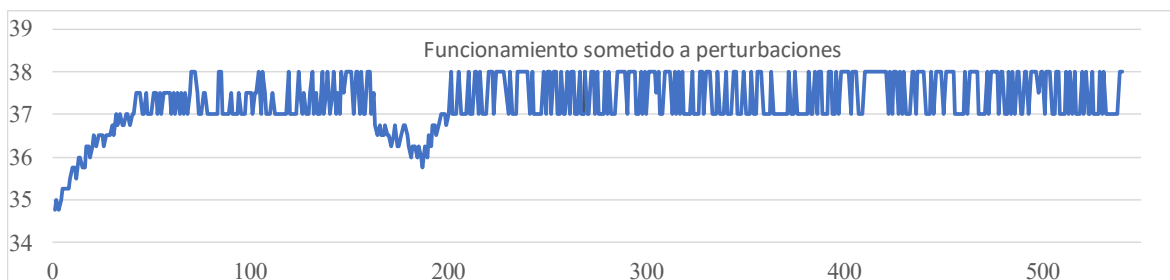


La gráfica revela un panorama preocupante en caso de que alguna de las resistencias eléctricas llegue a fallar, ya que a pesar de que la temperatura se mantiene en un rango entre 35,5°C y 36,5°C, esta cifra no cumple con nuestros requisitos. De hecho, está notablemente por debajo de la temperatura deseada de 37,5°C. Esta diferencia pone de manifiesto la importancia crítica de mantener todas las resistencias en un estado de funcionamiento óptimo para asegurar que el sistema alcance y mantenga la temperatura requerida de manera efectiva.

En una segunda instancia, se realizó una simulación que implicó la introducción de una perturbación de aire forzado en el sistema. Esta simulación tiene como objetivo evaluar la capacidad de respuesta del sistema frente a condiciones adversas, como días de lluvia y temperaturas ambientales bajas. Para llevar a cabo esta prueba, se utilizó un pequeño ventilador, comúnmente empleado para brindar confort térmico a las personas. El ventilador se mantuvo funcionando dentro de la incubadora durante un período de más de 10 minutos. Los resultados de esta simulación se representan en la siguiente Figura:

Figura 41.

Comportamiento del sistema siendo sometido a una perturbación.



Es importante aclarar que, en esta simulación, el ventilador se encendió después de haber alcanzado la temperatura deseada. Es evidente en la gráfica el momento en que el ventilador fue activado, ya que se produce una diferencia notable con respecto a los otros valores registrados. No obstante, este resultado brinda un panorama altamente satisfactorio, debido a que demuestra la capacidad del sistema para recuperarse de esta perturbación y mantener la temperatura dentro de los parámetros requeridos a pesar de la presencia continua del ventilador.

Un punto destacable es que no se observaron cambios significativos en la brecha de temperatura durante este periodo. La temperatura se mantuvo en un rango entre 37°C y 38°C, lo que indica una notable estabilidad en el control del sistema incluso en condiciones inesperadas.

En la última simulación realizada, se optó por mantener una de las puertas de la incubadora completamente abierta desde el inicio de la recopilación de datos. Los resultados de esta simulación se reflejan en la siguiente Figura:

Figura 42.

Comportamiento del sistema con la puerta abierta.



La recopilación de datos se llevó a cabo por un período de aproximadamente 20 minutos donde se evidencia la notable eficiencia del sistema en respuesta a esta situación, incluso permitiendo la posibilidad de que la puerta pueda abrirse por error. La gráfica muestra claramente cómo la temperatura se mantiene estable en un rango entre 37°C y 38°C, lo que se puede considerar como la "brecha" deseada. A pesar de algunos momentos en los que la temperatura desciende a 36,75°C, este valor representa la menor temperatura alcanzada.

Estos resultados recalcan la capacidad del sistema para mantener un control garantizado incluso en situaciones inesperadas o de error humano, lo que es esencial para garantizar que las condiciones de incubación se mantengan dentro de los parámetros requeridos.

5.4.3. Primera prueba de incubación.

Para la primera prueba fueron incubados 41 huevos los cuales fueron transportados en cubetas con arenilla para lograr conservar la integridad del embrión, estos fueron ubicados en distintas posiciones sobre las tres bandejas (Figura 25), para lograr evaluar la mayor cantidad de volumen posible.

Figura 43.

Ubicación de los huevos para la primera prueba de incubación.

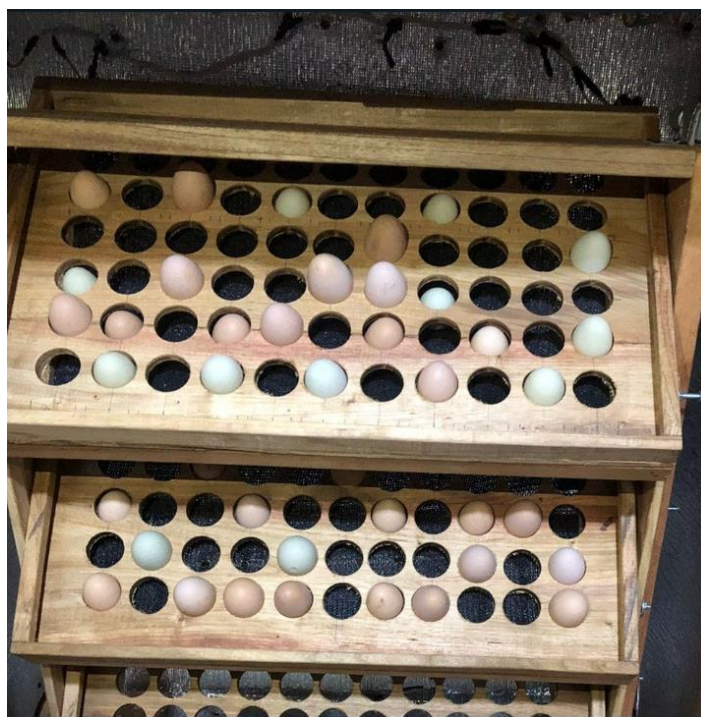
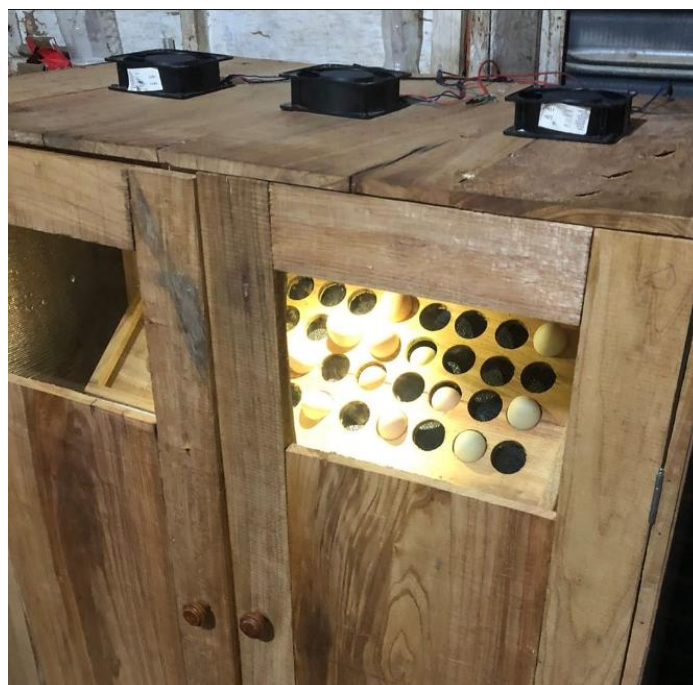


Figura 44.

Puesta en marcha primera prueba de incubación.



Una vez ubicados los huevos y configurado las variables de temperatura, humedad y rotación se dio inicio al proceso de incubación, en el día 18 de incubación los huevos fueron ubicados en la superficie de la incubadora para entrar en la última etapa de su incubación, pasados los 21 días se obtuvieron los primeros resultados, de los 41 huevos que fueron incubados, un total de 35 huevos eclosionaron de manera exitosa, es decir, se obtuvo un porcentaje de eclosión exitosa del 85%, cabe recalcar que 2 de los 6 huevos que no eclosionaron se cree que se encontraban infértiles y no eran aptos para ser incubados, ya que a diferencia de los otros no presentaron ningún indicio de desarrollo del embrión.

Figura 45.

Resultado de la primera prueba.



5.4.4. Segunda prueba de incubación.

Se realizó una segunda prueba de con la finalidad de efectuar un seguimiento más detallado del proceso de incubación, para esta prueba únicamente se incubaron 4 huevos los cuales fueron transportados sin ninguna precaución, estos fueron ubicados en distintos espacios de la incubadora (Figura).

Figura 46.

Ubicación de los huevos para la segunda prueba.



Para esta prueba, cada cierto periodo de tiempo se tomaba un huevo y se procedía a transluminar su cascara mediante una fuente de luz para captar una fotografía y poder evidenciar la evolución del embrión en el proceso de incubación.

Figura 47.

Día 0 de incubación.



Figura 48.

Día 1 de incubación.



Figura 49.

Día 3 de incubación.

