



UNIVERSIDAD DE  
**COSTA RICA**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Diseño de un prototipo de incubadora para  
huevos de gallina con micro-controladores  
arduinos, utilizando como fuente de potencia  
eléctrica paneles solares fotovoltaicos

Trabajo final de graduación sometido a la consideración de la

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

como parte de los requisitos  
para aspirar al título y grado de

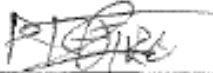
LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA

**Fleiser Francisco Hidalgo Carrillo**  
**Max Alejandro Ramírez Ugalde**

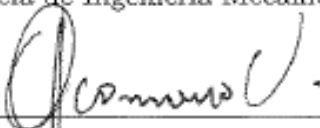
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio  
Agosto de 2022

## Hoja de tribunal


Este proyecto de graduación fue aceptado por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado y título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica.

  
\_\_\_\_\_  
Director de la Unidad Académica  
Dr. Pietro Scaglioni Solano  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica

  
\_\_\_\_\_  
Asesor director  
Lic. José Pablo Coto Solano  
Escuela de Ingeniería Mecánica

  
\_\_\_\_\_  
Asesor interno  
Lic. Giovanni Carmona Villalobos  
Escuela de Ingeniería en Biosistemas

  
\_\_\_\_\_  
Asesor externo  
Lic. Mauricio Saenz Corrales  
Escuela de Ingeniería Industrial

  
\_\_\_\_\_  
Docente curso Investigación Dirigida III  
Mag. Juan Gabriel Monge Gapper  
Escuela de Ingeniería Mecánica

  
\_\_\_\_\_  
Ponente  
Fleiser Francisco Hidalgo Carrillo

  
\_\_\_\_\_  
Ponente  
Max Alejandro Ramírez Ugalde

## Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos a Dios por darnos la vida, la salud, la sabiduría, la familia y todo lo que tenemos, por brindarnos los conocimientos, inteligencia, paciencia, sabiduría, comprensión y salud para alcanzar nuestras metas personales como profesionales. De igual manera por ser nuestro guía en el camino de vida para superar las dificultades y por la perseverancia para poder terminar mi trabajo de investigación.

Del mismo modo, nos gustaría expresar un profundo agradecimiento, a todas las personas que aportaron para el avance del mismo, nuestra familia, profesores quienes con su apoyo y comprensión nos alentaron a lograr este proyecto.

Quisieramos agradecer a la Universidad de Costa Rica por brindarnos oportunidades inigualables de formación profesional y adquisición de nuevos conocimientos en el ámbito académico, profesional y personal. La disciplina ha sido un factor importante en el logro de este objetivo, junto con el apoyo constante de nuestra facultad y compañeros de estudios a lo largo de la carrera universitaria.

## Dedicatoria

Max Ramirez: Quiero dedicar este proyecto principalmente a mis padres y a mi familia por brindarme los medios para hoy ser un profesional, por su paciencia, por el apoyo y por siempre creer en mis capacidades, de igual manera a todas las personas que hicieron parte del largo proceso, gracias por ayudarme a culminar esta etapa de mi vida.

Fleiser Hidalgo: Primeramente, me gustaría dedicar este trabajo a Dios, por guiarme y permitir culminar esta etapa de mi vida, en el cual se puede ver reflejado el esfuerzo, constancia y responsabilidad que desempeñe en el proceso. El camino no fue fácil, hubo muchas complicaciones para alcanzar esta meta, pero gracias a la fortaleza que Dios me brindo pude superar cada obstáculo y poder finalizar con éxito dicho proyecto.

Igualmente quisiera dedicar esta tesis a mis padres por inculcarme buenos valores, por su amor, comprensión, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias a ellos soy la persona quien soy ahora, también por inspirar en mí el ejemplo de esfuerzo y dedicación.



# Índice general

Hoja de tribunal . . . . .	i
Agradecimientos . . . . .	ii
Dedicatoria . . . . .	iii
Índice de ilustraciones . . . . .	viii
Índice de cuadros . . . . .	ix
Resumen . . . . .	x
Abstract . . . . .	xii
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción general . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.2.1. Objetivo general . . . . .	2
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	2
1.3. Justificación . . . . .	2
1.4. Antecedentes . . . . .	3
1.5. Metodología . . . . .	5
1.6. Plan de acción . . . . .	6
1.7. Alcance y limitaciones . . . . .	8
1.7.1. Alcances . . . . .	8
1.7.2. Limitaciones . . . . .	8
1.8. Áreas de pertinencia temática . . . . .	8
1.9. Patrocinio y terceras partes interesadas . . . . .	8
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>9</b>
2.1. Incubadora para huevos de gallina . . . . .	9
2.2. Circuito Arduino . . . . .	10
2.2.1. Arduino . . . . .	11
2.2.2. Temperatura . . . . .	11
2.2.3. Humedad Relativa . . . . .	11
2.2.4. Movimiento de inclinación . . . . .	12
2.2.5. Ventilación . . . . .	12
2.3. Recursos energéticos renovables: Energía solar fotovoltaica . . . . .	12
<b>3. Desarrollo de la propuesta</b>	<b>14</b>
3.1. Eficiencia de producción de la incubación de huevos de aves: integración y optimización . . . . .	14
3.2. Física de la incubación del huevo . . . . .	14

3.3.	Transferencia de calor en el huevo . . . . .	15
3.3.1.	Conducción . . . . .	15
3.3.2.	Convección . . . . .	16
3.3.3.	Radiación . . . . .	16
3.3.4.	Evaporación . . . . .	17
3.4.	Transferencia de agua en el huevo . . . . .	17
3.5.	Intercambios de huevo $O_2$ y $CO_2$ . . . . .	18
3.6.	Condiciones físicas de la incubación . . . . .	19
3.6.1.	Humedad relativa en el aire . . . . .	19
3.6.2.	Giro del huevo, posición del huevo y ventilación . . . . .	20
3.6.3.	Calidad del aire: concentraciones de $O_2$ y $CO_2$ . . . . .	23
3.6.4.	Temperatura en la incubadora . . . . .	24
3.6.5.	Temperatura de la cáscara de huevo . . . . .	25
3.6.6.	Manipulación térmica durante la incubación . . . . .	26
3.6.7.	Implementación electrónica (Arduino) . . . . .	28
3.7.	Funciones o característica . . . . .	28
3.7.1.	Control de dispositivos . . . . .	28
3.7.2.	El control de la temperatura . . . . .	28
3.7.3.	El control de la humedad relativa . . . . .	30
3.7.4.	El control de los movimientos . . . . .	30
3.7.5.	El control de la ventilación . . . . .	30
3.8.	Programación . . . . .	30
3.9.	Eficiencia de la incubadora . . . . .	30
3.10.	Paneles solares: energía solar fotovoltaica . . . . .	32
3.10.1.	Tipos de celdas fotovoltaicas . . . . .	32
3.10.2.	Componentes del sistema solar fotovoltaico . . . . .	33
3.11.	Software para análisis térmico para el fluido tratado: Ansys Fluent . . . . .	34
<b>4.</b>	<b>Análisis de resultados</b> . . . . .	<b>36</b>
4.1.	Análisis térmico teórico alrededor del diseño . . . . .	36
4.2.	Representación de la transmisión de calor en la estructura de paredes . . . . .	36
4.2.1.	Transmisión de calor $Q$ a través de las paredes . . . . .	37
4.2.2.	Transmisión de calor a través del vidrio visor . . . . .	38
4.2.3.	Análisis de transferencia de calor en los huevos . . . . .	39
4.2.4.	Cálculo caudal requerido en el interior de la incubadora . . . . .	42
4.2.5.	Cálculo del diámetro de agujero . . . . .	43
4.3.	Cálculos efectuados para el correcto funcionamiento del equipo . . . . .	44
4.3.1.	Cantidad de potencia para la incubadora. . . . .	44
4.3.2.	Cantidad de calor para la incubadora . . . . .	46
4.3.3.	Pérdida de potencia en la incubadora . . . . .	46
4.3.4.	Humedad relativa . . . . .	50
4.4.	Diseño de la incubadora . . . . .	51
4.5.	Selección de componentes . . . . .	52
4.5.1.	Sistema de calentador . . . . .	53
4.5.2.	Humidificador . . . . .	53
4.5.3.	Sistema de inclinación . . . . .	53
4.5.4.	Sistema de ventilación . . . . .	54

4.6.	Diseño del sistema . . . . .	54
4.6.1.	Propiedades del Acero 304 . . . . .	54
4.6.2.	Propiedades del Poliuretano . . . . .	54
4.6.3.	Propiedades del vidrio templado . . . . .	55
4.7.	Análisis sistema fotovoltaico . . . . .	55
4.7.1.	Panel solar . . . . .	56
4.7.2.	Banco de baterías . . . . .	58
4.7.3.	Inversores . . . . .	58
4.7.4.	Cableado y protecciones . . . . .	59
4.7.5.	Unidad de control y monitoreo . . . . .	59
4.8.	Análisis simulación de la incubadora . . . . .	60
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>66</b>
5.1.	Conclusiones . . . . .	66
5.2.	Recomendaciones . . . . .	68
	<b>Bibliografía</b>	<b>69</b>
	<b>Anexos</b>	<b>74</b>
<b>A.</b>	<b>Formulario de registro para utilización de animales de laboratorio [30]</b>	<b>75</b>
<b>B.</b>	<b>Manuales</b>	<b>86</b>
B.1.	Manual de operación . . . . .	86
B.2.	Manual de instalación . . . . .	88
B.3.	Manual de mantenimiento . . . . .	90
<b>C.</b>	<b>Tabla termodinámica para selección del calor específico [7].</b>	<b>95</b>
<b>D.</b>	<b>Planos del ensamble.</b>	<b>96</b>
D.1.	Ensamble general. . . . .	96
D.2.	Bandeja de huevos. . . . .	100
D.3.	Deposito para exceso de agua. . . . .	101
D.4.	Mordaza Bearing (Cojinete). . . . .	102
D.5.	Mordaza. . . . .	103
D.6.	Visor. . . . .	104
D.7.	Pies del Ensamble. . . . .	105
D.8.	Soporte para Motor DC. . . . .	106
<b>E.</b>	<b>Fichas técnicas</b>	<b>107</b>
E.1.	Panel solar [6]. . . . .	107
E.2.	Banco de baterías [52]. . . . .	110
E.3.	Inversor Fronius [16]. . . . .	113
E.4.	Inversor InfiniSolar [23]. . . . .	120
E.5.	Acero 304 [49]. . . . .	124
E.6.	Poliuretano [13]. . . . .	125
E.7.	Vidrio Templado [19]. . . . .	127

<b>F. Componentes electrónicos.</b>	<b>128</b>
F.1. Placa Arduino DUE [36]. . . . .	128
F.2. Sensores de Temperatura y Humedad [44]. . . . .	128
F.3. Interruptores de contacto [39]. . . . .	129
F.4. Cables de cobre UTP [37]. . . . .	129
F.5. Consola LCD. [38] . . . . .	130
F.6. Set de resistencias [40]. . . . .	130
F.7. Protoboard [42]. . . . .	131
F.8. Sensor de calidad de aire [43]. . . . .	131
F.9. Calentador [41]. . . . .	132
F.10. Válvula Solenoide [41]. . . . .	134
F.11. Motor DC [41]. . . . .	136
F.12. Ventilador [41]. . . . .	138
F.13. Anemómetro [41]. . . . .	140
<b>G. Otros componentes.</b>	<b>141</b>
G.1. Adaptador [35]. . . . .	141
G.2. Punta dispersora de agua [41]. . . . .	142
G.3. Válvula de alivio [41]. . . . .	144
G.4. Manómetro [41]. . . . .	146
G.5. Filtro de agua [41]. . . . .	148
G.6. Engranajes [41]. . . . .	149
G.7. Tornillería [41]. . . . .	151
G.8. Filtro de aire [41]. . . . .	153
<b>H. Memoria de cálculo .</b>	<b>155</b>
<b>I. Análisis Ansys</b>	<b>163</b>
I.1. Entradas y salidas de la estructura . . . . .	163
I.2. Escala de residuos de la simulación en Ansys . . . . .	164
I.3. Volumen promedio del agua en la simulación . . . . .	164
I.4. Línea de trabajo de la velocidad dentro de la incubadora . . . . .	165
I.5. Vista del comportamiento de la temperatura en el plano XY . . . . .	165
<b>J. Muestra de Código de Programación</b>	<b>166</b>
<b>K. Precio de los materiales</b>	<b>172</b>

# Índice de figuras

3.1. Física de la incubación de huevos [5]. . . . .	15
3.2. Traducción de imagen original: Cambios en la transferencia de agua con una temperatura (T) y humedad relativa (HR) [5]. . . . .	20
3.3. Giro del huevo para incubadoras verticales (A) y horizontales (B) [5]. . . . .	22
3.4. Esquema de conexión gráfico para el control automático de los parámetros de la incubadora artificial [33]. . . . .	29
3.5. Diagrama de bloques para la incubación Artificial. Fuente: Elaboración propia. . . . .	29
3.6. Esquema general para el control de parámetros de la Incubadora Artificial. Fuente: Elaboración propia. . . . .	31
3.7. Representación gráfica del efecto fotovoltaico [12]. . . . .	32
3.8. Representación gráfica del efecto fotovoltaico [12]. . . . .	33
3.9. Representación gráfica de un sistema fotovoltaico [12]. . . . .	34
4.1. Pared compuesta. . . . .	37
4.2. Transmisión de calor en el vidrio. . . . .	38
4.3. Representación de la transferencia de calor en el huevo. . . . .	40
4.4. Diseño de la incubadora. . . . .	52
4.5. Sistema humificador. . . . .	53
4.6. Superficie requerida según material de la célula [1]. . . . .	56
4.7. Sistema fotovoltaico planteado [46]. . . . .	60
4.8. Diseño propuesto para la simulación. . . . .	61
4.9. Temperatura a la salida de la rejilla. . . . .	62
4.10. Gráfica de la temperatura. . . . .	63
4.11. Comportamiento del movimiento de partículas de aire en el interior de la incubadora. . . . .	64
4.12. Comportamiento del aire caliente con el movimiento de partículas en el interior de la incubadora. . . . .	65
H.1. Pared compuesta: $K_{eq}$ . . . . .	162

# Índice de cuadros

3.1. Componentes electrónicos para la instalación eléctrica (Arduino). . . . .	28
4.1. Propiedades del acero, vidrio y poliuretano, materiales para la construcción de la estructura de la incubadora. . . . .	36
4.2. Constantes utilizadas en este proyecto. . . . .	42
4.3. Constante utilizadas en este proyecto. . . . .	45
4.4. Constantes utilizadas en este proyecto. . . . .	47
4.5. Constantes para el cálculo de humedad relativa para el análisis de este proyecto. . . . .	50
4.6. Sistema humificador . . . . .	53
4.7. Sistema de inclinación . . . . .	54
4.8. Potencia de los componentes electrónicos. . . . .	55
4.9. Proyección radiación solar en San José, Costa Rica [51]. . . . .	57
B.1. Control de parámetros de la incubadora. . . . .	87
B.2. Inspecciones para realizar por cada elemento de la máquina. . . . .	91
B.3. Descripción de las inspecciones a realizar por cada elemento de la máquina. . . . .	93
K.1. Precios del equipo . . . . .	173

## Resumen

El objetivo del presente documento es diseñar un prototipo de incubadora para huevos de gallina, mediante la implementación de microcontroladores arduinos cuya fuente de alimentación de energía sea el uso de paneles solares fotovoltaicos, dirigido a la innovación de técnicas que permitan la eficiencia de los mecanismos de producción avícola. Como justificación se pueden recalcar la necesidad de facilitar herramientas de producción avícola a la micro y pequeña empresa, para que cuenten con sistemas tecnificados y novedosos que permitan la flexibilidad, movilidad y adaptabilidad que conlleva el ejercicio de incubación de huevos de gallina.

En cuanto a los antecedentes, actualmente se cuenta con material que gira entorno a modernizar las prácticas actuales de incubación, que sin lugar a dudas requieren inversiones elevadas y son tecnologías que por lo general van enfocadas a niveles macro, debido a que tratan de industrializar el mercado, muchos de estos aportes han utilizado desde microcontroladores hasta fuentes de energía renovables. Aunado a lo anterior, existen estudios más centralizados en incubar una determinada especie o cantidad de huevo menor a la de nuestro proyecto, pero bajo la premisa de proponer técnicas que maximicen la natalidad y eficiencia del equipo, la idea del proyecto actual es acaparar la mayor cantidad de conceptos y englobarlos en un equipo, y de esta forma innovar, automatizar, y porque no, aplicarlo a tecnologías más grandes y eficientes.

Para cumplir con el objetivo principal de proyecto, fue esencial seguir una metodología que permitiese albergar todos los conceptos que giran entorno al tema de incubación, dejando de lado la parte biológica, y centrándonos más en la simulación por medio del software Ansys, que sin lugar a dudas fue un reto, pues esta requirió conocimientos en muchas áreas ingenieriles antes de obtener lo que requeríamos, retos que fueron desde indagar entre la literatura los parámetros óptimos (tales como ventilación, movimiento, humedad relativa y temperatura), hasta el comportamiento e interacción de esos parámetros con Ansys.

Dentro de los resultados, se resalta la importancia del conocimiento en materia de simulación en Ansys, pues esta forma parte de la solución del problema planteado, sin dejar de lado, la correcta programación de humedad relativa, temperatura y movimiento. Los resultados nos demuestran un buen dominio de conceptos de transferencia de calor, donde es esencial conectar cada término para obtener valores aceptados dentro de los rangos que se proponen, siendo el valor de conductividad térmica equivalente una de las más importantes para trabajar paredes compuestas. Por último y no menos importante, conocimientos eléctricos no están demás, para calcular potencias, que dicho sea de paso, fue primordial para detallar la selección del sistema fotovoltaico propuesto.

De las conclusiones, se logró simular mediante el software Ansys el diseño propuesto de una máquina de incubación, además de una correcta utilización de tecnologías como los microcontroladores arduinos que llevan como labor el correcto funcionamiento de cada componente electrónico. Asimismo, se recalca la implementación de sistemas de energías renovables, llámense paneles solares fotovoltaicos, que permitan la autonomía y eficiencia de equipos de incubación a nivel micro y de pequeña empresa.

Cítese este trabajo como:

Hidalgo, F; Ramirez, M. (2022). Diseño de un prototipo de incubadora para huevos de gallina con micro-controladores arduinos, utilizando como fuente de potencia eléctrica paneles

solares fotovoltaicos. Trabajo Final de Graduación para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica. San José: Universidad de Costa Rica.



## Abstract

The objective of this paper is to design a prototype incubator for chicken eggs, through the implementation of arduino microcontrollers whose power supply source is the use of photovoltaic solar panels, aimed at the innovation of techniques that allow the efficiency of poultry production mechanisms. As justification we can emphasize the need to facilitate poultry production tools to micro and small enterprises, so that they can count on technified and innovative systems that allow the flexibility, mobility and adaptability involved in the hen egg incubation exercise.

In terms of background, there currently is content that revolves around modernizing current incubation practices, which undoubtedly require high investments and are technologies that are generally focused on macro levels, because they try to industrialize the market, many of these contributions have used from microcontrollers to renewable energy sources. In addition to the above, there are studies more focused on hatching a certain species or quantity of eggs smaller than that of our project, but under the premise of proposing techniques that maximize the birth and efficiency of the equipment, the idea of the current project is to capture as many concepts and encompass them in a team, and thus innovate, automate, and why not, apply it to larger and more efficient technologies.

To meet the main objective of the project, it was essential to follow a methodology that would allow us to house all the concepts that revolve around the topic of incubation, leaving aside the biological part, and focusing more on the simulation through Ansys software, which undoubtedly was a challenge, as it required knowledge in many engineering areas before obtaining what we required, challenges that went from researching among the literature the optimal parameters (such as ventilation, movement, relative humidity and temperature), to the behavior and interaction of these parameters with Ansys.

Within the results, the importance of the knowledge of simulation in Ansys is highlighted, since this is part of the solution to the problem, without leaving aside the correct programming of relative humidity, temperature and movement. The results also show a good command of heat transfer concepts, where it is essential to connect each term to obtain accepted values within the proposed ranges, being the equivalent thermal conductivity value one of the most important to work with composite walls. Last but not least, the electrical knowledge is not left out, to calculate power, which by the way, was paramount to detail the selection of the proposed photovoltaic system.

From the conclusions, it was possible to simulate by means of Ansys software the proposed design of an incubation machine, in addition to a correct use of technologies such as arduino micro-controllers that carry as a task the correct operation of each electronic component. The implementation of renewable energy systems, called photovoltaic solar panels, which allow the autonomy and efficiency of incubation equipment at the micro and small business level, is emphasized.

Cite this work as:

Hidalgo, F; Ramirez, M. (2022). Diseño de un prototipo de incubadora para huevos de gallina con micro-controladores arduinos, utilizando como fuente de potencia eléctrica paneles solares fotovoltaicos. Trabajo Final de Graduación para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica. San José: Universidad de Costa Rica.

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Descripción general

Con el avance vertiginoso de la ciencia y la tecnología, los seres humanos enfrentan retos significativos que los exhortan a cumplir con ciertas demandas y exigencias, que permitan a las personas sobrevivir en la era actual. Justamente en dicho contexto, la presente propuesta adquiere su razón de ser, debido a que los grandes cambios experimentados a diario y la contaminación del Planeta Tierra, suponen la creación/diseño de mecanismos que permitan aprovechar los recursos naturales para la generación de energía.

En ese sentido, diseñar un prototipo de incubadora para huevos de gallina se constituye en un desafío para los responsables del proyecto, pues implica utilizar los conocimientos adquiridos durante la formación universitaria entremezclando éstos con las exigencias del mercado. Por ello, es menester considerar las distintas aristas que intervienen en el proceso, contemplando la energía solar como el recurso energético renovable, que permitirá el funcionamiento de la máquina mencionada, a la vez que favorece la protección del ambiente.

Desde esta perspectiva, diseñar el prototipo de incubadora para huevos de gallina supone la utilización de microcontroladores Arduino, debido a que éstos brindan la posibilidad de establecer diferentes conexiones capaces de interactuar con el entorno, controlando electrónicamente aquello que necesite la persona [17]. Y es que dichos microcontroladores utilizarán como base para su funcionamiento paneles solares fotovoltaicos, que contribuyen con la protección del entorno natural.

A continuación, se exhiben los contenidos que fundamentan la propuesta de la incubadora descrita, donde se documentan los antecedentes existentes, así como los referentes teóricos que guían el diseño de dicha máquina.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Diseñar un prototipo de incubadora para huevos de gallina, mediante la implementación de microcontroladores arduinos cuya fuente de alimentación de energía sea el uso de paneles solares fotovoltaicos, dirigido a la innovación de técnicas que permitan la eficiencia de los mecanismos de producción avícola.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Proponer técnicas para el manejo de incubación de huevos de gallina que contribuyan con el desarrollo de espacios controlados, que maximicen la eficiencia térmica de la máquina a diseñar.
- Monitorear mediante la implementación de microcontroladores Arduinos, los parámetros necesarios para el buen funcionamiento de la incubadora de huevos de gallina.
- Utilizar paneles solares fotovoltaicos que posibiliten la autonomía energética de la incubadora para huevos de gallina, a fin de disponer de recursos naturales que permitan el desarrollo de fuentes de energía que contribuyan con la protección del medio ambiente.
- Realizar un análisis térmico mediante el software ANSYS para comparar la eficiencia térmica teórica-práctica del diseño propuesto.

## 1.3. Justificación

Con el transcurso de los años, la industria avícola ha adquirido vital importancia, debido a que es considerada la de mayor crecimiento y la más flexible con respecto al mercado de las carnes, al punto que el Ministerio de Agricultura y Ganadería expone que el consumo de dicha carne representa el 41 % a nivel mundial, lo cual indica que la producción y mantenimiento de los espacios donde se generan estos animales requiere de ciertas características enfocadas en su tecnificación para cumplir con las demandas del mercado [54].

Precisamente, una de las estrategias para la tecnificación consiste en la introducción de incubadoras artificiales, las cuales generan las condiciones ambientales óptimas que requieren los animales avícolas para su desarrollo. Dicho en otras palabras, con la entrada en vigencia de este tipo de incubadoras se crean condiciones similares a la naturaleza, que permiten a los sistemas operar de manera eficiente [32].

En ese sentido, el presente trabajo adquiere importancia, debido a que se enfoca en la necesidad de diseñar un prototipo de incubadora para huevos de gallina, capaz de contar con los requerimientos necesarios y operar de manera eficiente. Por ello, amerita que se tomen en cuenta todos los factores que intervienen en la producción de huevos para lograr tener el mayor control posible sobre éstos y desarrollar opciones que permitan su creación.

Es por este motivo, que el proyecto fusiona los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecánica con aquellos vinculados con la ingeniería en Biosistemas, de forma tal que se proponen alternativas de tecnificación de la producción para ahorrar costos y preservar

las condiciones naturales. Pese a ello, no solo se centra en dichas disciplinas, sino que engloba la interdisciplinariedad al requerir la interacción de criterio de diferentes áreas profesionales o disciplinas.

Y es que estos procesos de desarrollo y diseño, deben partir de los cambios vertiginosos que experimentan la ciencia y la tecnología, que exhortan a las poblaciones a descubrir nuevos horizontes y plantear mecanismos que respondan a las exigencias del mercado. Es justamente en dicho punto, donde radica la innovación del proyecto en mención, ya que busca tecnificar la producción avícola mediante la simulación de condiciones naturales, que brindan la posibilidad de reducción de costos y mejoramientos en los sistemas de producción.

Entonces, el presente TFG se enmarca dentro del campo industrial a pequeña escala, donde el fin último consiste en facilitar herramientas de producción a la micro y pequeña empresa, para que cuenten con sistemas tecnificados y máquinas novedosas, que contribuyan con el desarrollo de huevos a partir de la creación de condiciones naturales. Todo ello, pensando en la flexibilidad, movilidad y adaptabilidad que acompaña la producción de este tipo, lo cual favorece la competitividad en términos de crecimiento y generación de nuevas técnicas.

## 1.4. Antecedentes

Hacer referencia al diseño y elaboración de una incubadora inteligente, aplicando los principios de la energía renovable y reducción de costos implica conocer documentos y escritos que han abordado el tema desde el año 2015 hasta el presente.

Primeramente, en el año 2015 Mohd Badli, Hooi Peng, Md Saidin y Mohd Faiz en el estudio denominado Egg hatching incubator using conveyor rotation system propuso el diseño y desarrollo de una incubadora a través de un sistema de aire y rotación del transportador, la cual se encontraba equipada de sensores capaces de regular, controlar y medir la temperatura y la humedad y con ello la condición del aparato. Precisamente, los elementos de la máquina estaban controlados por dispositivos microcontroladores para procesar los datos de los sensores [3].

Asimismo, en el año 2016 Javier García-Hierro Navas, quien optó por el título de doctor en Ingeniería Rural, elaboró la tesis titulada Aplicación de la energía solar en una incubadora comercial de perdiz roja y supervisión de la actividad biológica mediante sensores inteligentes, donde realizó una caracterización especial de variables (temperatura y humedad relativa) que influyen en el proceso de incubación, asimismo evaluó el sistema de apoyo solar térmico en dicho proceso, obteniendo en apariencia resultados favorables con respecto a sus objetivos, debido a que la energía solar permitió el funcionamiento de la incubadora [18].

En esa misma línea, en el año 2016 Luis Alberto Delgado Guevara, optando por el grado profesional de ingeniero mecánico electricista, propone el proyecto denominado Propuesta de sistema fotovoltaico para el ahorro de energía eléctrica de una incubadora avícola en la ciudad de Chiclayo 2016, donde el responsable del escrito se planteó como finalidad la elaboración de una incubadora que permitiera el ahorro de energía eléctrica. Las principales conclusiones del proyecto indican que se logró el cumplimiento del objetivo, alcanzando un ahorro de aproximadamente dos años de inversión [12].

Por su parte, en el año 2017 Frimpong Kyeremeh y Forson Pephrah en su artículo Design and Construction of an Arduino Microcontroller-based EGG Incubator se dieron a la tarea

de proponer el diseño y desarrollo de una incubadora capaz de generar la mayor cantidad de huevos posible ante la alta demanda existente y la poca respuesta por parte de los pequeños avicultores. Para ello, emplearon un microcontrolador Arduino a partir del cual se controlaron los calentadores, ventiladores de circulación de aire y el mecanismo de giro de las bandejas, por medio de relés. Es importante mencionar, que además de controlar los parámetros anteriores, se consideró también la temperatura y la humedad. En ese sentido, el propósito del artículo consistió en la producción de una incubadora económica, que lograra la generación a mayor escala de huevos [24].

Aunado a lo anterior, en el 2018 Kifilideen Lekan, Oauide Adetunji, Adewole Aderinlewo y Emmanuel Ajisegirl en su estudio titulado Performance evaluation of a solar powered poultry Egg Incubator propusieron la creación de una incubadora de huevos de aves de corral mediante el uso de la energía solar como respuesta a la escasez de fuentes energéticas. En ese sentido, desarrollaron una máquina cuyos componentes principales consistieron en una cámara de incubación, sistema de control y un sistema de energía solar. A partir de ello, se controlaron elementos como la temperatura, la humedad y la eficacia de la energía solar desarrollada, demostrándose que la fuente utilizada proporcionaría el flujo de corriente de manera continua, aportando así al periodo de incubación sin generar importantes fallas [25].

Del mismo modo, en el año 2018 Fe Alin T. Dalangin y Adolfo C. Ancheta en su artículo denominado Performance Evaluation of the developed solar powered poultry egg incubator for chicken acordaron la creación de una incubadora con funcionamiento a partir de la energía solar, dicha máquina constaba de una unidad de incubación, el dispositivo de temperatura y un sistema fotovoltaico, con los cuales se pretendía construir una incubadora capaz de dar fluidez al proceso de producción y con ello ajustarse a las demandas del mercado [9].

Además, en el año 2018 Alex David Flores Moreno de origen ecuatoriano, propuso el documento Incubadora de bajo costo para la industria avícola, con la cual optó por el título de Licenciatura en Ingeniería en Mecatrónica. En dicha tesis, el responsable diseñó y construyó una incubadora de bajo costo automatizada. Entre las principales conclusiones, destacan la importancia de considerar el valor de temperatura adecuado y humedad, así como la ventilación constante, factores que intervienen en el desarrollo oportuno de los huevos. De igual forma, el autor concluye que existe la posibilidad de diseñar artefactos con materiales de bajo costo (por ejemplo la madera, el aluminio y el acero inoxidable), sin colocar en riesgo la producción [15].

De igual forma, en el año 2018 se realizó la tesis titulada Diseño de un prototipo de incubación artificial con sistema de control difuso para la producción de aves de codorniz, la cual fue presentada por César Cruz Gutiérrez y Víctor Vargas Márquez, optando por el título profesional de Ingeniero Electrónico, quienes propusieron la creación de una solución tecnológica para responder a una importante demanda del pueblo peruano, para ello emplearon técnicas de diseño de control fuzzy [8] .

De la misma manera, en el año 2019 los estudiantes David González, Iván Meneses y Mauricio Rodríguez en su proyecto llamado Construcción de un sistema autónomo para regular la temperatura de un recinto propusieron la construcción de un sistema, cuya característica principal consistió en la capacidad de regular de forma automática la temperatura ambiental de un lugar determinado. Para ello, emplearon un bombillo y un sensor de temperatura NTC, los cuales conectaron a un microcontrolador genérico. Para lograr los resultados esperados, los estudiantes en mención utilizaron un control tipo PID [20].

Asimismo, para el año 2019 Kelebaone Tsamaase, Ishmael Zibani, Moseki Refilwe y Rapelang Kemoabe en el estudio titulado Solar powered egg incubator desing se dieron a la tarea de desarrollar una incubadora capaz de funcionar a partir de la energía solar, siendo su propósito contribuir con aquellos lugares de origen rural que cuentan con fuentes de energía provenientes de recursos naturales. Para ello, tomaron en consideración algunos elementos como la temperatura y la humedad [14].

También en el año 2019, Ronaldo Maano, Enrico Chavez y Roselyn Maano publicaron el artículo Towards the development of a Smart Photovoltaic-powered temperature controlled poultry egg incubator, donde propusieron el diseño de una incubadora inteligente a partir del uso de energía solar mediante celdas fotovoltaicas. Su objetivo consistió en disponer de elementos controlados que permitieran regular la temperatura y las condiciones externas a la eclosión, para ello emplearon una serie de dispositivos como un sensor de temperatura-humedad, un calentador y un ventilador [27].

Seguidamente, en el 2020 Uzodinma, E., Ojike, O., Etoamaihe, U., y Okonkwo, W publicaron el artículo denominado Performance study of a solar poultry egg incubator with phase change heat storage subsystem, donde desarrollaron una incubadora cuyo sistema consta de un colector solar de placa de doble acristalamiento, el cual se encuentra integrado con una parafina tipo subsistema de almacenamiento de energía de material de cambio de fase e incorporado con un subsistema fotovoltaico. El objetivo de dicha máquina consistió en la idea de diseñar una incubadora a partir de una fuente de energía alternativa, capaz de responder a las demandas del contexto y con ello abaratar costos, preservando el ambiente [53].

A partir de lo anterior, se evidencia la existencia de algunos escritos que abordan de manera indirecta la importancia del desarrollo de incubadoras artificiales, un tema que desde hace varios años se ha abordado, sin embargo, ante las exigencias del contexto y auge global es menester la utilización de principios que permitan contribuir con la conservación del ambiente y la maximización de la eficiencia, a menores costos.

## 1.5. Metodología

La realización del presente proyecto de graduación se efectúa a partir de dos fases: teórica y práctica. La primera de ellas consiste en la búsqueda exhaustiva de bibliografía que permita poseer un primer acercamiento con el tema a tratar. Dicha búsqueda se realizó en diferentes fuentes con la finalidad de conocer los antecedentes de la temática y de esta manera contar con un marco teórico que fundamenta la propuesta a desarrollar.

La fase descrita constituye un eje fundamental en el proceso, ya que brinda las herramientas necesarias para diseñar la incubadora inteligente, y así asegurar el funcionamiento de ésta. Por esta razón, los conocimientos adquiridos en los diversos cursos de la carrera cumplen una función esencial, debido a que otorgan a los responsables del proyecto las bases para el funcionamiento del mecanismo a diseñar.

Por su parte, la segunda fase del proceso está dada por la parte práctica, donde se procederá a diseñar la incubadora para huevos de gallina para analizar su funcionamiento y de este modo lograr el cumplimiento de los objetivos y los alcances estipulados.

Para el desarrollo de este proyecto se siguió la metodología Rational Unified Process

(RUP), el cual consta de cuatro fases: Inicio (define el alcance del proyecto), elaboración (definición análisis, diseño), construcción (implementación) y transición (fin del proyecto y puesta en producción), las cuales incluyen seis actividades de ingeniería y una de soporte [2].

Ingeniería:

- Modelado del negocio: Definición del problema.
- Requerimientos: Definición de requerimientos.
- Análisis y diseño: Diseño del sistema.
- Implementación: Implementación de la lógica al realizar el programa.
- Pruebas: En cada uno de los dispositivos a controlar (motores, sensores, visualizadores).
- Despliegue: Distribución, instalación y uso.
- Administración del proyecto: Planificación del proyecto.

Para el trabajo en proceso, es importante comentar que no se realizará la construcción de la incubadora como un producto físico, sino que tendrá como límite final el diseño incluyendo todas sus pruebas teóricas y prácticas.

El trabajo de campo se desarrollará en diversas etapas de creación, debido a que es necesario seleccionar el tipo de energía renovable que se va emplear, energía que debe provenir de fuentes naturales para ahorrar costos y de este modo diseñar una máquina autosuficiente, que no dependa de la red eléctrica local. Seguidamente, es menester elegir los materiales que posibiliten el diseño de la incubadora y por último es importante controlar los detalles interiores del artefacto, con la finalidad de proporcionar a los huevos de gallina las condiciones requeridas para su incubación. Todo ello, para que quien construya la máquina posea todas las herramientas necesarias, que garanticen su funcionamiento y eficiencia. Por último, se analizan los resultados obtenidos mediante la teoría encontrada.

## 1.6. Plan de acción

El Comité Institucional para el Cuidado y Uso de los Animales (CICUA) de la Universidad de Costa Rica (UCR), se constituye en el ente rector para garantizar la protección de los animales en las diferentes investigaciones científicas realizadas, por ello su objetivo consiste en la *“interpretación, revisión y evaluación de los programas institucionales para el cuidado y uso de los animales”* [30], para tal fin posee una serie de funciones que versan sobre la importancia de las visitas a los centros de trabajo, reportes escritos y análisis de los distintos factores que inciden en las labor con los animales [30].

En ese sentido, quienes pertenecen a la UCR y desean ejecutar un proyecto, programa o investigación donde los animales sean los protagonistas, deben completar un formulario (Ver anexo N° 1) en el que se les solicita información detallada acerca de la especie a emplear, los procedimientos a efectuar con ésta, así como la incidencia de dolor, uso de medicamentos, entre otros elementos, que desde la perspectiva de CICUA, son necesarios para resguardar al animal y evitar su exposición a procesos que perjudiquen u ocasionen pérdidas [30].

Por tanto, para efectos del presente trabajo, las personas que opten por su construcción deben proceder primeramente con el llenado de dicho documento, a fin de contar con la aprobación del CICUA para el uso de huevos y pollitos. Asimismo, es menester considerar los parámetros estipulados en el marco teórico vinculados con la humedad, temperatura, ventilación y movimientos, pues de ellos depende parte del éxito de funcionamiento de la incubadora, la cual como se ha mencionado utiliza como fuente de alimentación paneles solares fotovoltaicos que proporcionan la energía para los circuitos de control y potencia.

De esta manera, el plan de acción requiere iniciar con la construcción de la máquina al tiempo que se solicitan las aprobaciones requeridas para evitar el uso inadecuado de la fauna, garantizando que los animales y huevos a utilizar reciban el trato estipulado en las leyes y decretos, a fin de asegurar la mínima mortalidad.