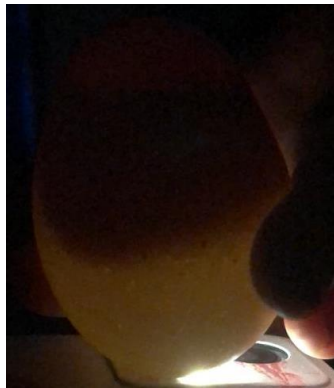


Figura 50.

Día 5 de incubación.

**Figura 51.**

Día 8 de incubación.

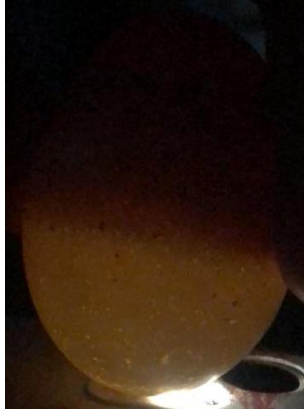
**Figura 52.**

Día 10 de incubación.



Figura 53.

Día 12 de incubación.

**Figura 54.**

Día 15 de incubación.

**Figura 55.**

Día 18 de incubación.

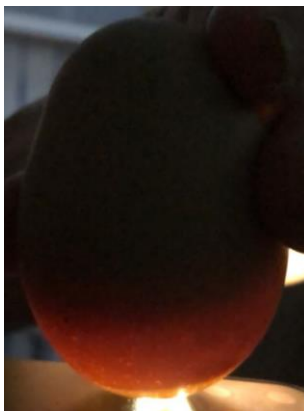
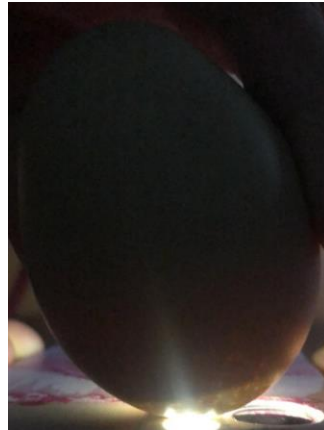


Figura 56.

Día 20 de incubación.



Como resultado final 2 de los 4 no presentamos señal de desarrollo y los demás se desarrollaron, pero no eclosionaron de manera exitosa. Cabe recalcar que los huevos fueron marcados para así poder llevar una secuencia de evolución del mismo huevo, en el Apéndice E se encuentra el proceso de evolución de otro embrión.

6. Costos

Tabla 9.

Costos por componentes eléctricos y electrónicos.

Costos por componentes eléctricos y electrónicos				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Cableado eléctrico calibre 14	Metros	5	\$ 1.200	\$ 6.000
Cableado eléctrico UTP	Metros	3	\$ 2.200	\$ 6.600
Terminales eléctricos	Unidad	20	\$ 600	\$ 12.000
Modulo relé 12 voltios	Unidad	1	\$ 2.500	\$ 2.500
Baquéelas 7x5 cm	Unidad	2	\$ 2.700	\$ 5.400
Reguladores de voltaje (L 7812)	Unidad	4	\$ 550	\$ 2.200
Limitador de corriente (LM 317T)	Unidad	1	\$ 1.500	\$ 1.500
Dimmer AC regulador de potencia	Unidad	3	\$ 64.000	\$ 192.000
Ventiladores	Unidad	3	\$ 27.000	\$ 81.000
Resistencias eléctricas 150W	Unidad	2	\$ 20.000	\$ 40.000
Resistencias eléctricas 100W	Unidad	1	\$ 15.000	\$ 15.000
Motor de 12 rpm	Unidad	1	\$ 98.000	\$ 98.000
Membrana ultrasónica humidificador	Unidad	1	\$ 18.000	\$ 18.000
Estaño	Metros	4	\$ 1.500	\$ 6.000
Pasta para soldar	Unidad	1	\$ 5.200	\$ 5.200
Cautín	Unidad	1	\$ 23.000	\$ 23.000
				\$ 514.400

Tabla 10.

Costos por componente estructurales.

Costos por componentes estructurales				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Ruedas de transporte	Unidad	4	\$ 8.500	\$ 34.000
Vidrios ventanales	Unidad	2	\$ 8.000	\$ 16.000
Colbon para madera	Unidad	1	\$ 10.000	\$ 10.000
Tornillo avance rápido 1/2"	Unidad	200	\$ 35	\$ 7.000
Puntilla 1"	Unidad	50	\$ 100	\$ 5.000
Tuercas	Unidad	18	\$ 300	\$ 5.400
Arandelas	Unidad	36	\$ 100	\$ 3.600
Tornillo 2"	Unidad	18	\$ 650	\$ 11.700
Aislante térmico	Metros	5	\$ 7.000	\$ 35.000

Bujes	Unidad	6	\$	1.000	\$	6.000
						\$ 133.700

Tabla 11.*Costos por servicios externos.*

Costos por servicios externos	
Descripción	Valor total
Carpintería	\$ 150.000
Transporte	\$ 50.000
Maquinado	\$ 50.000
	\$ 250.000

Tabla 12.*Costos totales.*

Costos totales	
Descripción	Valor total
Costos por servicios externos	\$ 250.000
Costos por componentes eléctricos y electrónicos	\$ 514.400
Costos por componentes estructurales	\$ 133.700
	\$ 898.100

7. Conclusiones

Se lograron identificar los factores ambientales críticos como las temperatura y humedad del sector de la vereda la tempestuosa, además se identificaron los parámetros de selección, almacenamiento e incubación de los huevos.

Por otro lado, se logró diseñar un espacio que cumple con las condiciones de control de temperatura, humedad y rotación de los huevos para una adecuada incubación, además se cumplió con el requisito de capacidad de la incubadora.

También, se logró llevar a cabo la construcción de la incubadora la cual cumplió las condiciones de resistencia y transferencia de calor, obedeciendo los requerimientos necesarios para el proceso de incubación.

Finalmente, se efectuó la evaluación de desempeño del sistema automatizado, donde se realizaron una serie de pruebas simulando diversas fallas, averías y posibles daños del sistema para analizar el comportamiento del equipo cuando es sometido a situaciones adversas, además se llevó a cabo el proceso de incubación de 41 huevos ubicados en distintas posiciones sobre las bandejas, de los cuales eclosionaron de manera exitosa 35 huevos dejando una eficiencia del 85% para una primera prueba, mientras que en la segunda prueba fueron incubados 4 huevos de los cuales 2 no se desarrollaron y los demás se desarrollaron pero no nacieron de manera exitosa.

En ambas pruebas las condiciones de la incubadora fueron las mismas, el principal factor diferencial fue el método de transporte de los huevos del galpón a la incubadora, lo que resalta un nuevo parámetro crítico en la eficiencia del proceso de incubación.

8. Recomendaciones

Aunque el sistema está operando correctamente, es valioso proporcionar algunas recomendaciones para proyectos futuros relacionados con el desarrollo de incubadoras.

Una de las mejoras que merece mayor prioridad es la incorporación de una fuente de energía alternativa para la incubadora debido a que en las zonas rurales no se cuenta con un servicio de energía estable, además de la incorporación de un ovoscopio, este componente resulta esencial para verificar la fertilidad de los huevos antes de la incubación, ya que mediante una fuente de luz permite examinar la presencia de venas y determinar si un huevo es apto para la incubación.

También es de vital importancia la incorporación de un dispositivo y protocolo para el desplazamiento de los huevos, que garantice la conservación del embrión. Esto puede parecer insignificante, pero es primordial que en el momento de trasladar los huevos del galpón a la incubadora no sean sometidos a movimientos bruscos que puedan afectar su condición de fertilidad.

Además, Se recomienda la elaboración de un plano eléctrico completo. Este plano servirá como una valiosa referencia para los usuarios, permitiéndoles comprender la estructura y el funcionamiento del sistema eléctrico de la incubadora. Convirtiéndose en una herramienta fundamental para la identificación y resolución de posibles incidencias, contribuyendo así a la eficacia y la seguridad del uso continuo de la incubadora.

Finalmente, se hace énfasis en la importancia de elaborar un manual de mantenimiento para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar la vida útil del equipo. Proporcionando instrucciones detalladas de cómo se debe llevar a cabo de manera adecuada el mantenimiento del

equipo, por otro lado, esto permitirá ayudar a identificar y abordar posibles averías y brindar seguridad al propietario del equipo.

Bibliografía

- Adengbero, A., Ogunbode, O., Godwin, E., & Muyideen, A. (2020). DESIGN AND CONSTRUCTION OF AUTOMATED EGGS INCUBATOR FOR SMALL SCALE POULTRY FARMERS. *International Journal of Technical Research & Science*. doi:<https://doi.org/10.30780/IJTRS.V05.I08.001>
- Agrovet. (2023). *Guia para la incubacion de huevos fertiles*. Recuperado el Diciembre de 01 de 2023, de <https://blog.agrovetmarket.com/guia-huevos-fertiles/>
- Barboza, C. (2021). *DISEÑO DE UNA INCUBADORA DE HUEVOS DE GALLINA PARA LAS GRANJAS PRODUCTORAS Y COMERCIALIZADORAS AVICOLAS EN EL MUNICIPIO DE BECERRIL-CESAR*. Bogotá D.C.
- Castellanos, S. (2022). Diseño y construcción de un prototipo de incubadora de huevos de ave de corral como proyecto de investigacion en la extensión de tecnoacademia nodo tolima. *MODUM*, 3. Obtenido de https://revistas.sena.edu.co/index.php/Re_Mo/article/view/4540
- Cuéllar, J. (22 de Junio de 2022). *Panorama del sector avícola de Colombia*. Obtenido de Veterinaria Digital: <https://www.veterinariadigital.com/articulos/panorama-del-sector-avicola-de-colombia-cifras-y-retos/>
- Hamrock, B. J., Jacobson , B., & Schmid, S. (2000). *Elementos de Maquinas*.
- IEC. (2018). *La producción mundial de huevos continúa creciendo*. Obtenido de International Egg Comission: <https://www.internationalegg.com/es/resource/global-egg-production-continues-to-grow/#:~:text=En%20los%20%C3%BAltimos%20diez%20a%C3%B1os,del%2024%25%20en%20diez%20a%C3%B1os>

- Macas, C., & Salazar, C. (2022). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INCUBADORA DE HUEVOS IMPLEMENTANDO CONTROL DE CO2*. Cuenca.
- Marques, C., Pinheiro, P., & Justino, G. (2022). Optimized protocol for obtaining and characterizing primary neuron-enriched cultures from embryonic chicken brains. *ScienceDirect*, 3(4).
- Mendez, J., & Rodriguez, L. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MAQUINA INCUBADORA DE HUEVOS DE CODORNIZ PARA PRODUCCIONES INTEGRALES DE CHICAMOCHA (PIC)*. Bucaramanga.
- Mohamed Mostafa, E.-A. (11 de Mayo de 2020). *Volteo del huevo durante la incubación*. Obtenido de Emtech: <https://www.emtech-systems.com/es/charlas-tecnicas/egg-turning-during-incubation-a-review-by-mohamed-mostafa-el-ashram/>
- Mostafa, M. (11 de Mayo de 2020). *Emtech*. Obtenido de Emtech: <https://www.emtech-systems.com/es/>
- Polyedro. (2023). *¿Qué porcentaje de huevos de gallina eclosionarán?* Obtenido de [Entrada de blog]: <https://www.polyedro.es/que-porcentaje-de-huevos-de-gallina-eclosionaran/>
- Ramón, Á. (2019). *Diseño y construccion de un prototipo de incubadora con supervision inteligente para la eclosion de huevos [Tesis de titulacion, Escuela superior politécnica de chimbonazo]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13693/1/108T0315.pdf>
- Rodríguez T., D. K. (01 de Octubre de 2023). *En 2022 se han producido 4.160 millones de huevos en Colombia*. Obtenido de Portafolio: <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/huevos-en-colombia-datos-de-produccion-y-consumo-en-2022-565519>

- Ruiz, N., Orrego, G., & Silva, M. (Marzo de 2016). Aumento de la Temperatura de Incubación en Huevos de Gallina Araucana (*Gallus inauris*): Efecto sobre la Mortalidad Embrionaria, Tasa de Eclosión, Peso del Polluelo, Saco Vitelino y de Órganos Internos. *International Journal of Morphology*, 57-62. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022016000100009>
- Shehzad, Z., Hira, Z., Hameed, U. R., Gulfam, B., Muhammad, J., & Mujaddad-Ur, R. (2016). Incubation and hatching chicken eggs by heat of 80-watt light bulb without any apparent side effect. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 702-704.
- Smith, T. (17 de Septiembre de 2013). *Avicultura*. Obtenido de Avicultura: <https://www.avicultura.mx/>
- Sonelastic. (2022). *Informativo Científico-Técnico: Maderas*. Obtenido de Sonelastic: <https://www.sonelastic.com/es/fundamentos/tablas-propiedades-materiales/maderas.html>
- Vargas, J., Masaquiza, D., & Ortiz, N. (2021). Parámetros productivos en la incubación de huevos considerados como no aptos procedentes de reproductoras pesadas. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 6(12), 488-497. doi:<https://doi.org/10.35381/r.k.v6i12.1371>
- Weather Atlas. (2023). *Clima y previsión meteorológica mensual San Vicente de Chucurí, Colombia*. Obtenido de <https://www.weather-atlas.com/es/colombia/san-vicente-de-chucuri-clima>

Apéndices

Apéndice A.

Encuesta de caracterización comunidad de la vereda la tempestuosa.

Figura A1.

Información recopilada en la encuesta de caracterización sector vereda la tempestuosa.

ENCUESTA DE CARACTERIZACION	¿Metodo de incubación que utiliza actualmente?				¿Su encuentra satisfecho con la eficiencia de dicho metodo?		¿Tiene conocimiento sobre la incubacion automatica?		¿Le interesaria implementar la incuacion automatica?		¿Cuál cree que es el principal factor que dificultaria la implementacion de una incubadora automatica?
	Natural	Manual	Semiautomatico	Automatico	Si	No	Si	No	Si	No	
Familia Barrera	X					X	X		X		Costo
Familia Benavides		X				X		X	X		Energia
Familia Luna	X				X			X		X	Costo
Familia Pereira	X				X			X		X	Costo
Familia Angulo		X				X	X		X		Energia
Familia Jaramillo		X			X		X		X		Energia
Familia Quiroga	X					X		X	X		Costo

De acuerdo a la información obtenida en la encuesta de caracterización, se evidencian dos principales factores que dificultarían la implementación de la incubadora, el primer factor es el costo, ya que el adquirir un dispositivo de estas características puede significar un gasto considerable para los pequeños avicultores, además, existe muy poca variedad y poca información en el mercado lo que dificulta aún más su adquisición, por otro lado, el factor más crítico es el energético, debido a que la mayoría de los sectores rurales se presentan problemas con el servicio de energía, lo que podría generar perturbaciones en el proceso de incubación y afectar la efectividad de esta.

Apéndice B.*Directrices para la evaluación de los materiales.***Tabla B1.***Directrices para el factor de disponibilidad.*

Disponibilidad	Puntuación
Muy difícil de encontrar	1
Difícil de encontrar	2
Moderadamente disponible	3
Fácilmente disponible	4
Muy fácil de encontrar	5

(1) Muy difícil de encontrar: El material es muy raro o no se encuentra disponible localmente. Requiere importación especial o es producido por muy pocos fabricantes.

(2) Difícil de encontrar: El material está disponible a nivel nacional, pero con proveedores limitados. Puede requerir un esfuerzo considerable para adquirirlo o tener tiempos de entrega largos.

(3) Moderadamente disponible: El material se puede encontrar con cierta facilidad. Hay algunos proveedores que lo ofrecen.

(4) Fácilmente disponible: El material es ampliamente accesible a través de varios proveedores.

(5) Muy fácil de encontrar: El material es extremadamente común y se puede adquirir en una amplia variedad de tiendas o proveedores. Está disponible de forma inmediata en la mayoría de las áreas geográficas.

Tabla B2.*Directrices para el factor de costo.*

Costo	Puntuación
Muy caro	1

Caro	2
Moderado	3
Económico	4
Muy económico	5

(1) Muy caro: El material tiene un costo que excede significativamente el presupuesto del proyecto. Su adquisición podría justificarse solo por beneficios únicos o específicos que ningún otro material puede ofrecer.

(2) Caro: El material es costoso y su compra afectaría el presupuesto del proyecto de manera considerable. Su elección necesitaría una justificación basada en ventajas claras en términos de rendimiento o durabilidad.

(3) Moderado: El costo del material es razonable y está dentro de un rango aceptable para el presupuesto del proyecto. Representa un compromiso equilibrado entre precio y calidad.

(4) Económico: El material tiene un costo bajo que impacta mínimamente el presupuesto del proyecto. Su adquisición permite una mejor distribución de recursos en otras áreas necesarias.

(5) Muy económico: El material es extremadamente económico y ofrece la opción más rentable sin comprometer significativamente la calidad o la eficacia del proyecto. Es ideal para presupuestos muy limitados o para maximizar la eficiencia del gasto.

Tabla B3.

Directrices para el factor de resistencia a la humedad.

Resistencia a la humedad	Puntuación
Muy baja resistencia	1
Baja resistencia	2
Resistencia moderada	3
Alta resistencia	4
Muy alta resistencia	5

(1) Muy baja resistencia: El material se degrada o se daña fácilmente en presencia de humedad, incluso en exposiciones cortas.

(2) Baja resistencia: El material puede soportar una exposición limitada a la humedad, pero muestra signos de deterioro o cambios en sus propiedades con el tiempo.

(3) Resistencia moderada: El material tiene una capacidad aceptable para resistir los efectos de la humedad. Puede necesitar algún mantenimiento ocasional para prevenir daños a largo plazo.

(4) Alta resistencia: El material resiste bien la exposición a la humedad, manteniendo su integridad y funcionalidad durante largos períodos.

(5) Muy alta resistencia: El material es prácticamente inmune a los efectos de la humedad. No se degrada ni pierde propiedades incluso en ambientes extremadamente húmedos. Es ideal para aplicaciones donde la humedad es una preocupación constante.

Tabla B1.

Directrices para el factor durabilidad.

Durabilidad	Puntuación
Muy baja durabilidad	1
Baja durabilidad	2
Durabilidad moderada	3
Alta durabilidad	4
Muy alta durabilidad	5

(1) Muy baja durabilidad: El material es extremadamente susceptible al desgaste o daño, incluso con un uso cuidadoso y mantenimiento. Requiere reemplazos o reparaciones frecuentes, lo que podría incrementar los costos a largo plazo.