Desde esta perspectiva, es menester que las personas conozcan la Ley N° 7451; Bienestar de los animales, la cual en su artículo 3 documenta: "Las condiciones básicas para el bienestar de los animales son las siguientes: a) Satisfacción del hambre y la sed. b) Posibilidad de desenvolverse según sus patrones normales de comportamiento. c) Muerte provocada sin dolor y, de ser posible, bajo supervisión profesional. d) Ausencia de malestar físico y dolor. e) Preservación y tratamiento de las enfermedades" [11].

Como se observa, las condiciones básicas mencionadas enfatizan en la importancia de dotar de calidad de vida a dichos seres, proporcionándoles hábitats similares a los comunes y espacios donde puedan desarrollarse. Por ello, es esencial contar con los diversos componentes para posibilitar lo anterior, teniendo claridad sobre el estado natural y los factores externos que pueden influir en la vida y crecimiento de la especie. En el caso de los animales productores, el artículo 05 refiere:

El propietario o el poseedor de animales productivos deberá velar porque vivan, crezcan y se desarrollen en un ambiente apropiado. Cuando se modifique el ambiente, además de procurar la productividad, deberá tomar en cuenta el bienestar y las condiciones apropiadas de vida de estos animales. Asimismo, deberá cuidar que los animales productivos que se destinen al consumo humano sean transportados en condiciones convenientes. Deberán sacrificarse con la tecnología adecuada, según la especie, para reducirles el dolor al mínimo. [11]

Dichos artículos resultan relevantes para el plan de acción, porque enumeran al individuo las condiciones mínimas por cumplir, las cuales por supuesto buscan un trato integral al ser vivo utilizado. En términos generales, las acciones a seguir son:

- Construcción de la máquina, considerando los aspectos naturales contemplados en el marco teórico.
- Selección de la muestra.
- Solicitud de aprobación por parte del CICUA.
- Puesta en marcha de proyecto.

De este modo, el plan de acción contempla la necesidad de partir de la aprobación del CICUA, de allí que sea menester conocer la Ley Establecida y completar el formulario para disponer de los permisos respectivos.



## 1.7. Alcance y limitaciones

Con la realización del presente proyecto se pretende alcanzar el diseño de una incubadora para huevos de gallina de bajo costo, la cual sea capaz de funcionar a través de la generación de energía mediante paneles solares y de este modo contribuir con el nacimiento del animal.

Por esto, es importante considerar cada detalle y diseñar sistemas de control, así como contar con fuentes de energía alterna para propiciar el funcionamiento continuo de la máquina, en caso de que falle algún panel solar.

### 1.7.1. Alcances

- Futuro diseño prototipado de bajo costo.
- Análisis térmico.
- Eficacia en producción.

### 1.7.2. Limitaciones

- Sistemas de control.
- Fuentes de energía alterna.
- Limitación del software.
- Construcción del prototipo.

## 1.8. Áreas de pertinencia temática

Las áreas de estudio en las que se fundamenta el presente proyecto están dadas por los cursos recibidos durante la formación académica, los cuales son: IM0305 Transferencia de Calor, ya que brinda las herramientas para el manejo de las fuentes de energía, IM0423 Mecánica de Fluidos, pues es esencial analizar las propiedades físicas y químicas de los fluidos empleados y su influencia en la incubación, IM0923 Mantenimiento industrial, dado que es necesario el abordaje de la máquina a diseñar, IM0905 Sistemas de Aire Acondicionado, para regular las entradas de aire.

Asimismo, es indispensable diversos conocimientos en zootecnia y biología para el cuidado y protección de los huevos.

## 1.9. Patrocinio y terceras partes interesadas

Por el momento, el proyecto no cuenta con inversionistas externos, sin embargo, la finalidad es colocar la idea en el mercado para atraer patrocinadores.

## Capítulo 2

# Marco Teórico

### 2.1. Incubadora para huevos de gallina

Diseñar una incubadora para huevos de gallina supone la necesidad de tener presente diversos elementos que podrían afectar la incubación de dichos huevos, por ejemplo control de temperatura, humedad relativa, concentración  $O_2$  y  $CO_2$ , movimiento e inclinación de plataforma, pues de ellos depende en gran medida que el proceso llegue a su final. En ese sentido, es importante comprender que la incubación se define como “el proceso por el cual las aves eclosionan sus huevos y el desarrollo de un embrión dentro de éste. El factor más importante en la incubación es la temperatura constante que se requiere para su desarrollo durante un período específico” [3].

Desde esta perspectiva, las condiciones ambientales juegan un papel fundamental dentro del proceso descrito, debido a que proporcionan los aspectos necesarios para que el huevo se desarrolle de la forma esperada y cumpla con los estándares establecidos. Y es que a partir de tales condiciones, resulta menester que la incubadora por diseñar tome en consideración éstos, puesto que en dicha máquina “... se garantiza a los huevos, la temperatura, la ventilación y la humedad necesaria para que se desarrolle normalmente hasta culminar con la eclosión o salida del pollito” [47].

De esta manera, el proceso de incubación de huevos mediante mecanismos creados, requiere tener en cuenta una serie de factores, ya que la finalidad consiste en lograr controlar dichos aspectos para que el huevo posea un ambiente similar al otorgado por la gallina. Desde esa perspectiva, una incubadora se define como “... máquina que proporciona huevos fertilizados con aire caliente húmedo y agitador artificial, a medida que emerge el embrión en el corto período de 21 días” [29].

De este modo, se comprende que el diseño de una incubadora para huevos de gallina resulta ser un trabajo complejo, pues amerita considerar el proceso de incubación, tomando en cuenta las características que determinan el desarrollo morfológico del huevo cuando éste es empollado por la gallina. Ello, amerita que las condiciones y materiales que se empleen para la construcción de la incubadora logren similar las condiciones reales en las que se incuba el huevo, para lograr los resultados esperados.

Existen diferentes tipos de incubadoras artificiales cuya clasificación varía según la característica de la incubadora:

- De acuerdo a su finalidad crecimiento o reproducción de seres vivos, son las que se utilizan en neonatología (bebés prematuros), las de uso en microbiología (cultivo microbiológico) y las destinadas a la reproducción de especies ovíparas, incluyendo la producción comercial de huevos [47].
- Por su funcionamiento manuales, semiautomáticas y automáticas.
- Según el tipo de ventilación, se encuentran las incubadoras de ventilación estática y las de ventilación forzada.
- Debido al proceso para generar calor; a) por medio de aire y b) los que emplean agua. Ambos sistemas se usan extensamente; el tipo de agua tiene la ventaja que si por cualquier motivo se apaga la lámpara, la temperatura se mantendrá por algún tiempo; en cambio los aparatos de aire se calientan más rápidamente e igualmente pierden el calor.

## 2.2. Circuito Arduino

Para comprender los fundamentos en los que se basa este proyecto se deben tomar en cuenta una serie de consideraciones teóricas sobre tópicos como temperatura, control de humedad relativa, control de sistemas y electrónica. Estos tres temas son básicos para comprender el comportamiento del mensurando de los parámetros necesarios para poder regular el comportamiento de la incubadora para huevos de gallina que se desea diseñar y la manera en la que se pueden generar alteraciones controladas para estabilizar el sistema de interés. Cada uno de estos temas serán analizados en esta sección con un enfoque que explique la manera en la que se aplica la teoría al proyecto llevado a cabo.

La temperatura ambiental y la humedad relativa se han convertido en una de las magnitudes de control más importantes en procesos industriales, ya que la calidad y realización de muchos procesos químicos, metalúrgicos, de producción de alimentos, entre otros; dependen directamente de las condiciones ambientales y humedad relativa del recinto en el que se lleven a cabo. No es coincidencia que los sistemas de refrigeración sean una de las áreas de mayor auge en la ingeniería actual, en cuestiones científicas se requieren controles cada vez más estrictos de las condiciones ambientales, ya que se busca minimizar los efectos del error y la incertidumbre generados por estas fuentes. De manera convencional se entiende la temperatura como qué tan caliente se encuentra un recinto, sin embargo, el BIPM define la unidad de medida, el Kelvin, de la siguiente manera: "El cambio en la temperatura termodinámica  $T$  que resulta del cambio en energía térmica  $dT$  de  $1,3806 \times 10^{23} \text{ J}$ " [21].

Esta definición, a pesar de ser la oficial, dificulta un tanto el proceso de definición de un mensurando para efectos de este proyecto, por lo que se prefiere manejar un concepto más simple pero más ilustrativo y que permite definir concretamente el mensurando. Entonces se entiende temperatura como: "una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica, o conocida como la energía sensible, que es la energía asociada a los movimientos de las partículas de ese sistema termodinámico" [48].

Para efectos de este proyecto la magnitud de control es precisamente el grado de agitación térmica promedio de las partículas de aire de un recinto, dicha magnitud se mide de manera puntual utilizando un sensor de tipo termistor. El termistor es un dispositivo que se vale

de principios de la termometría eléctrica para registrar temperatura. Consiste de un circuito con una resistencia sensible a la temperatura, cuando ésta aumenta, la resistencia disminuye abruptamente. Si se suministra una corriente constante al circuito, se pueden registrar distintos valores de diferencia de potencial, estos a su vez se asocian a una temperatura específica que se registra en una pantalla digital.

### 2.2.1. Arduino

Para la construcción de un sensor digital es necesario tener conocimientos en el área de electrónica. Sin embargo, existen soluciones de bajo costo y sencillas de utilizar como lo son los microcontroladores marca Arduino o similares. Arduino es un proyecto de renombre cuyo propósito es desarrollar y fabricar tarjetas con componentes integrados que permiten a personas, con conocimientos de programación, pero no de electrónica, sustituir complejos circuitos digitales por código que procesa la tarjeta. Estas son programables por medio de un computador y son muy versátiles en cuanto a los periféricos que pueden utilizarse en adición con el microcontrolador.

Desde que el proyecto comenzó en 2005, más de 150.000 tarjetas han sido vendidas hasta la fecha. El número de copias no oficiales sin duda sobrepasa a las oficiales, sumando un estimado de más de medio millón de microcontroladores. Su popularidad incrementa a medida que más personas se dan cuenta del increíble potencial que posee este proyecto de código abierto, y esto les permite desarrollar prototipos rápidos con una curva de aprendizaje poco pronunciada. La principal ventaja de los controladores Arduino sobre sus contrapartes es esta facilidad de uso, principalmente para la población que no tiene tanta experiencia con estas tecnologías. Otra gran ventaja es la comunidad de usuarios de Arduino, que hacen accesible una gran cantidad de códigos para copiar y modificar [28].

Para el proyecto se utiliza un microcontrolador genérico basado en la tarjeta Arduino Nano. Dicho microcontrolador puede resolver valores de lectura de tensión en sus pines analógicos con una resolución de 10 bits, es decir, que en su rango de operación de 0 V a 5 V, tiene una resolución de 4.9 mV [33].

Teniendo en cuenta estos tres componentes previamente comentados, el objetivo del proyecto es el control automático de cuatro parámetros específicos: temperatura, humedad, movimientos y ventilación del producto en estudio (huevos de gallina).

### 2.2.2. Temperatura

El calentamiento de los huevos durante la incubación se logra mediante el intercambio de calor entre el aire y los huevos. La temperatura óptima de incubación se encuentra en el rango de 37°C y 38°C. De ser la temperatura menor de 35°C o mayor a 40°C los embriones mueren. El nivel óptimo de temperatura a aplicar depende de: el tipo de incubadora, la calidad, el tamaño de los huevos, la edad de los embriones; así como de la especie [12].

### 2.2.3. Humedad Relativa

Durante la incubación, el huevo pierde agua constantemente (desecamiento), lo que expone al embrión en sus primeros días a pegarse a las membranas internas de la cáscara, lo que puede

irremediablemente provocar su muerte. La humedad relativa ideal de incubación es de 50 % a 55 % para huevos blancos y de 55 % a 60 % para los huevos de color café; que también variarán en función del tamaño de los huevos. El humedecimiento del aire en las incubadoras artificiales se produce con ayuda de la aspersión de agua, esta se evapora y se disemina por todas las zonas del dispositivo de incubación. El régimen recomendado de humedad ha de disminuir la evaporación de agua de los huevos durante la primera semana de incubación y acelerarla a partir de la mitad de la incubación. Al final del proceso de incubación, se hace necesario elevar la humedad a 75 % - 80 % para huevos blancos y de 80 % a 85 % para huevos color café, para reblandecer las membranas de la cáscara y facilitar la salida a los polluelos [12].

#### **2.2.4. Movimiento de inclinación**

El desarrollo de los embriones transcurre normalmente sólo cuando los huevos son volteados periódicamente durante los primeros 18 días de incubación. En la incubación natural, la gallina es quien voltea los huevos con cierta frecuencia, de ahí que en el proceso de incubación artificial sea necesario repetir este procedimiento. Este proceso tiene una gran influencia en el desarrollo, pues evita que los embriones se adhieran a las membranas del huevo. Todos los huevos deben ser volteados 8 o más veces cada 24 horas, operación esencial durante las 2 primeras semanas de incubación. El éxito de incubación aumenta si se hace más de 8 veces diarias, pero si se voltean los huevos en una sola dirección, se provocará ruptura de vasos sanguíneos y de yemas, ocasionando una alta mortalidad de embriones [12].

#### **2.2.5. Ventilación**

La ventilación tiene tres funciones importantes: permitir la respiración del embrión, al mantener un mínimo de 21 a 22 % de oxígeno en incubadoras; limitar el O<sub>2</sub> de la atmósfera en un nivel inferior de 0.5 % y nunca rebasar el 1 %, pues provocaría lento desarrollo embrionario; y repartir uniformemente la temperatura y humedad. La correcta circulación de aire en el gabinete se garantiza mediante el funcionamiento de: ventiladores, inyectores o extractores de aire, compuertas u orificios de entrada y salida, etc [12].

### **2.3. Recursos energéticos renovables: Energía solar fotovoltaica**

El uso de energías renovables ha adquirido vital relevancia en los últimos años, donde el ser humano se ha dado a la tarea de diseñar estrategias para aprovechar los recursos presentes en la naturaleza y de este modo contribuir con la protección de los recursos, minimizando costos de producción. Un claro ejemplo de lo anterior, es la energía solar fotovoltaica, la cual mediante el uso de la tecnología, "... busca convertir directamente la radiación solar en electricidad. Basada en el efecto fotoeléctrico, en el proceso emplea unos dispositivos denominados celdas fotovoltaicas, los cuales son semiconductores sensibles a la luz solar; de manera que cuando se expone a esta, se produce en la celda una circulación de corriente eléctrica entre sus dos caras" [10].

Entonces, la energía solar constituye un importante recurso, debido a que proporciona la fuente de potencia que alimenta el funcionamiento de la incubadora de huevos de gallina.

Mediante su empleo, el recurso energético mencionado genera la corriente eléctrica que activa los microcontroladores arduinos, que simulan las condiciones necesarias para el desarrollo morfológico del huevo.

De manera obvia, la energía no se utiliza directamente, sino que a través de paneles solares, se diseñan celdas fotovoltaicas, es decir:

Dispositivos formados por metales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los rayos de luz inciden sobre ellos, generando energía eléctrica. Están formados por celdas hechas a base de silicio puro con adición de impurezas de ciertos elementos químicos, siendo capaces de generar cada una de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0.46 a 0.48 Voltios. Los paneles se colocan en serie para conseguir un voltaje adecuado a la aplicación eléctrica en cuestión o demandada; entonces los paneles captan la energía solar transformándola directamente en eléctrica en forma de corriente continua, que se almacena en acumuladores, para que pueda ser utilizada fuera de las horas de luz. Los módulos fotovoltaicos admiten tanto radiación directa como difusa, pudiendo generar energía eléctrica incluso en días nublados. [47]

Como se observa, la implementación de paneles solares es un mecanismo fundamental en este proyecto, debido a que genera corriente eléctrica continua que posibilita el funcionamiento continuo de la incubadora, permitiendo el diseño de una máquina autosuficiente, que no depende de la red eléctrica comercial. En tiempos críticos como el actual, emplear una fuente de energía renovable se convierte en un reto y tarea esencial, ya que minimiza costos y contribuye con el cumplimiento de los objetivos.

## Capítulo 3

# Desarrollo de la propuesta

### 3.1. Eficiencia de producción de la incubación de huevos de aves: integración y optimización

Debido a su posición central en la cadena de producción, in-ovo. El desarrollo está influenciado por factores de preincubación que afectan la calidad de los huevos embrionados y las condiciones de incubación mismas, y ambos pueden influir en la incubabilidad de los huevos y la calidad del pollito, así como supervivencia de aves, rendimiento de crecimiento y fenotipo en el campo [15].

La evolución del proceso de incubación a lo largo de los años se caracteriza por un importante desarrollo científico y tecnológico. Actualmente, el principal enfoque de investigación es la manipulación de la incubación térmica, sus condiciones, temperatura de la cáscara de huevo y los efectos integrados de factores que influyen en la incubación [15].

Hoy en día, las plantas de incubación deben lograr una alta producción y eficiencia de manera sostenible, lo que en nuestra opinión, incluye maximizar la incubabilidad de pollitos sanos con altas tasas de supervivencia y la máxima expresión de su potencial de crecimiento genético bajo cualquier condición en el campo [15].

El conocimiento científico sobre incubación adquirido a lo largo de los años muestra que los factores físicos a los que se someten los huevos antes y durante la incubación determinan la eficiencia de producción de los criaderos y granjas avícolas. Sin embargo, se sabe poco sobre la eficacia de los efectos integrados de los factores físicos durante el desarrollo genético en el fenotipo de aves durante las diferentes etapas de producción [15].

### 3.2. Física de la incubación del huevo

Desde un punto de vista macroscópico, aunque los ambientes externos e internos del huevo parecen ser completamente aislados, la cáscara de huevo participa y permite intercambios entre estos dos entornos, según lo determinado por la interacción entre la temperatura, humedad relativa, ventilación (calidad del aire) y huevo girando durante la incubación, que son esenciales para el éxito del desarrollo embrionario y fetal.

Los intercambios físicos entre el huevo y el ambiente externo (huevo y aire de la incubadora) incluyen la transferencia de calor, el intercambio de  $O_2$ ,  $CO_2$  y agua. Características del

huevo (tamaño, composición y forma y grosor de la cáscara de huevo, porosidad y calor y conductancia de vapor de agua), tasa de metabolismo embrionario y las condiciones físicas de incubación, así como las condiciones previas a la incubación, pueden causar desviaciones de los valores óptimos de estos agentes físicos (ver figura 3.1).

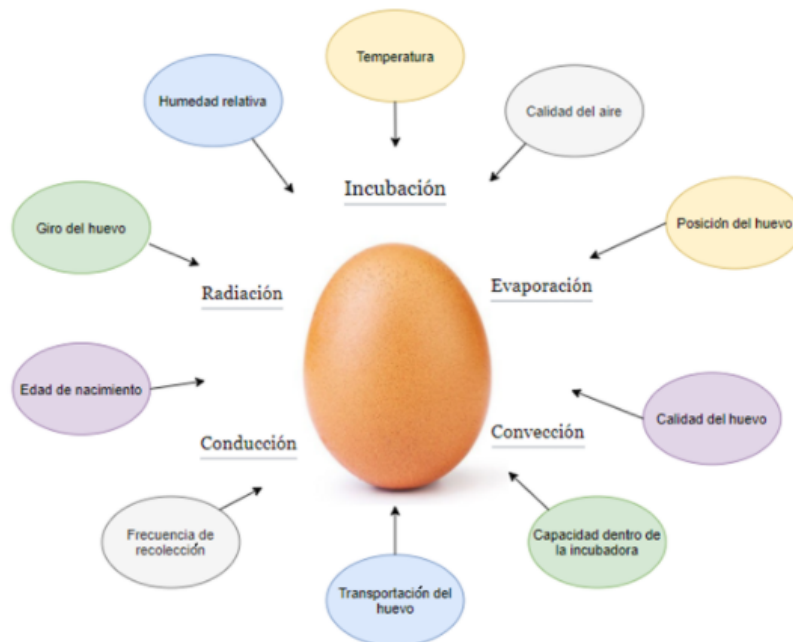


Figura 3.1: Física de la incubación de huevos [5].

### 3.3. Transferencia de calor en el huevo

La transferencia de calor ocurre cuando hay una diferencia en la temperatura entre dos regiones o medios, y siempre sobre el gradiente térmico. Los huevos presentan cuatro mecanismos para transferencia de calor: conducción, radiación, convección, y evaporación [5]. Sin embargo, los huevos solo ganan o pierden calor cuando hay una diferencia de temperatura entre medio ambiente y la cáscara de huevo, y esto está influenciado por varios factores asociados con la calidad del huevo (criador, años; tamaño, composición y forma del huevo; y cáscara de huevo características), pérdida de agua y condiciones de incubación.

#### 3.3.1. Conducción

Se produce transferencia de calor por conducción entre regiones o medios que están en contacto entre sí de las regiones más cálidas a las más frías. La tasa de transferencia de calor por conducción depende de la diferencia de temperatura y conductividad térmica de las regiones involucradas. Por lo tanto, en el huevo, el calor se transfiere por conducción desde el embrión a la cáscara de huevo, siempre que sus temperaturas sean diferentes, así como a la capa de aire en contacto directo con la cáscara de huevo. Los huevos ganan o pierden calor cuando la temperatura del aire es más cálida o más fría que la cáscara del huevo, respectivamente.



Sin embargo, la transferencia de calor por conducción dentro de los huevos es más rápida que la de los huevos al aire, porque el agua presente en los huevos tiene mayor conductividad térmica en comparación con el aire. Por lo tanto, la conducción representa solo una pequeña parte de la transferencia de calor del huevo al medio ambiente. Esto también significa que la transferencia de calor por conducción entre el embrión y la superficie del huevo depende del contenido de agua del huevo y puede verse afectado por la pérdida de agua del huevo. Otros factores que influyen en la transferencia de calor por conducción, como el huevo, tamaño, grosor de la cáscara de huevo y calor metabólico del embrión, tasa de producción, que está determinada por el tamaño del huevo y condiciones de incubación térmica.

### 3.3.2. Convección

La transferencia de calor por convección se refiere al calor transferido por corrientes de aire, y ocurre cuando un cuerpo pierde calor por conducción. Por lo tanto, cuando los huevos pierden calor por conducción al aire circundante, el aire cerca de la cáscara del huevo se calienta y se eleva, el aire más frío se mueve cerca de la cáscara de huevo en reemplazo del aire caliente, generando corrientes de convección, que ayudan a eliminar calor del huevo. Cabe destacar que las corrientes de convección son esenciales para que el huevo continúe perdiendo calor por conducción, porque la pérdida de calor por conducción no tiene lugar cuando la temperatura del aire cerca de la cáscara del huevo es similar a la de la cáscara del huevo.

En este contexto, los movimientos de aire a través de la superficie de la cáscara del huevo en la incubadora y el programa de volteo de huevos (ángulo de inclinación, velocidad y frecuencia) debe tenerse en cuenta, porque influyen en la disipación de calor conductivo-convectivo de la cáscara de huevo. Los movimientos más o menos intensos del aire o los huevos en la incubadora aumentan o disminuyen, respectivamente, la pérdida de calor del huevo por conducción y convección y puede influir en el desarrollo embrionario y/o fetal y, en consecuencia, la eficiencia de producción de incubación.

La tasa de transferencia de calor por conducción y convección de los huevos al medio ambiente son necesarios para el óptimo desarrollo in-ovo. Sin embargo, esta tasa de cambios durante la incubación de acuerdo con las condiciones de incubación, son determinadas por temperatura, humedad relativa, movimiento del aire y volteo de huevos, así como a las características de la cáscara de huevo, como la superficie total área, espesor y conductividad.

### 3.3.3. Radiación

La transferencia de calor radiante se produce desde la superficie de un cuerpo caliente por emisión de ondas de calor que se propagan por el aire. Por otro lado, cuando la energía radiante es absorbida por un cuerpo, se transforma en calor. Según este principio termodinámico, la pérdida o ganancia de calor del huevo por radiación depende de la diferencia de temperatura entre la superficie del huevo y la superficie en el ambiente de incubación. Por lo tanto, la transferencia de calor radiante permite calentar los huevos.

Las fuentes de calor radiantes utilizadas a lo largo de la historia de incubación artificial, eran el sol, quema de carbón, estiércol o gases, electricidad, etc. Sin embargo, la exposición de huevos a temperaturas ambientales más altas que la temperatura de la cáscara del huevo (muy alta temperatura de incubación) puede aumentar la conductividad y ganancia de calor

radiante por los huevos, que a su vez experimentan hipertermia y puede comprometer el desarrollo embrionario y desarrollo fetal debido a la falta de compensación pérdida de calor.

Según estos principios, el calor radiante ocurre cuando los huevos están expuestos a temperaturas más bajas que la temperatura de la cáscara del huevo. La exposición de los huevos a baja temperatura ambiental causa hipotermia, reduciendo o excluyendo el desarrollo embrionario y desarrollo fetal, y puede conducir a una muerte fetal.

#### 3.3.4. Evaporación

De acuerdo con las leyes de la termodinámica, la pérdida de calor por evaporación ocurre cuando el agua cambia de líquido a gas, porque esta reacción requiere calor. Además, se produce el flujo de vapor de agua desde presión alta de vapor o alta humedad hasta la baja cantidad de presión de vapor o baja humedad, respectivamente.

Por esta razón, los huevos pierden calor por evaporación por difusión de moléculas de agua a través de los poros de la cáscara del huevo como resultado de la mayor presión de vapor de agua dentro de los huevos en relación con el exterior. Esto significa que la pérdida de calor por evaporación es determinada por la conductancia de la cáscara del huevo, que depende en el número, tamaño y forma de los poros de la cáscara de huevo; y en las condiciones físicas de incubación establecidas por temperatura, humedad relativa del aire, movimiento del aire y huevo girando.

La pérdida de calor por evaporación del huevo es de 2,26 kJ por gramo de agua perdida y provoca el enfriamiento de la cáscara de huevo, que es importante para el establecimiento de pérdidas de calor por conducción de la cáscara de huevo [5].

### 3.4. Transferencia de agua en el huevo

La difusión del agua es un proceso físico que, según las leyes de Fick, es el movimiento de las moléculas de agua por un gradiente de concentración. El flujo de difusión es dado por un gradiente de concentración y por temperatura: cuanto mayor sea el gradiente y la temperatura, más rápido es la difusión del agua. Los huevos pierden agua por difusión a través de la cáscara de huevo como resultado de diferencias en la presión del agua entre el interior y el exterior del huevo, según lo determinado por la temperatura y humedad relativa de ambos lados. La pérdida de agua del huevo depende de la porosidad de la cáscara de huevo [5], dada por su poro número, diámetro, longitud y forma.

Por lo tanto, es mayor en huevos puestos en criadores mayores o huevos más grandes de una misma edad reproductora incubada a altas temperaturas y/o niveles bajos de humedad relativa. Aunque la velocidad del aire en la superficie del huevo no tiene un efecto directo sobre pérdida de agua [27], como anteriormente mencionado en esta investigación, permite una continua disipación de calor conductivo-convectivo, y por lo tanto, influye indirectamente en la pérdida de agua del huevo.

El contenido de agua del huevo es una cantidad finita de agua, depositado en la yema y en la albúmina durante la foliculogénesis ovárica y la producción de óvulos en el oviducto lateral de las aves. El contenido de agua de huevo corresponde a algo más del 70 % de su peso inicial

(74,3% en pollos, 71,8% en pintadas, 71,9% en pavos, 70,3% en gansos y patos, y 73,4% en codornices) [5].

Durante la incubación, el contenido de agua del huevo es absorbido por el embrión y el feto (cavidad amniótica, alantoides, saco vitelino), mientras que una pequeña porción se pierde en el entorno externo. Además, el agua metabólica también se produce en el interior de los huevos por el metabolismo de los lípidos del embrión, y particularmente por el metabolismo de los lípidos fetales durante la última semana de incubación, que representa del 8 al 13% del contenido de agua fetal [5].

Como se mencionó anteriormente en este documento, la pérdida de agua durante la incubación se asocia con la pérdida de calor del huevo por evaporación y conducción. Sin embargo, la pérdida de agua es importante no solo para la pérdida de calor del huevo, sino también para la formación de la cámara de aire.

El volumen del agua perdida es reemplazada por un volumen equivalente de gas, determinando así el tamaño de la cámara de aire [5]. Cuando la cámara de aire del huevo es pequeña (<4.57 cm), los pollitos no pueden realizar “pipping” esto causando que piquen debajo de la membrana interna y mueran ahogándose en el líquido todavía presente en el amniótico y cavidades alantoideas.

Por otro lado, en las cámaras de aire grande (>8.03 cm), indican que el fluido está seco, y los polluelos nacen débiles y se adhieren a la cáscara de huevo. La pérdida de agua del huevo también es importante para el gas intercambio a través de la cáscara del huevo, ya que ocurren a través de los mismos poros [3].

### 3.5. Intercambios de huevo $O_2$ y $CO_2$

El desarrollo in-ovo requiere que todo embrión y sus células anexas fetales y embrionarias se suministren con la energía necesaria para su supervivencia, proliferación, migración y diferenciación. La utilización de energía exige respiración aeróbica, suministro eficiente de oxígeno, y eliminación de dióxido de carbono. La demanda del intercambio de gases aumenta durante la incubación como resultado del aumento de la tasa metabólica del embrión, según sus diferentes etapas de desarrollo, es decir, morfogénesis embrionaria, crecimiento fetal y eclosión.

Para garantizar un intercambio de gases eficiente durante el desarrollo de in-ovo, se utilizan diferentes superficies. Durante los primeros tres días de incubación, los intercambios de gases son llevados a cabo directamente por las células embrionarias. Conforme se desarrolla el embrión, se forma la cavidad amniótica, que hace la difusión directa de gas desde el embrión a células ineficientes, que exigen el establecimiento de sistemas de transporte de gas. A partir del tercer día de incubación, con la aparición del sistema circulatorio embrionario y vascularización de la yema, el intercambio de gases se transforma en vasos vitelinos. La vascularización de la yema continúa, el embrión se desarrolla, aumentando la superficie de gas a intercambiar. Sin embargo, el desarrollo fetal requiere un mayor suministro de  $O_2$  que el proporcionado por el intercambio de gases vitelinos.

Además, la circulación vitelina desaparece a medida que el saco vitelino está incorporado en la cavidad abdominal fetal, y su contenido comienza a ser absorbido exclusivamente por

la vía intestinal. Por lo tanto, en los días 10-12 de incubación, los gases comienzan a ser intercambiados por los vasos alantoideos, que suministran los altos requisitos de oxígeno para aumento del metabolismo fetal [5].

Después del bombeo interno, los gases gradualmente comienzan a intercambiarse a través de las vías respiratorias pulmonares. El déficit de  $O_2$  y la saturación de  $CO_2$  dentro del huevo cámara de aire son los principales factores que inducen el picando y eclosionando perse.

Adicionalmente a cambios en las superficies de intercambio de gases, hematológicos, también se producen ajustes, aumentando el intercambio de gases y la capacidad durante la incubación: recuento de glóbulos rojos (RBC), valores de hematocrito (Ht), aumento de los niveles de hemoglobina (Hb), mientras que el volumen corpuscular medio disminuye [5].

Sin embargo, todos estos cambios morfológicos y adaptaciones fisiológicas no garantizan la eficiencia de intercambio de gases. El desarrollo embrionario y fetal de las aves dentro de los huevos requiere intercambio de gases principalmente entre el huevo y la incubación del medio ambiente. Por lo tanto, el intercambio de gases a través de la cáscara del huevo requiere diferencias de concentración de gas entre ambientes de huevos internos y externos.

Si la concentración de  $O_2$  fuera de los huevos es mayor que la presente dentro del huevo, el oxígeno se difunde en el huevo. Si la concentración de  $CO_2$  es mayor en el interior que en el exterior de los huevos, el  $CO_2$  se difunde en la dirección opuesta, es decir, fuera del huevo. Por tanto, la concentración de estos gases en la incubadora son esenciales para el desarrollo embrionario y fetal, suministro de  $O_2$  y la eliminación de  $CO_2$ .

### 3.6. Condiciones físicas de la incubación

A continuación se exponen a grandes rasgos las condiciones físicas de la incubadora que darán origen a las condiciones de la simulación que posteriormente se analizarán como parte de los resultados.

#### 3.6.1. Humedad relativa en el aire

Como se mencionó anteriormente, la pérdida de agua del huevo durante la incubación es esencial para un adecuado desarrollo in-ovo; sin embargo, pueden producirse pérdidas de agua fuera de un rango normal en las anomalías del pollito o muerte in-ovo.

Aire con baja humedad relativa durante la incubación puede causar la deshidratación y muerte del embrión [21] o la eclosión de pollitos pequeños y deshidratados, debido al déficit de líquidos en las cavidades amniótica y alantoidea, que perjudica el desarrollo embrionario y la eclosión.

Sin embargo, las crías con bajo peso corporal, como resultado de la deshidratación de la piel y los músculos, puede presentar crecimiento compensatorio entre 7 y 10 después del nacimiento, y desarrollo normal a partir de entonces. Por otro lado, si la humedad relativa del aire es demasiado alto, el período de incubación se acorta y los pollitos están mojados al nacer y la albúmina residual puede ser presente [5].

La humedad relativa del aire (HR) también influye en la evaporación y la pérdida de calor del huevo y, en consecuencia, la temperatura embrionaria o fetal. Como la cantidad de energía

requerida para evaporar el agua es de 2,26 kJ, los huevos pierden 2,26 kJ de energía calor por gramo de agua evaporada.

Por lo tanto, cuanto menor es la humedad relativa dentro de la sala de incubadoras, la mayor es la pérdida de agua por el huevo y, por tanto, su pérdida de calor. Esto indica que los huevos incubados a condiciones de humedad relativa baja o alta pueden requerir diferentes temperaturas de incubación para mantener la misma temperatura del embrión, ya que tanto la humedad relativa de incubación y la temperatura afectan la difusión del vapor de agua a través de la cáscara del huevo (ver figura 3.2). Van der Pol y col. obtuvieron mayor incubabilidad en huevos de pollos de engorde incubados a 55 %-60 % de HR cuando en la cáscara la temperatura se mantuvo a 37,8°C [5].

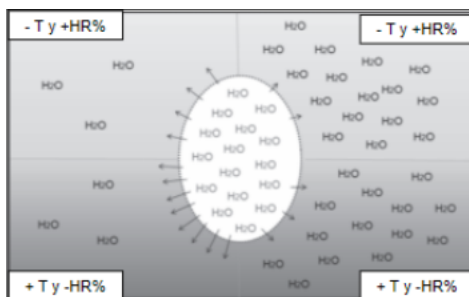


Figura 3.2: Traducción de imagen original: Cambios en la transferencia de agua con una temperatura (T) y humedad relativa (HR) [5].

La pérdida de agua por evaporación alrededor del 12 %-14 % en relación con el peso inicial del huevo proporciona una incubabilidad óptima. Existe un consenso entre estudios de que la pérdida de agua del huevo debe ser aproximadamente 12 %-14 % del peso inicial del huevo [5].

El seguimiento de la humedad relativa óptima del aire en la sala de incubadoras fue determinado: 40 %-70 % para huevos de gallina doméstica incubados a 37,8° C. La mayoría de los huevos de aves pierde un 15 %-18 % de su masa inicial durante la incubación [5].

Los modelos actuales de incubadoras comerciales permiten controlar la pérdida de peso del huevo durante la incubación mediante control de la pérdida de peso de la bandeja de huevos. Sin embargo, la eficacia de este control depende del conocimiento del agua de huevo perdida durante el período de preincubación (especialmente durante el período de almacenamiento) y sobre la distribución homogénea (peso o tamaño) de los huevos en las bandejas de incubación.

### 3.6.2. Giro del huevo, posición del huevo y ventilación

Los efectos asociados del giro del huevo, la posición del huevo, y la ventilación influyen en varios procesos, incluyendo intercambio de gases y transferencia de calor entre los huevos y el ambiente externo, la pérdida de agua del huevo, la adhesión del embrión a la membrana extraembrionaria estructuras y la disponibilidad de nutrientes [5].

Dar vuelta a los huevos es un comportamiento natural de las aves durante la incubación, y por lo tanto, esta práctica se incluyó en el proceso de incubación artificial. Dar vuelta al huevo permite la difusión de gases dentro de los huevos y entre los huevos y el medio externo.

Esto es crítico particularmente durante la primera semana de incubación, debido a la gran distancia entre el embrión y la cáscara, y a la alta densidad de albúmina.

Durante este período, el embrión depende de la difusión de gases a través la cáscara del huevo y la albúmina para obtener  $O_2$  y eliminar  $CO_2$ , porque el embrión se desarrolla en la superficie de la yema y los gases son intercambiados directamente por las células embrionarias.

Después de la aparición del sistema circulatorio (aproximadamente 36 horas de incubación) y la formación de la cavidad amniótica y vascularización de la yema, los gases son intercambiados a través de los vasos vitelinos. El alantoides comienza a sobresalir del cuerpo del embrión alrededor días 3-4 de incubación, y continúa creciendo en tamaño, que rodea la cavidad amniótica, donde el feto se desarrolla [5].

A medida que crecen tanto el feto como el alantoides, el alantoides se acerca a la cáscara del huevo, reduciendo la distancia viajado por los gases y permitiendo el intercambio de gases a través de vasos alantoideos por difusión a través de la cáscara del huevo poros. Intercambio de gases a través de las arterias alantoideas. y las venas comienzan los días 11-12 de incubación [5].

Por días 13-14 de incubación, la producción de calor metabólico fetal aumenta, y la rotación de huevos ayuda a la circulación del aire en la superficie interna del huevo (membrana de la cáscara externa) y cámara de aire, y permite la pérdida de calor por conducción, convección y evaporación. Sin embargo, dar vuelta al huevo es también importante para prevenir la deshidratación y el incorrecto desarrollo embrionario. Además, el huevo al girar mueve los nutrientes, facilitando su absorción. Dar vuelta a los huevos no es tan simple como parece [5].

La frecuencia de giro, eje de ajuste, ángulo y plano de rotación influyen en el desarrollo in-ovo, que puede afectar la incubabilidad y la calidad de los pollitos. Landauer (1967) demostró que las gallinas dan la vuelta a los huevos aproximadamente 96 veces al día durante la incubación. Kaltofen y Ubbels (1954) mostraron que los huevos giraban 24 veces al día (cada hora) presentó una mayor incubabilidad en comparación con los huevos volteados con menos frecuencia [5].