(2) Baja durabilidad: El material puede soportar un uso limitado antes de mostrar signos de deterioro. Es probable que necesite mantenimiento regular y posiblemente reemplazos periódicos para mantener la incubadora en condiciones óptimas de funcionamiento.

(3) Durabilidad moderada: El material tiene una vida útil aceptable y puede manejar un uso regular sin deteriorarse rápidamente. Requiere un mantenimiento moderado para preservar su condición a lo largo del tiempo.

(4) Alta durabilidad: El material resiste bien el desgaste y mantiene su integridad y funcionalidad durante un largo período bajo uso regular.

(5) Muy alta durabilidad: El material es excepcionalmente resistente al desgaste, la degradación y el daño, incluso bajo uso intensivo. Es ideal para una inversión a largo plazo, ya que minimiza la necesidad de mantenimiento y reemplazo.

Tabla B1.

Directrices para las propiedades de aislante térmico.

Aislante térmico	Puntuación
Muy baja capacidad aislante	1
Baja capacidad aislante	2
Capacidad aislante moderada	3
Alta capacidad aislante	4
Muy alta capacidad aislante	5

(1) Muy baja capacidad aislante: El material tiene una capacidad mínima para mantener una temperatura constante, permitiendo fluctuaciones significativas que pueden ser perjudiciales para el proceso de incubación. No es recomendable para ambientes donde el control térmico es crucial.

(2) Baja capacidad aislante: El material ofrece cierta resistencia térmica, pero no es suficiente para evitar variaciones de temperatura en condiciones extremas o fluctuaciones ambientales.

(3) Capacidad aislante moderada: El material proporciona un nivel aceptable de aislamiento térmico, manteniendo la temperatura dentro de un rango adecuado para la incubación de huevos.

(4) Alta capacidad aislante: El material es muy eficaz en mantener condiciones de temperatura estables dentro de la incubadora, minimizando la influencia de las variaciones de temperatura externas. Es adecuado para la mayoría de las aplicaciones de incubación sin necesidad de intervenciones frecuentes.

(5) Muy alta capacidad aislante: El material ofrece un excelente aislamiento térmico, garantizando una temperatura interna constante incluso bajo condiciones ambientales extremas. Es ideal para aplicaciones críticas donde el control preciso de la temperatura es vital para el éxito de la incubación.

Apéndice C.

Configuraciones de distribución de temperatura evaluadas.

Figura C1.

Fase 1, Opción 1.

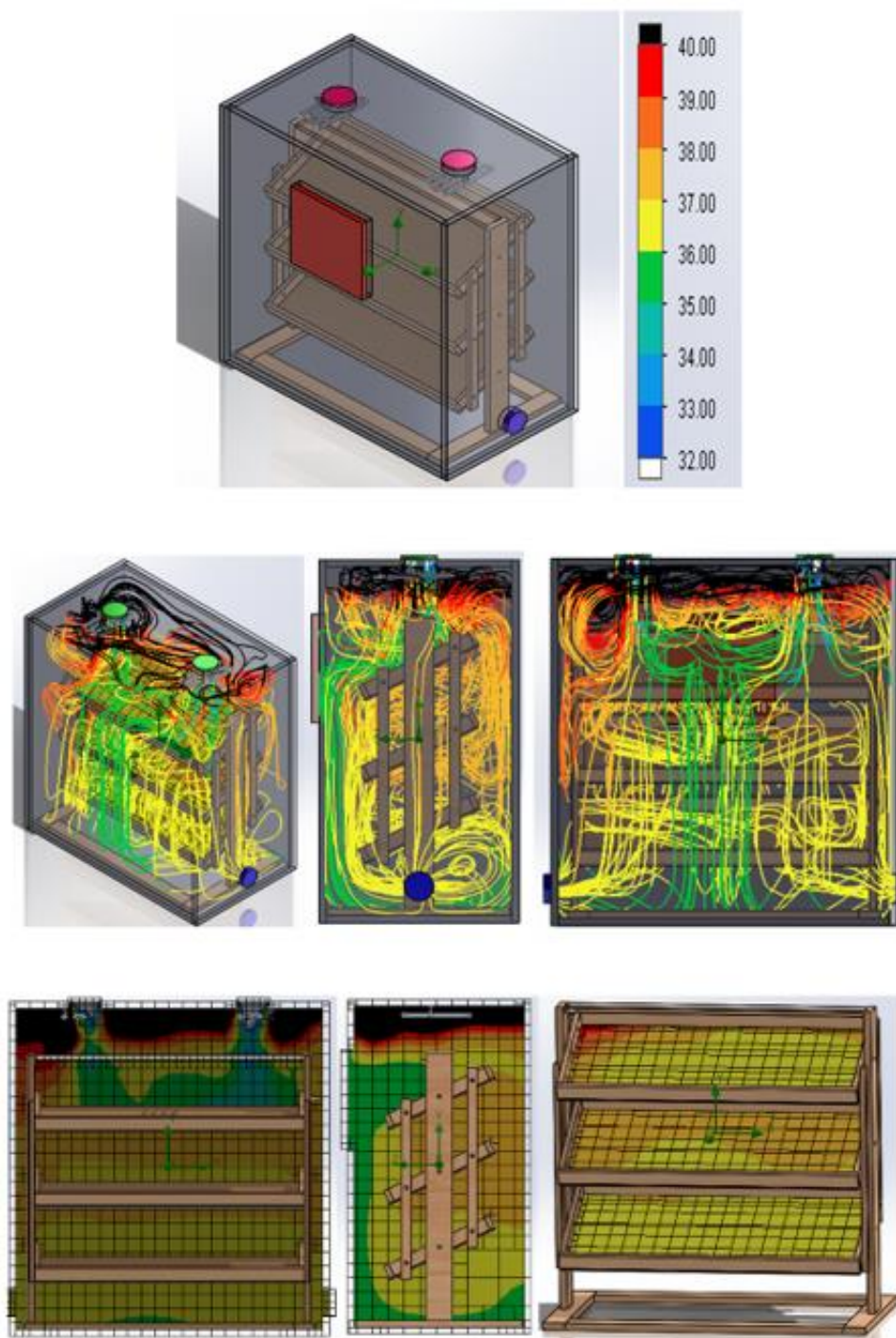


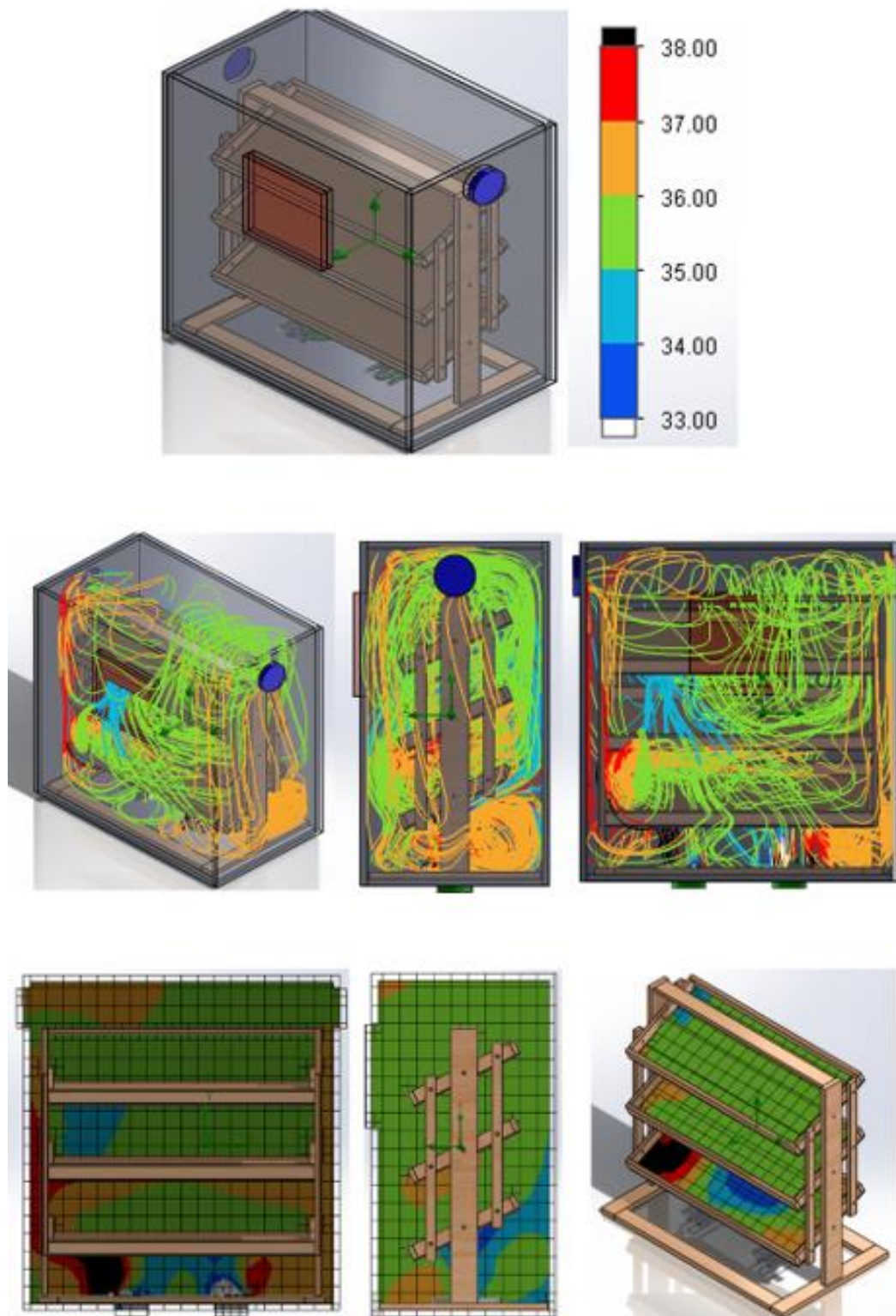
Figura C2.*Fase 1, Opción 2.*

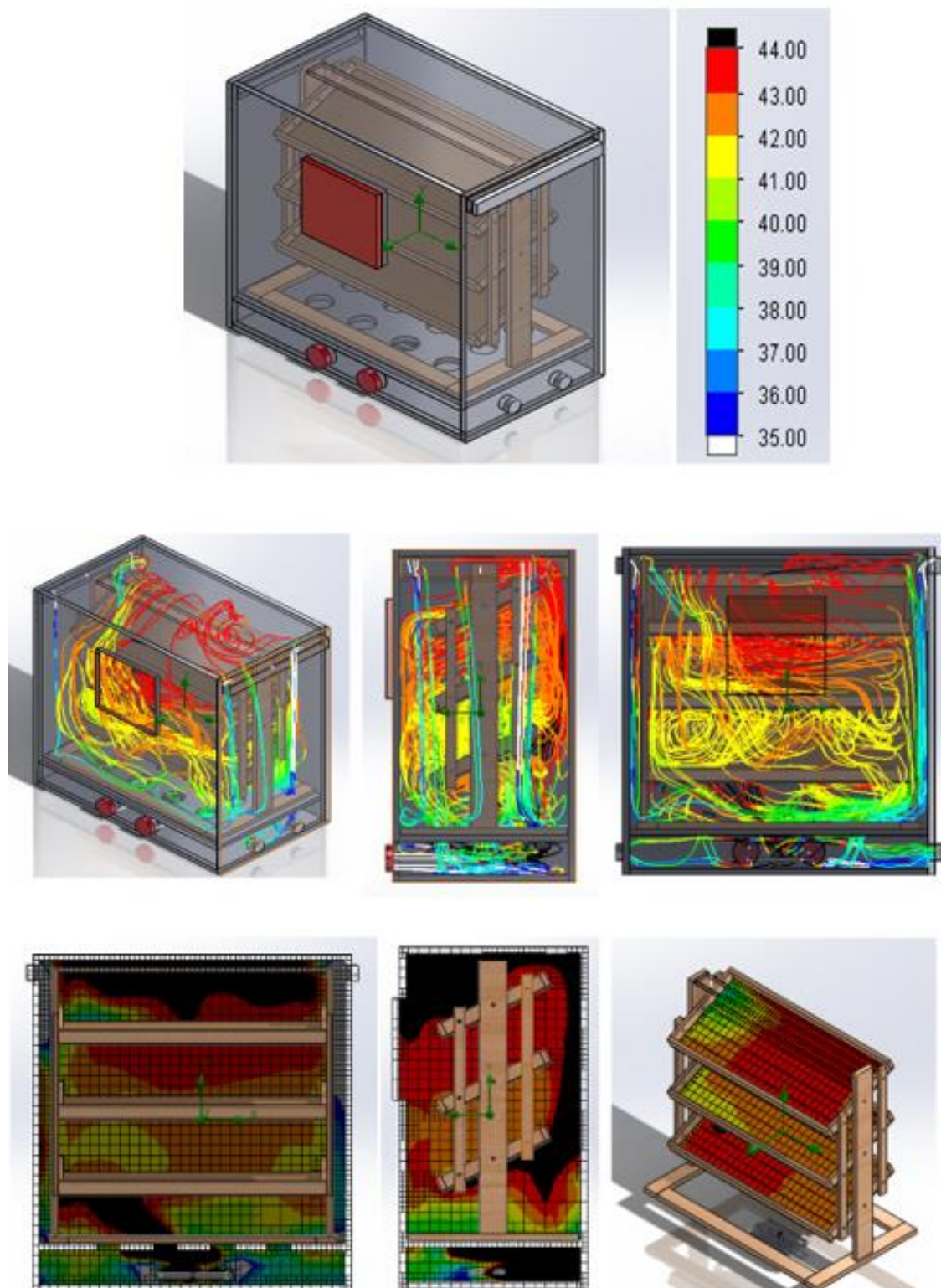
Figura C3.*Fase 1, Opción 3.*

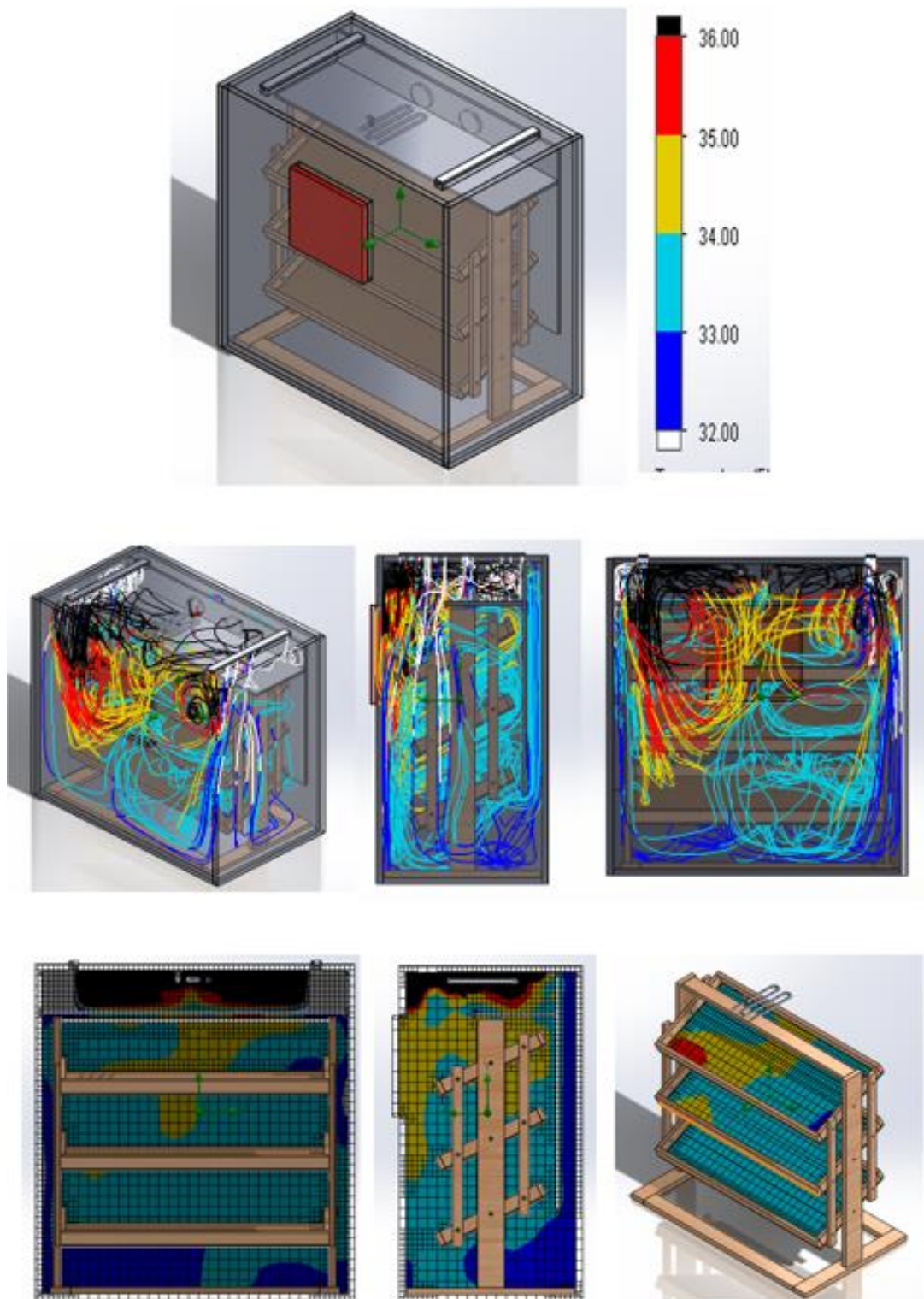
Figura C4.*Fase 1, Opción 4.*

Figura C5.

Fase 2, Opción 1.