Años después, Wilson observó que una alta frecuencia de rotación de huevos (96 veces/día o volteando cada 15 minutos) mejora el desarrollo del in-ovo y la incubabilidad. Sin embargo, girar cada 15 minutos es operacionalmente difícil y aumenta costos de mantenimiento del equipo, y por lo tanto, no es aplicado en entornos comerciales [5].

El efecto de la velocidad de rotación del huevo en el desarrollo in-ovo también está relacionado con el ángulo de inclinación de los huevos. El desarrollo embrionario normal requiere que los huevos giren 90 grados cada hora.

Esta se logra inclinando horizontalmente los huevos (incubadoras horizontales) o las bandejas (incubadoras verticales) en un ángulo de  $45^\circ$  de lado a lado. Este es el ángulo que mejor se ajusta a las condiciones operativas de las incubadoras comerciales, ver figura 3.3.

Neves (2005), sin embargo, recomienda que los huevos deben girarse horizontalmente 24 veces al día a  $20^\circ$ -  $45^\circ$ . En criaderos comerciales, huevos de reproductoras de pollos de engorde se giran  $45^\circ \pm 5^\circ$  por hora hasta el día 18 de incubación [5].

Los huevos se someten a movimientos circulares porque la membrana corioalantoidea puede romperse, causando mortalidad embrionaria. Los polluelos nacieron de los huevos que giraban

en un ángulo de 45 eran más pesados y presentó yema residual seca más clara. Las fallas en el giro de los huevos pueden reducir la formación de fluidos embrionarios, así como la formación y crecimiento de anexos embrionarios, lo que dificulta el desarrollo y desarrollo fetal [5].

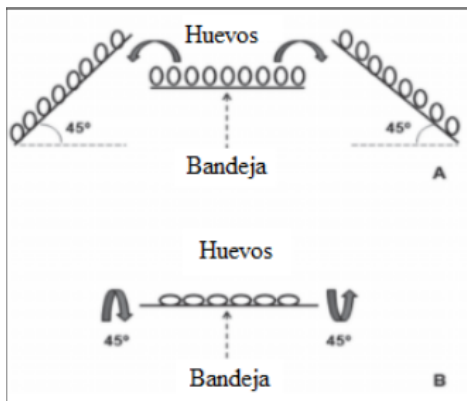


Figura 3.3: Giro del huevo para incubadoras verticales (A) y horizontales (B) [5].

Similar a las condiciones naturales, los huevos incubados en los colocadores horizontales se colocan en una posición horizontal. Sin embargo, las diferencias en el tamaño del huevo (jumbo, extra grande, mediano, pequeño) y en forma de huevo (puntiagudo, normal, o redondo) puede cambiar su posición, perjudicando el in-ovo desarrollo.

La posición de los huevos en la incubadora, es fundamental para la formación de la cámara de aire, que la posición y el tamaño irregulares pueden evitar el picado interno, y resultan en mortalidad in-ovo cuando los pollitos no realizan la extracción directa de la cáscara del huevo [5].

Además, la posición correcta del huevo en la incubadora, permite un intercambio de gas adecuado a través de la carcasa durante la incubación. En incubadoras verticales, los huevos deben colocarse con el extremo grande hacia arriba, es decir, donde se encuentra la cámara de aire, lo que permite intercambio de gases entre el huevo y el medio ambiente [5].

Según North y Bell (1990), hasta el 4% de los huevos se colocan en la posición incorrecta, es decir, con la gran terminar, lo que resulta en un déficit de oxígeno embrionario y metabolismo retardado. La colocación incorrecta de los huevos en el ajuste puede estar relacionado con una forma un poco más redondeada de los huevos, lo que perjudica la formación de la cámara de aire y, en consecuencia, picado interno [5].

La renovación del aire en la sala de incubadoras también es esencial en incubación artificial de huevos. Los ventiladores en la sala de incubadoras tienen dos funciones principales:

- Permitir la toma de aire fresco y la eliminación del aire ya circulado.
- Proporcionar un flujo de aire uniforme sobre los huevos, creando un microclima homogéneo dentro de la incubadora que promueve una adecuada transferencia de calor, intercambio de gases, y pérdida de agua entre los huevos y la incubación medio ambiente [5].

Los niveles de  $CO_2$  dentro de la sala del setter no deben exceder el 0,4% [5]. Sotherland y

col. (1987) afirman que la ventilación de la sala de las incubadoras debe reducir el coeficiente de transferencia de calor al principio de incubación para calentar los huevos, y aumentarla al final para permitir la pérdida de calor del huevo. Por tanto, la renovación del aire en la sala de incubadoras es esencial para la eliminación de exceso de  $CO_2$  y calor producido por los huevos, y por la restauración de los niveles de  $O_2$  [5].

Por el otro lado, la velocidad del aire dentro de la sala de incubadoras puede influir desarrollo in-ovo: una velocidad del aire de 2 m/s resulta en un  $0.5^\circ C - 1^\circ C$  de diferencia entre la temperatura del aire y la del huevo, mientras que 0,5 m/s promueve una diferencia de  $1^\circ C - 2,5^\circ C$ , que tiene fuertes efectos en el desarrollo del embrión, resultando en crías débiles que pueden ser incapaces de salir de la cáscara de huevo [5].

### 3.6.3. Calidad del aire: concentraciones de $O_2$ y $CO_2$

El mantenimiento de  $O_2$  adecuado y concentraciones de  $CO_2$  en la sala de incubadoras es esencial para un intercambio de gases eficiente entre los huevos y el ambiente de incubación. Como se mencionó anteriormente, la difusión de  $O_2$  dentro los huevos y la difusión de  $CO_2$  y  $H_2O$  de huevos depende de la presencia de poros en la cáscara del huevo y el gradiente de concentración de gas entre el interior y ambiente externo de los huevos.

Además, la velocidad de difusión del gas puede verse influenciada por las características de los huevos (superficie, número de poros y geometría) y condiciones de incubación. En este contexto, a mayor superficie de huevos, mayor número de poros y diámetro, y las cáscaras de huevo más delgadas aumentan la tasa de intercambio de gases entre los huevos y el medio ambiente.

Esto indica que los huevos grandes (generalmente puestos por mayores gallinas) presentan un mayor potencial de intercambio de gases que los huevos pequeños (puestos por gallinas jóvenes). La difusión de gas aumenta con el aumento de temperatura, según los principios de la física. Esto significa que la difusividad del vapor de agua y los gases a través la cáscara del huevo aumenta a medida que la temperatura de incubación aumenta [5].

La determinación de la concentración óptima de gases para los huevos para incubar huevos no es una tarea fácil, porque se deben considerar todos los factores que afectan la difusión del gas. Además, es fundamental tener en cuenta que la tasa de crecimiento embrionario y fetal es diferente entre huevos grandes y pequeños, y por lo tanto, tienen diferentes tasas metabólicas.

Además, el requisito de energía creciente de los embriones a medida que se desarrollan significa que la concentración óptima de gases dentro de la incubadora en la habitación también cambia durante la incubación. Esto indica que, aunque es posible establecer el  $O_2$  óptimo y concentraciones de  $CO_2$  óptimas para la incubación de huevos, desde una perspectiva estas concentraciones solo se pueden lograr en incubación de una sola etapa.

Al establecer las concentraciones óptimas de gas en la sala de incubadoras para optimizar el proceso de incubación, los efectos de hipoxia e hipercapnia en embrionarios y fetales es necesario considerar el desarrollo.

Aunque las salas de incubadoras cuentan con renovación de sistemas de aire, la concentración de gases está determinada por la calidad del aire atmosférico donde se encuentra la incubadora ubicada geográficamente. Las concentraciones atmosféricas de  $O_2$  y  $CO_2$  son las mismas en todas las altitudes (21 % y 0,03 % al nivel del mar, respectivamente) [5].



Sin embargo, a mayor altitud, el aire tiene menos moléculas de oxígeno y menor presión parcial de  $O_2$  (1.0 % menos por cada 500 m aumento) debido a la disminución en barométrica presión parcial. La incubación de huevos en áreas de gran altitud (más 600 m sobre el nivel del mar) aumenta la mortalidad del embrión tardío y reduce la incubabilidad y el peso de las crías debido a la reducción de  $O_2$  presión parcial, lo que crea una hipoxia o un ambiente hipercápnico [5].

Aunque la presión parcial más baja de  $O_2$  conduce a respuestas fisiológicas compensatorias, estos no son suficientes para restaurar el desarrollo embrionario y el desarrollo fetal. La hipoxia durante la incubación tiene diferentes efectos sobre desarrollo embrionario y fetal de las aves de corral, dependiendo en el período de desarrollo del embrión, y en la duración y nivel de hipoxia [5].

Curiosamente, Bahadoran et al. (2010) encontró que la hipoxia (incubación a 1800 m sobre el nivel del mar hasta día embrionario 10), seguido de normoxia (incubación al nivel del mar) reduce la duración de la incubación, reduce la incidencia de ascitis y mejora la alimentación relación de conversión y peso corporal de pollos de engorde de 42 días de edad criado en normoxia [5].

Todos estos resultados indican que la primera mitad de incubación (1-11 días de incubación) es la ventana crítica para los efectos adversos de la hipoxia en el desarrollo in-ovo, mientras que la segunda mitad (desde el día 12 hasta la eclosión) es la ventana crítica para la respuesta compensatoria de los órganos a la hipoxia [5].

Los efectos de la hipoxia temprana están relacionados con el aumento en la superficie de intercambio de gases, particularmente en el aumento de la masa corioalantoidea y angiogénesis, así como con un aumento angiogénesis pulmonar y vascularización. Relativo a la hipercapnia, los niveles de  $CO_2$  en la incubadora igual al 1 % o más en los días 1-4, 3 % en los días 5-8 y superior al 6 % en los días 9-12 de incubación evita una disminución de la incubabilidad [5].

Sin embargo, otros estudios mostraron que el aumento gradual de la concentración de  $CO_2$  concentración hasta el día 10 de incubación promovió el crecimiento embrionario, redujo tiempo de incubación, mayor incubabilidad y una mejor calidad de los pollitos. Estos resultados se asociaron con el desarrollo del sistema circulatorio y aumento de la producción de glóbulos rojos, lo que permite mayor absorción de  $O_2$  y conservación de energía [5].

A pesar de la considerable importancia científica del conocimiento sobre los efectos de la hipoxia y la hipercapnia sobre el desarrollo in-ovo adquirido en los últimos años, desde la perspectiva práctica, el  $O_2$  óptimo y niveles de  $CO_2$  en las salas de incubación durante la incubación comercial todavía hay que determinarlo.

#### **3.6.4. Temperatura en la incubadora**

Aunque la interacción entre varios agentes físicos durante la incubación tiene influencia en el in-ovo desarrollo, la temperatura tiene la mayor influencia [5], porque puede obstaculizar, promover, o mantener el desarrollo embrionario y fetal, así como determinar su tasa y duración.

Los huevos son sometidos a diferentes temperaturas de recepción de los huevos en la incubadora hasta la eclosión. Durante el almacenamiento, la temperatura se reduce para retrasar el desarrollo del embrión. Posteriormente, los huevos se calientan para reactivar el desarrollo embrionario inmediatamente antes del ajuste.

Durante la incubación, la temperatura debe ser mantenida para asegurar la producción de pollitos saludables. Además, la manipulación de la temperatura de la incubación permite anticipar o retrasar la eclosión según la demanda de pollitos.

Las temperaturas óptimas de incubación dan como resultado altos porcentajes de incubabilidad de pollitos sanos con buena post-eclosión. En este contexto, las desviaciones deben ser prevenidas porque pueden dañar el desarrollo embrionario, incubabilidad, calidad de cría y el desempeño posterior al nacimiento [5].

La temperatura óptima para la incubación de huevos de aves de corral está más cerca de la temperatura máxima tolerada por las aves que la temperatura mínima. Por lo tanto, se deben asegurar desviaciones ligeras por encima de lo recomendado.

Las temperaturas de incubación son más perjudiciales para el desarrollo del in-ovo que las desviaciones similares por debajo de las temperaturas. Las altas temperaturas de incubación tienen impactos negativos en el peso del corazón de los pollitos, sobre desarrollo óseo, y sobre el sistema inmunológico, que predispone a los pollitos a la ascitis, problemas en las piernas y deficiencias inmunológicas, respectivamente [5].

Durante la incubación natural, los huevos a menudo están expuestos a las fluctuaciones de temperatura en el nido, que pueden ser causados por variaciones de temperatura ambiental o cambios en la atención de las gallinas directamente a los huevos antes del desarrollo completo de la membrana corioalantoidea, alrededor del día 12 de incubación, el embrión responde a la gradiente de temperatura entre la región del huevo en contacto con la gallina y la parte del huevo en contacto con el material del nido, dirigiendo el flujo sanguíneo hacia la región más fría, regulando su temperatura interna [5].

Después del desarrollo completo de la membrana corioalantoidea, el embrión es capaz de redistribuir el calor a través de su torrente sanguíneo, que permite regular su temperatura dentro de ciertos límites [5].

Tanto la dirección del flujo de calor como la distribución del calor a través del torrente sanguíneo hace que el embrión sea menos dependiente de las condiciones climáticas alrededor del huevo. Esto muestra que el embrión es capaz de reaccionar a fluctuaciones menores de temperatura dentro del huevo, y que intenta regular su temperatura interna dentro un rango muy estrecho [5].

Con base en estos hallazgos, se llevaron a cabo estudios para evaluar los efectos de la temperatura de incubación en el embrión, la manipulación térmica durante la incubación, e inyección in-ovo de los nutrientes antiestrés, como vitamina C, como medio para inducir posibles adaptaciones de las aves de corral durante la cría o para promover cambios fenotípicos para alcanzar objetivos específicos [5].

### **3.6.5. Temperatura de la cáscara de huevo**

Aunque la temperatura embrionaria y/o fetal en el interior el huevo no es idéntico al de la superficie del huevo, por razones prácticas, la temperatura de la cáscara del huevo ha sido utilizado como indicador de la temperatura del embrión, debido a las pequeñas diferencias entre temperaturas, generalmente de  $0,1^{\circ}\text{C}$  a  $0,2^{\circ}\text{C}$  [5].

En los huevos de gallina, la temperatura de la cáscara permanece baja durante la primera

semana de incubación y aumenta durante la segunda semana, alcanzando una temperatura meseta alrededor del día 14-15 de incubación. Se demostró que la temperatura de la cáscara del huevo aumenta desde el segundo tercio de incubación a 36°C-39°C de temperatura de incubación [5].

Este aumento está relacionado con la mayor producción de calor metabólico por el feto durante esta fase de alta tasa de crecimiento. Después del picado interno, alrededor del día 19 de incubación, el intercambio gaseoso corioalantoideo es reemplazado gradualmente por la respiración pulmonar y, en consecuencia, la producción de calor por los fetos de pollos de engorde casi se duplica. Como se mencionó anteriormente, de acuerdo con leyes de la termodinámica, el calor se transfiere entre los huevos y el entorno de incubación en un gradiente térmico, es decir, siempre desde el más cálido a la región más fría [5].

Bajo temperatura de incubación óptima (alrededor de 37,5°C-37,8°C), la temperatura de la cáscara se mantiene menor que la temperatura ambiente de la incubadora durante la primera semana, comienza a aumentar en la segunda semana, y es más alta que la temperatura ambiente de la incubadora durante la última semana de incubación [5].

Esto indica que los huevos incubados bajo esas temperaturas necesitan ganar calor al principio y perderlo durante la última semana de incubación, respectivamente. Por lo tanto, la temperatura de incubación necesita ser establecida de acuerdo con los requisitos del embrión y feto para optimizar la eficiencia de la incubación.

La temperatura constante de la cáscara durante la incubación resulta de un equilibrio entre el calor del embrión o del feto, producción y transferencia de calor entre el huevo y el medio ambiente [5].

Para mantener una temperatura óptima de la cáscara del huevo de 37,5°C a 38,0°C durante todo el período de incubación, la temperatura del aire de la sala de incubadoras debe ser superior a 37,5°C-38,0°C durante los primeros días de incubación y reducido desde el día 9 de incubación en adelante [5].

Mantener la temperatura constante de la cáscara de huevo a 37,5°C - 38,0°C durante todo el período de incubación promueve alta incubabilidad y buena calidad de pollitos. Estos resultados llevaron a las empresas a desarrollar incubadoras de huevos con control de temperatura con base en la temperatura de la cáscara del huevo [5].

Sin embargo, desde un punto de vista práctico, cabe señalar que solo las incubadoras de una etapa permiten reducir la temperatura de incubación para mantener la temperatura constante de la cáscara del huevo.

La temperatura constante de la cáscara durante la incubación se puede lograr reduciendo el aire de la sala de incubadoras temperatura durante la segunda mitad del in-ovo desarrollo debido a la mayor pérdida de calor de la cáscara de huevo el aire de la sala de incubadoras.

### **3.6.6. Manipulación térmica durante la incubación**

La manipulación térmica del embrión o cambios en la temperatura de incubación ha sido estudiada por varios grupos de investigación para determinar una ventana para el desarrollo del embrión durante la cual la manipulación térmica pueda promover la adquisición de características beneficiosas.

Los principales objetivos son aumentar la tolerancia térmica del pollo durante la cría o modular características comercialmente importantes, tales como respuesta inmune, deposición de grasas, etc [5]. Los investigadores han aplicado diferentes tipos de manipulación térmica, en términos de intensidad, frecuencia, duración y período de desarrollo embrionario. Los resultados obtenidos hasta ahora han demostrado que el desarrollo fetal (desde los días 8 a 9 de incubación) parece ser el período más prometedor para la aplicación de la manipulación térmica.

Además, estos estudios han generado datos que brindan nuevos conocimientos sobre las condiciones óptimas de incubación y sobre las respuestas potenciales de las aves de corral a variaciones en estas condiciones.

La manipulación térmica durante la incubación cambia según preferencia térmica de los pollos. Pollos de engorde incubados a alta temperatura ( $1^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura óptima) tienen una preferencia a temperatura más altas de crianza durante las primeras tres semanas de edad, y presentan mayor tolerancia al estrés por calor hasta que la cuarta semana que las incubadas a temperatura óptima ( $37,5^{\circ}\text{C}$ ) o temperaturas bajas ( $36^{\circ}\text{C}$ ) [5].

También se encontró que la temperatura de incubación alta ( $1,5^{\circ}\text{C}$  más alta que la temperatura óptima) desde día 13 hasta que la eclosión induzca cambios en la piel logra características relacionadas con la pérdida de calor, tales espesor y mayor riesgo, lo que puede explicar la preferencia de estas aves para ambientes más cálidos [5].

A nuestra vista, estos resultados demuestran que, al contrario de lo que se sabía anteriormente, las aves responden fisiológicamente a las respuestas ambientales a las variaciones de temperatura ya durante la etapa fetal.

Los intercambios físicos entre huevos y medio ambiente son necesarios para el desarrollo in-ovo. Los intercambios deficientes afectan negativamente el proceso de incubación, mientras que los intercambios excesivos pueden mejorar la eficiencia. Los intercambios físicos dependen en primer lugar de la porosidad y conductancia de la cáscara de huevo y en temperatura y diferencias de humedad relativa entre los huevos y el medio ambiente.

Estos factores son maternos influenciado por la calidad del huevo (peso, tamaño, composición, y porosidad de la cáscara de huevo, superficie y conductancia), condiciones de almacenamiento de huevos (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire) y duración, y las condiciones de incubación (temperatura, humedad relativa, huevo girando y posición en el fraguado, y velocidad del aire y concentraciones de gas). Los efectos maternos sobre el intercambio físico muestran que el almacenamiento óptimo y las condiciones de incubación varían con la edad del reproductor y peso del huevo. Sin embargo, el almacenamiento e incubación en óptimas condiciones en función del peso del huevo o del peso todavía es necesario establecer el rango.

Aunque esta propuesta parece poco realista a primera vista, puede ser factible como los sistemas de control de incubación física condiciones (por ejemplo, controlar la pérdida de peso del huevo, temperatura de incubación según la cáscara del huevo temperatura) están más desarrollados tecnológicamente, permitiendo su determinación más fácil y rápida. Además, las condiciones de incubación, que son esenciales para maximizar la eficiencia de producción de las plantas de incubación, puede optimizarse mediante el uso de nuevas técnicas tecnológicas y nuevos estudios más profundos dentro del control de parámetros automatizados.

### 3.6.7. Implementación electrónica (Arduino)

Uno de los principales propósitos de este proyecto es obtener un prototipo de bajo costo y que posea una eficiencia térmica y durabilidad en el tiempo, para que con el paso del tiempo la inversión en su construcción u operación sea rentable a nivel industrial o residencial. En el cuadro 3.1 , se detalla una lista de materiales de construcción del ensamble eléctrico que involucra la configuración del arduino.[22]

Cuadro 3.1: Componentes electrónicos para la instalación eléctrica (Arduino).

Material	Cantidad	Precio unitario	Suplidor
Placa Arduino DUE	1	\$ 34.29	Arduino (anexo F.1)
Sensores de Temperatura y Humedad	3	\$ 10.35	Arduino (anexo F.1)
Interruptores de contacto	2	\$ 6.99	MUZHI (anexo F.3)
Cables de cobre UTP	1	\$ 6.99	ELEGOO (anexo F.4)
Consola LCD	1	\$ 95.89	Nextion (anexo F.5)
Set de resistencias	1	\$ 11.99	ELEGOO (anexo F.6)
Protoboard	1	\$ 12.99	ELEGOO (anexo F.7)
Adaptador USB	1	\$ 6.53	Amazon Basics (anexo G.1)
Sensor de calidad de aire	1	\$ 12.80	Arduino (anexo F.8)
Anemómetro	1	\$ 472.48	McMaster-Carr (anexo F.13)
<b>Valor total</b>		<b>\$ 671.3</b>	

La conexión de los dispositivos electrónicos con la tarjeta principal Arduino Due se realizó de acuerdo con el diseño proporcionado por el siguiente esquema (ver figura 3.4).

## 3.7. Funciones o característica

Las características que presenta este prototipo son las determinadas por los 4 parámetros importantes de la incubación previamente discutidos en el proyecto: temperatura, humedad relativa, movimientos y ventilación.

### 3.7.1. Control de dispositivos

El control de los dispositivos se realiza por medio de la Arduino DUE, su construcción se basó en el Diagrama a bloques de la figura 3.5, el cual muestra de manera general que los sensores se conectan en los pines de entrada (INPUT) de la tarjeta Arduino DUE y los actuadores en los pines de salida (OUTPUT), de la misma manera el LCD (Liquid Cristal Display).

### 3.7.2. El control de la temperatura

El calor dentro del recipiente es proporcionado por resistencia eléctrica y con los 3 sensores DHT22 ubicados al nivel de la estructura de movimiento se obtiene un promedio de temperatura. En caso de un incremento de la temperatura, se apaga la resistencia, y se acciona el ventilador para ayudar a disminuir la temperatura. En el caso contrario, de un descenso

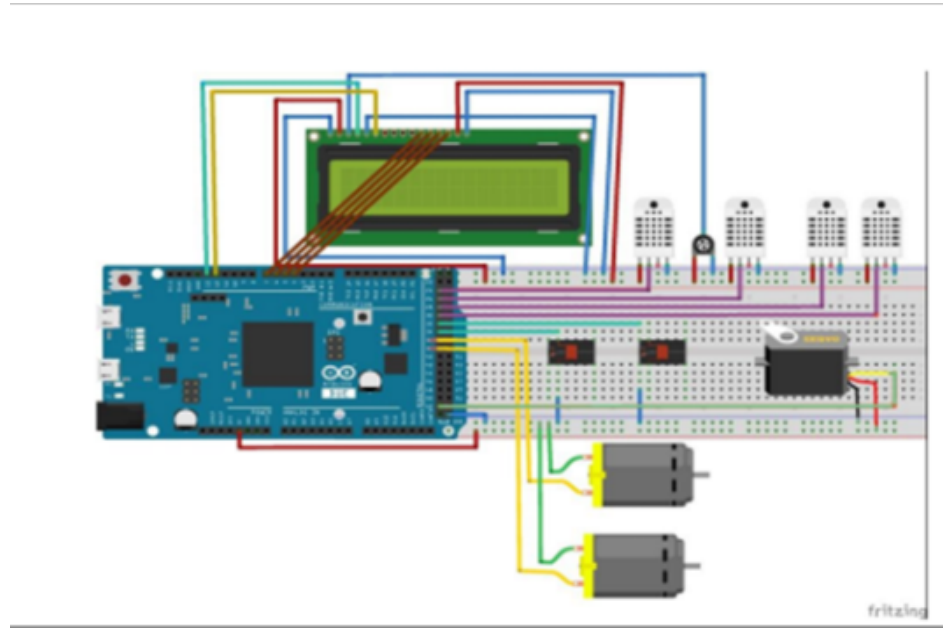


Figura 3.4: Esquema de conexión gráfico para el control automático de los parámetros de la incubadora artificial [33].

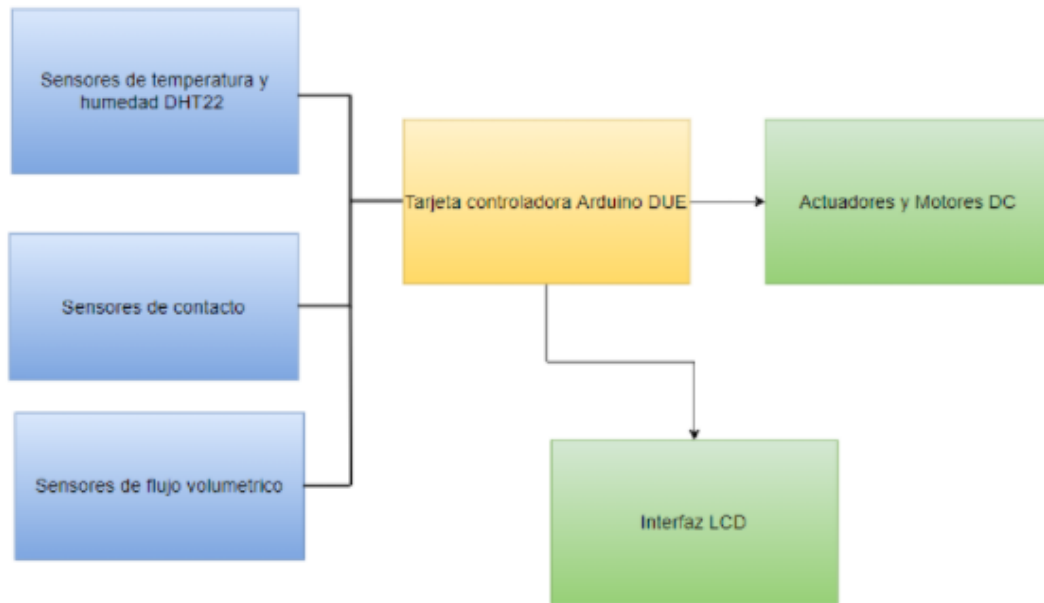


Figura 3.5: Diagrama de bloques para la incubación Artificial. Fuente: Elaboración propia.

de temperatura, la resistencia se enciende y el ventilador deja de funcionar. La temperatura oscila entre los 37°C y 38°C.

### 3.7.3. El control de la humedad relativa

Se instala un humidificador que se compone básicamente de un contenedor de agua, una resistencia para calentar agua y un ventilador de PC. Con los 3 sensores DHT22 se obtiene el promedio de humedad dentro del recipiente, si la humedad está en un valor bajo se activa el humidificador, es decir la resistencia calienta el agua y el ventilador canaliza las partículas de agua al interior del recipiente. Si la humedad excede los parámetros óptimos, el humidificador se desactiva y se enciende el ventilador para dispersar las partículas de agua. Se establece entre un  $60\% \pm 5\%$  de humedad relativa.

### 3.7.4. El control de los movimientos

Es gracias a un servomotor y unos cables unidos a la rejilla. En los momentos indicados se activa el servomotor con el giro en una dirección, esto desplaza a la rejilla hasta uno de los topes, al hacer contacto con el interruptor el giro del servomotor cambia de dirección lo que desplaza a la rejilla al otro tope. Los movimientos se realizan cada 3 horas.

### 3.7.5. El control de la ventilación

La introducción de aire fresco al contenedor es mediante un ventilador de PC, que se activa como respuesta al incremento de temperatura o al exceso de humedad. Todas las lecturas de los datos, así como las acciones de los dispositivos son gobernadas por la placa de control Arduino DUE, mediante un código constituido por instrucciones ad-hoc al problema.

## 3.8. Programación

Para realizar el control automático de cada uno de los parámetros de la incubadora artificial se desarrolló el programa en el entorno de desarrollo de Arduino, que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa. Una vez cargado el programa, la placa controla los componentes electrónicos. Se siguió el esquema que se presenta a continuación en la figura 3.6.

Cabe recalcar que este proyecto tiene sus alcances y limitantes; puede ser continuado; si bien los parámetros se encuentran controlados y las acciones del dispositivo responden adecuadamente a las condiciones de los huevos de gallina específicamente, es posible complementarlas con otras funcionalidades, como un sistema de respaldo de energía (energía renovable) o que el usuario pueda elegir los parámetros preestablecidos con anticipación para otros tipos de huevos de otras aves domésticas: pato, guajolote, pavo real, ganso o incluso avestruz. Así, se podría hacer contacto con alguna reserva de conservación de la naturaleza para realizar pruebas con el dispositivo, en huevos de aves exóticas o en peligro de extinción.

## 3.9. Eficiencia de la incubadora

En líneas anteriores, se han detallado los parámetros internos y externos que ejercen influencia en la incubación y desarrollo de huevos/pollitos, así como el funcionamiento de los microcontroladores (programación), que permiten el accionar de la incubadora. Entonces,

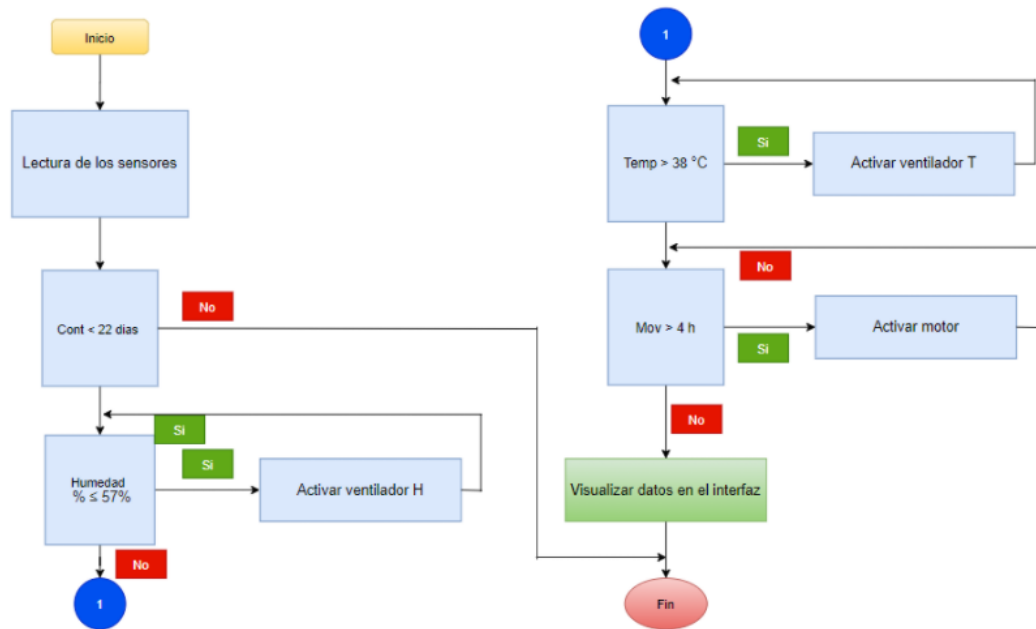


Figura 3.6: Esquema general para el control de parámetros de la Incubadora Artificial.  
Fuente: Elaboración propia.

mantener el control sobre dichos aspectos, supone también la elección de materiales que permitan el cumplimiento de las características mencionadas, debido a que la incubación será realizada de manera artificial. En ese sentido, Adam indica que la escogencia de materiales parte de varios principios a considerar, entre ellos [5]:

- Es importante tener en cuenta que la incubadora debe ser construida con materiales que resisten el lavado frecuente con detergentes y desinfectantes, ello en razón de alcanzar las medidas higiénicas y sanitarias vigentes.
- Las bandejas que se utilicen deben permitir la colocación de los huevos de manera firme, de modo que permitan la circulación de aire entre éstos.
- Es menester tener presente la ubicación y el medio ambiente donde se encontrará la máquina, pues dichos aspectos influyen en su funcionamiento/eficiencia.

Como se observa, la selección de materiales dependerá de la zona y las condiciones climáticas presentes, por ello es imperante que quienes lleven a cabo la construcción, efectúen un diagnóstico de las condiciones, a fin de determinar si realmente los materiales son los idóneos para el proceso y contribuyan con el mantenimiento de la temperatura requerida para la incubación de los huevos.

De esta manera, la eficiencia de la incubadora depende de su diseño y construcción, por lo que resulta indispensable que a la hora de elaborar dicha máquina, se cuente con los estudios pertinentes que permitan controlar la temperatura, ventilación, entrada de aire, movilidad de huevo, entre otros aspectos, que brindan la posibilidad de controlar la incubación. Por ello, es menester que la incubadora cuente con aberturas, espacios adecuados para la manipulación



humana, firmeza y estructuras viables para la colación firme de las bandejas, que al final de cuentas se constituyen en el hogar de los huevos.

### 3.10. Paneles solares: energía solar fotovoltaica

La eficiencia en el funcionamiento de la incubadora depende directamente de la fuente de administración de energía, la cual está dada por la energía solar manifestada en paneles con celdas fotovoltaicas. Se dice que las instalaciones eléctricas fotovoltaicas tienen como objetivo la generación de electricidad a partir de la energía del sol, su razón de ser parte del efecto fotovoltaico, mediante el cual ciertos materiales realizan la conversión de esta energía, al absorber fotones de luz y emitir electrones [12]. A continuación se observa la figura 3.7, que resume dicho efecto.

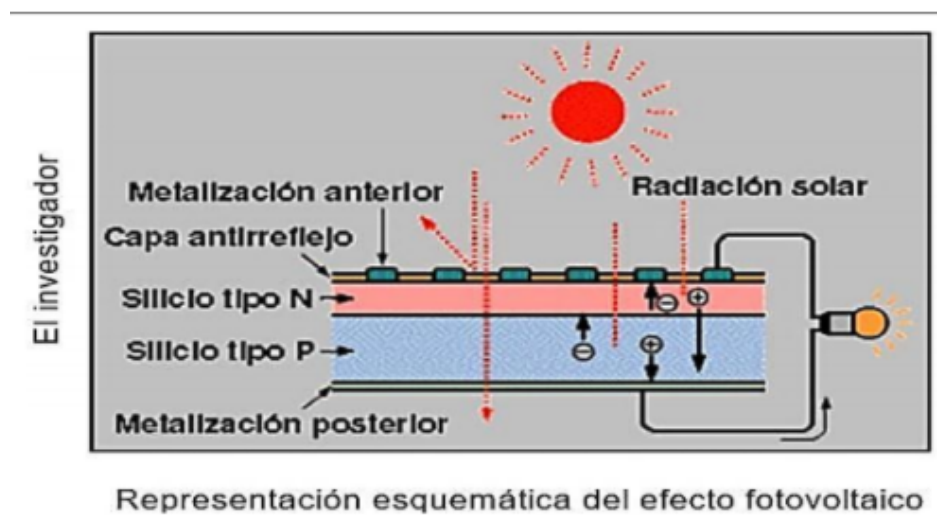


Figura 3.7: Representación gráfica del efecto fotovoltaico [12].

Como se observa, es necesaria la presencia de celdas fotovoltaicas, es decir de dispositivos que permiten transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones). Celdas, cuya función es precisamente producir la energía requerida para dar funcionamiento a la incubadora y con ello obtener los resultados esperados. Es conocido que una celda de silicio monocristalino de  $100 \text{ cm}^2$  de superficie, posee la capacidad de producir alrededor de 1.5 Watt de energía a 0.5 volt (CC) y 3 amperios de corriente [12]. A continuación se ilustra en la figura 3.8 este dispositivo.

#### 3.10.1. Tipos de celdas fotovoltaicas

Según Delgado se pueden distinguir una serie de celdas fotovoltaicas, entre las que destacan [12]:

- Silicio monocristalino: Este tipología de celda se encuentra caracterizada por una disposición ordenada y periódica, poseyendo una única orientación cristalina, que permite que todos los átomos se encuentren dispuestos de modo simétrico.



Figura 3.8: Representación gráfica del efecto fotovoltaico [12].

- Silicio policristalino: La característica principal de esta celda consiste en que el silicio se encuentra depositado sobre otro sustrato, por ejemplo una capa de 10-30 micrómetros, cuyo tamaño de grano oscila entre 1 micrómetro y 1 mm.
- Silicio amorfo: Está constituido por un compuesto hidrogenado de silicio, el cual tiene la particularidad de no ser cristalino. Se deposita sobre otra sustancia con un espesor aproximado de 1 micrómetro. Presentan una tonalidad marrón y gris oscuro.

La elección de una u otra celda depende de los intereses de la persona y de los usos que desea otorgarle, lo cierto es que una vez elegida ésta se procede a colocarla en un módulo fotovoltaico, estructura manejable y robusta. Tales componentes dan origen a un sistema, que se constituye en un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos para captar y transformar la energía solar, de tal forma que puede ser empleada en máquinas que requieran fuente eléctrica [12]. Un sistema se observa de la siguiente manera (ver figura 3.9):

### 3.10.2. Componentes del sistema solar fotovoltaico

Un sistema solar fotovoltaico está integrado por una serie de componentes, los cuales son descritos por Delgado de la siguiente manera: [12]

- Panel solar: A partir de los fotones originados por la luz solar genera fuentes eléctricas, cuyo funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico ya descrito.
- Regulador de carga: Permite un funcionamiento satisfactorio del sistema, especialmente al unir los paneles solares con la batería. Es indispensable que siempre esté presente,



Figura 3.9: Representación gráfica de un sistema fotovoltaico [12].

excepto si se trata de un panel autorregulado.