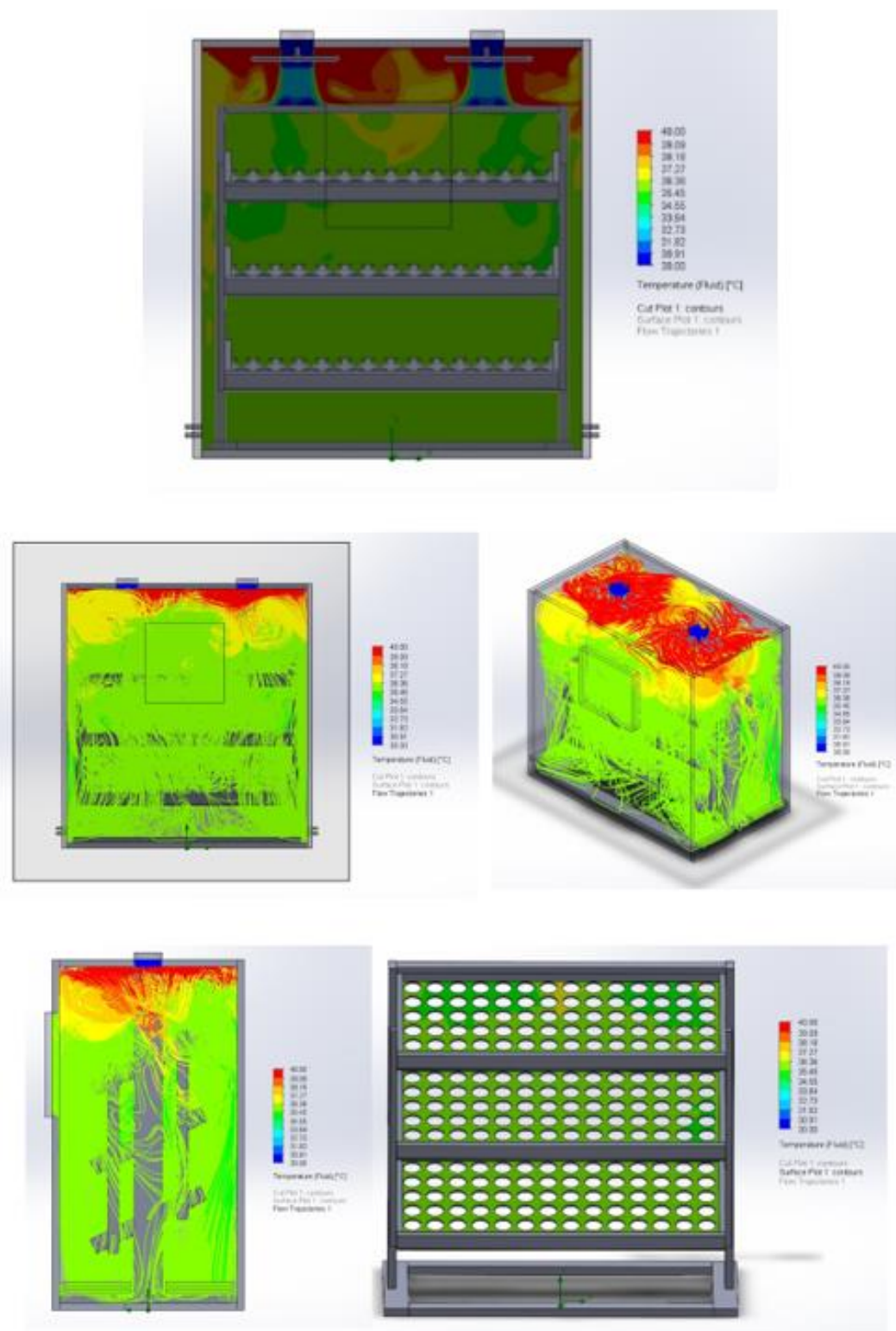


Figura C6.

Fase 2, Opción 2.

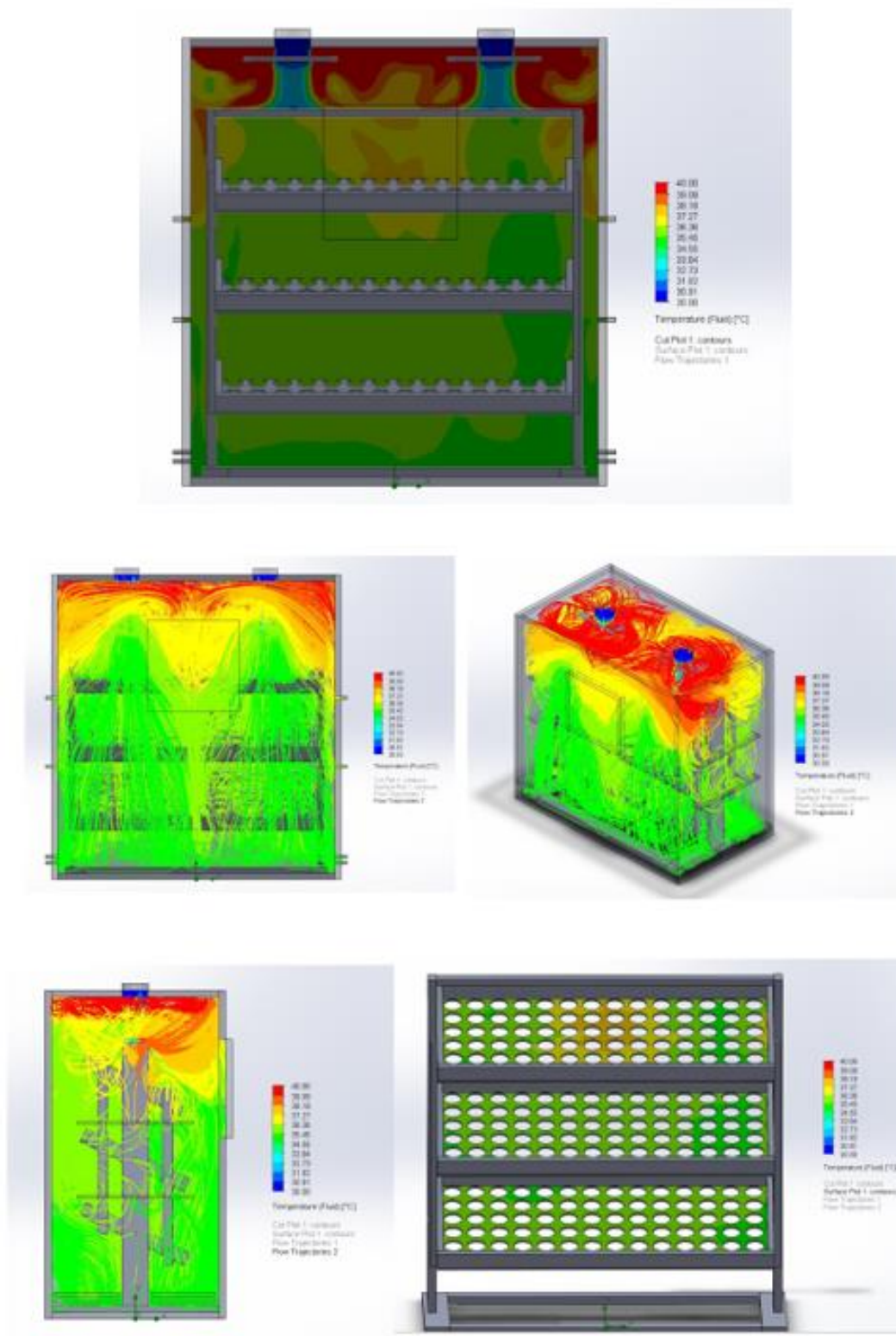


Figura C7.

Fase 2, Opción 3.

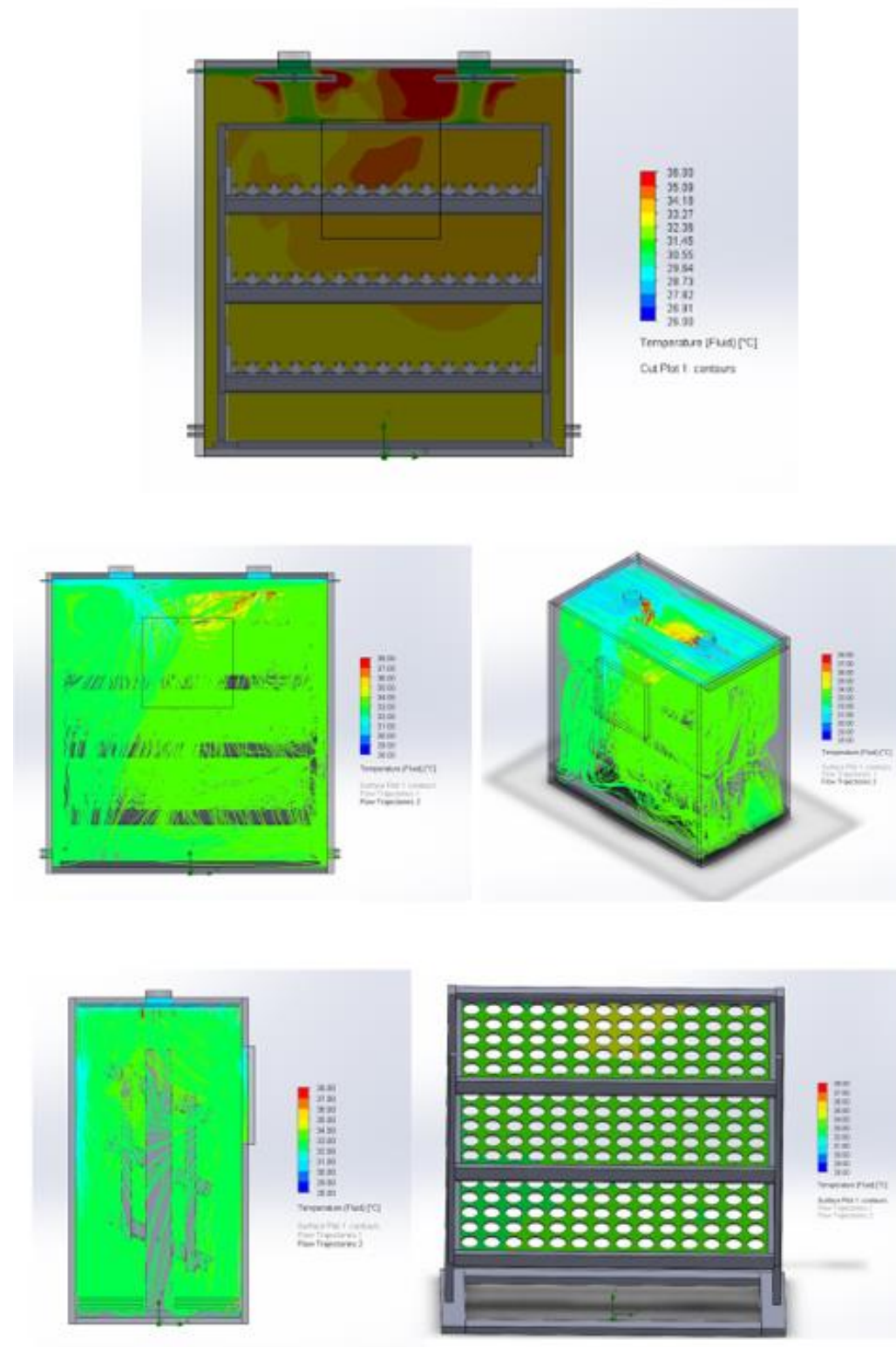
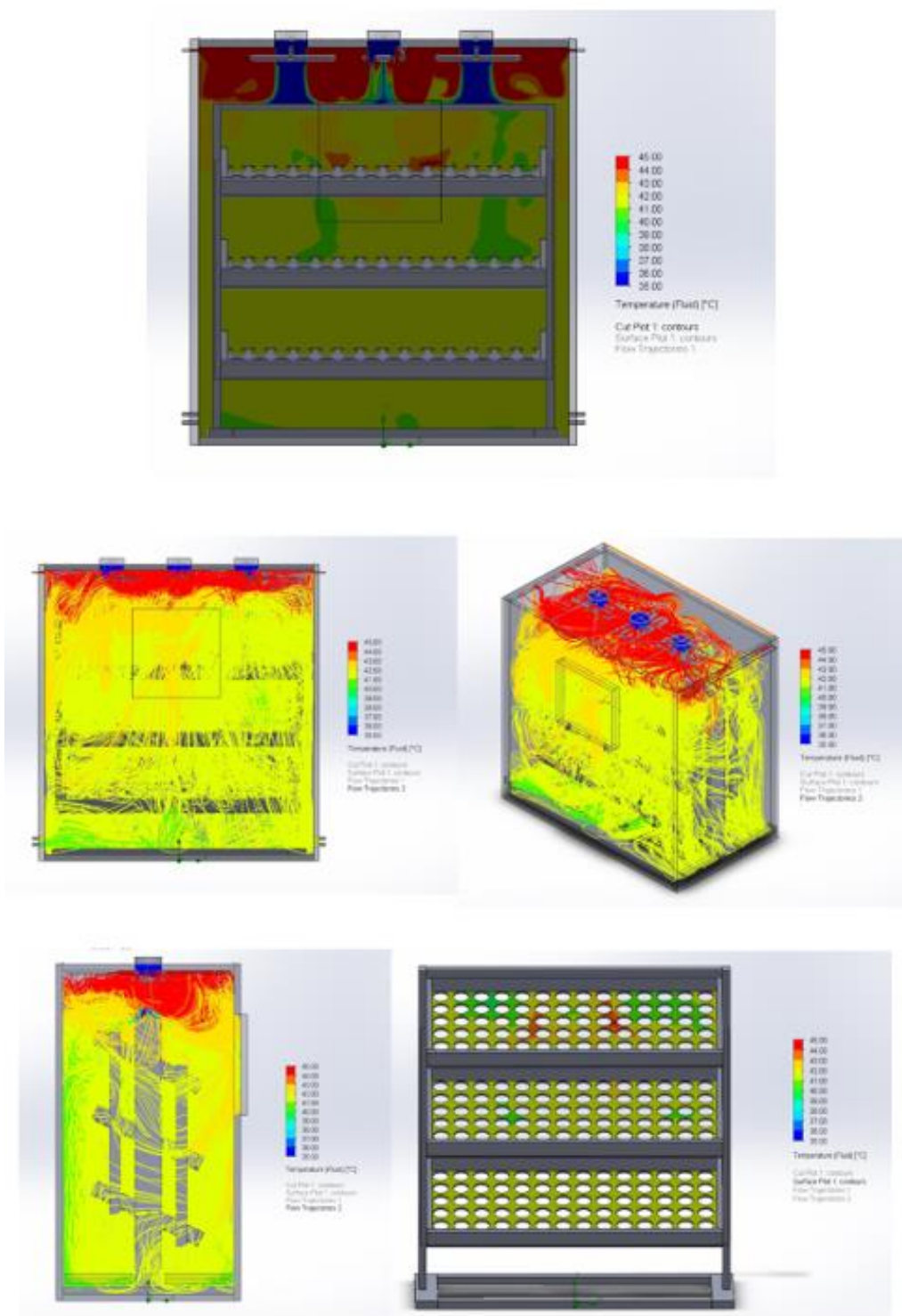


Figura C8.

Fase 2, Opción 4.



Apéndice D.

Características de los componentes electrónicos.

Toma de datos: La elección de utilizar un Arduino Mega para el control de datos relevantes como la temperatura y la humedad en la incubadora fue debido a su asequibilidad, calidad y facilidad de uso. Lo que lo convierte en una opción popular para proyectos de automatización y control.

Además, el Arduino Mega se destaca por su abundancia de pines de entrada y salida, lo que proporciona la flexibilidad necesaria para integrar una amplia variedad de componentes electrónicos en la incubadora. Esto es especialmente valioso cuando se requiere supervisar y controlar múltiples variables, como la temperatura y la humedad, como en el caso de una incubadora.

Figura D1.

Arduino Mega.



Temperatura y su control: El sistema de calefacción de la incubadora se compone de dos resistencias eléctricas de 150 W y una de 100 W, con valores de resistencia de 80 y 120 ohmios, respectivamente. Estas resistencias, con una apariencia similar a resortes, son maleables y pueden ser moldeadas para adaptarse a la forma deseada.

Figura D2.

Resistencia eléctrica.



Además, se seleccionó una termocupla tipo K con el sensor Max 6675 para medir la temperatura debido a su confiabilidad y precisión en la medición de temperaturas en una amplia gama de aplicaciones. Esta es una opción económica, lo que lo hace aún más atractivo para proyectos como la incubadora de huevos.

La capacidad de este sensor para ofrecer mediciones precisas y su amplio rango de temperatura lo convierten en una buena opción para garantizar un control preciso de la temperatura dentro de la incubadora. La exactitud en la medición de la temperatura es crítica en este tipo de aplicaciones, ya que afecta directamente el éxito del proceso de incubación y el desarrollo de los huevos.

Figura D3.*Termocupla tipo K***ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Corriente de trabajo: 50mA
- Rango de Temperaturas Termocupla: -200°C hasta 1300°C
- Resolución Transmisor MAX6675: 12 bits (0°C - 1023°C)
- Resolución de temperatura: 0.25°C
- Interfaz de comunicación: SPI
- Posee agujeros para montaje
- Dimensiones: 25*15*13 mm

Además, para lograr un control preciso de la temperatura dentro de la incubadora, se ha optado por utilizar un dimmer de corriente alterna. Este componente electrónico desempeña un papel fundamental al permitir la regulación del voltaje de salida que alimenta a las resistencias, lo que, a su vez, modula la capacidad calorífica de las mismas.

La selección de un dimmer se destaca por ser una solución efectiva y versátil para el control térmico en la incubadora. Gracias a su capacidad para ajustar la potencia eléctrica suministrada de manera continua y gradual, logra mantener un entorno térmico estable y controlado, lo cual es esencial para el éxito del proceso de incubación.

Figura D4

Modulo Dimmer.

- Voltaje de Control: 3.3-5V DC
- Voltaje de Carga: 110/220V AC (máx.)
- Frecuencia AC: 50/60 Hz
- Corriente nominal carga: 4A
- Corriente máxima carga: 8A
- Potencia de carga: 1000W máx.
- Triac: BTA16
- Aislamiento óptico con: MOC3021 y PC817
- Dimensiones: 54*28*35 mm
- Peso: 20 gramos



Humedad y su Control: El encargado de la medición de la humedad en la incubadora es un DHT 11, este sensor es capaz de medir humedad en un rango amplio, que va desde el 20% hasta el 90%, lo que lo hace adecuado para una variedad de aplicaciones, incluyendo la incubación de huevos.

Además de su versatilidad, el sensor DHT 11 es apreciado por su facilidad de uso, especialmente en el contexto de Arduino. La disponibilidad de numerosas bibliotecas y recursos en Arduino simplifica la integración de este sensor en el proyecto de la incubadora, lo que facilita la medición y el control precisos de la humedad, un aspecto esencial para el éxito del proceso de incubación.