- Inversor de voltaje: Su objetivo consiste en adaptar las características de la corriente generada para el adecuado funcionamiento de las aplicaciones.
- Baterías o acumuladores: en las instalaciones fotovoltaicas es común que las personas empleen un conjunto de baterías vinculadas en serie o en paralelo para almacenar la energía eléctrica producida durante las horas de radiación.

Por otro lado, Delgado menciona que en caso de contarse con 4 incubadoras, los parámetros eléctricos a utilizar versan sobre una potencia de 195 Watt, con una tensión de 230V 60 Hz, las cuales son de uso diario y podrían consumir alrededor de 18720 Wh/día [12].

### 3.11. Software para análisis térmico para el fluido tratado: Ansys Fluent

Programar el funcionamiento de la incubadora, requiere la implementación de un software que permita la simulación de las condiciones naturales, que favorezcan el desarrollo e incubación de los huevos de gallina. Por ello, la presente propuesta selecciona el software Ansys Fluent.

Ansys Fluent es un software CFD que se utiliza particularmente para el modelado de flujo de fluidos y la transferencia de calor el cual se constituye en una importante herramienta tecnológica. A través del uso de una interfaz diseñada para facilitar su uso y métodos físicos innovadores, que buscan cumplir con los requerimientos de las simulaciones. Ansys Fluent también tiene amplias capacidades de modelado físico (creación de geometrías incorporado

dentro del software) que son necesarias para el flujo de fluidos, transferencia de calor, turbulencia y reacciones para aplicaciones industriales. Ansys Fluent constituye una parte integral del proceso de optimización y diseño de nuestro producto [34].

## Capítulo 4

# Análisis de resultados

### 4.1. Análisis térmico teórico alrededor del diseño

En esta sección, se determina la transmisión de calor para que el huevo se mantenga a la temperatura requerida por los parámetros de incubación y no haya pérdidas durante el desarrollo del embrión <sup>0</sup>.

Cuadro 4.1: Propiedades del acero, vidrio y poliuretano, materiales para la construcción de la estructura de la incubadora.

	Acero inoxidable	Poliuretano	Vidrio	Unidades
Espesor de película (e)	0.0012	0.03	0.04	m
Constante de transmisión calorífica, (K)	79.99	0.2767	0.96	W/m*K

Se trabajan tres tipos de materiales para la construcción de la caja o de la estructura (figura 4.1), los cuales son el acero inoxidable, el poliuretano (material aislante) y el vidrio (ver cuadro 4.1. ), como se observa en la figura 4.2, cabe destacar que en el caso del vidrio este será utilizado como un barrera que permita vislumbrar el proceso desde el exterior. Las temperaturas a manejar al interior y al exterior de la máquina son  $T_{int}=37.5-37.7^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\infty} = 28^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

### 4.2. Representación de la transmisión de calor en la estructura de paredes

Las paredes en la incubadora están compuestas por dos láminas de acero inoxidable de espesor igual a 0.0012 m y una lámina de poliuretano expandido de 0.03 m de espesor. Esta estructura de placas planas compone todas las paredes de la máquina incubadora, exceptuando la placa de frente que actúa como un visor en vidrio.

---

<sup>0</sup>Para efectos prácticos de la memoria de cálculo puede referirse al apartado de anexos, específicamente en la sección H.

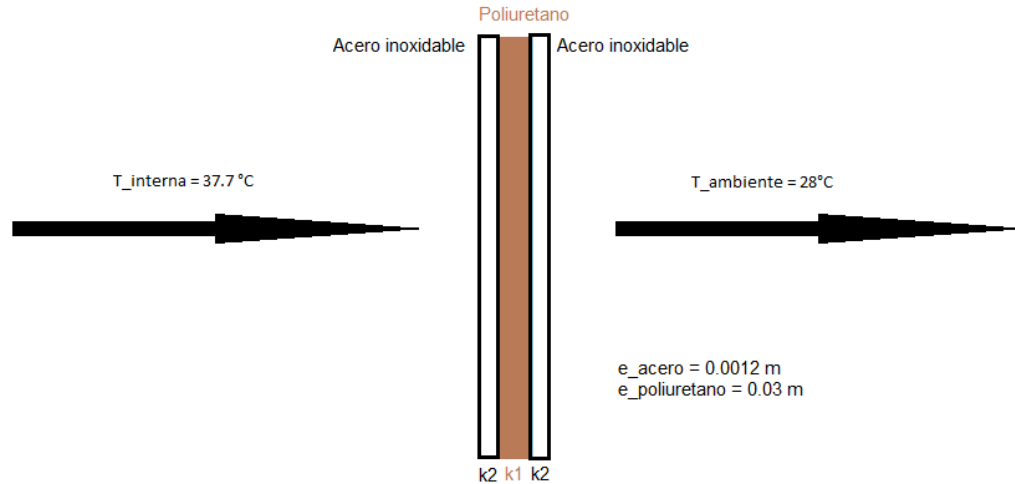


Figura 4.1: Pared compuesta.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1. Transmisión de calor Q a través de las paredes

El paso del calor a través de las paredes varía con el tipo de construcción, el área, tipo de aislamiento y espesor, a su vez, la diferencia entre la temperatura en el ambiente y en el espacio a calentar. Las temperaturas a manejar al interior y al exterior de la maquina son  $T_{int} = 37.5\text{-}37.7^\circ\text{C}$  y  $T_{ext} = 28^\circ\text{C}$ , respectivamente. Para el cálculo de la transmisión de calor en la incubadora en las paredes planas de acero y poliuretano se utiliza la ecuación 4.1):

$$Q = U * A * \Delta T \quad (4.1)$$

Donde:

Q= Transmisión de calor, W.

U= Coeficiente total de transmisión,  $\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

A= Área,  $\text{m}^2$ .

$\Delta T$ = Diferencia de temperatura,  $^\circ\text{C}$ .

Para el cálculo de la transmisión de calor, se debe expresar el coeficiente total de transmisión de calor, para ello se utiliza la ecuación 4.2,

$$U = \frac{1}{R_{total}} \quad (4.2)$$

$$R_{total} = 2 * \frac{e_{acero}}{K_{acero}} + \frac{e_{poliuretano}}{K_{poliuretano}}$$

Donde:

$R_{total}$  = Transmisión de calor total,  $\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$

e = Espesor del material, m

K = Constante de transmisión calorífica,  $\text{W}/\text{m K}$

Ahora bien, para calcular el área de la incubadora, al ser medianamente rectangular, se utiliza la ecuación 4.3,

$$A = 2(a * b + a * h + b * h) \quad (4.3)$$

Donde:

A= área de la incubadora, m<sup>2</sup>.

a= ancho, m.

b= base, m.

h= altura, m.

De esta forma, se determina la carga de transmisión de calor desde el interior hacia el exterior de la máquina incubadora, con la ecuación 4.1, descrita anteriormente. La carga de transmisión de la máquina incubadora con respecto a las paredes es de 61.43 W, este valor corresponde al transferido del interior de la máquina al ambiente, siendo este último el exterior de la máquina, evitando pérdidas mayores de calor.

#### 4.2.2. Transmisión de calor a través del vidrio visor

El visor está compuesto por un vidrio de espesor 0.04 m, el cual se ubica en la tapa de frente de la incubadora, con el fin de brindar visibilidad a los huevos y así hacer el control dentro de la máquina sin necesidad de abrirla, en la figura 4.2 se muestra lo que será la transferencia y características para realizar el análisis.

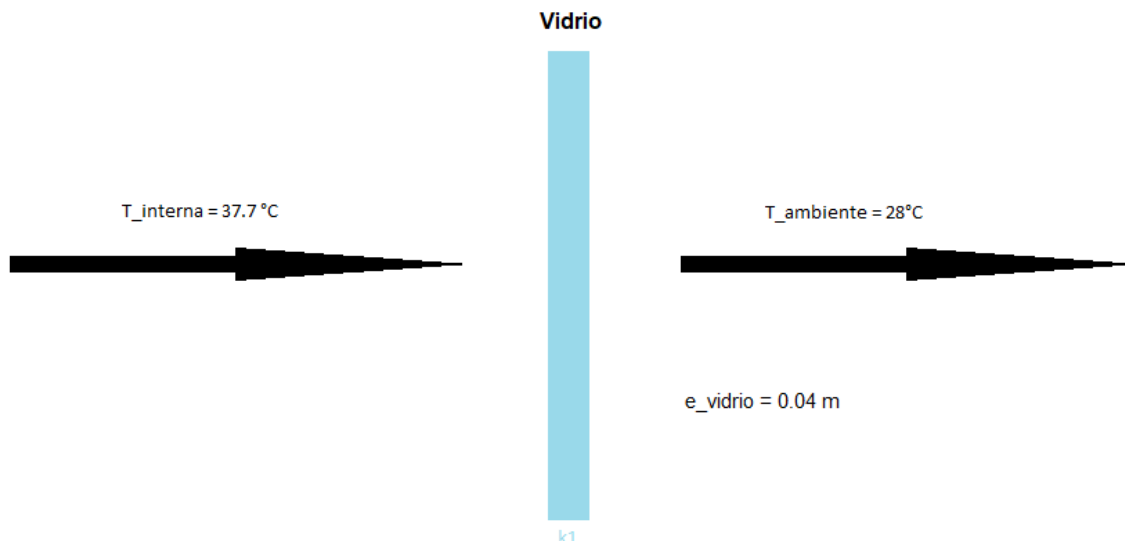


Figura 4.2: Transmisión de calor en el vidrio.

Para el cálculo de la transmisión de calor en la incubadora en el vidrio que actúa como visor, se emplea a la ecuación 4.1. Para el cálculo del área del visor se utiliza la ecuación 4.4,

$$A = b * h \quad (4.4)$$

. Donde:

A= área del visor, m<sup>2</sup>.

b= base, m.

h= altura, m.

De esta forma, la carga de transmisión a través del vidrio visor es de 27.97 W. Esta carga permite determinar la cantidad de calor que va del interior de la máquina al exterior, siendo la que puede ser transferida a través del vidrio visor.

#### 4.2.3. Análisis de transferencia de calor en los huevos

Al interior de la máquina incubadora, se debe mantener una temperatura promedio de 37.7°C como máximo para cumplir con el proceso de incubación y no afectar el desarrollo del embrión al interior del huevo. De esta forma, es necesario determinar el área del huevo en análisis para lo cual se tomará como referencia la ecuación 4.5,

$$A_{huevo} = \frac{D_{ancho}}{2} * \frac{D_{largo}}{2} * \pi \quad (4.5)$$

Donde:

$A_{huevo}$  = Área del huevo, m<sup>2</sup>.

$D_{ancho}$  = Diámetro a lo ancho del huevo, m.

$D_{largo}$  = Diámetro a lo largo del huevo, m.

Cabe resaltar que estos datos se obtuvieron de forma teórica con datos ya obtenidos en otros estudios de terceros [4]:

- Peso de huevo: 60 g.
- Área del huevo: 0.002384 m<sup>2</sup>.
- Número de huevos: 50.
- Espesor de la cáscara (EC): 0.035 m.
- Conductividad térmica (K): 550 W/m°C.

En la figura 4.3, se representa el flujo de calor requerido para que el huevo mantenga la temperatura a 37.7°C por medio de la convección.



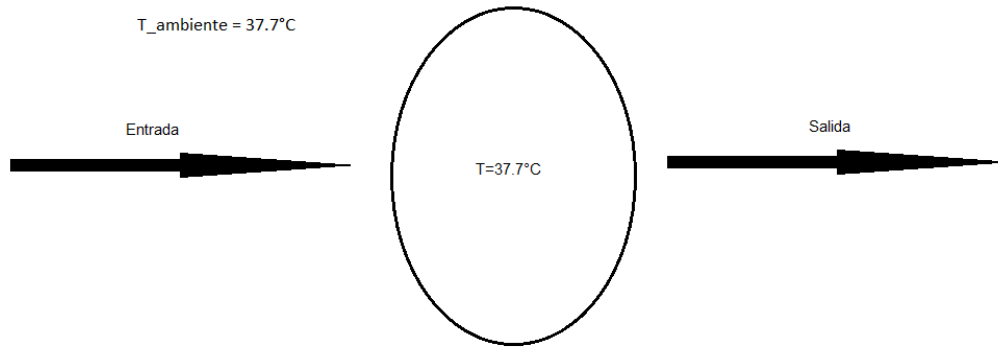


Figura 4.3: Representación de la transferencia de calor en el huevo.

Se realiza un análisis para determinar el flujo de energía necesaria para llevar al huevo a la temperatura de incubación. Por tanto, se realiza el cálculo de la transferencia de calor, a partir de la ecuación 4.6,

$$\dot{q} = \frac{T_{huevo} - T_{ambiente}}{\frac{1}{h} + \frac{EC}{K}} \quad (4.6)$$

Donde:

$\dot{q}$ = Transferencia de calor por unidad de área,  $W/m^2$

$T_{huevo}$ = Temperatura huevo, °C.

$T_{ambiente}$ = Temperatura ambiente, °C.

h: Coeficiente de convección,  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ .

K: Conductividad térmica,  $W/m \text{ } ^\circ C$ .

EC: Espesor de la cáscara, m.

Se determinó el calor transferido por unidad de área desde el interior de la máquina incubadora hacia el exterior, el cual es de  $242.11 \text{ } W/m^2$ ; después de obtener este dato, se procede a calcular el calor necesario por unidad de huevo, se utiliza la ecuación 4.7,

$$q = \dot{q} * A_{huevo} \quad (4.7)$$

Donde:

q= Transferencia de calor, W.

$\dot{q}$ = Transferencia de calor por unidad de área,  $W/m^2$ .

$A_{huevo}$ = Área del huevo,  $m^2$ .

El calor transferido por cada huevo es de  $0.577 \text{ } W$ , con la ecuación 4.8 se procede a calcular el calor total transferido por los 50 huevos al interior de la incubadora,

$$q_{Total} = q * \#huevos \quad (4.8)$$

Donde:

$q_{Total}$ = total en los huevos, W.

q = Calor transferido por área de cada huevo, W.

#huevos= Cantidad de huevos.

El calor total en los huevos es de 28.86 W lo que indica la transferencia de calor que existe por los 50 huevos a incubar. Este calor va del huevo al ambiente, es decir, al interior de la incubadora.

Teniendo en cuenta la temperatura a la cual se encuentra el huevo luego de ser ingresado a la máquina incubadora, se realiza el cálculo para determinar el calor transferido a 36.7°C, con la ecuación 4.6. Seguidamente, con la ecuación 4.7, se procede a calcular el calor por área de cada huevo. Finalmente, se el calor total de los 50 huevos se calcula a partir de la ecuación 4.8.

Aunado a lo anterior, para mantener la temperatura de incubación, es necesario aplicar 2.97 W cada vez que se pierda 1°C de temperatura. Esto determina la selección de la resistencia, puesto a que debe suplir los 2.97 W y así poder llevar el ambiente interno de la incubadora a la temperatura requerida para el proceso, siendo de aproximadamente 37.7°C.

Se determina el flujo de calor ganado en el huevo, mientras se tiene en cuenta el balance que mantiene al tener una fuente de temperatura al interior de la incubadora de 37.7°C. El huevo recibe calor y mediante la ecuación 4.9, se puede determinar el calor por cada huevo.

$$Q = \dot{m} * C_p * \Delta T \quad (4.9)$$

Donde:

Q= Calor que cede el huevo, W.

$\dot{m}$ = Flujo másico (ver anexo C), kg/s.

$C_p$  = Calor específico (ver anexo C), J/ kg °C.

$\Delta T$ = Diferencia de temperatura entre el ambiente y el huevo, °C.

Una vez determinado el calor, que equivale 0.037 W, se iguala el calor perdido con el calor ganado en el huevo para determinar su flujo, mediante el balance de masa expresado en la ecuación 4.10,

$$Q_{huevo} = Q_{aire} \quad (4.10)$$

$$\dot{m}h * C_{ph} * \Delta T_h = \dot{m}a * C_{pa} * \Delta T_a$$

Donde:

$\dot{m}$ = flujo másico, Kg/s.

$C_p$  = Calor específico, J/ Kg °C.

$\Delta T$ = Diferencia de temperatura, °C.

El resultado evidencia un flujo másico de  $9,53 \times 10^{-7}$  Kg/s por cada uno de los huevos, de manera que se permite la selección de una resistencia capaz de suplir o transmitir energía con el fin de calentar la masa total a incubar; selección que se realiza en apartados posteriores junto con la selección de un ventilador para el flujo de aire requerido <sup>0</sup>.

---

<sup>0</sup>Para efectos prácticos de la memoria de cálculo puede referirse al apartado de anexos, específicamente en la sección H.

#### 4.2.4. Cálculo caudal requerido en el interior de la incubadora

Además, se muestran las condiciones tenidas en cuenta antes de realizar el análisis en las tablas psicométricas (ver cuadro 4.2.), teniendo en cuenta estos valores del ambiente al que está expuesta la incubadora en San José-Costa Rica y en el interior de la incubadora <sup>0</sup>.

Cuadro 4.2: Constantes utilizadas en este proyecto.

Parámetro	Condiciones en el ambiente	Condiciones dentro de la incubadora
Temperatura (°C)	28	37.5-37.8
Humedad (%)	65	60 %±5 %
Altitud (msnm)	1200	1200

Ahora bien, para el cálculo del volumen de la caja/estructura se emplea la ecuación 4.11,

$$V = a * b * h \quad (4.11)$$

Donde:

V= Volumen, m<sup>3</sup>.

a= ancho, m.

b= base, m.

h= altura, m.

Seguidamente, tomando como referencia el valor del volumen calculado anteriormente (0.036 m<sup>3</sup>) y con la ecuación 4.12, se procede a calcular el volumen de la caja/estructura,

$$\dot{V} = V * \rho \quad (4.12)$$

Donde:

$\dot{V}$ = Volumen másico de la estructura, kg de aire.

V= Volumen de la caja, m<sup>3</sup>.

$\rho$  = Densidad, kg/m<sup>3</sup>.

Se debe calentar un volumen másico de 0.041 kg aire dentro de la incubadora, el cual debe cambiar 8 veces al día, por lo que a continuación se obtiene el caudal dentro de la incubadora y la energía que se debe adicionar a la masa trabajada, a partir de la ecuación 4.13,

$$\dot{Q} = V * 8 \quad (4.13)$$

Donde:

$\dot{Q}$  = Caudal, m<sup>3</sup>/día.

V= Volumen, m<sup>3</sup>.

Se procede a calcular el caudal por ahora, con la ecuación 4.14,

$$\dot{Q}_h = \dot{Q}/24h \quad (4.14)$$

<sup>0</sup>Para efectos prácticos de la memoria de cálculo puede referirse al apartado de anexos, específicamente en la sección H.

Donde:

$\dot{Q}_h$  = Caudal dentro de la incubadora por hora,  $m^3/h$ .

$\dot{Q}$  = Caudal dentro de la incubadora por día,  $m^3/día$ .

El flujo másico de aire que debe moverse al interior de la incubadora es de 0.014 kg/h, a un caudal de 0.012  $m^3/h$  o bien 0.0000033  $m^3/s$ . Estos datos son tenidos en cuenta secciones posteriores para la selección del ventilador, en representación de la tasa de flujo que debe suministrar el ventilador es de 125 cfm <sup>0</sup>.

#### 4.2.5. Cálculo del diámetro de agujero

El diseño planteado en este trabajo; presenta un flujo de aire para renovar oxígeno y no mantener un flujo estático al interior de la incubadora, puesto que, durante el desarrollo del embrión puede haber falencias o pérdidas por la falta de aire u oxígeno, lo que causa la mayoría de la mortalidad en los procesos de incubación. En esta sección, se realiza el cálculo del área de flujo, velocidad de flujo y como conclusión el diámetro requerido para el agujero que presenta la lámina posterior del diseño de incubadora. Se inicia determinando el área de flujo en la incubadora, teniendo en cuenta las dimensiones del ventilador incorporado en la incubadora, área calculada en la ecuación 4.15,

$$s = \pi * r^2 \quad (4.15)$$

Donde:

s = Área de flujo,  $m^2$ .

r = Radio total del ventilador, m.

Si se tienen en cuenta las dimensiones del ventilador a trabajar, el radio total del ventilador es de 0.075 m, de manera que se reemplaza en la ecuación 4.15 para obtener el área de flujo. El área de flujo es de 0.0176  $m^2$ , para el diseño propuesto en este trabajo, se realizará el flujo mediante un agujero en la parte superior y laterales de la máquina, tal como se muestra en los planos de cada sección.

Al considerar la velocidad de flujo que debe proporcionar el ventilador, como se muestra en apartados posteriores, se corrobora mediante el cálculo de la Ecuación 4.16, con el uso de los valores calculados para el caudal y el área de sección.

$$v = Q/s \quad (4.16)$$

Donde:

v = Velocidad de flujo, m/h.

Q = Caudal,  $m^2/h$ .

S = Área de sección del agujero,  $m^2$ .

Cuando se reemplazan los valores, se obtiene que la velocidad de flujo al interior de la máquina y pasa por el agujero es de 0.68 m/h. Con el desglose de la ecuación de caudal, se obtiene el radio necesario para el agujero, tal como lo muestra la ecuación 4.17,

<sup>0</sup>Para efectos prácticos de la memoria de cálculo puede referirse al apartado de anexos, específicamente en la sección H.

$$r = \sqrt{\frac{Q}{v * \pi}} \quad (4.17)$$

Donde:

r = Radio del agujero, m.

v = Velocidad de flujo, m/s.

Q = Caudal.

El radio de cada uno de los agujeros está en el orden de los 0.075 m, para posteriormente determinar el diámetro requerido, con la ecuación 4.18,

$$D = 2 * r \quad (4.18)$$

Donde:

D: Diámetro del agujero, m.

r: Radio del agujero, m.

De este modo, se obtiene el diámetro de agujero para renovar el aire, que debe ser de 150 mm, lo que permite la renovación adecuada del aire para la cantidad de huevos a incubar y las dimensiones de la máquina incubadora. Con dicho diámetro, se selecciona un ventilador con una dimensión igual o cercana, además de tener en cuenta las características principales, como son velocidad, potencia y capacidad de flujo, selección que se realiza en apartados posteriores. Refiérase al anexo D.1 para la ubicación del ventilador dentro de la incubadora y al anexo F.12 para la ficha técnica del ventilador a utilizar.

### 4.3. Cálculos efectuados para el correcto funcionamiento del equipo

Para el caso en estudio es fundamental determinar la cantidad de calor y potencia que la incubadora necesita, tomando en cuenta las pérdidas de calor que ocurren a través de las paredes. Además, es imprescindible conocer la cantidad de humedad relativa que se necesita para que la máquina funcione según los parámetros indicados. Los datos referentes a la potencia del motor y las dimensiones del eje serán suministrados por la ficha técnica de cada componente. Para realizar los cálculos respectivos se procede a transformar cada uno de los parámetros en unidades del Sistema Internacional (SI).

#### 4.3.1. Cantidad de potencia para la incubadora.

Se calcula la cantidad de potencia [W] y la cantidad de calor [J] con lo que se garantiza que la incubadora pueda alcanzar la temperatura establecida. Para calcular la cantidad de potencia que se necesita para llegar a la temperatura indicada en la incubadora es necesario calcular la densidad del aire. En el cuadro 4.3 muestra las constantes usadas en este proyecto.

Cuadro 4.3: Constante utilizadas en este proyecto.

Constantes	Valor	Unidades
Densidad del aire ( $\rho$ )	1.140	kg/m <sup>3</sup>
Temperatura 0 en grados Kelvin ( $T_o$ )	273.15	K
Temperatura ambiente (T)	301.15	K
Temperatura de incubación ( $T_1$ )	310.85	K
Presión atmosférica en San José (P)	101000	Pa
Presión atmosférica a nivel del mar ( $P_o$ )	101325	Pa
Calor específico del aire a presión constante ( $C_p$ )	1005	J/kg*K
Volumen de la incubadora (V)	0.036	m <sup>3</sup>
Largo de la incubadora (b)	0.500	m
Ancho de la incubadora (a)	0.300	m
Alto de incubadora (h)	0.240	m

Usando la ecuación 4.19, asumiendo que el aire se comporta como un gas ideal, se puede calcular la densidad del aire a la temperatura y presión deseada (T y P). La misma ronda un valor de 1.03 kg/m<sup>3</sup>.

$$\rho = \rho_o * \frac{T_o}{T} * \frac{P}{P_o} \quad (4.19)$$

Donde:

$\rho$  = densidad del aire, kg/m<sup>3</sup>.

$\rho_o$  = densidad del aire a 20°C, kg/m<sup>3</sup>.

$T_o$  = Temperatura 0°C en grados Kelvin, K.

T = Temperatura ambiente de grados Kelvin, K.

$P_o$  = Presión atmosférica a nivel del mar, Pa.

P = Presión atmosférica en San José, Pa.

Según el número de CFM (Pies cúbicos por minuto) a los que funciona el ventilador se puede determinar la cantidad de aire que circula dentro de la incubadora. Se supone que el ventilador en análisis funciona en su carga máxima a 125 CFM se tiene que (Ecuación 4.20):

$$Q = \frac{125 \text{pies}^3}{1 \text{min}} * \frac{(0,3048 \text{m})^3}{1 \text{pie}^3} * \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}} = 0,0589 \text{m}^3/\text{s} \quad (4.20)$$

Ahora bien, para determinar la cantidad de masa de aire por unidad de tiempo se utiliza la ecuación 4.21, la cual da como resultado 0.061 kg/s,

$$\dot{m} = \rho * Q \quad (4.21)$$

Donde:

$\dot{m}$  = masa de aire por unidad de tiempo, kg/s.

$\rho$  = densidad del aire, kg/m<sup>3</sup>.

Q = Caudal de aire, m<sup>3</sup>/s.

Para determinar la cantidad de calor se obtiene la cantidad de potencia que se necesita para calentar la incubadora, para ello se utiliza la ecuación 4.22, el valor de la potencia necesaria es de 594.66W.

$$\dot{q} = \dot{m} * C_p * (T_1 - T) \quad (4.22)$$

Donde:

$\dot{q}$  = Potencia, W.

$\dot{m}$  = masa de aire por unidad de tiempo, kg/s.

$C_p$  = Calor específico, J/kg\*K.

$T$  = Temperatura ambiente en grados kelvin, K.

$T_1$  = Temperatura de incubación en grados kelvin, K.

### 4.3.2. Cantidad de calor para la incubadora

Para determinar la cantidad de calor que se debe ingresar en la incubadora según el volumen de la misma se determina de la siguiente manera. Donde la masa de aire está dada por la ecuación 4.23, y da como resultado 0.038 kg.

$$m = V * \rho \quad (4.23)$$

Donde:

$m$  = masa de aire, kg.

$V$  = Volumen de la incubadora, m<sup>3</sup>.

$\rho$  = densidad del aire, kg/m<sup>3</sup>.

Entonces utilizando la ecuación 4.22 se obtiene que,

$$\begin{aligned} q &= m * C_p * (T_1 - T) \\ q &= 0,038Kg * 1005J/kg * K * (309,65 - 293,15)K \\ q &= 630,13J \end{aligned}$$

### 4.3.3. Pérdida de potencia en la incubadora

Para determinar la pérdida de potencia a través de las paredes de la incubadora los cálculos se realizan como si se tratase de una pared compuesta. En este caso la pared tiene 2 láminas de Acero 304 y una capa de Poliuretano. Se establecen las siguientes constantes en el cuadro 4.4,

Cuadro 4.4: Constantes utilizadas en este proyecto.

Constante	Valor	Unidades
Conductiva térmica del Acero 304 ( $k_1$ )	79.99	W/m*k
Conductividad térmica del poliuretano ( $k_2$ )	0.2767	W/m*k
Conductividad térmica del vidrio templado ( $k_3$ )	0.96	W/m*k
Coefficiente de convección natural ( $h_c$ )	10	W/m*k
Espesor del Acero 304 ( $L_1$ )	0.0012	m
Espesor del Poliuretano ( $L_2$ )	0.04	m
Espesor del Vidrio templado ( $L_3$ )	0.003	m
Temperatura interna ( $T_{int,\infty}$ )	310.85	K
Temperatura externa ( $T_{out,\infty}$ )	301.15	K
Presión atmosférica en San José (P)	101000	Pa
Presión atmosférica a nivel del mar ( $P_o$ )	101325	Pa
Caudal CFM 125 (Q)	0.0589	m <sup>3</sup> /s
Área del ventilador ( $A_v$ )	0.016	m <sup>2</sup>
Longitud de una pared (L)	0.3	m
Coefficiente de convección natural ( $h_a$ )	2	W/m <sup>2</sup> * k
Viscosidad cinemática del aire a 310.6 Kelvin ( $\mu_\infty$ )	16.8606*10 <sup>-6</sup>	m <sup>2</sup> /s
Conductividad térmica del aire a 310.6 Kelvin (k)	27.0141*10 <sup>-3</sup>	W/m*k
Número de Prandtl del aire a 310.6 Kelvin (Pr)	0.7056	
Coefficiente de emisividad del acero ( $\epsilon$ )	0.8	
Número de Stanton (St)	0.0296	
Constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma$ )	5.67*10 <sup>-8</sup>	W/m <sup>2</sup> * K <sup>4</sup>

Para el prototipo de la incubadora se toma como referencia las dimensiones de cada una de las paredes y según el material de lo que está compuesta cada una de ellas. Dado que existe un ventilador dentro de la incubadora que distribuye el calor dentro de la misma, es necesario calcular el coeficiente de convección forzada. Para determinar la velocidad del aire dentro de la incubadora, se utiliza la ecuación 4.24, la cual da como resultado 3.39 m/s.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (4.24)$$

Donde:

v = Velocidad del aire, m/s.

Q = Caudal CFM 115, m<sup>3</sup>/s.

A = Área del ventilador, m<sup>2</sup>.

Para determinar la viscosidad cinemática para la presión deseada, se utiliza la ecuación 4.25, dando como resultado 1.6\*10<sup>-5</sup>m<sup>2</sup>/s.

$$\mu_\infty = \mu * \frac{P_o}{P} \quad (4.25)$$

Donde:

$\mu_\infty$  = viscosidad cinemática, m<sup>2</sup>/s.

$\mu$  = viscosidad cinemática del aire a 310.6 K, m<sup>2</sup>/s.

$P_o$  = Presión atmosférica a nivel del mar, Pa.

P = Presión atmosférica en San José, Pa.



Se utiliza la ecuación 4.26 para encontrar el número de Reynolds del aire,

$$Re = \frac{v * L}{\mu_{\infty}} \quad (4.26)$$

Donde:

$\mu_{\infty}$  = viscosidad cinemática, m<sup>2</sup>/s.

v = velocidad del aire, m/s.

L = Longitud de la pared, m.

Tomando como referencia el número de Reynolds calculado, se vislumbra que el flujo de aire que existe dentro de la incubadora es turbulento. Dado que el flujo de aire es turbulento y el número de Prandtl se encuentra en un rango entre 0.6 – 60, se utiliza la ecuación 4.27 para encontrar el número de Nusselt relacionado al flujo de aire que se encuentra en el interior de la incubadora.

$$Nu_x = St * Re * Pr \quad (4.27)$$

Donde:

$Nu_x$  = Número de Nusselt.

St = Número Stanton.

Re = Número de Reynolds.

Pr = Número de Prandtl del aire.

Utilizando la ecuación 4.28, el valor de 173.03 del número de Nusselt se encuentra el coeficiente de convección forzada del aire dentro de la incubadora, el cual tiene un valor de 16.66 W/m<sup>2</sup> \* k.

$$h_c = \frac{Nu_x * k}{L} \quad (4.28)$$

Donde:

$h_c$  = Coeficiente de conveccion forzada, W/m<sup>2</sup> \* k.

$Nu_x$  = Número de Nusselt.

k = Conductividad térmica del aire, W/m\*k.

L = Longitud de una pared, m.

Las pérdidas de las 2 paredes laterales y de la pared superior e inferior de la incubadora, las cuales poseen las mismas dimensiones, se calcula utilizando el siguiente procedimiento. Se establece la ecuación 4.29, la misma que cuenta con la relación que existe en pérdidas de calor desde la parte interna de la incubadora hasta el exterior.

$$\frac{T_{int,\infty} - T_{ext}}{\frac{1}{h_c * A} + \frac{L_1}{k_1 * A} + \frac{L_2}{k_2 * A} + \frac{L_1}{k_1 * A}} = \frac{T_{int,\infty} - T_{ext}}{\frac{1}{\frac{1}{h_a * A} + \frac{1}{h_r * A}}} \quad (4.29)$$

Donde:

$T_{int,\infty}$  = Temperatura interna, °C.

$T_{ext,\infty}$  = Temperatura exterior, °C.

$h_c$  = Coeficiente de convección natural, W/m\*k.

A = Área , m<sup>2</sup>.

$L_1$  = Espesor del Acero 304, m.

$L_2$  = Espesor del Poliuretano, m.

$k_1$  = Conductividad térmica del acero, W/m\*k.

$k_1$  = Conductividad térmica del poliuretano, W/m\*k.

$h_a$  = coeficiente de convección natural, W/m<sup>2</sup> \* k.

$h_r$  = coeficiente de radiación en el exterior, W/m<sup>2</sup> \* k.

Utilizando la ecuación 4.30 se determina el coeficiente de radiación en el exterior de la incubadora asumiendo una temperatura en la pared exterior  $T_s$  de 300 K.

$$h_r = \varepsilon * \sigma * (T_s + T_{out,\infty}) * (T_s^2 + T_{out,\infty}^2) \quad (4.30)$$

Con el coeficiente de radiación (0.492 W/m<sup>2</sup> \* k), se despeja de la ecuación 4.29 la temperatura de la pared exterior ( $T_{ext}$ ) de esta manera se obtiene un valor exacto del mismo para posteriormente calcular el valor exacto del coeficiente de radiación.

$$T_{ext} = \frac{T_{int,\infty} + \left(\frac{1}{h_c} + \frac{2*L_1}{K_1*A} + \frac{L_2}{K_2*A}\right) * (h_a * A + h_r * A) * (T_{out,\infty})}{1 + \left(\frac{1}{h_c} + \frac{2*L_1}{K_1*A} + \frac{L_2}{K_2*A}\right) * (h_a * A + h_r * A)}$$

Lo anterior da como resultado un valor de 307.53 K, dicho valor lo sustituyo en la ecuación 4.30 y se obtiene el coeficiente de radiación que se utilizará en los cálculos posteriores.

$$h_r = 0,499W/m^2 * k$$

Se utiliza la ecuación 4.31 para determinar las pérdidas en las paredes laterales, superior, inferior, posterior y la sección de acero de la puerta.

$$q_{lat} = \frac{T_{int,\infty} - T_{ext}}{\frac{1}{h_c*A} + \frac{L_1}{k_1*A} + \frac{L_2}{k_2*A} + \frac{L_1}{k_1*A} + \frac{1}{\frac{1}{h_a*A} + \frac{1}{h_r*A}}} \quad (4.31)$$

1. Se calcula las pérdidas de calor en las paredes laterales, superior, inferior y posterior utilizando la ecuación 4.3.3,

$$q_{lat} = \frac{310,85 - 307,53}{\frac{1}{15,66} + \frac{2*0,0012}{79,99} + \frac{0,04}{0,2767} + \frac{1}{0,499+2}} * (0,3^2)$$

$$q_{lat} = 0,491W$$

2. Se utiliza la ecuación 4.32 para calcular las pérdidas en el vidrio templado de la puerta,

$$q_{vidrio} = \frac{T_{int,\infty} - T_{ext}}{\frac{1}{h_c*A} + \frac{L_3}{k_3*A} + \frac{1}{\frac{1}{h_a*A} + \frac{1}{h_r*A}}} \quad (4.32)$$

$$q_{vidrio} = \frac{310,85 - 307,53}{\frac{1}{15,66} + \frac{0,003}{0,96} + \frac{1}{0,499+2}} * (0,3^2)$$

$$q_{vidrio} = 0,640W$$

Las pérdidas totales en toda la incubadora están dadas por la suma de cada una de las pérdidas calculadas,

$$\begin{aligned}\sum q_{perdidas} &= 5 * q_{lat} + q_{vidrio} \\ \sum q_{perdidas} &= 3,095W\end{aligned}$$

La potencia total requerida para calentar la incubadora esta dada por;

$$\begin{aligned}q_{total} &= \sum q + \sum q_{perdidas} \\ q_{total} &= 594,66W + 3,095W \quad q_{total} = 597,75W\end{aligned}$$

#### 4.3.4. Humedad relativa

Para realizar los cálculos de la humedad relativa se necesita tomar en cuenta los parámetros establecidos como temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo y presión atmosférica de la incubadora y la criadora. Estos resultados serán utilizados para calibrar el higrostató que indicará la humedad relativa específica a la que se encuentren las máquinas.

#### Humedad relativa de la incubadora

En el cuadro 4.5 se establecen las constantes para el cálculo de humedad relativa de este Proyecto.

Cuadro 4.5: Constantes para el cálculo de humedad relativa para el análisis de este proyecto.

Constante	Valor	Unidades
Presión atmosférica en San José (P)	101	kPa
Temperatura promedio de bulbo seco (T <sub>1</sub> )	37.5	°C
Temperatura promedio de bulbo húmedo (T <sub>2</sub> )	28	°C
Capacidad calorífica del aire según la presión (C <sub>p</sub> )	1.005	kJ/kg
Presión de saturación a 37.5 °C de bulbo seco (P <sub>g1</sub> )	5.9803	kPa
Presión de saturación a 28 °C de bulbo húmedo (P <sub>g2</sub> )	4.13919	kPa
Entalpía de evaporación a 28°C de bulbo húmedo (h <sub>fg</sub> )	2430.99	kJ/kg
Entalpía de líquido saturado a 28°C de bulbo húmedo (h <sub>f2</sub> )	123.649	kJ/kg
Entalpía de vapor de saturación a 37.5°C de bulbo seco (h <sub>g1</sub> )	2568.16	kJ/kg

Se utiliza el siguiente procedimiento para calcular la humedad relativa necesaria para la incubadora.