Figura D5.

Sensor DHT11.



También se usará una membrana ultrasónica de humidificador para controlar la humedad en la incubadora, esto es necesario especialmente si el entorno donde se encuentra la incubadora es naturalmente seco. Este tipo de membrana funciona mediante ciclos de encendido y apagado, atomizando partículas ultras finas de líquido para generar vapor frío y aumentar la humedad en el ambiente de la incubadora.

La membrana ultrasónica es una opción comúnmente utilizada en el ámbito de la incubación de huevos debido a su confiabilidad y capacidad para mantener niveles de humedad adecuados sin un funcionamiento constante. Esto es particularmente beneficioso en un entorno ya húmedo, ya que evita la saturación excesiva de humedad.

Figura D6.

Membrana ultrasónica humidificadora.



Especificaciones técnicas:

Tipo: placa de película atomizador
 Color: Blanco
 Diámetro: 16 mm diámetro disco metálico y 20 mm anillo de goma microporo.
 Voltaje de entrada: 5 a 13V DC
 Potencia: 2.5W máx. (Uso normal 1.5W)
 Frecuencia resonante: 108.0 kHz \pm 5.0 kHz
 Impedancia resonante: 150 Ohm max
 Tensión nominal: 70Vp-p max.
 Esperanza de vida: > 3000 horas
 Atomización : 50 - 100ml / hora
 Longitud del cable: 80 mm

Circulación y Renovación del Aire: El uso de ventiladores es fundamental para la distribución uniforme de temperatura, prevención de puntos calientes y fríos, además, asegura que la incubadora sea un entorno estable. Por lo tanto, al existir tres resistencias eléctricas es necesario del uso de tres ventiladores, esto ayudara en la recirculación y renovación del aire dentro de la incubadora. A continuación, sus especificaciones:

Figura D7.

Ventilador.



MARCA	Enerlux
POTENCIA	21W
VOLTAJE	AC 110/220V
UNIDAD DE FRECUENCIA Hz	50/60Hz
TIPO DE CONEXIÓN	POSITIVO NEUTRO
REVOLUCIONES POR MINUTO	2600 RPM
CAUDAL m3/seg y m3/min	0.04 m3/seg
TIPO DE MATERIAL CARCASA	ALUMINIO
TIPO DE MATERIAL ASPA	PC
MATERIAL REJILLA PLÁSTICA	NO APLICA
USO	INTERIOR
FACTOR DE POTENCIA P.F.	P.F. >0.5

Rotación de los Huevos: El objetivo central de la incubadora es lograr una automatización completa de sus funciones, y en este contexto, la elección del componente para la rotación de los huevos reviste una importancia crucial. Se ha optado por utilizar un motorreductor de 12 voltios con características específicas como bajas revoluciones, alto torque y la capacidad de funcionar en ambas direcciones, lo que lo hace reversible.

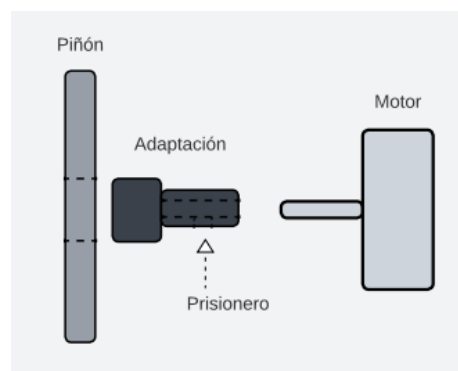
Figura D8.*Motorreductor.***Características**

Numero de modelo:	4632-370 /1019
Tensión de Trabajo:	12V
Corriente sin carga:	200 mA
Velocidad Sin Carga:	12 RPM
Relación Piñones:	1:1019
Torque Con Carga:	25 Kg.cm
Potencia:	10W
Corriente con carga nominal:	2.3 A
Corriente con Motor Bloqueado:	5.5 A

Además de su capacidad de proporcionar el torque necesario para la rotación, este motorreductor también cumple con los requisitos de potencia específicos para el sistema de rotación de la incubadora. Esto garantiza que el motorreductor pueda manejar la tarea de rotación de los huevos de manera efectiva y sin problemas.

Este motorreductor cuenta con un eje de tan solo 6 milímetros, lo que presenta un desafío importante relacionado con la obtención de un piñón que encaje en el eje.

Para esto se fabricó un eje donde encaja el piñón y el eje del motor, como se evidencia en la Figura D9:

Figura D9.*Mecanismo de transmisión.*

El eje del motorreductor fue mecanizado mediante el uso de un torno, teniendo en cuenta las especificaciones necesarias en términos de medidas y diseño. Con el eje mecanizado, se logra una integración exitosa del motorreductor en el sistema de rotación de la incubadora, asegurando su funcionamiento óptimo.

Figura D10.

Piñón de transmisión.



Con el piñón instalado en el motorreductor, se procede a la instalación de una cadenilla que desempeñará un papel fundamental al transmitir el movimiento desde el motorreductor al sistema de rotación de las bandejas de la incubadora.

Figura D11.

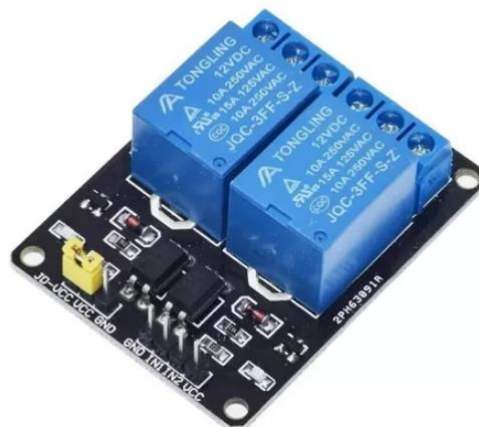
Sistema de rotación.



Por último, se requirió de la elaboración de un puente H utilizando módulos de relés para lograr un inversor de giro en el motorreductor de la incubadora. Un puente H es un circuito que permite controlar la dirección del giro de un motor de corriente continua al invertir la polaridad de la corriente que fluye a través de él. En este caso, se ha implementado utilizando módulos de relés, que son interruptores controlados electrónicamente.

Figura D12.

Modulo relé.

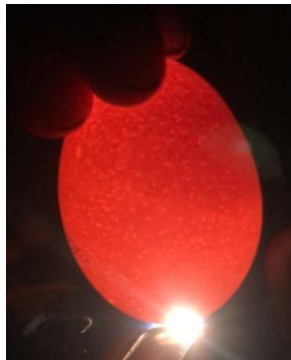


Apéndice E.

Evolución del huevo X durante la incubación.

Figura E1.

Día 0 de incubación.

**Figura E2.**

Día 2 de incubación.

**Figura E3.**

Día 4 de incubación.

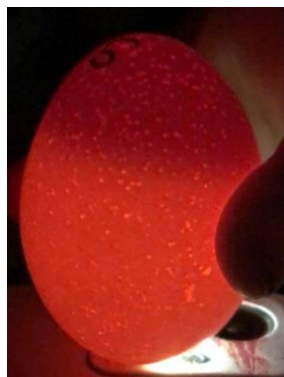
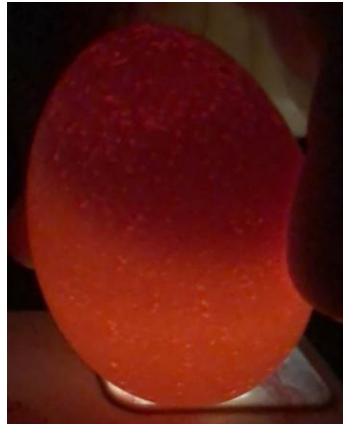


Figura E4.

Día 7 de incubación.

**Figura E5.**

Día 9 de incubación.

**Figura E6.**

Día 12 de incubación.

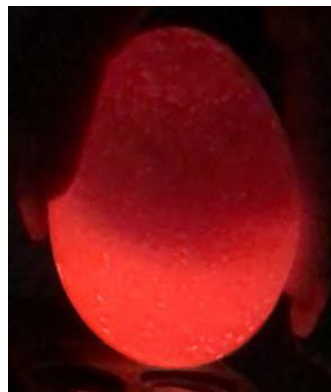
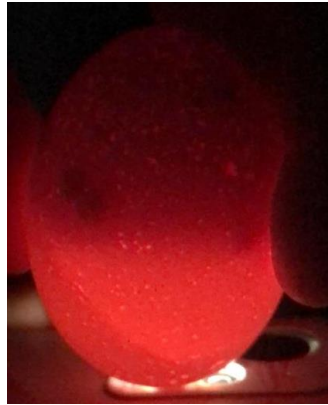


Figura E7.

Día 14 de incubación.

**Figura E8.**

Día 15 de incubación.

**Figura E9.**

Día 17 de incubación.

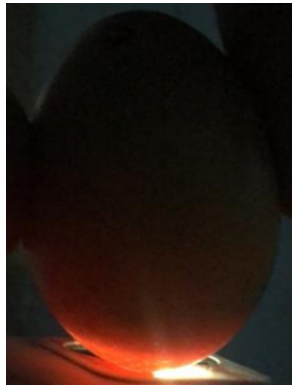


Figura E10.

Día 18 de incubación.

**Figura E11.**

Día 19 de incubación.

**Figura E12.**

Día 20 de incubación.