1. Utilizando la ecuación 4.34 se calcula la humedad específica para aire húmedo, la misma equivale a  $0,0265 \frac{kgH_2O}{kg\text{aireseco}}$

$$W_2 = \frac{0,622 * P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} \quad (4.34)$$

Donde:

$W_2$  = Humedad específica para aire húmedo, kg  $H_2O/kg$ aireseco.

$P_{g2}$  = Presión de saturación de bulbo húmedo, kPa.

$P_2$  = Presión atmosférica en San José, kPa.

2. Con la ecuación 4.35 se calcula la humedad específica para aire seco, el cual da como resultado  $0,0224 \frac{kgH_2O}{kgaireseco}$

$$W_1 = \frac{C_p * (T_2 - T_1) + W_2 * h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}} \quad (4.35)$$

Donde:

$W_1$  = humedad específica para aire seco, kg  $H_2O/$  kg aire seco.

$W_2$  = Humedad específica para aire húmedo, kg  $H_2O/$  kg aire seco.

$C_p$  = Capacidad calorífica del aire según la presión, kJ/kg.

$T_2$  = Temperatura promedio de bulbo húmedo, °C.

$T_1$  = Temperatura promedio de bulbo seco, °C.

$h_{fg2}$  = Entalpía de evaporación de bulbo húmedo, kJ/kg.

$h_{g1}$  = Entalpía de vapor de saturación de bulbo seco, kJ/kg.

$h_{f2}$  = Entalpía de líquido saturado de bulbo húmedo, kJ/kg.

3. Utilizando la ecuación 4.36 se calcula la humedad relativa del aire, el cual da como resultado 59 %.

$$\phi = \frac{W_1 * P_2}{(0,622 + W_1) * P_{g1}} \quad (4.36)$$

Donde:

$\phi$  = humedad relativa del aire.

$W_1$  = humedad específica para aire seco, kg  $H_2O/$  kg aire seco.

$P_2$  = Presión atmosférica en San José, kPa.

$P_{g1}$  = Presión de saturación de bulbo seco, kPa.

#### 4.4. Diseño de la incubadora

La definición del diseño conceptual, está supeditado a la sustentación de los parámetros funcionales, es decir, los componentes físicos, térmicos, eléctricos, sonoros y de ventilación que consistirán en la conformación de la entrada y salida del proceso de incubación. Al respecto se tiene que, por entrada se considera la potencia eléctrica, los huevos, el agua y el aire que exigen el emprendimiento de los subsistemas asociados a la propuesta de incubación; en cuanto a la salida, están los resultados esperados del buen desempeño del proceso de incubación, considerándose entre las mismas, los pollos, los residuos, entendiéndose por tales, los cascarones y plumas, las pérdidas de potencia eléctrica expresadas en calor y el ruido producto de la mecanización.

Para el diseño de la incubadora es necesario tomar en cuenta que el ave/gallina resultado de la incubación se aloja dentro de ella por aproximadamente 22 días. La incubadora debe mantener una temperatura de bulbo seco de 37.7°C aproximadamente y temperatura de bulbo húmedo entre 35°C–37°C.

Este prototipo tendrá varios agujeros que comunican el exterior con el interior de la máquina, estos tendrán la función de expulsar el exceso de humedad y malos olores de la máquina y de esta forma tener un ambiente equilibrado; además tendrá una compuerta que permitirá el acceso e ingreso de los huevos y posterior manipulación, esto solo si fuese necesario introducir o retirar cualquier tipo de desecho.

La incubadora tendrá un visor de vidrio templado con una lámina espejada (ver Figura 4.4); esta lámina tendrá la función de posibilitar que se pueda observar lo que sucede fuera de la máquina, mientras que la persona encargada de manipular los huevos observe lo que sucede en la parte interna. A su vez se instalará un sistema de iluminación dentro de ella, que permitirá realizar constantes revisiones de los huevos en análisis, además de observar cualquier eclosión.

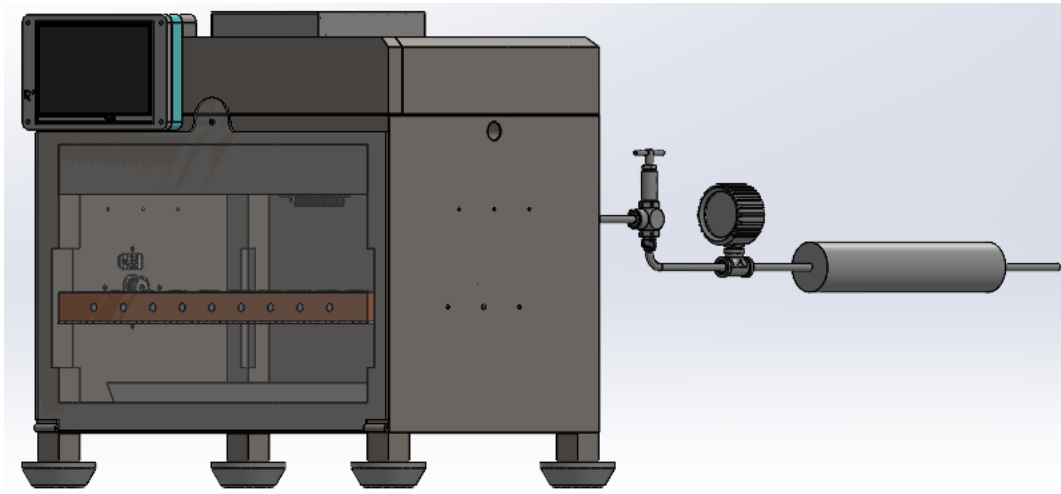


Figura 4.4: Diseño de la incubadora.

La incubadora contará con una caja de control donde se instalará un termostato y un higrostatado. Cada uno de ellos será controlado con la instalación de termocuplas para medir la temperatura y un sensor de humedad para controlar el nivel de humedad relativa, así como que sea capaz de reportar una base de datos con información referente a temperatura y humedad, y cómo estas varían en el tiempo. Asimismo, de contar con una cavidad para que los polluelos nacidos se alberguen hasta que sea el momento oportuno de extracción. Además, contará con un sensor de flujo volumétrico que permitirá de forma oportuna conocer el estado del ventilador, alertando si este funciona de forma correcta, de lo contrario emitirá una alarma indicando algún desperfecto.

## 4.5. Selección de componentes

La selección de los componentes que integran a la incubadora se realiza bajo criterios de diseño según el costo, dimensiones y grado de dificultad de instalación y programación.

#### 4.5.1. Sistema de calentador

La resistencia a utilizar debera de proveer una potencia de 2.97 W por cada 1°C que disminuya la temperatura interna de la incubadora. De esta forma, en el anexo F.9 se vislumbran mejor las características del equipo seleccionado.

#### 4.5.2. Humidificador

En el cuadro 4.6 se muestra los componentes que conforman nuestro humidificador para este proyecto, el mismo debe proveer una humedad relativa dentro del rango de 50 % y 80 % durante los 21-22 días, Igualmente se recalca el hecho de que al inicio del proceso debe de mantener en un promedio de 60 %±5 %. Cabe recalcar que la presión de trabajo y el caudal al que el sistema va estar sometido, son de condiciones estandares para grifos de garaje residenciales. Para efectos prácticos nuestra presion de trabajo es de 100 kPa y nuestro caudal de 0.20 l/s [26].

Cuadro 4.6: Sistema humidificador

Componentes	Anexo
Punta dispersora	G.2
Válvula solenoide	F.10
Válvula de alivio	G.3
Manómetro	G.4
Filtro de agua	G.5

En sistema empleado para el diseño en estudio se ve representado de la siguiente forma (ver figura 4.5),

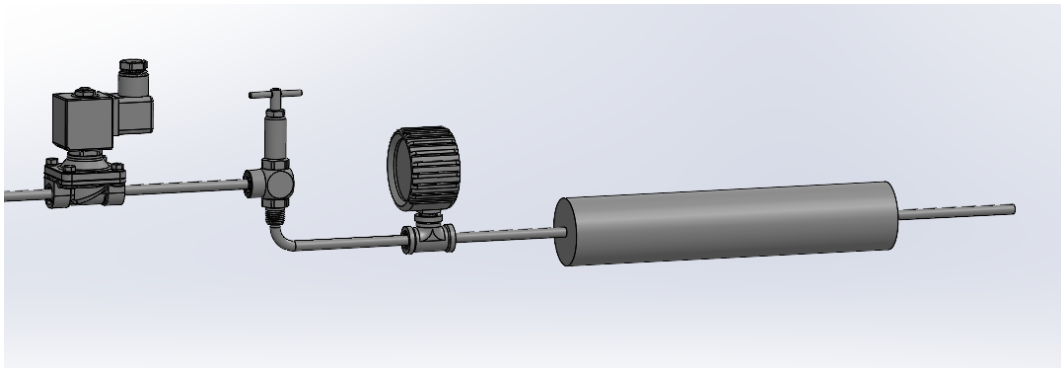


Figura 4.5: Sistema humidificador.

#### 4.5.3. Sistema de inclinación

La selección del sistema de inclinación se hizo según los criterios de diseño y por efectividad del mismo. En el cuadro 4.7 se muestran los componentes que se emplearon para el diseño del mecanismos de inclinación para este proyecto.

Cuadro 4.7: Sistema de inclinación

Componentes	Anexo
Engranajes (2)	G.6
Mordazas (3)	D.5
Cojinete (1)	D.4
Tornillería	G.7
Motor	F.11

#### 4.5.4. Sistema de ventilación

La selección del sistema de ventilación se hizo según los criterios de diseño y por efectividad del mismo, además de tomar en cuenta los valores de flujo volumétrico calculado en apartados anteriores. Cabe mencionar, que el caudal máximo que podrá mover nuestro sistema de ventilación es de 125 cfm. Se muestran la opción de mecanismos de ventilación para este proyecto (ver anexo F.12), además de un filtro de aire (ver anexo G.8).

## 4.6. Diseño del sistema

En esta sección se realiza un análisis de los materiales que van a ser utilizados para la construcción de la incubadora; así como también los componentes escogidos que serán parte integral de las máquinas como: calentador, humidificador y sistema de inclinación para la incubadora.

### 4.6.1. Propiedades del Acero 304

Acero inoxidable austenítico, aleado con cromo, níquel y bajo contenido de carbono que presenta una buena resistencia a la corrosión. No requiere un tratamiento posterior al proceso de soldadura; tiene propiedades para embutido profundo, no es templable ni magnético. Puede ser fácilmente trabajado en frío (por ejemplo, doblado, cilindrado, embutido profundo, etc.) Sin embargo, el alto grado de endurecimiento que alcanza por trabajo en frío, comparado con aceros de baja aleación, hacen requerir de mayores esfuerzos para su proceso de conformado.

En los diagramas se observan las pérdidas de peso, determinadas experimentalmente para diferentes probetas atacadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura. Las curvas representan la pérdida de peso de 0.1, 0.3, 1.0, 3.0 y 10.0  $gr/m^2*hr$ . Generalmente, una pérdida de peso de 0.3  $gr/m^2*hr$  (línea segmentada) se considera en el límite tolerable de un acero inoxidable [50].

### 4.6.2. Propiedades del Poliuretano

La espuma de poliuretano es un excelente aislante térmico debido a que las celdas que forman la espuma están dispersas en la masa polimérica y son independientes y completamente cerradas a diferencia de otros materiales aislantes. el proceso de aplicación de la espuma rígida de poliuretano es uno de los más simples y completos en el mercado debido a su auto

adherencia a todo tipo de sustratos, los cuales como requisito solo tienen que estar limpios y secos, y a una temperatura no inferior de 10°C. Una vez aplicada la espuma se reducen considerablemente los fenómenos de expansión y contracción de las superficies por cambios de temperatura ambiente [31].

#### 4.6.3. Propiedades del vidrio templado

El vidrio templado FUERTEX® es un vidrio de seguridad con características como [45]:

- Es hasta cinco veces más resistente al impacto que un vidrio normal del mismo espesor.
- En caso de rompimiento se fragmenta en pequeñas piezas que no representan riesgo de heridas profundas o laceraciones.
- Es más resistente al choque térmico que un vidrio normal.

### 4.7. Análisis sistema fotovoltaico

Para el análisis en cuestión, se consideró una entrada de la máquina incubadora como la potencia eléctrica, la cual permitirá el óptimo funcionamiento de todos los componentes, este valor está dado por 2.97 W y 110 V, siendo el voltaje indicado para la carga nominal de la máquina propuesta.

La idea en principio es que esta potencia sea suministrada por energías renovables, llámense la utilización de paneles solares, en ese sentido se le deberá adaptar un regulador de voltaje para evitar que cualquier fluctuación en la presentación de la onda eléctrica, ocasione afectaciones irreversibles en los dispositivos electrónicos y de control. La conexión de la resistencia va directamente a la toma de corriente y requiere de una corriente igual a 5 A para su función y así pueda suplir los 2.97 W cada vez que se pierda 1°C de temperatura.

Aunado a lo anterior, si bien es cierto que la finalidad del proyecto es que el equipo sea alimentado por energía proveniente de fuentes renovables, se recomienda que este de igual forma conectado a la interconexión de la red convencional por cualquier eventualidad. Ahora bien, para el análisis que se procederá a continuación se tomara los valores de potencia a partir de la ficha técnica de cada componente a emplear, en ese sentido en el cuadro 4.8 se recalcan dichos valores:

Cuadro 4.8: Potencia de los componentes electrónicos.

Componente	Potencia (W)
Resistencia	600
Ventilador	32.04
Válvula selenoide	8
Pantalla LCD	11
Motor con posición controlada	12.6
Arduino	2
<b>Total</b>	<b>665.64</b>



Para efectos prácticos no se considera la resistencia de los cables a emplear, pues estos al ser valores muy bajos en comparación con el resto de los componentes, se consideran despreciables, ya que no aportan información relevante a la potencia instantánea del equipo. Por otro lado, el panel solar elegido para el diseño es el CS3W-415P Hiku de la marca Canadian Solar (ver anexo E.1), el banco de baterías a emplear son las Ultracell UCG150-12 (ver anexo E.2), Fronius Symo 3.0-3-S (ver anexo E.3) y el Infinisolar 2 kW (ver anexo E.4).

#### 4.7.1. Panel solar

El panel solar que se utilizará, será monocristalino, que si bien es cierto que el costo económico es mayor que otros paneles, este se compensa con la alta eficiencia que posee, además de ser muy utilizado en zonas donde la irradiación es menor. Otro aspecto importante es su fabricación, la cual es más rápida que la de otros paneles, sin dejar de lado que la superficie requerida para 1 kW<sub>p</sub> [1] aumenta con respecto a otros materiales (ver figura 4.6.)

Material de la célula	Superficie requerida para 1 kW <sub>p</sub>
Monocristalino	7 - 9 m <sup>2</sup> 
Policristalino	8 - 11 m <sup>2</sup> 
Diselenio de Indio-Cobre (CIS)	11 - 13 m <sup>2</sup> 
Teluro de Cadmio (CdTe)	14 - 18 m <sup>2</sup> 
Silicio amorfo	16 - 20 m <sup>2</sup> 

Figura 4.6: Superficie requerida según material de la célula [1].

La idea es que el ángulo de inclinación de los paneles no sea un impedimento para captar la radiación solar proveniente del sol, pues la idea esta centrada en emplear un seguidor solar [1] que nos permita orientar los paneles perpendicularmente a los rayos solares, el costo monetario implicaría una mayor inversión, pero la eficiencia en cuanto a captación energética aumenta significativamente.

De esta forma, utilizaremos la ecuación 4.37 para calcular la cantidad de paneles solares que necesitamos para suplir de energía de nuestro equipo [46],

$$P_{MS} = \frac{P_{SF}}{R} \quad (4.37)$$

Donde:

$P_{MS}$  = Potencia instantánea real, Wp.

$P_{SF}$  = Demanda energética de la carga, Wp.

R = Rendimiento esperado del sistema, %.

Para efectos prácticos de este proyecto, se supone una carga energética de 750 W/hora equivalente a 18 kW/día. Además, el rendimiento esperado del sistema, se obtiene a partir del rendimiento de un panel solar de 410 W, el cual corresponde al 20.5 %, este es un valor obtenido teóricamente, que nos indica que el panel podría absorber el 20.5 % de la cantidad total de irradiación proveniente de la luz solar. Lo anterior da como resultado 0.880 kW, lo cual traducido en paneles solares serían un aproximado de 2 paneles solares de 415 Wp de potencia, estos nos producirán la cantidad de energía necesaria para alimentar nuestro equipo.

Cabe rescatar, que en el análisis de nuestro equipo que se sitúa en la zona de San José, Costa Rica, la misma posee una radiación solar mínima por día (ver cuadro 4.9) de aproximadamente de  $1800 \text{ W/m}^2$  (este valor corresponde a un promedio calculado del mes de Junio-Julio del 2022 [51]), de la cual el panel seleccionado tiene la capacidad de captar el 20 %, este corresponde a 400 W por cada metro cuadrado de panel, en nuestro caso es necesario utilizar dos paneles solares que en esencia son capaces de alimentar el equipo propuesto, por lo que se deja en evidencia que el análisis efectuado para los paneles satisface la demanda energética requerida.

Cuadro 4.9: Proyección radiación solar en San José, Costa Rica [51].

Día	Radiación solar ( $\text{W/m}^2$ )
30 de jun	3300
01-jul	1827
02-jul	2119
03-jul	2451
04-jul	3884
05-jul	4821
06-jul	2448
07-jul	2594
08-jul	2115
09-jul	3519
10-jul	5001
11-jul	3487
12-jul	1832
13-jul	5596
14-jul	5073
15-jul	5073
<b>Promedio</b>	3446,25

### 4.7.2. Banco de baterías

La dimensión de las baterías a emplear se diseñó pensando en suplir la demanda energética de la incubadora en los periodos de desconexión (comprendidos entre las horas desde 4:00 p.m hasta las 8:00 a.m, periodos nocturnos) o mientras el sistema fotovoltaico no logra suplir la carga por baja exposición a la radiación en días nublados, no obstante se podrá considerar como una alternativa en caso de que se pueda contar con la posibilidad de conectar el equipo durante esas horas a una conexión eléctrica residencial. Para el cálculo de obtener cuantas baterías se empleara la ecuación 4.38 [46],

$$C = \frac{E}{V_B * P_D} \quad (4.38)$$

Donde:

$C$  = Energía que debe proveer el banco de baterías en amperios hora,  $A_h$ .

$E$  = Energía requerida ante desconexiones de red, kWh.

$V_B$  = Voltaje de batería, V.

$P_D$  = profundidad de descarga máxima permitida para evitar reducir la vida útil de las baterías, %.

En ese sentido, tenemos un valor de 12 000 W durante las eventuales 16 horas (4:00p.m a 8:00 a.m) que nuestro panel solar no estaria produciendo la energia necesaria para el funcionamiento del equipo, y de la ficha técnica del equipo tenemos que el voltaje de la bateria es de 12 V y 70 % es la profundidad de descarga máxima permitida para evitar reducir la vida útil de las baterías (ver anexo E.2). Lo anterior nos da como resultado un valor de aproximadamente 10 baterías que serian necesarias para suplir la demanda energética en horas nocturnas, en caso de que la potencia producida por los paneles sea cero.

### 4.7.3. Inversores

La función del inversor es la de transformar la corriente continua del sistema fotovoltaico en corriente alterna, convirtiendo el voltaje necesario y ajustándolo a las necesidades del equipo que queremos alimentar. En Costa Rica la corriente es de 110 V AC con 60 hz.

Para efectos del diseño propuesto, se determinó que se requiere 2 tipos de inversores en específico, que va desde la inversión que convierte en alterna la corriente continua generada por los módulos solares que además de alimentar el equipo de incubación, tendra la versatilidad, si fuese el caso, de proveer o ser proveído de la interconexión de le red nacional, y por otro lado, el diseño con el banco de baterías, se muestra la escogencia de un inversor capaz de convertir la corriente alterna saliente de los inversores anteriores en continua para la carga de las baterías y viceversa en el caso de descarga.

Para efectos del análisis en cuestión, utilizaremos para el inversor trifásico el Fronius Symo 3.0-3-S (ver anexo E.3) y para el inversor bidireccional de carga el Infinisolar 2 kW (ver anexo E.4). Ahora bien, la potencia por inversor esta dado por:

$$Potencia_{inversor} = 2paneles * 415Wp$$

$$Potencia_{inversor} = 830Wp$$

#### 4.7.4. Cableado y protecciones

Debido a que nuestro sistema integra un conjunto de instalaciones eléctricas, es necesario pensar en requerir protecciones que impidan anomalías en el comportamiento de las corrientes o tensiones del sistema y que esto produzca daños parciales o totales del equipo.

En ese sentido, en la parte de instalación de módulos solares es importante contemplar protecciones contra corrientes de polaridad inversa, no obstante para el diseño propuesto los inversores Fronius Symo 3.0-3-S y el Infnisolar 2 kW que están directamente interconectados con esta etapa, contienen protecciones de polaridad inversa integradas.

Asimismo, ante eventuales tormentas eléctricas, se recomienda es necesario conectar un sistema a tierra, el mismo se debe instalar entre la cubierta de aluminio de los paneles y la instalación a tierra de la casa o negocio donde esté situado el equipo de incubación. Dicha puesta a tierra de la instalación es de suma importancia pues delimita la tensión que pueda presentarse en un momento dado en las masas metálicas de los componentes, asegurando la actuación de las protecciones y eliminando el riesgo que supone el mal funcionamiento o avería de alguno de los equipos [46].

De la misma manera, el cableado que interconecta los componentes y las etapas, debe ser de un calibre adecuado para soportar la corriente que transita en él (capaz de soportar corrientes maores a 1,5 veces el valor de la corriente de corto circuito de las diferentes etapas del sistema a instalar). Este debe estar cubierto con materiales resistentes que soporten las condiciones ambientales y eviten descargas o cortocircuitos por exposición [46].

Finalmente, como media contención y por seguridad del usuario, se deben añadir fusibles a las conexiones de la etapa del banco de baterías en caso de cortocircuitos o sobrecargas, de esta manera las baterías sean desconectadas y se eviten daños en el sistema o en las diferentes conexiones y dispositivos del lugar donde el equipo este situado.

#### 4.7.5. Unidad de control y monitoreo

Con respecto a la unidad de control, esta le permite tomar al sistema fotovoltaico decisiones, según sea la necesidad de operación sin que esto implique manipularlo manualmente. La necesidad de este sistema, recae en la premisa que requerimos de un sistema que pueda prescindir del monitoreo constante del estado de la red, la producción energética y el estado de carga del banco de baterías, que resulta un trabajo excesivo ya que no se conoce el momento en que ocurre cada situación dentro de las 24 horas del día, esto a razón de que existen muchas variables y condiciones ambientales que impiden un comportamiento rutinario del sistema. De ahí que se justifica algún sobredimensionamiento que se le pueda ajustar al sistema, llaméense, mayor cantidad de baterías, emplear mayor cantidad de paneles o inclusive inversores con mayor capacidad [46].

Para efectos de este proyecto, el monitoreo se realizará a partir de las conexiones de comunicación de los inversores Fronius, estos se pueden comunicar por tecnología Wi-fi y puertos de ethernet, además poseen pantallas en las que se puede acceder a la información de forma manual.

A continuación se muestra una representación de lo que sería nuestro sistema fotovoltaico (ver figura 4.7),

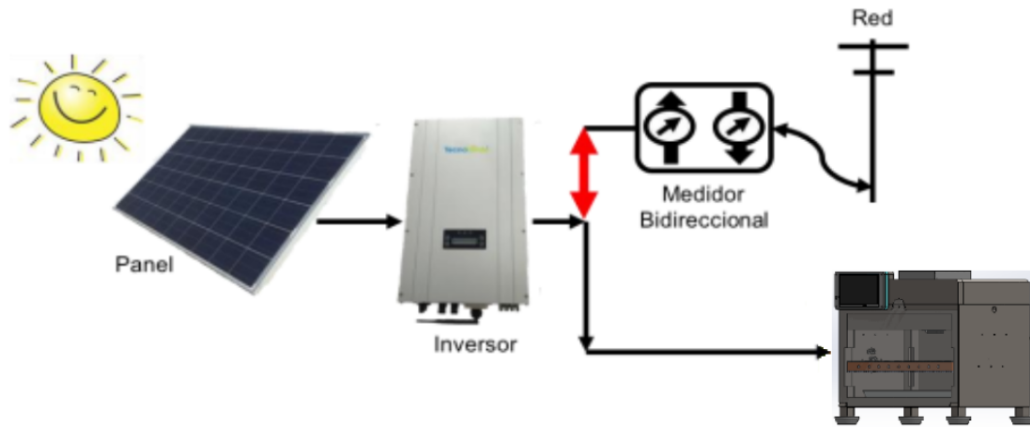


Figura 4.7: Sistema fotovoltaico planteado [46].

#### 4.8. Análisis simulación de la incubadora

Primeramente, para el análisis de la simulación de la incubadora fue necesario implementar el software Ansys Fluent, para lo cual fue necesario digitar los parámetros iniciales de operación los cuales fueron los siguientes:

- Temperatura en la cámara de incubación = 40°C.
- Temperatura ambiente = 28°C.
- Temperatura de las paredes = 28°C.
- Velocidad de entrada del aire = 2 m/s.
- Fracción de masa de agua = 65 %.
- Fracción de masa de oxígeno = 35 %.
- Espesor de pared del acero = 0.0012 m.
- Conductividad térmica del acero = 79.99 W/m\*K.
- Espesor de pared del poliuretano = 0.04 m.
- Conductividad térmica del poliuretano = 0.2767 W/m\*K.
- Espesor de pared del vidrio = 0.003 m.
- Conductividad térmica del vidrio = 0.96 W/m\*K.

NOTA: Para efectos prácticos fue necesario calcular un valor equivalente para la conductividad térmica de la pared compuesta la cual dio como resultado  $K_{eq} = 0.299$  W/m\*K (ver anexo H).

En la figura 4.8, se muestra el diseño propuesto para la simulación que se llevo a cabo en el Software Ansys, en la cual no se considero los componentes que forman parte de los equipo electrónicos ni ningún otro componente que dentro de la incubadora van introducidos, la idea era simplificar al máximo la estructura que posteriormente iba a ser simulada, de esta forma en la imagen se muestra nuestro equipo de incubación con dimensiones de largo, ancho y alto de 0.5 m, 0.3 m y 0.240 m respectivamente, además se muestra la rejilla por donde eventualmente saldra el aire caliente, además muestra los orificios de radio igual 1,5 mm en cada extremo, la idea en principio es modelar la mitad del quipo, pues este es simétrico.

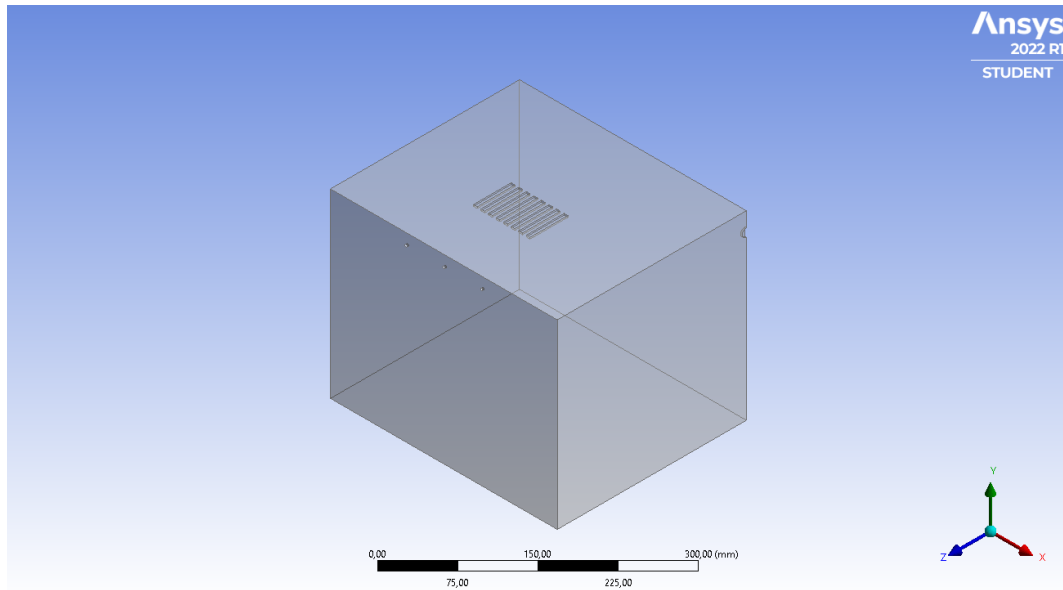


Figura 4.8: Diseño propuesto para la simulación.

De esta forma, una vez introducidos los valores propuestos para el análisis termodinámico en el software Ansys, se obtuvieron una serie de resultados a mencionar.

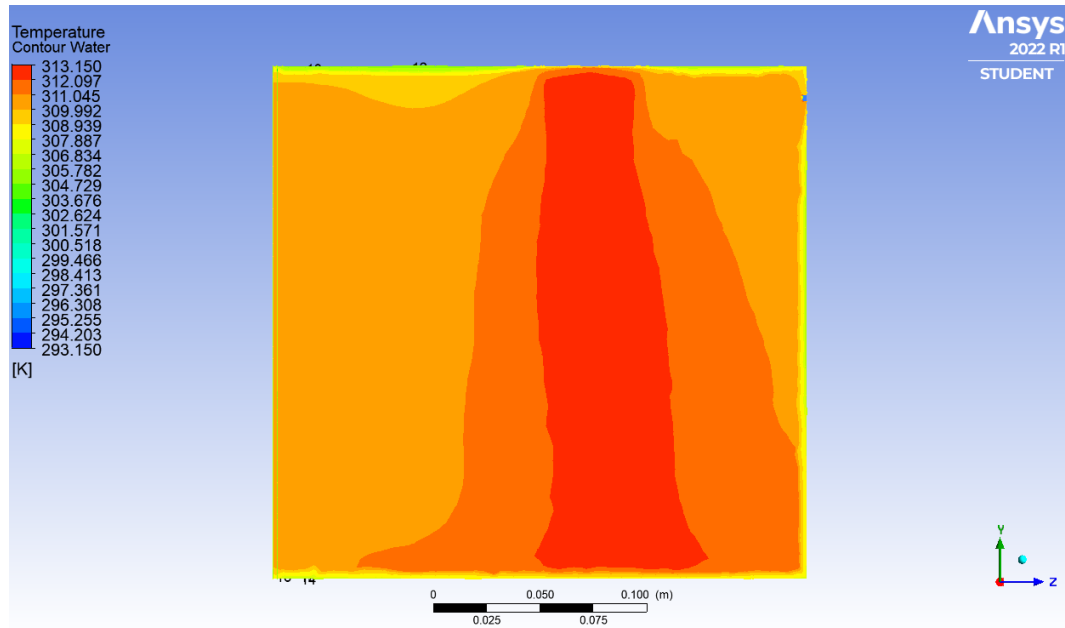


Figura 4.9: Temperatura a la salida de la rejilla.

En la figura 4.9, se vislumbra el comportamiento de la temperatura a la salida de la rejilla, donde se aprecia temperaturas de hasta  $40^{\circ}\text{C}$  (313 K), la cual corresponde al valor de entrada que fue propuesto para llevar al equilibrio térmico requerido para cumplir con los parámetros. De igual forma, se nota que la temperatura menor reportada corresponde a  $35^{\circ}\text{C}$  (308 K) y es la comprendida en los límites de las paredes, de tal forma que se puede afirmar que la temperatura que prevalece en toda la extensión del equipo es la propuesta entre los rangos de  $37^{\circ}\text{C}$  (310 K) y los  $38^{\circ}\text{C}$  (311 K), confirmando lo que la teoría propone y lo expuesto en apartados anteriores.

Aunado a lo anterior, se presenta (figura 4.9) una curva de la temperatura durante cada etapa realizada hasta llegar al equilibrio térmico, la misma se realizó en 3 etapas lógicas para demostrar el comportamiento de las condiciones, antes de presentar la forma correcta de como percibe el software las condiciones iniciales de temperatura y humedad relativa.

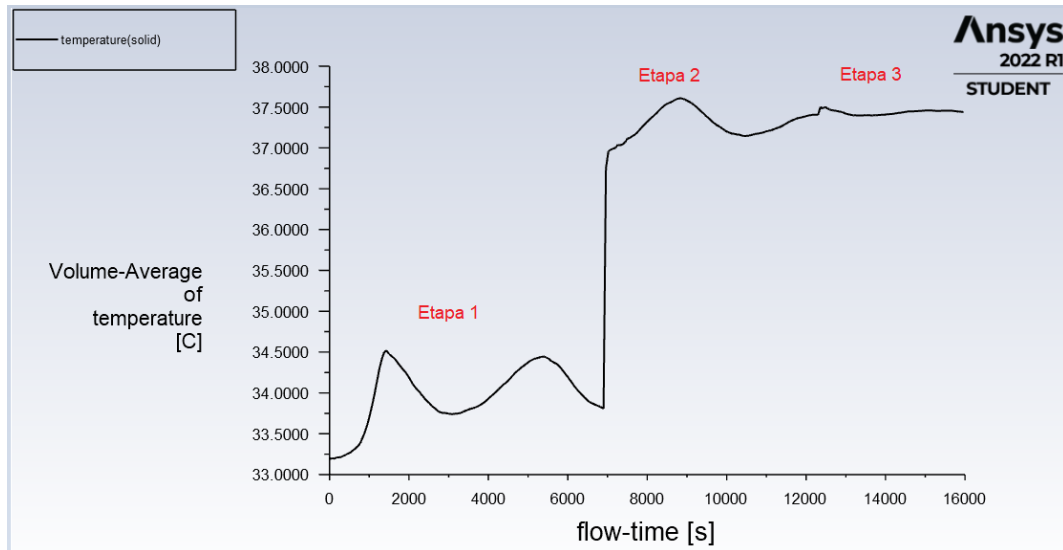


Figura 4.10: Gráfica de la temperatura.

De esta forma, en la figura 4.10, como parte de la etapa 1, se simula de tal forma de no contemplar los valores de las conductividades térmicas de los materiales. Además no se toman en cuenta la humedad relativa. Las condiciones de temperatura de entrada y de temperatura ambiente son de  $37.5^{\circ}\text{C}$  y  $23^{\circ}\text{C}$  respectivamente, en la gráfica se muestra que en el tiempo de flujo comprendido entre 0 y 7000 segundos, la gráfica mantiene un volumen de temperatura entre  $34^{\circ}\text{C}$ - $34.5^{\circ}\text{C}$ , esto sin alcanzar los requerimientos necesarios para que sea viable la eclosión de polluelos.

Para la etapa 2, se considero una temperatura de entrada de  $45^{\circ}\text{C}$ , lo cual es visto como un incremento del volumen promedio de temperatura entre los 7000 y 12000 segundos, además en esta etapa solo se consideraron las conductividades térmicas del acero en las paredes requeridas y del vidrio en la pared frontal del equipo, además de considerarse un porcentaje de masa de agua del 50 %, lo anterior da como resultado el alcanzar el rango de temperatura necesaria (de igual forma se rescata que la temperatura ambiente era de  $23^{\circ}\text{C}$ ).

No obstante, fue necesario simularlo una tercera y última vez (etapa 3, comprendida entre los 12000 16000 segundos), donde se considero el valor de la conductividad térmica del vidrio y de la conductividad térmica equivalente del acero y el poliuretano, así como el espesor total, una porcentaje de masa de agua y oxígeno del 65 % y 35 % respectivamente, y para esta ocasión disminuimos nuestro valor de la temperatura de entrada a  $40^{\circ}\text{C}$  y sobrescribimos el valor de la temperatura de ambiente a  $28^{\circ}\text{C}$ , obteniendo de esta forma alcanzar el promedio del volumen de temperatura con respecto a lo propuesto en capítulos anteriores.

Por otro lado, en la figura 4.11 se denota la función de los agujeros realizados en los extremos del equipo, además del comportamiento de las partículas del aire provenientes del ventilador y como estas interactúan con el medio.



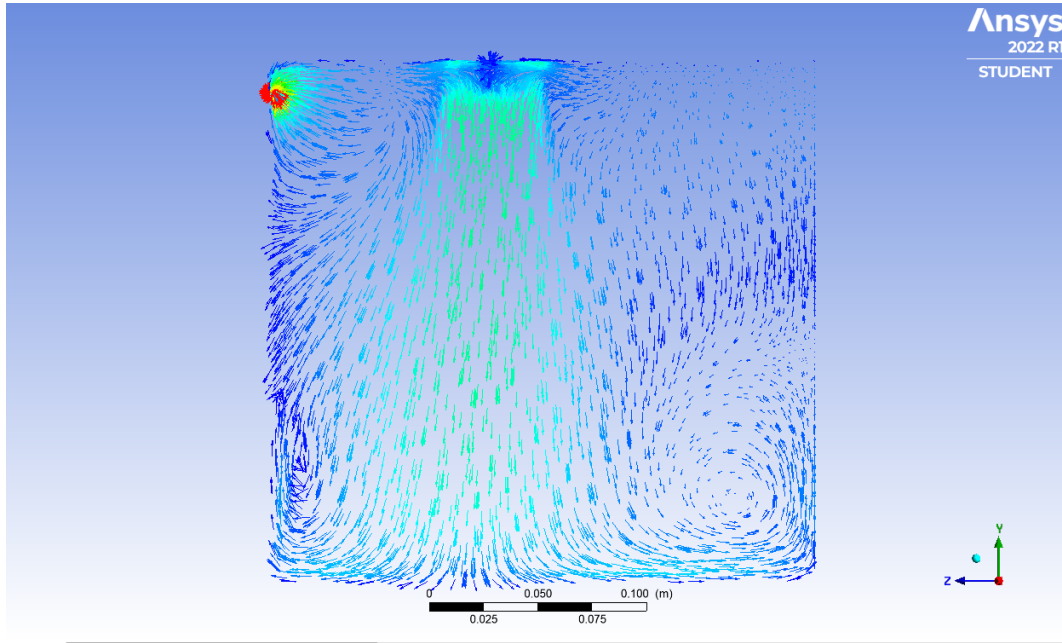


Figura 4.11: Comportamiento del movimiento de partículas de aire en el interior de la incubadora.

De la misma forma, se puede ver la diferencia de transferencia de calor entre partículas de aire del ventilador y el medio (ver figura 4.12), distribuyendo uniformemente el aire caliente a una velocidad moderada, idóneo para que se de la eclosión de los polluelos, manteniendo los requerimientos básicos para que este se de con total satisfacción.

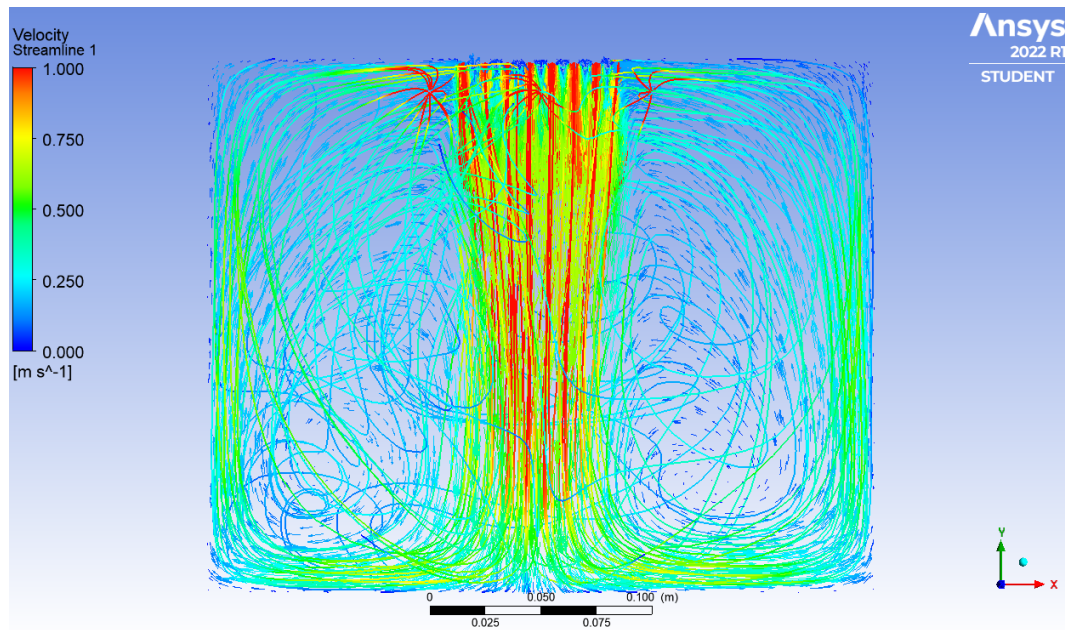


Figura 4.12: Comportamiento del aire caliente con el movimiento de partículas en el interior de la incubadora.

## Capítulo 5

# Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

- Se realizó el diseño de una incubadora automática para huevos de gallina, utilizando para ello el software Ansys 2022. El equipo diseño tiene la capacidad de alojar 50 huevos de gallina en su interior, bajo un sistema que permite un movimiento de inclinación, y al mismo tiempo simular las condiciones y parámetros (ventilación, temperatura y humedad relativa) que una gallina lo hace en su ambiente natural.
- Se propuso y se logró cumplir con los requerimientos técnicos de temperatura, movimiento, ventilación y humedad relativa necesarios para un correcto funcionamiento del equipo.
- Se realizó un análisis térmico, que confirmó la viabilidad de utilizar energías renovables para el suministro de energía a el equipo, que, para efectos prácticos, alimentaría una incubadora con 50 huevos de gallina y bajo las condiciones propuestas y componentes propuestos.
- Se propusieron componentes que fueran fáciles de conseguir y los que comúnmente se utilizan en la creación de equipos de incubación, sin dejar de lado que fueran acordes con las necesidades y el alcance de nuestro proyecto.
- Para garantizar que el diseño propuesto cumpla con los parámetros ideales para la incubación de huevos de gallina de forma continua y automática durante el tiempo de incubación definido: se propuso la instalación de sensores de flujo e higrostatos que controlaran parámetros tales como temperatura, ventilación y humedad relativa, además por medio de la literatura se planteó una inclinación adecuada de 8 inclinaciones diarias que permitiesen un movimiento constante. De igual forma, el proyecto actual cuenta con un manual de operación, mantenimiento e instalación que coadyuvara al operario a utilizar el equipo.
- Se logró simular las condiciones de temperatura, humedad y ventilación en la incubadora, de tal forma que se realizaron varias simulaciones a diferentes rangos de temperatura y humedad para determinar que el modelo propuesto cumple con los valores propuestos, en ese sentido se concluye que el diseño propuesto es óptimo para la incubación, gracias a su eficaz distribución de temperatura y humedad relativa.

- Se logró probar que el sistema en estudio, bajos los parámetros suministrados producto de la investigación, es capaz de mantener condiciones óptimas, esto a raíz de los resultados suministrados por el software Ansys.
- Se comprobó que los materiales propuestos cumplen con las características necesarias para mantener condiciones de temperatura y humedad relativa necesarios para llevar a cabo el proceso de incubación de huevos de gallina.

## 5.2. Recomendaciones

- Para la construcción del equipo, se recomienda que se tome en cuenta que algunos de los componentes eléctricos son importados y por ende su obtención pueda tardar, además de que la funcionalidad de carga térmica es para efectos prácticos bajo las condiciones suministradas en este proyecto, por lo que cualquier cambio de dimensionamiento, se deberá realizar el análisis descrito en apartados anteriores.
- Para efectos prácticos, se recomienda seguir las indicaciones propuestas en los manuales adjuntos, con la finalidad de prolongar la vida útil de cada componente.
- Es importante, que el equipo una vez construido se manipule con sumo cuidado, debido a que en su interior tendrá una variedad de componentes eléctricos y/o electrónicos que necesitan estar calibrados y funcionando en óptimas condiciones, además de que algunos de los materiales y componentes son propensos a sufrir daños en caso de golpes, llámense puerta, paneles, entre otros.
- Es importante contar con un plan de mantenimiento que permita el acceso rápido a componentes extras en caso de daño parcial o total de algún componente, esto con la finalidad de no interrumpir las condiciones controladas dentro de la incubadora.
- De ser posible, se recomienda una preselección de los huevos a incubar, ya que huevos dañados pueden incurrir a efectos en cadena, provocando la muerte de los embriones en su interior.
- Es importante contar como mínimo con una segunda fuente de energía, sea esta renovable o no, que permita la conexión rápida y oportuna a la corriente eléctrica. De ser una fuente renovable, tomar en cuenta que debe suplir la demanda de potencia que requiere el equipo en cuestión.
- Se recomienda, que en el caso de no utilizar acumuladores en el sistema descrito, al menos utilizar contactores que se puedan manipular para detener o permitir el flujo de corriente en las diferentes etapas en caso de emergencia, fallos o mantenimiento preventivo.
- Tener inventario de los componentes tanto del sistema de incubación como del sistema fotovoltaico, esto por daños a futuro que impliquen el cambio total o parcial. De no ser posible, contar al menos con un distribuidor de fácil y rápido acceso.
- De ser viable, se recomienda instar por la instalación de más paneles y baterías en caso de instalar más equipos a futuro. Con respecto a los inversores, estos están sobredimensionados para más equipos, no obstante se recomienda realizar análisis energético en caso de agrandar el sistema fotovoltaico.
- Evitar abrir el acceso/puerta que posee la incubadora una vez ingresados los huevos, para así no inducir cargas térmicas dentro del sistema una vez alcanzado el balance térmico.
- Se recomienda realizar el análisis térmico con los huevos incorporados en el sistema, y de preferencia con un mallado de alta calidad, esto para obtener datos más transparentes con respecto a la realidad.

- Ingresar los huevos limpios y secos, además de ubicar la incubadora en un lugar seco y no al aire libre, evitando corrientes de aire.

# Bibliografía

- [1] T. Abarzúa. *Guía Práctica para Instalaciones Fotovoltaicas en Costa Rica*. <https://www.sica.int/download/?96983>, 2013.
- [2] D. Aráuz. *Evaluación entre las metodologías de desarrollo de software XP-RUP y su aplicación en la construcción de un sistema para la gestión de una estética. Caso de estudio: CADAMA estética*. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/19691/Tesis%20-%20David%20Arauz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>., 2020.
- [3] H; Saidin M y Faiz M. Bahli, M; Peng. *Egg hatching incubator using conveyor rotation system*. International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, Indonesia, 2, ed. edition, 2015.
- [4] C. Barboza. *Diseño de una incubadora de huevos de gallina para las granjas productoras y comercializadoras avícolas en el municipio de Becerril-Cesar*. Bogotá D.C., 2021.
- [5] Matos Jr JB Thimotheo M Almeida VR Boleli IC, Morita VS. *Poultry Egg Incubation: Integrating and Optimizing Production Efficiency*. razilian Journal of Poultry Science, Jaboticabal,Sao Paulo, Brazil, 2016.
- [6] CanadianSolar. *HiKu SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE*. [https://www.canadiansolar.com/test-au/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/CanadianSolar\\_-\\_Datasheet\\_-\\_HiKu\\_C3W\\_-\\_P\\_v5,59AU.pdf](https://www.canadiansolar.com/test-au/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/CanadianSolar_-_Datasheet_-_HiKu_C3W_-_P_v5,59AU.pdf), 2022.
- [7] Cengel, Y; Boles, M. *Termodinámica Séptima edición*. Mc Graw Hill Education, USA, 2012.
- [8] V. Cruz, C y Vargas. *Diseño de un prototipo de incubación artificial con sistema de control difuso para la producción de aves de codorniz. (Tesis de Licenciatura)*. Universidad San Martín de Porres,Lima: Perú, 2018.
- [9] A. Dalangin, F y Ancheta. *Performance Evaluation of the developed solar powered poultry egg incubator for chicken*. Journal of Science, Engineering and Technology, 6, pp 67-81., (2018).
- [10] Secretaría de Gobierno de Argentina. *Energía Solar: Energías Renovables*. [http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro\\_energia\\_solar.pdf](http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_solar.pdf), 2008.
- [11] Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. *Ley N° 7451 Bienestar de los Animales*. [https://vinv.ucr.ac.cr/sites/default/files/files/ley\\_bienestar\\_-\\_animales%207451.pdf](https://vinv.ucr.ac.cr/sites/default/files/files/ley_bienestar_-_animales%207451.pdf), s.a.

- [12] L. Delgado. *Propuesta de sistema fotovoltaico para el ahorro de energía eléctrica de una incubadora avícola en la ciudad de Chiclayo 2016. (Tesis de Licenciatura)*. Universidad César Vallejo, Trujillo: Perú., 2016.
- [13] Patsa: Profesionales en Aislamiento Termico. *Ficha Tecnica Poliuretano*. <https://patsa.net/wp-content/uploads/2020/01/9-Ficha-tecnica-Poliuretano.pdf>, 1, ed. edition, 2021.
- [14] C. A. Fletcher. *Solar powered egg incubator desing.*, volume 14(6), pp. 13-19. Journal of Electrical and Electronics Engineering, 2019.
- [15] A. Flores. *Incubadora de bajo costo para la industria avícola. (Tesis de Licenciatura)*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra: Ecuador., 2018.
- [16] Fronius. *FRONIUS Symo Maximum flexibility for the applications of tomorrow*. <https://www.solartopstore.com/collections/fronius-symo/products/fronius-symo-3-0-3-s>, 2018.
- [17] E; Rengel R y Martín M. García, B; Pascual. *Diseño y fabricación de un cuadróptero en la asignatura Electrónica de los Sistemas Mecánicos (Grado en Ingeniería Mecánica) mediante el acercamiento al Aprendizaje Basado en Proyectos*. <https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/126947/MID14317.pdf?sequence=1>, 2015.
- [18] J. García-Hierro. *Aplicación de la energía solar en una incubadora comercial de perdiz roja y supervisión de la actividad biológica mediante sensores inteligentes. (Tesis de Doctorado)*. Universidad Politécnica de Madrid, España., 2016.
- [19] GlasSTEMPCORR. *Cristales Templados*. <https://www.glasstempcorr.com/web/121728f/ficha-tecnica-2020.pdf>, 2020.
- [20] Meneses i. Rodríguez M. González, D. *Construcción de un sistema autónomo para regular la temperatura de un recinto*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica., 2019.
- [21] Anhalt K. Taubert R. D. Hartmann, J. and J. Hollandt. *Absolute radiometry for the mep-k: the irradiance measurement method*. International Journal of Thermophysics, 32(7-8):1707–1718. edition, 2019.
- [22] Project HUB. *Egg Incubator*. <https://create.arduino.cc/projecthub/quantenschaum/egg-incubator-ef0cf6>, 2018.
- [23] InfiniSolar. *InfiniSolar: On-Grid Inverter with Energy Storage*. [https://voltronicpower.com/content/download/Brochure/InfiniSolar\\_DS.pdf](https://voltronicpower.com/content/download/Brochure/InfiniSolar_DS.pdf), s.f.
- [24] F. Kyeremeh, F. y Peprah. *Design and Construction of an Arduino Microcontroller.based EGG Incubator*. International Journal of Computer Applications, 168(1), pp 15-23. edition, 2017.
- [25] Adetunji O. Aderinlewo A. y Ajisegirl E. Lekan, K. *Performance evaluation of a solar powered poultry Egg Incubator*. International Research Journal of Advanced Engineering and Science., 3(2), pp. 255-264. edition, 2018.
- [26] Bruno M. *Cómo calcular el caudal simultáneo de agua en un edificio de viviendas*.



- [27] Chavez E. y Maano R. Maano, R. *Towards the development of a Smart Photovoltaic-powered temperature controlled poultry egg incubator*. Revista Internacional de simulación, sistemas, ciencias y tecnología, 19, pp. 19.1-19.5., 2019.
- [28] M. McRoberts. *Beginning Arduino*. Springer Science., volume 1. edition, 2010.
- [29] Aderinlewo A. Adetunji O y Ajisejiri E. Osanyinpeju, K. *Performance Evaluation of a Solar Powered Poultry Egg Incubator*. International Research Journal of Advanced Engineering and Science, (3), núm. 2, pp. 255-264. edition, 2018.
- [30] Comité Institucional para el cuidado y uso de los animales (CICUA). *Comité Institucional para el cuidado y uso de los animales*. <https://vinv.ucr.ac.cr/es/comite-institucional-para-el-cuidado-y-uso-de-los-animales-cicua>, 2020.
- [31] Patsa. *Ficha técnica Poliuretano*. <https://patsa.net/wp-content/uploads/2020/01/9-Ficha-tecnica-Poliuretano.pdf>, s.f.
- [32] A. Rodríguez, J; Cruz. *Factores que afectan la incubabilidad de huevo fértil en aves de corral*. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/28295>, 2017.
- [33] S.a. *Analog read*. <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogread/>, 2019.
- [34] S.a. *Ansys Fluent; Fluid simulation Software*. <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>, 2022.
- [35] S.a. *Adaptador USB*. [https://www.amazon.com/gp/product/B00NH11KIK/ref=as\\_li\\_ss\\_l?ie=UTF8&linkCode=sl1tag=zlufy-20linkId=7f80f2a93bbb8b2a12b47aa17f87c498&language=en\\_US](https://www.amazon.com/gp/product/B00NH11KIK/ref=as_li_ss_l?ie=UTF8&linkCode=sl1tag=zlufy-20linkId=7f80f2a93bbb8b2a12b47aa17f87c498&language=en_US), s.f.
- [36] S.a. *Arduino DUE*. [https://www.amazon.com/Arduino-org-A000062-Arduino-Due/dp/B00A6C3JN2/ref=sr\\_12?crid=36OE13DIXYWQX&keywords=Arduino+DUE&qid=1655774211&prefix=arduino+due2&caps2C131sr=8-2](https://www.amazon.com/Arduino-org-A000062-Arduino-Due/dp/B00A6C3JN2/ref=sr_12?crid=36OE13DIXYWQX&keywords=Arduino+DUE&qid=1655774211&prefix=arduino+due2&caps2C131sr=8-2), s.f.
- [37] S.a. *Claves de cobre*. [https://www.amazon.com/Elegoo-EL-CP-004-Multicolored-Breadboard-arduino/dp/B01EV70C78/ref=pd\\_bxgy;mg\\_scl1/141-8275032-0810024?pd\\_rd\\_w=B4fpB&content-id=amzn1.sym,7757a8b5-874e-4a67-9d85-54ed32f01737pfrd\\_r=7757a8b5-874e-4a67-9d85-54ed32f01737pfrd\\_r=A7R5R21284MYJM93AD3Q&pd\\_rd\\_wg=Nw8e5p&pd\\_rd\\_r=a2748541-b172-454d-a65e-3ff821573bfepd\\_rdi=B01EV70C78th=1](https://www.amazon.com/Elegoo-EL-CP-004-Multicolored-Breadboard-arduino/dp/B01EV70C78/ref=pd_bxgy;mg_scl1/141-8275032-0810024?pd_rd_w=B4fpB&content-id=amzn1.sym,7757a8b5-874e-4a67-9d85-54ed32f01737pfrd_r=7757a8b5-874e-4a67-9d85-54ed32f01737pfrd_r=A7R5R21284MYJM93AD3Q&pd_rd_wg=Nw8e5p&pd_rd_r=a2748541-b172-454d-a65e-3ff821573bfepd_rdi=B01EV70C78th=1), s.f.
- [38] S.a. *Consola LCD*. [https://www.amazon.com/Nextion-Enhanced-Display-NX8048K050-Resistive/dp/B08H85HCM6/ref=sr\\_12?crid=2ND9UV86HA2UO&keywords=Nextion+NX8048T070&qid=1655774800&prefix=nextion+nx8048t0702&caps2C96sr=8-2](https://www.amazon.com/Nextion-Enhanced-Display-NX8048K050-Resistive/dp/B08H85HCM6/ref=sr_12?crid=2ND9UV86HA2UO&keywords=Nextion+NX8048T070&qid=1655774800&prefix=nextion+nx8048t0702&caps2C96sr=8-2), s.f.
- [39] S.a. *Interruptores de contacto*. [https://www.amazon.com/MXRS-SPDT1NO-Momentary-Roller-Switch/dp/B07MW3W79B/ref=sr\\_15?crid=1C6BRJ20XQF23&keywords=interruptores2Bde2Bcontacto&qid=1655774581&prefix=interruptores2Bde2Bcontacto2&caps2C122sr=8-5th=1](https://www.amazon.com/MXRS-SPDT1NO-Momentary-Roller-Switch/dp/B07MW3W79B/ref=sr_15?crid=1C6BRJ20XQF23&keywords=interruptores2Bde2Bcontacto&qid=1655774581&prefix=interruptores2Bde2Bcontacto2&caps2C122sr=8-5th=1), s.f.

- [40] S.a. *Kit de Resistencia ELEGOO*. [https://www.amazon.com/Elegoo-Values-Resistor-Assortment-Compliant/dp/B072BL2VX1?linkCode=sl1tag=zlufy-20linkId=2ca5b8ed93639e329678f9eee7cdee92language=en\\_USref=as\\_i\\_s\\_t\\_l](https://www.amazon.com/Elegoo-Values-Resistor-Assortment-Compliant/dp/B072BL2VX1?linkCode=sl1tag=zlufy-20linkId=2ca5b8ed93639e329678f9eee7cdee92language=en_USref=as_i_s_t_l), s.f.
- [41] S.a. *McMaster*. <https://www.mcmaster.com/>, s.f.
- [42] S.a. *ProtoBoard*. <https://www.amazon.com/>, s.f.
- [43] S.a. *Sensor de calidad de aire*. <https://store-usa.arduino.cc/products/grove-air-quality-sensor-v1-3?selectedStore=us>, s.f.
- [44] S.a. *Sensores de T y HR*. [https://www.amazon.com/Aideepen-Digital-Temperature-Humidity-Replace/dp/B01IBBFOF0/ref=as\\_i\\_s\\_t\\_l?ie=UTF8linkCode=sl1tag=zlufy-20linkId=4d7c894b0b29b4ed4ffe749dea59fe7blanguage=en\\_US](https://www.amazon.com/Aideepen-Digital-Temperature-Humidity-Replace/dp/B01IBBFOF0/ref=as_i_s_t_l?ie=UTF8linkCode=sl1tag=zlufy-20linkId=4d7c894b0b29b4ed4ffe749dea59fe7blanguage=en_US), s.f.
- [45] Extralum S.A. *Especificación técnica de vidrio templado FUERTEX®*. <https://extralum.com/wp-content/uploads/2018/10/ESC-237-Vidrio-Templado-FUERTEX.pdf>, s.f.
- [46] M. Saborío. *Diseño de un sistema de respaldo energético con celdas fotovoltaicas para la reducción de la huella de carbono en la Planta Hidroeléctrica Platanar, San Carlos - Costa Rica*. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/>, 2019.
- [47] A. (2015). Santiago, L y Ronquillo. *Programación y Control de Circuitos de una Incubadora de Huevos de Gallina mediante una Plataforma de Código Abierto*. Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa. (03), s.p.
- [48] Jewett J. W. Hernández A. E. G. Serway, R. A. and E. F. López. *Física para ciencias e ingeniería*. Thomson, volumen 6 edition, 2005.
- [49] Carbone Stainless Steel. *Ficha Técnica Acero Inoxidable*. <https://www.empresascarbone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>, 2da edición, 2021.
- [50] Carbone Stainless Steel. *Ficha técnica del hacer inoxidable*. <https://www.empresascarbone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>, s.f.
- [51] El tiempo. *Radiación solar en San José*. <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/san-jose.html>, 2022.
- [52] Ultracell. *UCG150-12 (12V 150AH)*. <https://www.ase-energy.com/Files/133004/Batterie-GEL-Ultracell-UGC150-12.pdf>, 2017.
- [53] Ojike O. Etoamaihe U. y Okonkwo W. Uzodinma, E. *Performance study of a solar poultry egg incubator with phase change heat storage subsystem.*, volume 18, pp 01-07. Case Studies in Thermal Engineering., 2020.
- [54] K; Wlaler W; Morales M y Vignola R. Vargas, A; Serrano. *Ficha Técnica, Sector productivo agrícola*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-final-Avicola.pdf>, 2018.

# Anexos

## Apéndice A

# Formulario de registro para utilización de animales de laboratorio [30]

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**  
**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN**

**COMITÉ INSTITUCIONAL PARA EL CUIDADO  
Y USO DE LOS ANIMALES  
C.I.C.U.A.**

**FORMULARIO DE REGISTRO PARA UTILIZACIÓN DE  
ANIMALES DE LABORATORIO**

**Sí el proyecto es de investigación por favor incluir el impreso del sistema de formulación de proyectos**

**I.- INFORMACION PRELIMINAR**

1. Tipo de permiso:                      Nuevo                       Renovación

No. de registro: \_\_\_\_\_

(Este punto 1 es llenado por el C.IC.U.A.)

2.- Institución: Universidad de Costa Rica

Nombre	Dirección
--------	-----------

3.- Departamento:

4.- Título del Proyecto:

5.- Uso propuesto de los animales:

Enseñanza

Investigación

Otros

Explique:

6.- Duración:

7.- Director del departamento o laboratorio responsable del proyecto

Nombre	Cédula	Teléfono	Fax

8.- Responsable(s) del proyecto:

Nombre	Cédula	Teléfono	Especialidad

9. Cuenta el Departamento o laboratorio con una lista de fácil acceso de los teléfonos de todo el personal técnico y profesional que tenga a su cargo alguno de los distintos procedimientos experimentales, para ser localizados en casos de emergencia?

Si\_ \_\_\_

No\_\_\_(justifique):

## II.- INFORMACION ESPECÍFICA AL PROYECTO

1.- Indique de qué manera este proyecto es relevante para la salud humana o animal, o para el avance del conocimiento o del bienestar de la sociedad.

2. Complete el siguiente cuadro acerca del modelo experimental usado:

Modelo in vivo:

Especie/cepa:

Sexo(s):

Edad(es)

Peso(s)

Modelo in vitro:

Cultivo celular:

Órgano aislado:

Otros:

3.a. Justifique el uso de los animales, especies seleccionadas y número utilizado (Indique estadística a usar)

3.b. Indique si existen otros métodos alternativos para el tema en discusión que no requieran animales

3.c. Indique fuentes de información consultadas

4.a- Describa en detalle todos los procedimientos a realizarse con los animales indicando si son invasivos o no, crónicos o agudos.

--

**Invasivo:** todo aquel procedimiento que implique la alteración de la organización estructural de tejido u órgano del animal

**Agudo:** aplicación del tratamiento en una sola dosis o en varias dosis en 24 horas, con un período de observación no menor de 14 días después de la aplicación del tratamiento.

**Subcrónico:** aplicación del tratamiento diario de 30 a 90 días, con un período de observación no menor de 28 días, después de la última dosis.

**Crónico:** aplicación del tratamiento diario de 3 meses a no más de un año, con un período de observación no menor de 30 días, después de la última dosis.

4.b- Marque con una (X) el tipo de procedimiento experimental que será llevado a cabo con los animales.

Etológico (comportamiento)	Quirúrgico	Farmacológico	Infeccioso
Mutagénico	Nutricional	Biológicos	Físico
Otros (Especifique)			

5.- Marque con una X el nivel de dolor/estrés

Mínimo	Evitado por anestésicos	Agudo, de corta duración
	Crónica, de larga duración	Terminal

Dolor/Estrés mínimo: No afecta la conducta del animal

6. Indique si se utilizará analgésico, anestésico o tranquilizante para minimizar el dolor

Analgésico                       Anestésico                       Tranquilizante

Vías :                       Principio activo:



Dosis :

Nombre comercial:

Frecuencia :

7.- Indique los criterios utilizados para medir niveles de anestesia:

Latidos	Respiración	Relajamiento Muscular
ECG	Reflejo Corneal	Pellizco positivo de dedo
		Color de membranas/mucosas
Otro	Explique:	

8- Si existe estrés o dolor, cuáles criterios serán usados para medirlo?

Pérdida de apetito	Comportamiento anormal o letárgico
Pérdida de peso	Posición anormal descanso
Aspecto general	Chupar/morder/rascar
Vocalización	Pérdida de movilidad
Agitación	Protec. área c/dolor
Otro	Explique :

9.a. En caso necesario indique por qué se dará muerte a los animales.

9.b. Cuál método de eutanasia se utilizará? Indique el tipo de drogas, dosis y vía de aplicación

9.c. Sobre el personal responsable de la eutanasia, indique:

Nombre	Años de experiencia	Adiestramiento

.10.- d Duración definida:

Elabore un cronograma con cantidad de animales utilizados. (Elabore un cuadro por especie)

	# Semanal					# Semanal			
# Mensual	1	2	3	4	# Mensual	1	2	3	4
<b>Ene</b>					<b>Jul</b>				

<b>Feb</b>						<b>Ago</b>					
<b>Mar</b>						<b>Set</b>					
<b>Abr</b>						<b>Oct</b>					
<b>May</b>						<b>Nov</b>					
<b>Jun</b>						<b>Dic</b>					

Duración indefinida:

Indique el número aproximado de animales por período de tiempo:

11.- Proporcione la lista del personal técnico y profesional a cargo de los distintos Procedimientos experimentales e indique la experiencia individual

Nombre	Procedimiento a cargo	Adiestramiento y años de experiencia

12.a.- Describa las instalaciones o jaulas . Llene los espacios claros.(Sección VI de la Guía)

	Instalaciones	Jaula
<b>Iluminación</b>		
<b>Reciclaje de aire</b>		
<b>Temperatura</b>		
<b>Humedad</b>		
<b>Dimensiones</b>		
<b>Frecuencia de aseo</b>		

12.b.- Se estimula a los animales?

Si  (De qué manera?)

No:

12.c.-Describa los protocolos de alimentación y mantenimiento general durante el experimento.

13. Durante el periodo de experimentación serán los animales ejercitados?

Con qué frecuencia? Explique.

Si  (Explique en qué forma)

No  (Explique por qué)

- 14.-.- Además de procedimientos quirúrgicos, de represión o de comportamiento, hay algún procedimiento o factores que puedan causar sufrimiento, ansiedad o incomodidad a los animales? Si  No

En caso afirmativo, describa que exámenes físicos, pruebas de laboratorio o acondicionamiento al equipo se requerirán..

### III.- PROCEDIMIENTOS QUIRURGICOS

Proporcione la siguiente información si se aplica a su proyecto (Si no se aplica, pasar al apartado IV)

- 1.- Describa los cuidados preoperatorios incluyendo exámenes físicos, pruebas de laboratorio, acondicionamiento de aparatos, medicamentos y anestesia (dosis, ruta, frecuencia). En caso necesario, puede copiar los cuadros de los puntos 2 ó 3.

- 2.- Se utilizarán drogas relajantes o paralíticas? Si  No

En caso afirmativo indique nombre comercial, principio activo, dosis/frecuencia y vía de administración. Justifique y describa los efectos.

Nombre comercial	Principio Activo	Dosis/frecuencia	Vía
<b>Justificación y Descripción de Efectos :</b>			

- 3.- Haga una lista de la medicación post-operatoria (analgésicos, antibióticos), indicando nombre comercial, principio activo, dosis/frecuencia y vía de administración.

Medicamento	Dosis	Ruta	Frecuencia

4.- Describa en detalle los cuidados post-operatorios planeados.

5.- Serán los mismos animales sometidos a cirugía o intervenciones adicionales después de una primera operación? Sí  No

En caso afirmativo, justifique el procedimiento. Por regla general, no son aceptados procedimientos quirúrgicos múltiples en un mismo animal.

**IV.- RESTRICCIÓN FÍSICA PROLONGADA:**

Proporcione la siguiente información si se aplica a su proyecto: **NO SE APLICA**

1.- Explique la razón de usar restricción física o inducción de estrés.

2.- Describa en detalle el equipo, método y períodos de restricción o estrés y la frecuencia de observación.

3.- Nombre y experiencia del personal que realizará el procedimiento.

Nombre	Procedimiento a su cargo	Años de adiestramiento

4.- Se inducirá dolor? Sí  No  Describa :

5.- Se usará estimulación eléctrica, de luz, sonido, u otra para modificar la conducta del animal? Sí  No  Describa :

6.- Serán los animales sujetos a ayunos o a dietas deficitarias en uno o más nutrientes? Sí  No   
En caso afirmativo, describa, tiempo, cómo será determinado el bienestar general de los animales y con qué frecuencia serán pesados?

Declaro que la información dada es veraz y cierta, y firmo bajo fe de juramento.

<b>Nombre Investigador Principal</b>	<b>Cédula</b>	<b>Cargo</b>	<b>Fax</b>	<b>Teléfono</b>
--------------------------------------	---------------	--------------	------------	-----------------

Firma:

Lugar

Fecha

**REVISION DEL COMITE**

Fecha:

Nombre:

Firma: \_\_\_\_\_

La presente solicitud

Fue aprobada en su versión original

Fue aprobada en una versión modificada

No fue aprobada

Es necesaria mayor información / estudio.

Comentarios:

## Apéndice B

# Manuales

### B.1. Manual de operación

Para obtener un buen funcionamiento del equipo, es necesario que la operación sea la idónea, para lo cual es imprescindible que la o las personas encargadas de la manipulación de esta, estén capacitados en la ejecución de cualquier labor referente al funcionamiento de la incubadora y de esta forma, mitigar cualquier riesgo en la máquina y/o personal a cargo.

Primeramente, y antes de poner en funcionamiento la máquina, es necesario que la persona a cargo del proceso de incubación realice una inspección visual a 6 pulgadas del ojo humano sin ningún magnificador visual que le permita inspeccionar por daños como rayas, dentaduras, aberturas, huecos o cualquier anomalía (ver cuadro B.1) que imposibiliten su correcto accionar, por lo cual se requiere revisar el equipo detalladamente y de esta forma observar que se encuentre en la posición adecuada y que no tengan elementos exteriores que imposibiliten el correcto funcionamiento de los componentes de la máquina.

La idea de nuestra incubadora es que su operación sea sencilla, de tal forma que ella misma realice el proceso automáticamente, dejando como labores al operario, el conectar el equipo, ingresar los huevos y hacer controles visuales durante los 21-22 días que tarda el proceso de incubación, y finalmente sacar las crías y hacer mantenimiento del equipo.

De esta forma, la operación de la máquina se centra en el ajuste de valores requeridos para los parámetros de ventilación, humedad relativa, temperatura y volteo (ver cuadro B.1). De esta forma, el ventilador deberá accionar con una velocidad aproximada de 2 m/s. Además, la fuente de calor será provista por una resistencia, la misma que desde el interior de un bastidor aislado, se conectará a al sistema fotovoltaico, o bien a la red eléctrica convencional, por medio de la aplicación del voltaje nominal de trabajo. El humidificador, deberá ser inspeccionado antes de arrancar la máquina, con la finalidad de que las conexiones de agua estén correctamente instaladas y que la dosificación del agua sea la correcta, por último, el volteo será activado con el encendido de la máquina, para garantizar el correcto desarrollo embrionario requerido.

Cuadro B.1: Control de parámetros de la incubadora.

Parámetro	Rango
Temperatura	37 y 38°C temperatura de incubación óptima (alrededor de 37,5-37,8°C)
Humedad relativa	60%±5%(huevo/blanca)55a60%(huevo/dolorca,fe)
Movimiento	inclinarse 8 o más veces cada 24 horas periódicamente durante los primeros 18 días de incubación.
Ventilación	Mantener un mínimo de 21 a 22% de oxígeno dentro de la incubadora. Con respecto al CO2 se espera 1% o más en los días 1-4, 3% en los días 5-8 y superior al 6% en los días 9-12 de incubación.



## B.2. Manual de instalación

Para la instalación de la máquina, es necesario contar con un personal capacitado, lo cual garantizará el buen manejo y correcto funcionamiento de todos los componentes, de igual forma, se recomienda emplear cualquier tipo de protección personal, como mínimo anteojos, zapatos cerrados y guantes, los cuales son necesarios para resguardar la integridad de la persona y que permita contrarrestar cualquier riesgo tanto para el embrión como para el personal.

De esta forma, para realizar cualquier tipo de montaje o manipulación de máquina se deben usar los EPP anteriormente mencionados. Además, se requiere delimitar la zona de trabajo asegurándose que solo tenga acceso el personal capacitado o personal encargado del montaje y operación de la máquina, la idea es evitar que ocurran accidentes que pongan en riesgos la seguridad del personal y del embrión. Ahora bien, se requiere que la instalación de la máquina se realice en el lugar donde esta va a operar durante el tiempo de eclosión, siguiendo de esta manera los pasos a mencionar:

1. Instalación de la estructura.
2. Instalación de compartimentos internos.
3. Instalación de los mecanismos de la incubadora (humidificador, entre otros).
4. Instalación de equipos eléctricos y electrónicos.
5. Ajuste de parámetros.

### **Instalación de la estructura**

Tener en cuenta que la zona determinada para la instalación de la máquina se encuentre libre de otros objetos ajenos a ella y en condiciones normales (condiciones parametrizadas, temperatura ambiente entre los 25-28 °C y humedad relativa entre 45-70 %) ) de humedad relativa, temperatura y de corrientes de aire. La instalación debe realizarse en los puntos indicados de manera que dé una correcta estabilidad. (físico-estructural y/o condiciones ambientales).

### **Instalación de los compartimentos internos y mecanismos de la incubadora**

Una vez instalada la parte exterior de la máquina, proceda a hacer instalaciones de los compartimentos de la máquina, siguiendo los planos entregados, ubicando cada elementos según se indique en el manual. La instalación de los compartimentos internos y mecanismos debe hacerse teniendo en cuenta el siguiente orden de piezas:

- Chumaceras.
- Barras pasadoras.
- Soporte de bandejas.
- Motor.
- Bandeja.

### **Ajuste de parámetros**

Finalmente, se da el ajuste de los parámetros necesarios para que se lleve a cabo la incubación y por ende la eclosión (cuadro B.1).

### B.3. Manual de mantenimiento

El mantenimiento debe ejecutarse rutinariamente, puesto que es esencial para mantener la seguridad y confiabilidad de la máquina, ayudando de forma conjunta a evitar riesgos laborales. La idea es inspeccionar visual, auditiva y olfativamente (eliminar la redacción subjetiva y obtener métodos objetivos para la inspección de ellos) la máquina, con la finalidad de evitar cualquier anomalía que presente la máquina que pueda afectar su buen funcionamiento y el fin último, que es tener una natalidad alta, es decir la mayor cantidad de eclosiones. De esta forma, este manual se realiza con el fin de prevenir cualquier tipo de falla, accidente o incremento en costos no previstos, a través de un mantenimiento preventivo. Para proceder con el mantenimiento se debe:

- Mantener la máquina apagada, esto una vez que se dé el mantenimiento.
- Que la máquina se encuentre estática, es decir, no tenga movilidad con respecto al lugar donde se encuentra posicionada.
- Que los compartimientos y componentes estén en buen estado y correctamente equipados.

La idea es que el personal encargado de ejecutar este manual de mantenimiento mantenga los compartimientos de la incubadora limpios luego de cada proceso de incubación. Algunas de las inspecciones para realizar por cada elemento de la máquina, semuestran en el cuadro B.2.

Cuadro B.2: Inspecciones para realizar por cada elemento de la máquina.

Sistema	Elemento	Inspección	Falla	Criterio de aceptación	Frecuencia (meses)
Estructural	Estructura, laminas, puertas.	Analizar estado en el material	Corrosión, picado, grietas	Se vislumbren manchas, raspones, rayas o grietas en la superficie, que imposibiliten el accionar del equipo.	12
	Uniones	Verificar apertura y cierre en puertas	Desgaste	Dificultad para abrir o cerrar el dispositivo los 50'	0-12
Influencia	Motor	Revisar estados en los remaches	Grietas y vibraciones	Se perciben datos importantes para que la incubadora mantenga las condiciones de operación.	12
	Acople	Verificar parámetros eléctricos	Quemado	Revisar que el motor ejecute la acción de inclinar los huecos 45'	3
Control	Barras pesadoras	Revisar alimentación	Desgaste	Inspeccionar que los acoples se mantengan lubricados	3
	Chapas	Verificar liberación de estado	Desgaste	Inspeccionar que los puntos de contacto se mantengan lubricados	3
Ventilación	Controlador	Revisión de cargas y del material	Deformación y corrosión	Revisar que los sensores estén correctamente instalados	6
	Sensores	Revisar conexiones y datos en variables	Desajuste	Revisar que los parámetros se encuentren dentro de sus rangos preestablecidos	4
Generador de calor	Ventilador	Inspeccionar velocidad y estado de aspas	Obstrucción	Revisar que los troques de las lecturas de los sensores no estén seguros con respecto a los valores preestablecidos.	3
	Resistencias	Verificar temperatura generada en el proceso	Desajuste	Inspeccionar que las bobinas del ventilador giren de forma correcta, y que el sensor de flujo reporte los valores indicados entre los parámetros.	3
Humidificador	Bowl de agua	Verificar temperatura generada en el proceso	Desajuste	Revisar mediante la lectura de los sensores, que el valor reportado de la temperatura esté entre los rangos.	6
	Humidificador	Revisar nivel del agua	Bajo nivel	Revisar mediante la lectura de los sensores, que el valor reportado de la humedad relativa esté entre los rangos.	Diario
		Inspeccionar salidas del aspersor	Obstrucción	Revisar que el filtro del agua no se encuentre sucio.	Diario

Ahora bien, en el cuadro B.3 se describen a grandes rasgos algunas especificaciones requeridas en caso de que se presente alguna falla en el equipo.

Cuadro B.3: Descripción de las inspecciones a realizar por cada elemento de la máquina.

Elemento	Falla	Actividad
Estructura, láminas, puertas	Corrosión	Si se presenta alguna de estas fallas, pulir y recubrir con pintura resistente a la corrosión, en su defecto, cambiar pieza.
	Picado	
	Grietas	
	Rayadura	
Uniones	Grietas	Hacer soldaduras nuevamente en la sección afectada, ajustar y/o cambiar remaches.
	Vibraciones	
Bisagras	Desgaste	Cambiar bisagras.
Platinas	Corrosión	Limpeza periódica en la superficie de las platinas.
Barras pasadoras	Fatiga	Cambiar la barra afectada.
	Quemado	Reemplazar motor.
Acople	Desgaste	Limpiar y engrasar el acople.
Chumaceras	Desgaste	Acoplar y engrasar las chumaceras con las barras pasadoras.
	Deformación	Cambiar la lámina o la bandeja completa si es el caso.
Bandeja	Corrosión	Pulir y recubrir la bandeja con pintura resistente a la corrosión.
	Desajuste	Calibrar las variables de entrada y salida del controlador.
Controlador	Desajuste	Esperar 30 minutos a que los sensores se estabilicen y proceder con la calibración.
Sensores	Desajuste	Limpiar las aspas, remover polvo o elementos que obstruyan el eje.
Ventilador	Obstrucción	Calibrar y limpiar con paño húmedo el elemento resistivo.
Resistencias	Desajuste	Limpiar las boquillas.
Humidificador	Obstrucción	

Como medidas de mantenimiento rutinario, es requerido efectuar una inspección diaria visual de las condiciones estructurales de la máquina, con la finalidad de identificar posibles fallas mecánicas en los componentes o hallazgos de desgaste y fisuras. Además, se prevé que la persona que adquiera el equipo, cuente con repuestos que permitan su mejor funcionamiento en caso de fallo mecánico, se espera contar como mínimo con un ventilador, una resistencia, un humidificador, sensores de temperatura o una bandeja.

## Apéndice C

# Tabla termodinámica para selección del calor específico [7].

**TABLA A-2**

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes (continuación)

b) A diversas temperaturas

Temperatura, K	$c_p$	$c_v$	$k$	$c_p$	$c_v$	$k$	$c_p$	$c_v$	$k$
	kJ/kg · K	kJ/kg · K		kJ/kg · K	kJ/kg · K		kJ/kg · K	kJ/kg · K	
	<i>Aire</i>			<i>Dióxido de carbono, CO<sub>2</sub></i>			<i>Monóxido de carbono, CO</i>		
250	1.003	0.716	1.401	0.791	0.602	1.314	1.039	0.743	1.400
300	1.005	0.718	1.400	0.846	0.657	1.288	1.040	0.744	1.399
350	1.008	0.721	1.398	0.895	0.706	1.268	1.043	0.746	1.398
400	1.013	0.726	1.395	0.939	0.750	1.252	1.047	0.751	1.395
450	1.020	0.733	1.391	0.978	0.790	1.239	1.054	0.757	1.392
500	1.029	0.742	1.387	1.014	0.825	1.229	1.063	0.767	1.387
550	1.040	0.753	1.381	1.046	0.857	1.220	1.075	0.778	1.382
600	1.051	0.764	1.376	1.075	0.886	1.213	1.087	0.790	1.376
650	1.063	0.776	1.370	1.102	0.913	1.207	1.100	0.803	1.370
700	1.075	0.788	1.364	1.126	0.937	1.202	1.113	0.816	1.364
750	1.087	0.800	1.359	1.148	0.959	1.197	1.126	0.829	1.358
800	1.099	0.812	1.354	1.169	0.980	1.193	1.139	0.842	1.353
900	1.121	0.834	1.344	1.204	1.015	1.186	1.163	0.866	1.343
1000	1.142	0.855	1.336	1.234	1.045	1.181	1.185	0.888	1.335
	<i>Hidrógeno, H<sub>2</sub></i>			<i>Nitrógeno, N<sub>2</sub></i>			<i>Oxígeno, O<sub>2</sub></i>		
250	14.051	9.927	1.416	1.039	0.742	1.400	0.913	0.653	1.398
300	14.307	10.183	1.405	1.039	0.743	1.400	0.918	0.658	1.395
350	14.427	10.302	1.400	1.041	0.744	1.399	0.928	0.668	1.389
400	14.476	10.352	1.398	1.044	0.747	1.397	0.941	0.681	1.382
450	14.501	10.377	1.398	1.049	0.752	1.395	0.956	0.696	1.373
500	14.513	10.389	1.397	1.056	0.759	1.391	0.972	0.712	1.365
550	14.530	10.405	1.396	1.065	0.768	1.387	0.988	0.728	1.358
600	14.546	10.422	1.396	1.075	0.778	1.382	1.003	0.743	1.350
650	14.571	10.447	1.395	1.086	0.789	1.376	1.017	0.758	1.343
700	14.604	10.480	1.394	1.098	0.801	1.371	1.031	0.771	1.337
750	14.645	10.521	1.392	1.110	0.813	1.365	1.043	0.783	1.332
800	14.695	10.570	1.390	1.121	0.825	1.360	1.054	0.794	1.327
900	14.822	10.698	1.385	1.145	0.849	1.349	1.074	0.814	1.319
1000	14.983	10.859	1.380	1.167	0.870	1.341	1.090	0.830	1.313

Fuente: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 4a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 1983, p. 783, Tabla A-4M. Publicada originalmente en *Tables of Thermal Properties of Gases*, NBS Circular 564, 1955.



## Apéndice D

# Planos del ensamble.

### D.1. Ensamble general.

4

3

2

1

D

C

B

A

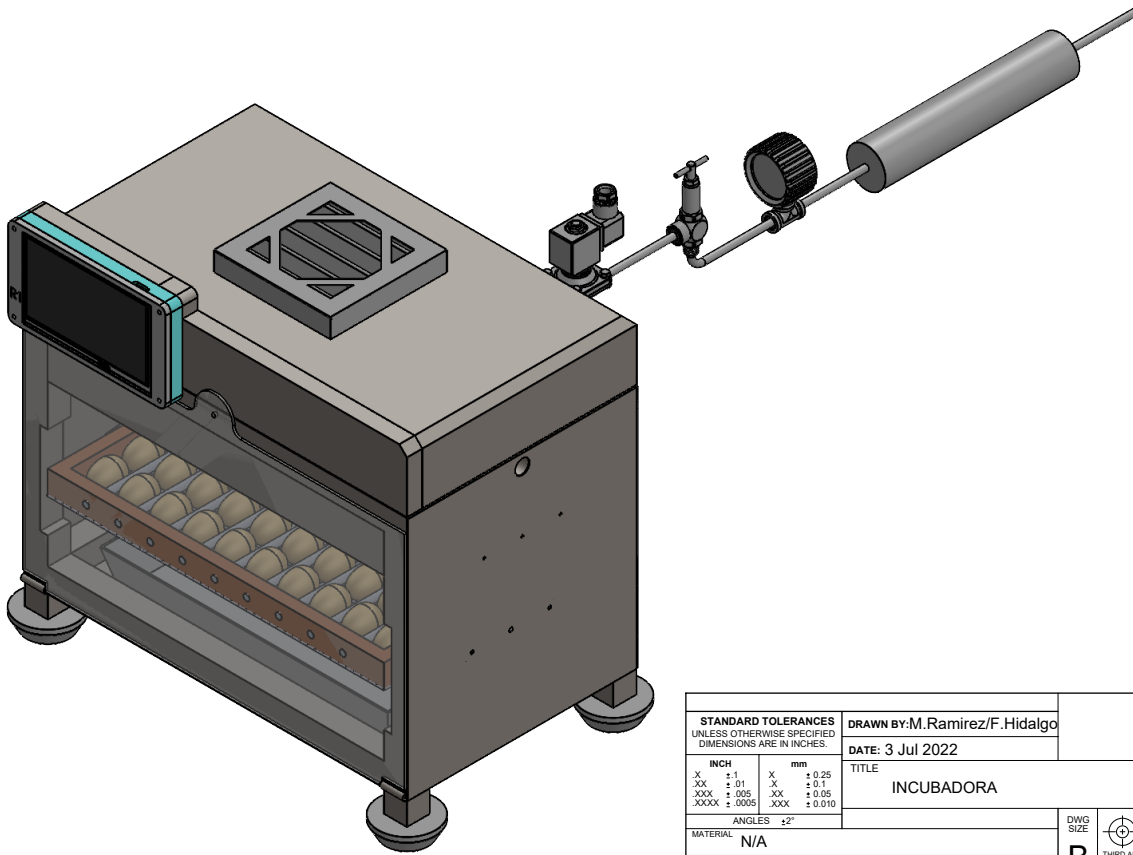
D

C

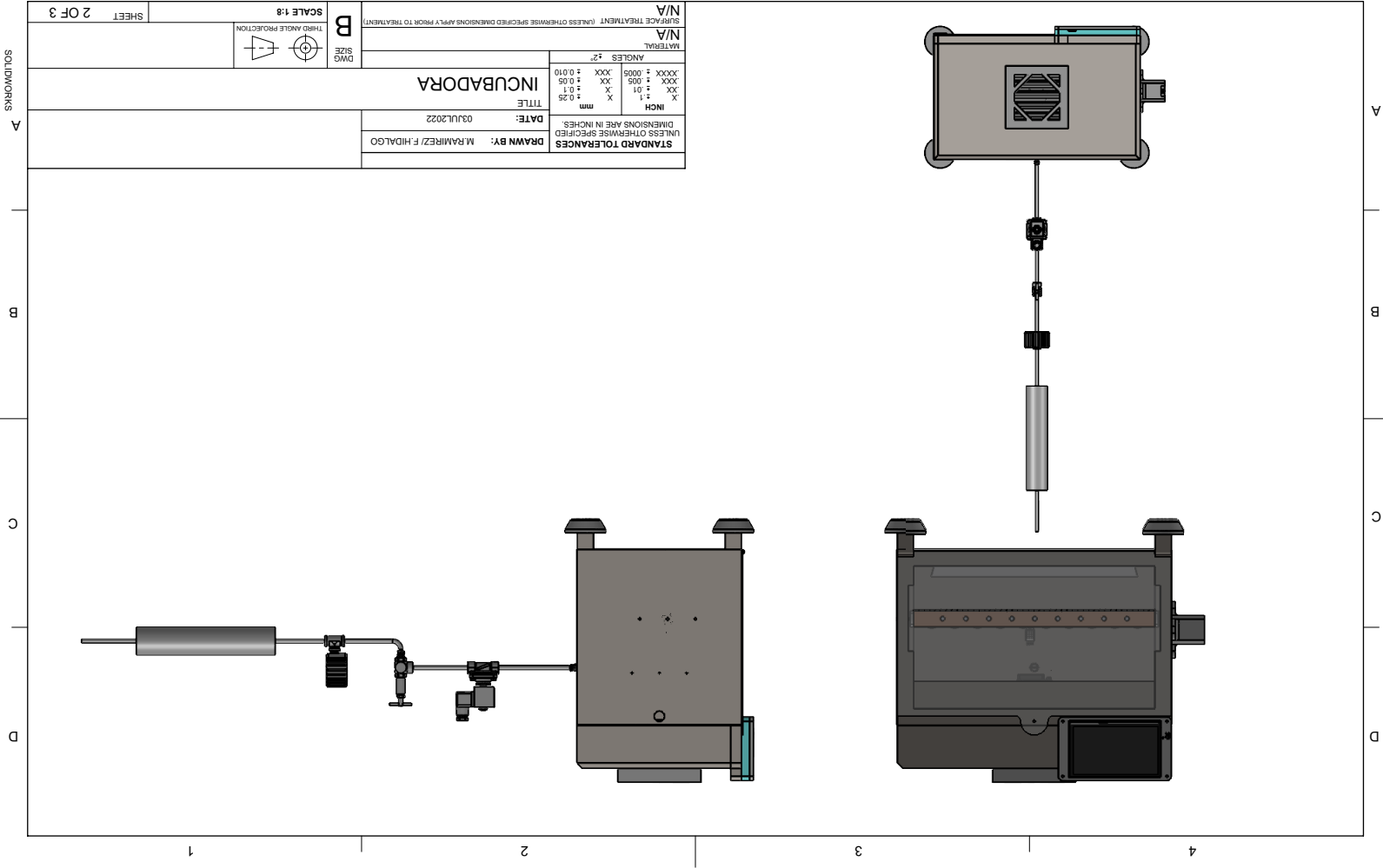
B

A

SOLIDWORKS



<b>STANDARD TOLERANCES</b> UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN INCHES.		<b>DRAWN BY:</b> M.Ramirez/F.Hidalgo																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>INCH</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>.X</td> <td>±.1</td> </tr> <tr> <td>.XX</td> <td>±.01</td> </tr> <tr> <td>.XXX</td> <td>±.005</td> </tr> <tr> <td>.XXXX</td> <td>±.0005</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>±0.25</td> </tr> <tr> <td>.X</td> <td>±0.1</td> </tr> <tr> <td>.XX</td> <td>±0.05</td> </tr> <tr> <td>.XXX</td> <td>±0.010</td> </tr> </tbody> </table>		INCH	mm	.X	±.1	.XX	±.01	.XXX	±.005	.XXXX	±.0005	X	±0.25	.X	±0.1	.XX	±0.05	.XXX	±0.010	<b>DATE:</b> 3 Jul 2022	
INCH	mm																				
.X	±.1																				
.XX	±.01																				
.XXX	±.005																				
.XXXX	±.0005																				
X	±0.25																				
.X	±0.1																				
.XX	±0.05																				
.XXX	±0.010																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ANGLES</th> <th>±2°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">MATERIAL N/A</td> </tr> <tr> <td colspan="2">SURFACE TREATMENT N/A</td> </tr> </tbody> </table>		ANGLES	±2°	MATERIAL N/A		SURFACE TREATMENT N/A		<table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>TITLE</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">INCUBADORA</td> </tr> <tr> <td><b>DWG SIZE</b></td> <td><b>B</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">THIRD ANGLE PROJECTION</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>SCALE 1:4</b></td> </tr> </table>		<b>TITLE</b>		INCUBADORA		<b>DWG SIZE</b>	<b>B</b>	THIRD ANGLE PROJECTION		<b>SCALE 1:4</b>			
ANGLES	±2°																				
MATERIAL N/A																					
SURFACE TREATMENT N/A																					
<b>TITLE</b>																					
INCUBADORA																					
<b>DWG SIZE</b>	<b>B</b>																				
THIRD ANGLE PROJECTION																					
<b>SCALE 1:4</b>																					
		<table border="1"> <tr> <td><b>SHEET</b></td> <td>1 OF 3</td> </tr> </table>		<b>SHEET</b>	1 OF 3																
<b>SHEET</b>	1 OF 3																				



SHEET 2 OF 3		SCALE 1:8		N/A	
THIRD ANGLE PROJECTION		DWG SIZE		N/A	
B		TITLE		N/A	
INCUBADORA		DATE:		N/A	
03JUL2022		DRAWN BY:		N/A	
M. RAMIREZ / F. HIDALGO		STANDARD TOLERANCES		N/A	
		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED		N/A	
		DIMENSIONS ARE IN INCHES.		N/A	
		INCH		N/A	
		X ±		N/A	
		XX ± .01		N/A	
		XXX ± .05		N/A	
		XXXX ± .005		N/A	
		ANGLES ± 2°		N/A	
		MATERIAL		N/A	
		SURFACE TREATMENT (UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS APPLY PRIOR TO TREATMENT)		N/A	

SOLIDWORKS

A

B

C

D

1

2

3

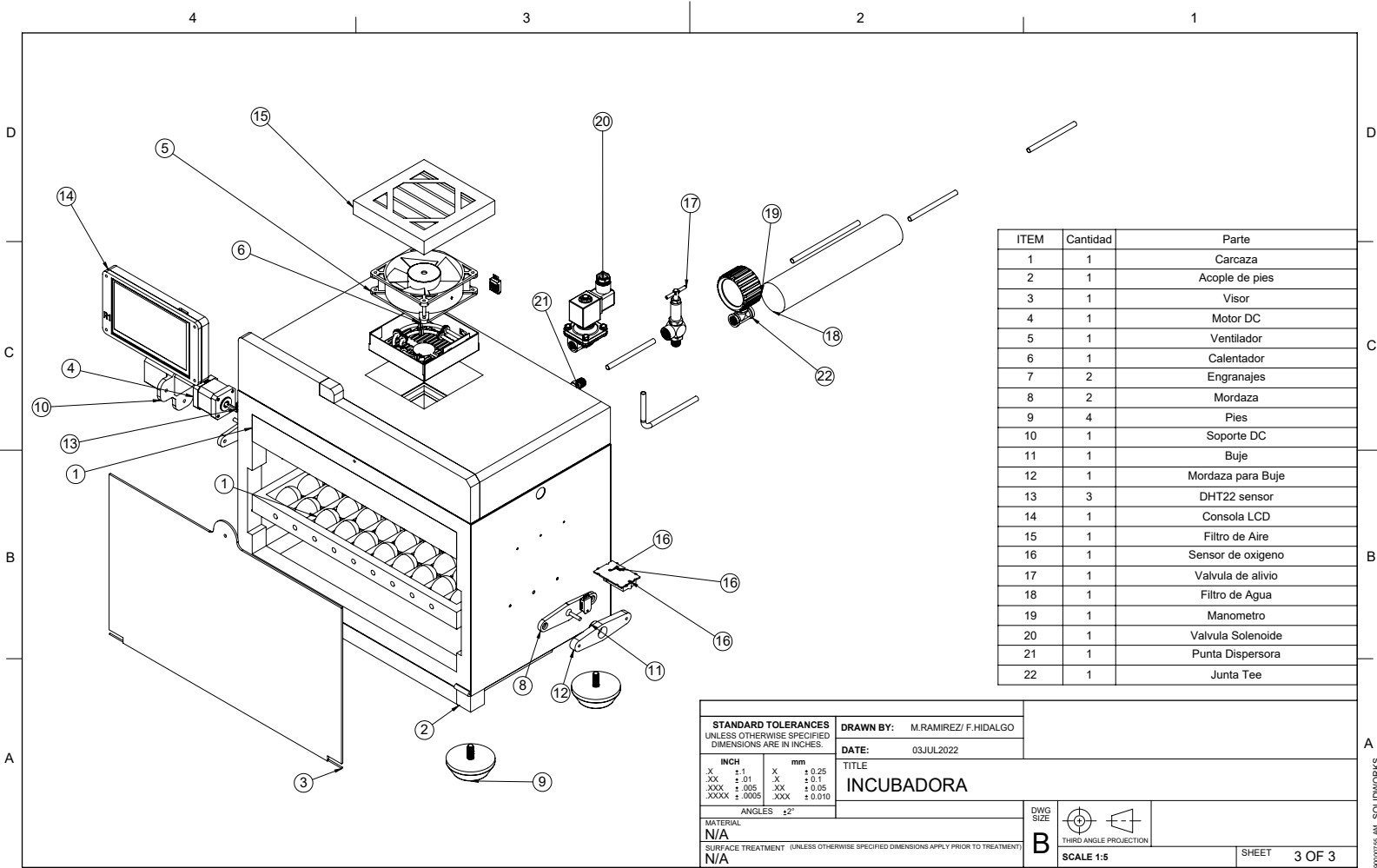
4

A

B

C

D

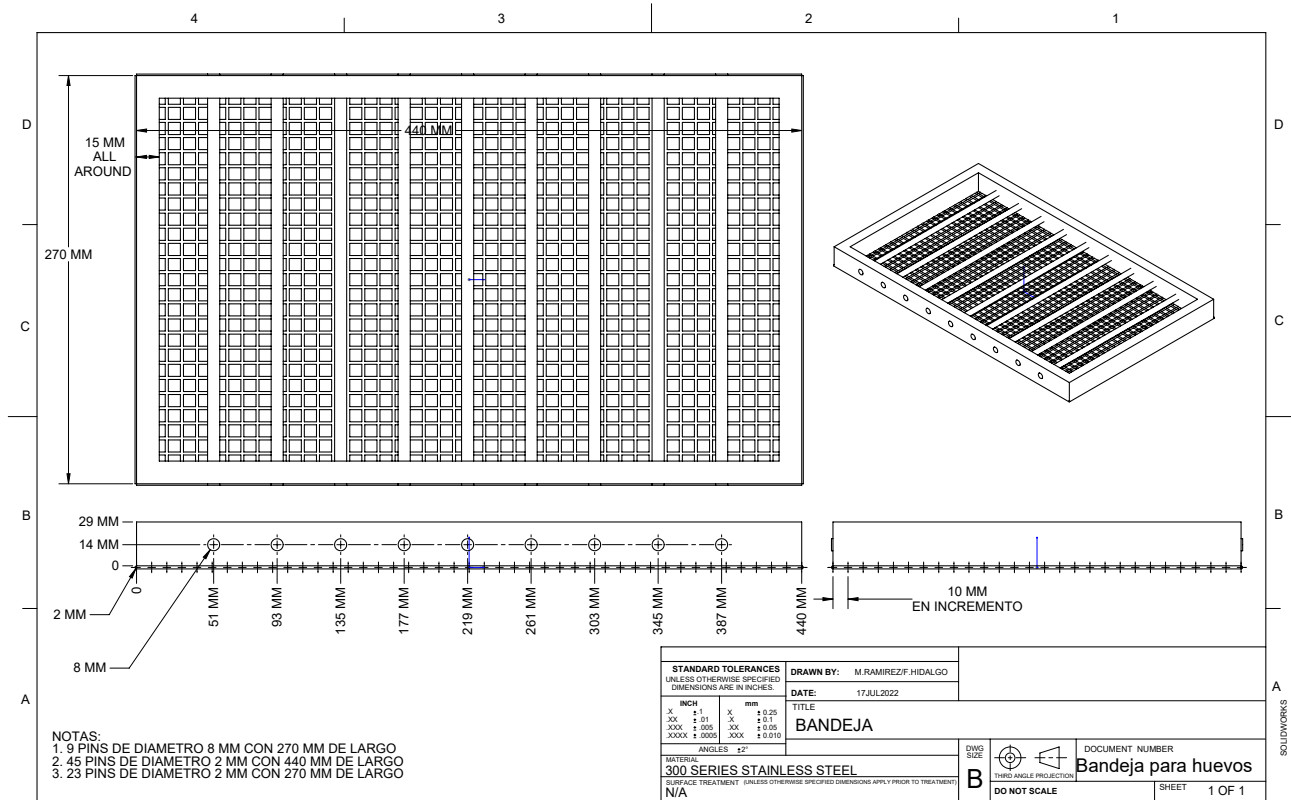


ITEM	Cantidad	Parte
1	1	Carcasa
2	1	Acople de pies
3	1	Visor
4	1	Motor DC
5	1	Ventilador
6	1	Calentador
7	2	Engranajes
8	2	Mordaza
9	4	Pies
10	1	Soporte DC
11	1	Buje
12	1	Mordaza para Buje
13	3	DHT22 sensor
14	1	Consola LCD
15	1	Filtro de Aire
16	1	Sensor de oxigeno
17	1	Valvula de alivio
18	1	Filtro de Agua
19	1	Manometro
20	1	Valvula Solenoide
21	1	Punta Dispensora
22	1	Junta Tee

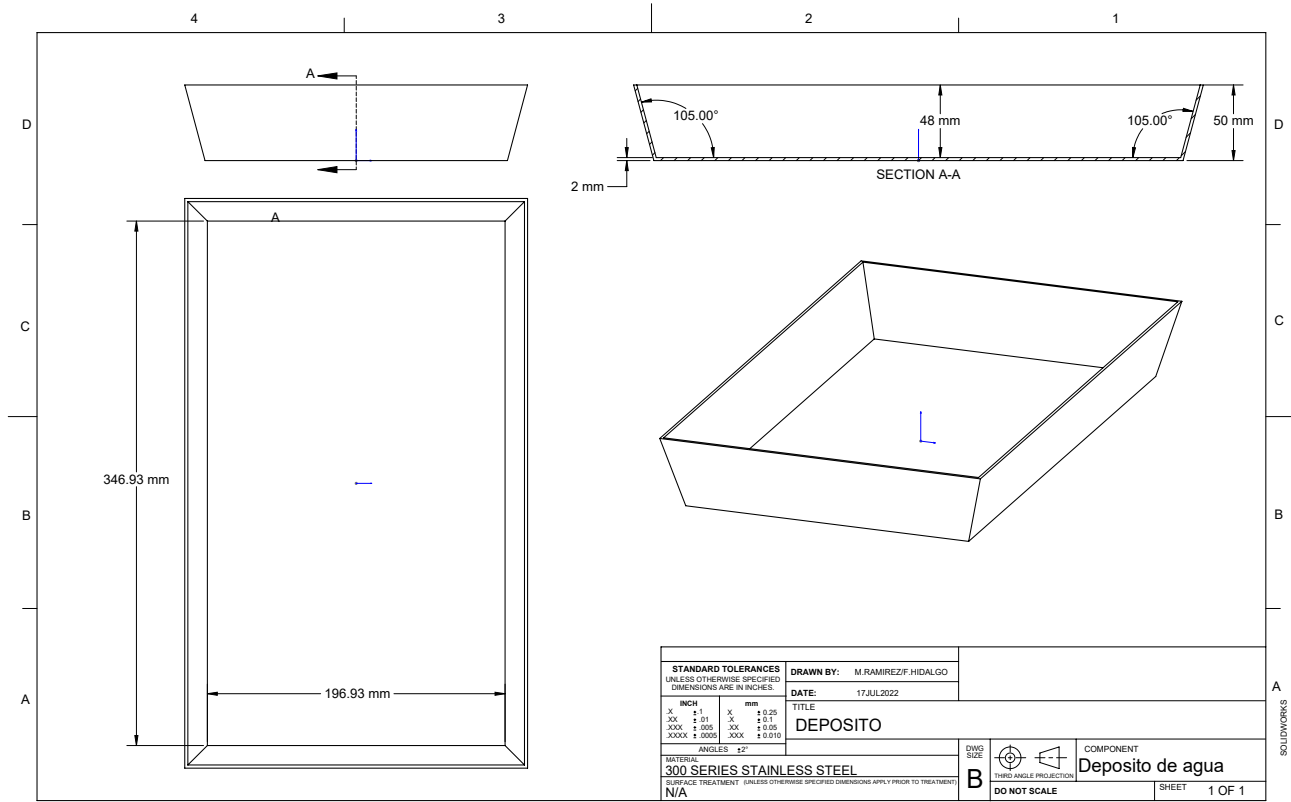
<b>STANDARD TOLERANCES</b> UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN INCHES.		<b>DRAWN BY:</b> M.RAMIREZ/ F.HIDALGO											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>INCH</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>.XX</td> <td>.X</td> </tr> <tr> <td>.XXX</td> <td>.XX</td> </tr> <tr> <td>.XXXX</td> <td>.XXX</td> </tr> </tbody> </table>		INCH	mm	X	X	.XX	.X	.XXX	.XX	.XXXX	.XXX	<b>DATE:</b> 03JUL2022	
INCH	mm												
X	X												
.XX	.X												
.XXX	.XX												
.XXXX	.XXX												
<b>TITLE</b>													
<b>INCUBADORA</b>													
<b>MATERIAL</b> N/A		<b>DWG SIZE</b> B											
<b>SURFACE TREATMENT</b> (UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS APPLY PRIOR TO TREATMENT) N/A		 THIRD ANGLE PROJECTION											
		<b>SCALE</b> 1:5											
		<b>SHEET</b> 3 OF 3											

90007050 AM SOLIDWORKS

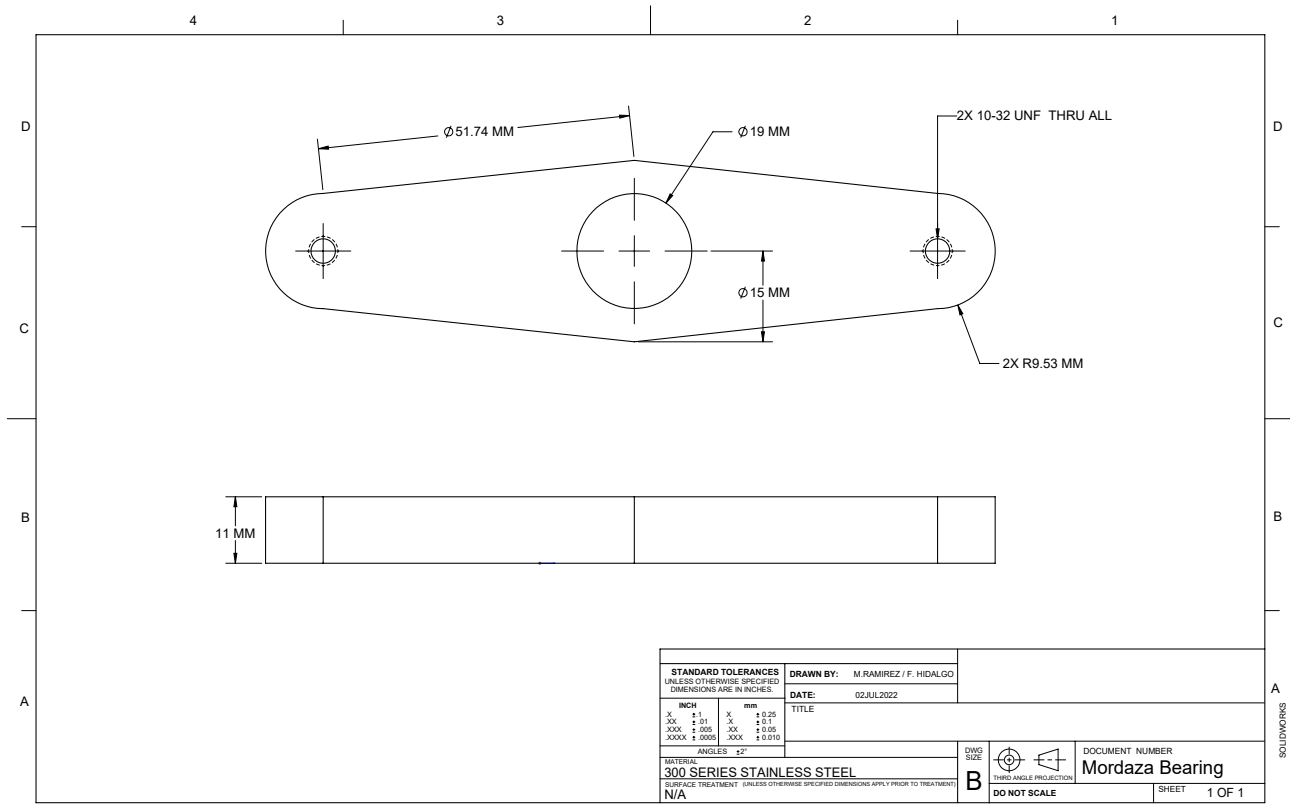
## D.2. Bandeja de huevos.



D.3. Deposito para exceso de agua.

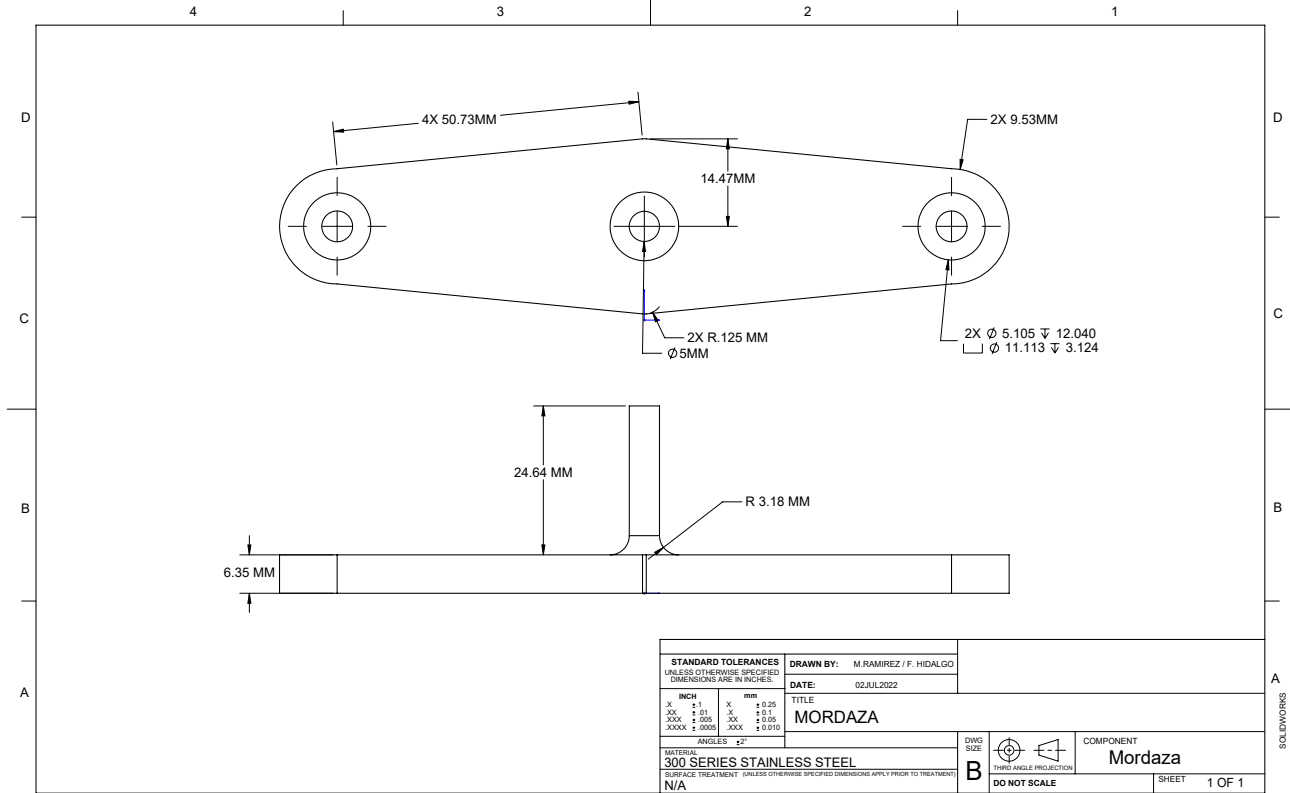


D.4. Mordaza Bearing (Cojinete).



<b>STANDARD TOLERANCES</b> UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN INCHES.		<b>DRAWN BY:</b> M. RAMIREZ / F. HIDALGO	
		<b>DATE:</b> 02.JUL.2022	
<b>INCH</b>	<b>mm</b>	<b>TITLE:</b>	
.X ± .1	X ± 0.25		
.XX ± .01	X ± 0.1		
.XXX ± .005	.XX ± 0.05		
.XXXX ± .0005	.XXX ± 0.010		
<b>ANGLES ± 2°</b>			
<b>MATERIAL:</b> 300 SERIES STAINLESS STEEL		<b>DWG SIZE:</b> B	<b>THIRD ANGLE PROJECTION</b>
<b>SURFACE TREATMENT (UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS APPLY PRIOR TO TREATMENT):</b> N/A		<b>DOCUMENT NUMBER:</b> Mordaza Bearing	
		<b>DO NOT SCALE</b>	<b>SHEET</b> 1 OF 1

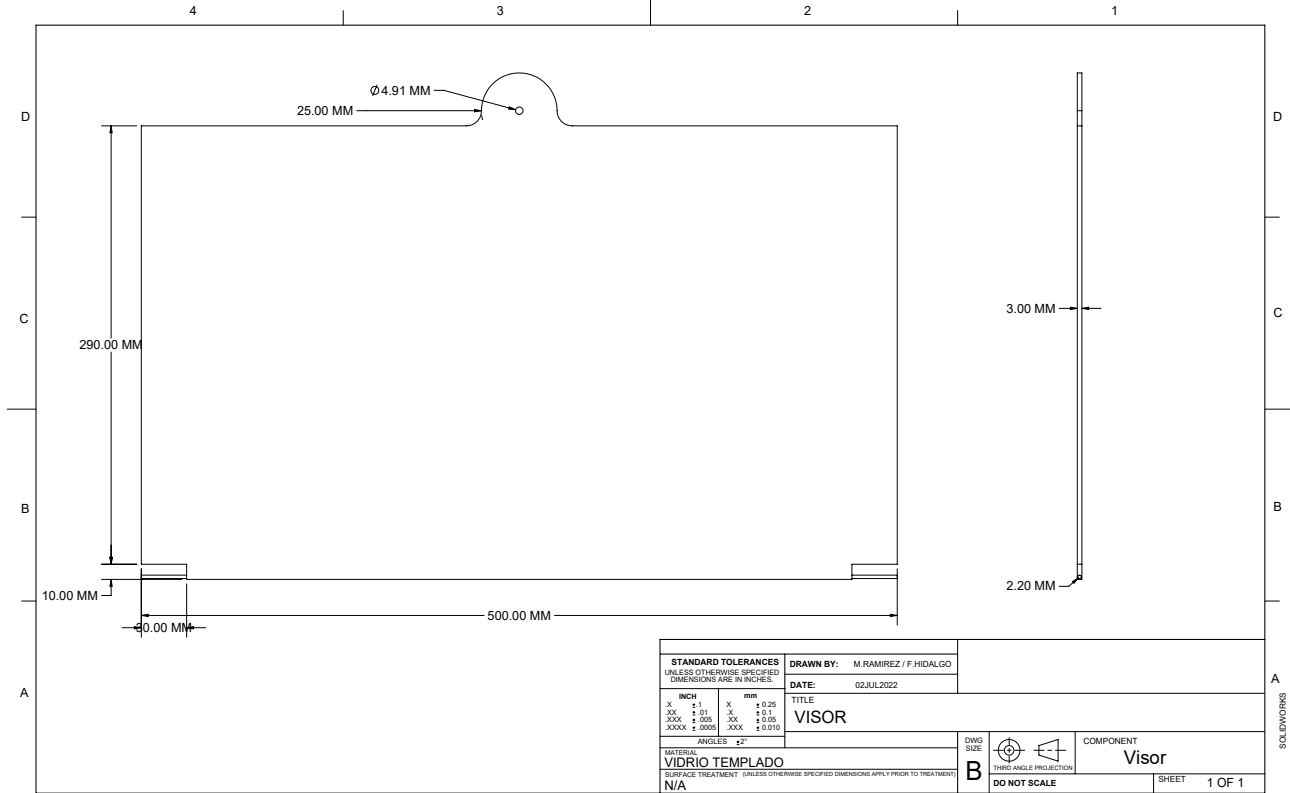
D.5. Mordaza.



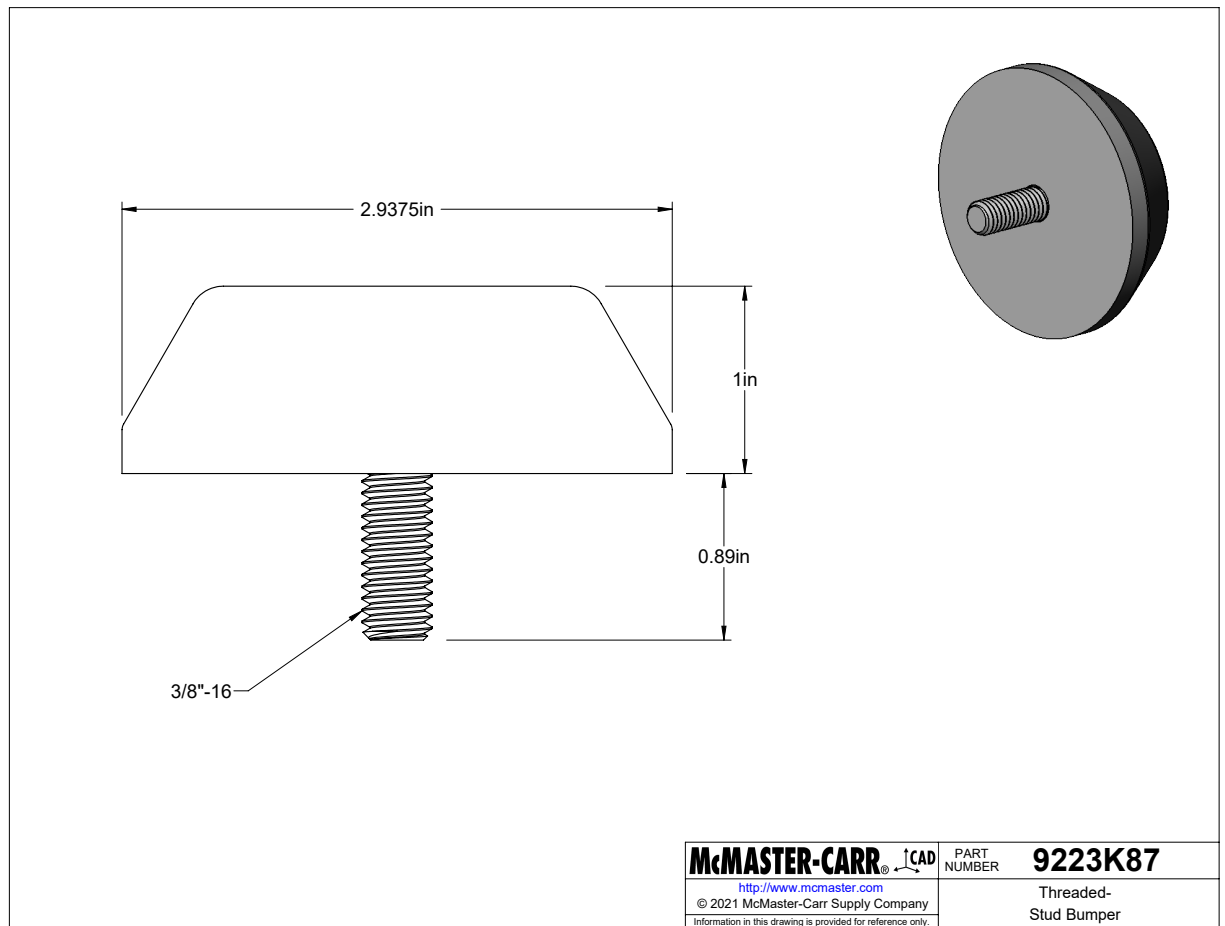
STANDARD TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN INCHES:		DRAWN BY: M. RAMIREZ / F. HIDALGO																						
		DATE: 02JUL2022																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">INCH</th> <th colspan="2">MM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>± 0.1</td> <td>X</td> <td>± 0.25</td> </tr> <tr> <td>XX</td> <td>± 0.01</td> <td>XX</td> <td>± 0.1</td> </tr> <tr> <td>XXX</td> <td>± 0.005</td> <td>XXX</td> <td>± 0.05</td> </tr> <tr> <td>XXXX</td> <td>± 0.001</td> <td>XXXX</td> <td>± 0.010</td> </tr> </tbody> </table>		INCH		MM		X	± 0.1	X	± 0.25	XX	± 0.01	XX	± 0.1	XXX	± 0.005	XXX	± 0.05	XXXX	± 0.001	XXXX	± 0.010	TITLE <b>MORDAZA</b>		
INCH		MM																						
X	± 0.1	X	± 0.25																					
XX	± 0.01	XX	± 0.1																					
XXX	± 0.005	XXX	± 0.05																					
XXXX	± 0.001	XXXX	± 0.010																					
MATERIAL <b>300 SERIES STAINLESS STEEL</b>		DWG SIZE <b>B</b>																						
SURFACE TREATMENT (UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS APPLY PRIOR TO TREATMENT) N/A		THIRD ANGLE PROJECTION DO NOT SCALE																						
		COMPONENT <b>Mordaza</b>		SHEET 1 OF 1																				



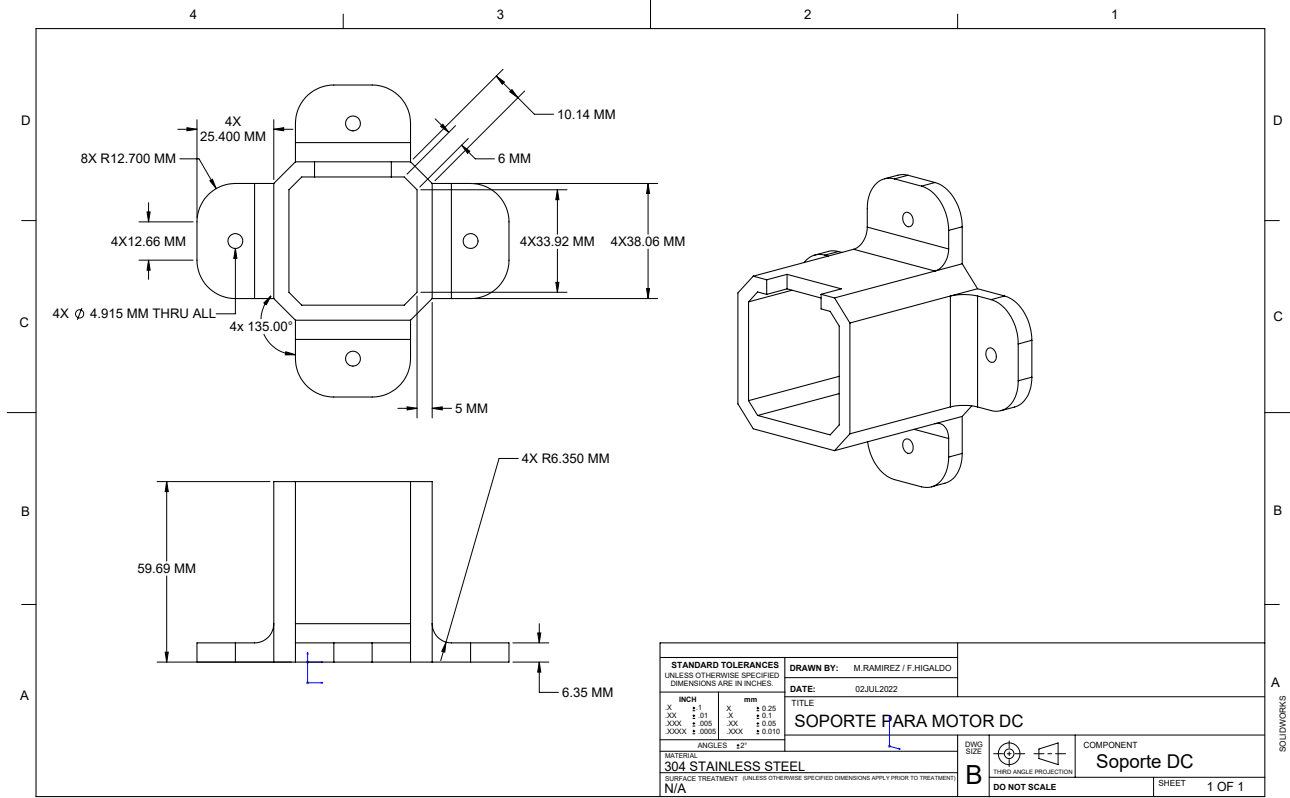
D.6. Visor.



D.7. Pies del Ensamble.



D.8. Soporte para Motor DC.



## Apéndice E

### Fichas técnicas

E.1. Panel solar [6].



# HiKu

## SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE

**395 W ~ 420 W**

**CS3W-395 | 400 | 405 | 410 | 415 | 420P (IEC1000 V)**

**CS3W-395 | 400 | 405 | 410 | 415 | 420P (IEC1500 V)**

### MORE POWER



24 % higher power than conventional modules



Up to 4.5 % lower LCOE  
Up to 2.7 % lower system cost



Low NMOT:  $42 \pm 3$  °C  
Low temperature coefficient (Pmax):  
-0.37 % / °C



Better shading tolerance

### MORE RELIABLE



Lower internal current,  
lower hot spot temperature



Minimizes micro-crack impacts



Heavy snow load up to 5400 Pa,  
wind load up to 3600 Pa\*



**linear power output warranty\***



**enhanced product warranty on materials and workmanship\***

\*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2015 / Quality management system  
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system  
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / KS / INMETRO  
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)  
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS  
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way  
Canadian Solar recycles panels at the end of life cycle



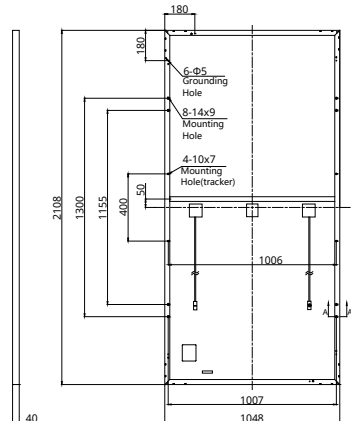
\* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 38 GW deployed around the world since 2001.

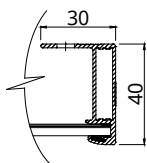
\* For detail information, please refer to Installation Manual.

## ENGINEERING DRAWING (mm)

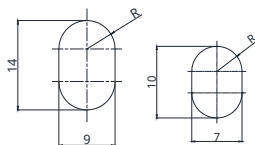
### Rear View



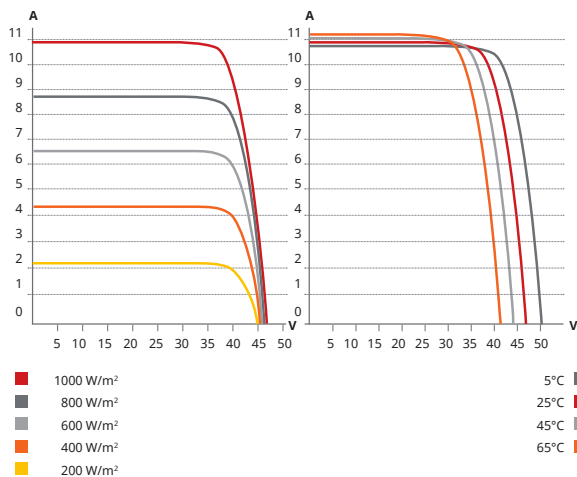
### Frame Cross Section A-A



### Mounting Hole



## CS3W-400P / I-V CURVES



## ELECTRICAL DATA | STC\*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P	420P
Nominal Max. Power (Pmax)	395 W	400 W	405 W	410 W	415 W	420 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V	39.3 V	39.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.26 A	10.34 A	10.42 A	10.49 A	10.56 A	10.64 A
Open Circuit Voltage (Voc)	47.0 V	47.2 V	47.4 V	47.6 V	47.8 V	48.0 V
Short Circuit Current (Isc)	10.82 A	10.90 A	10.98 A	11.06 A	11.14 A	11.26 A
Module Efficiency	17.88%	18.11%	18.33%	18.56%	18.79%	19.01%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	20 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 5 W					

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C. Measurement uncertainty: ±3 % (Pmax).

## ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P	420P
Nominal Max. Power (Pmax)	294 W	297 W	301 W	305 W	308 W	312 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.8 V	36.0 V	36.1 V	36.3 V	36.5 V	36.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.21 A	8.27 A	8.33 A	8.39 A	8.45 A	8.51 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.1 V	44.3 V	44.4 V	44.6 V	44.8 V	45.0 V
Short Circuit Current (Isc)	8.73 A	8.79 A	8.86 A	8.92 A	8.99 A	9.08 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

## MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6) ]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4-PC-1 (IEC 1000 V) or PV-KST4/xy-UR, PV-KBT4/xy-UR (IEC 1000 V) or T4-PC-1 (IEC 1500 V) or T4-PPE-1 (IEC 1500 V) or PV-KST4-EVO2/XY, PV-KBT4-EVO2/XY (IEC 1500 V) or UTXCFA4AM, UTXCMA4AM (IEC 1500 V)
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

## TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.37 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

## PARTNER SECTION



\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.  
Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

## CANADIAN SOLAR INC.

Canadian Solar MSS (Australia) Pty Ltd., 44 Stephenson St, Cremorne VIC 3121, Australia  
sales.au@canadiansolar.com, www.canadiansolar.com/au

**E.2. Banco de baterías [52].**

# UCG150-12

12V 150AH

Deep Cycle

# Ultracell®

Quality in Every Language

## UCG150-12



## Physical Specification

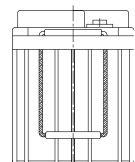
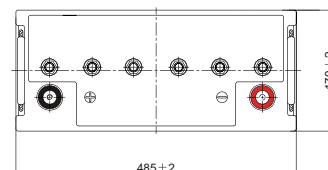
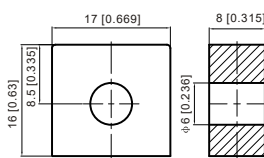
Part Number	<b>UCG150-12</b>
Length	<b>485 ± 2 mm</b>
Width	<b>170 ± 2 mm</b>
Container Height	<b>240 ± 2 mm</b>
Total Height (with terminal)	<b>240 ± 2 mm</b>
Approx Weight	<b>43.5 kg</b>

## Specifications

	Nominal Voltage	12V
	Nominal Capacity (10HR)	150AH
Terminal Type	Standard Terminal	F10
	Optional Terminal	F11
Container Material	Standard Option	ABS
	Flame Retardant Option (FR)	UL94-V0
Rated Capacity	20hr, 1.80V/cell, 25°C	156.0 AH/8.04A
	10hr, 1.80V/cell, 25°C	150.0 AH/15.0A
	5hr, 1.75V/cell, 25°C	131.6 AH/26.3A
	1hr, 1.60V/cell, 25°C	96.9 AH/96.9A
Max Discharge Current	1500A (5s)	
Internal Resistance	2.5mΩ	
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -20 ~ 55°C
		Charge: 0 ~ 40°C
		Storage: -20 ~ 50°C
	Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 45.0A. Voltage 14.4V ~ 15.0V Temp. Coefficient -30mV/°C
	Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V ~ 13.8V Temp. Coefficient -20mV/°C
Capacity affect by Temperature	40°C	103%
	25°C	100%
	0°C	86%
Design Floating Life at 20°C	15 Years	
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 9 months at 25°C(77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

## Dimensions

### F10 Terminal





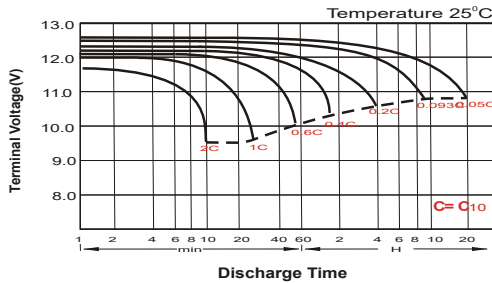
### Constant Current Discharge (Amperes) at 20°C

F.V/Time	10min	15mi	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	219.6	184.8	161.5	116.2	92.3	74.9	46.5	36.3	29.4	23.9	20.8	17.0	14.2	7.97
1.80V/cell	280.6	223.3	190.9	137.1	107.3	83.9	50.8	39.0	31.4	25.6	22.3	18.0	15.0	8.04
1.75V/cell	308.3	243.9	205.3	142.3	111.4	87.8	52.7	39.8	32.1	26.3	23.0	18.3	15.2	8.12
1.70V/cell	336.1	260.4	215.8	148.2	115.8	90.5	54.8	40.9	32.9	27.0	23.4	18.6	15.3	8.27
1.65V/cell	362.7	276.9	229.2	156.3	118.7	93.6	56.3	42.6	34.1	27.7	23.9	18.9	15.6	8.37
1.60V/cell	393.8	296.1	244.2	165.0	123.8	96.9	58.2	43.9	35.1	28.6	24.5	19.1	15.8	8.42

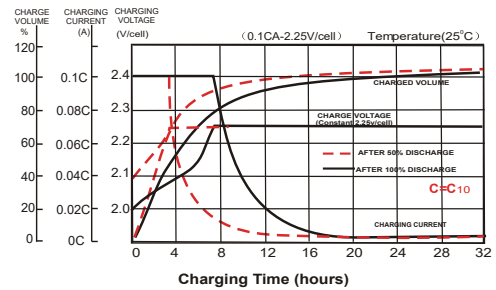
### Constant Power Discharge (Watts) at 20°C

F.V/Time	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	409.8	348.4	307.7	223.3	178.5	145.4	90.7	70.9	57.5	46.9	41.1	33.6	28.0	15.9
1.80V/cell	516.6	414.7	358.2	260.3	205.9	161.9	98.3	75.9	61.1	50.2	44.0	35.6	29.7	16.1
1.75V/cell	560.6	448.6	382.2	268.9	212.7	168.7	101.7	77.1	62.4	51.4	45.1	36.2	30.0	16.2
1.70V/cell	602.5	475.4	399.4	278.8	220.6	173.6	105.5	79.0	63.9	52.6	46.0	36.7	30.2	16.5
1.65V/cell	645.6	502.2	422.3	292.8	225.2	178.8	108.1	82.2	65.9	54.0	46.9	37.2	30.8	16.7
1.60V/cell	689.0	530.7	445.2	306.0	232.6	183.7	111.1	84.3	67.7	55.5	47.8	37.5	31.1	16.8

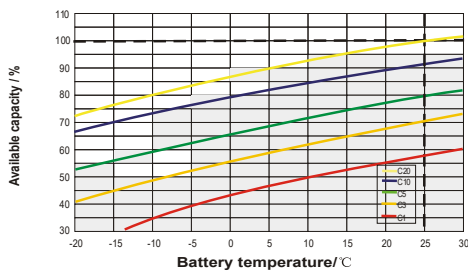
### Discharge Characteristics



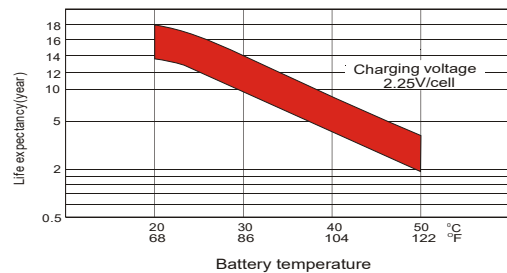
### Charging Characteristics



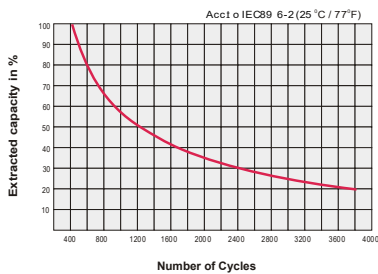
### Temperature Effects in Relation to Battery Capacity



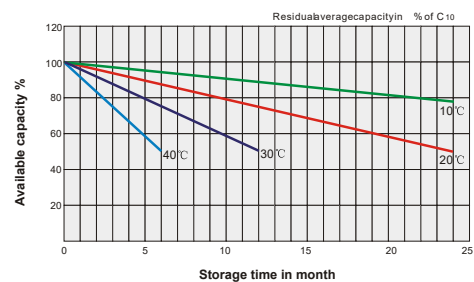
### Effect of Temperature on Long Term Float Life



### Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



### General Relation of Capacity VS. Storage Time



**E.3. Inversor Fronius [16].**



# FRONIUS SYMO

Maximum flexibility for the applications of tomorrow



SnapInverter technology



Integrated data communication



Dynamic Peak Manager



Smart Grid Ready



SuperFlex Design



Zero feed-in

With power categories ranging from 3.0 to 20.0 kW, the transformerless Fronius Symo is the three-phase inverter for systems of every size. Owing to the SuperFlex Design, the Fronius Symo is the perfect answer to irregularly shaped or multi-oriented roofs.

The standard interface to the internet via WLAN or Ethernet and the ease of integration of third-party components make the Fronius Symo one of the most communicative inverters on the market. Furthermore, the meter interface permits dynamic feed-in management and a clear visualisation of the consumption overview.

## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

INPUT DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Number MPP trackers		1			2	
Max. input current ( $I_{dc \max 1} / I_{dc \max 2}^{(1)}$ )		16.0 A			16.0 A / 16.0 A	
Max. array short circuit current (MPP <sub>1</sub> / MPP <sub>2</sub> <sup>(1)</sup> )		24.0 A			24.0 A / 24.0 A	
DC input voltage range ( $U_{dc \min} - U_{dc \max}$ )				150 - 1000 V		
Feed-in start voltage ( $U_{dc \text{ start}}$ )				200 V		
Usable MPP voltage range				150 - 800 V		
Number of DC connections		3			2+2	
Max. PV generator output ( $P_{dc \max}$ )	6.0 kW <sub>peak</sub>	7.4 kW <sub>peak</sub>	9.0 kW <sub>peak</sub>	6.0 kW <sub>peak</sub>	7.4 kW <sub>peak</sub>	9.0 kW <sub>peak</sub>

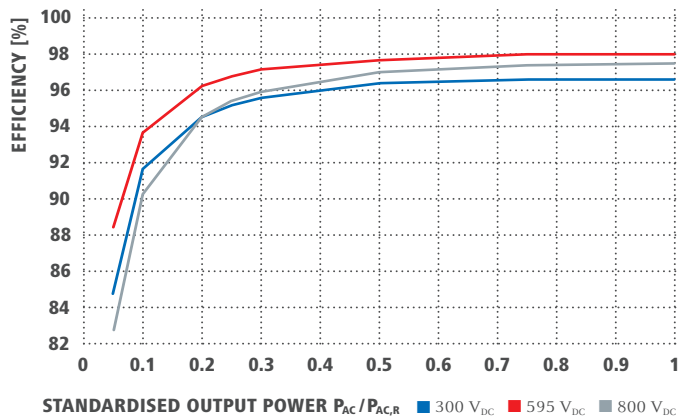
OUTPUT DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
AC nominal output ( $P_{ac,n}$ )	3,000 W	3,700 W	4,500 W	3,000 W	3,700 W	4,500 W
Max. output power	3,000 VA	3,700 VA	4,500 VA	3,000 VA	3,700 VA	4,500 VA
AC output current ( $I_{ac \text{ nom}}$ )	4.3 A	5.3 A	6.5 A	4.3 A	5.3 A	6.5 A
Grid connection (voltage range)	3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)					
Frequency (Frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)					
Total harmonic distortion	< 3 %					
Power factor ( $\cos \phi_{ac,n}$ )	0.70 - 1 ind. / cap.			0.85 - 1 ind. / cap.		

GENERAL DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Dimensions (height x width x depth)	645 x 431 x 204 mm					
Weight	16.0 kg			19.9 kg		
Degree of protection	IP 65					
Protection class	1					
Overvoltage category (DC / AC) <sup>(2)</sup>	2 / 3					
Night time consumption	< 1 W					
Inverter design	Transformerless					
Cooling	Regulated air cooling					
Installation	Indoor and outdoor installation					
Ambient temperature range	-25 - +60 °C					
Permitted humidity	0 - 100 %					
Max. altitude	2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)					
DC connection technology	3x DC+ and 3x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>			4x DC+ and 4x DC- screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup> <sup>(3)</sup>		
AC connection technology	5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>			5-pole AC screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup> <sup>(3)</sup>		
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777 <sup>(1)</sup> , CEI 0-21 <sup>(1)</sup> , NRS 097					

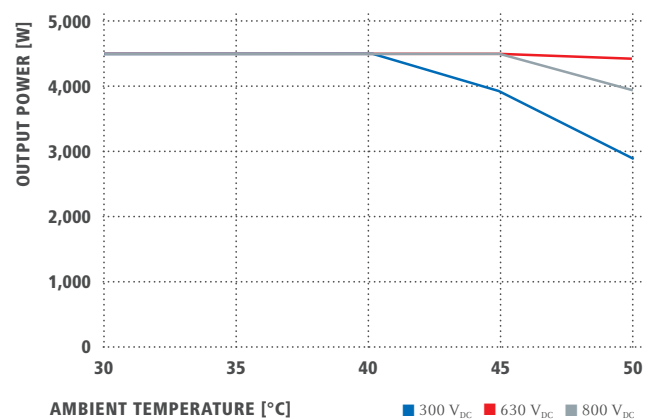
<sup>(1)</sup> This applies to Fronius Symo 3.0-3-M, 3.7-3-M and 4.5-3-M. <sup>(2)</sup> According to IEC 62109-1.

<sup>(3)</sup> 16 mm<sup>2</sup> without wire end ferrules. Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

## FRONIUS SYMO 4.5-3-S EFFICIENCY CURVE



## FRONIUS SYMO 4.5-3-S TEMPERATURE DERATING



## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

EFFICIENCY	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Max. efficiency	98.0 %					
European efficiency (η <sub>EU</sub> )	96.2 %	96.7 %	97.0 %	96.5 %	96.9 %	97.2 %
MPP adaptation efficiency	> 99.9 %					

PROTECTIVE DEVICES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
DC insulation measurement	Yes					
Overload behaviour	Operating point shift, power limitation					
DC disconnecter	Yes					
Reverse polarity protection	Yes					

INTERFACES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)					
6 inputs and 4 digital in/out	Interface to ripple control receiver					
USB (A socket) <sup>1)</sup>	Datalogging, inverter update via USB flash drive					
2x RS422 (RJ45 socket) <sup>1)</sup>	Fronius Solar Net					
Signalling output <sup>1)</sup>	Energy management (potential-free relay output)					
Datalogger and Webservice	Included					
External input <sup>1)</sup>	S0-Meter Interface / Input for overvoltage protection					
RS485	Modbus RTU SunSpec or meter connection					

<sup>1)</sup> Also available in the light version.

## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (5.0-3-M, 6.0-3-M, 7.0-3-M, 8.2-3-M)

INPUT DATA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Number MPP trackers	2			
Max. input current ( $I_{dc \max 1} / I_{dc \max 2}$ )	16.0 A / 16.0 A			
Max. array short circuit current (MPP <sub>1</sub> /MPP <sub>2</sub> )	24.0 A / 24.0 A			
DC input voltage range ( $U_{dc \min} - U_{dc \max}$ )	150 - 1000 V			
Feed-in start voltage ( $U_{dc \text{start}}$ )	200 V			
Usable MPP voltage range	150 - 800 V			
Number of DC connections	2+2			
Max. PV generator output ( $P_{dc \max}$ )	10.0 kW <sub>peak</sub>	12.0 kW <sub>peak</sub>	14.0 kW <sub>peak</sub>	16.4 kW <sub>peak</sub>

OUTPUT DATA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
AC nominal output ( $P_{ac,r}$ )	5,000 W	6,000 W	7,000 W	8,200 W
Max. output power	5,000 VA	6,000 VA	7,000 VA	8,200 VA
AC output current ( $I_{ac \text{nom}}$ )	7.2 A	8.7 A	10.1 A	11.8 A
Grid connection (voltage range)	3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)			
Frequency (Frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)			
Total harmonic distortion	< 3 %			
Power factor ( $\cos \phi_{ac,r}$ )	0.85 - 1 ind. / cap.			

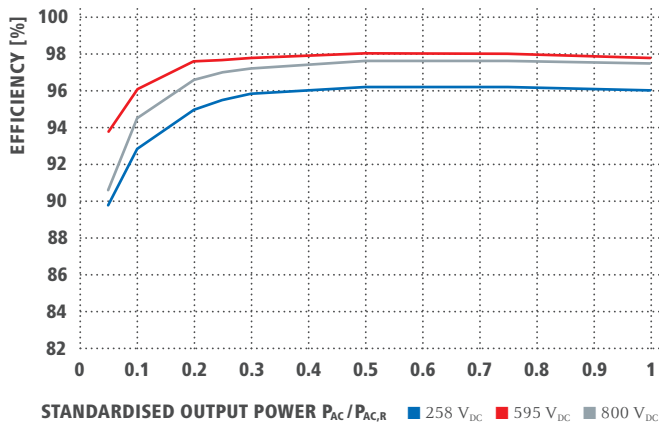
GENERAL DATA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Dimensions (height x width x depth)	645 x 431 x 204 mm			
Weight	19.9 kg			21.9 kg
Degree of protection	IP 65			
Protection class	1			
Overvoltage category (DC / AC) <sup>1)</sup>	2 / 3			
Night time consumption	< 1 W			
Inverter design	Transformerless			
Cooling	Regulated air cooling			
Installation	Indoor and outdoor installation			
Ambient temperature range	-25 - +60 °C			
Permitted humidity	0 - 100 %			
Max. altitude	2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)			
DC connection technology	4x DC+ and 4x DC- Screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2 2)</sup>			
AC connection technology	5-pole AC Screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2 2)</sup>			
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-21, NRS 097			

<sup>1)</sup> According to IEC 62109-1.

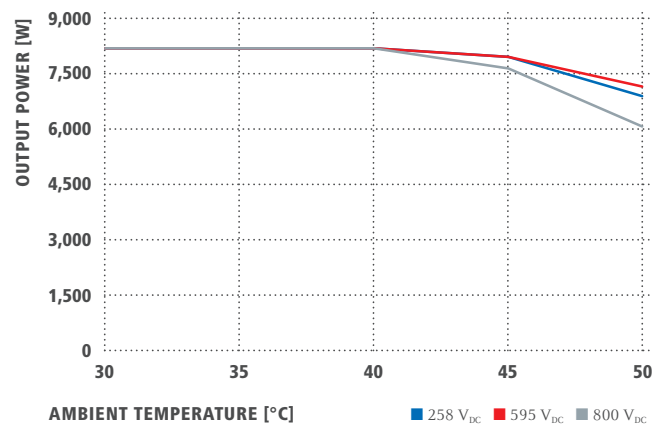
<sup>2)</sup> 16 mm<sup>2</sup> without wire end ferrules.

Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

## FRONIUS SYMO 8.2-3-M EFFICIENCY CURVE



## FRONIUS SYMO 8.2-3-M TEMPERATURE DERATING



## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (5.0-3-M, 6.0-3-M, 7.0-3-M, 8.2-3-M)

EFFICIENCY	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Max. efficiency	98.0 %			
European efficiency ( $\eta_{EU}$ )	97.3 %	97.5 %	97.6 %	97.7 %
MPP adaptation efficiency	> 99.9 %			

PROTECTIVE DEVICES	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
DC insulation measurement	Yes			
Overload behaviour	Operating point shift, power limitation			
DC disconnect	Yes			
Reverse polarity protection	Yes			

INTERFACES	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)			
6 inputs and 4 digital in/out	Interface to ripple control receiver			
USB (A socket) <sup>1)</sup>	Datalogging, inverter update via USB flash drive			
2x RS422 (RJ45 socket) <sup>1)</sup>	Fronius Solar Net			
Signalling output <sup>1)</sup>	Energy management (potential-free relay output)			
Datalogger and Webservice	Included			
External input <sup>1)</sup>	S0-Meter Interface / Input for overvoltage protection			
RS485	Modbus RTU SunSpec or meter connection			

<sup>1)</sup> Also available in the light version.

## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

INPUT DATA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Number MPP trackers	2				
Max. input current ( $I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}$ )	27.0 A / 16.5 A <sup>1)</sup>		33.0 A / 27.0 A		
Max. usable input current total ( $I_{dc\ max\ 1} + I_{dc\ max\ 2}$ )	43.5 A		51.0 A		
Max. array short circuit current (MPP <sub>1</sub> /MPP <sub>2</sub> )	40.5 A / 24.8 A		49.5 A / 40.5 A		
DC input voltage range ( $U_{dc\ min} - U_{dc\ max}$ )	200 - 1000 V				
Feed-in start voltage ( $U_{dc\ start}$ )	200 V				
Usable MPP voltage range	200 - 800 V				
Number of DC connections	3+3				
Max. PV generator output ( $P_{dc\ max}$ )	15.0 kW <sub>peak</sub>	18.8 kW <sub>peak</sub>	22.5 kW <sub>peak</sub>	26.3 kW <sub>peak</sub>	30.0 kW <sub>peak</sub>

OUTPUT DATA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
AC nominal output ( $P_{ac,r}$ )	10,000 W	12,500 W	15,000 W	17,500 W	20,000 W
Max. output power	10,000 VA	12,500 VA	15,000 VA	17,500 VA	20,000 VA
AC output current ( $I_{ac\ nom}$ )	14.4 A	18.0 A	21.7 A	25.3 A	28.9 A
Grid connection (voltage range)	3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)				
Frequency (Frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)				
Total harmonic distortion	1.8 %	2.0 %	1.5 %	1.5 %	1.3 %
Power factor ( $\cos\ \phi_{ac,r}$ )	0 - 1 ind. / cap.				

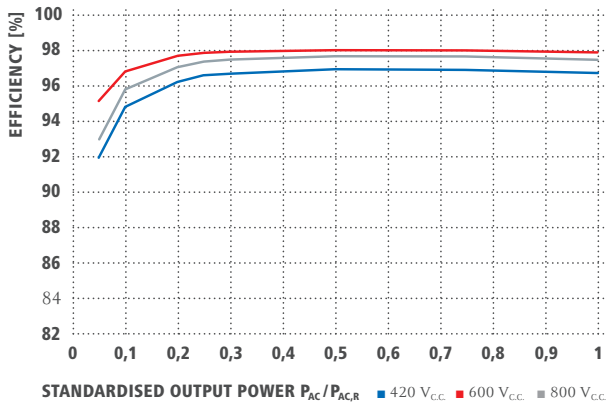
GENERAL DATA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Dimensions (height x width x depth)	725 x 510 x 225 mm				
Weight	34.8 kg		43.4 kg		
Degree of protection	IP 66				
Protection class	1				
Overvoltage category (DC / AC) <sup>2)</sup>	2 / 3				
Night time consumption	< 1 W				
Inverter design	Transformerless				
Cooling	Regulated air cooling				
Installation	Indoor and outdoor installation				
Ambient temperature range	-40 - +60 °C				
Permitted humidity	0 - 100 %				
Max. altitude	2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)				
DC connection technology	6x DC+ and 6x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>				
AC connection technology	5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>				
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21, NRS 097				

<sup>1)</sup> 14.0 A for voltages < 420 V

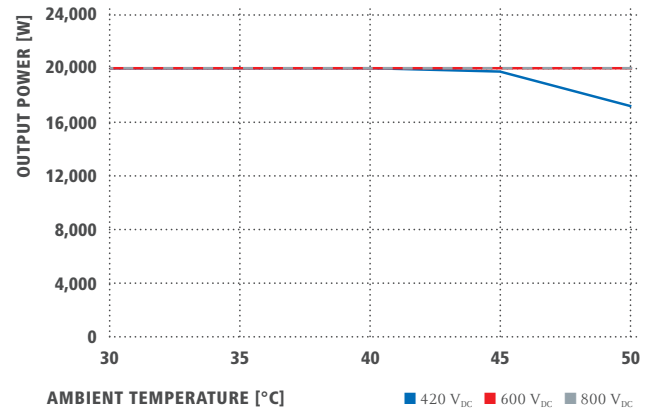
<sup>2)</sup> According to IEC 62109-1. DIN rail for optional type 1 + 2 or type 2 surge protection device available.

Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

## FRONIUS SYMO 20.0-3-M EFFICIENCY CURVE



## FRONIUS SYMO 20.0-3-M TEMPERATURE DERATING



## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

EFFICIENCY	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Max. efficiency		98.0 %		98.1 %	
European efficiency (η <sub>EU</sub> )	97.4 %	97.6 %	97.8 %	97.8 %	97.9 %
MPP adaptation efficiency			> 99.9 %		

PROTECTIVE DEVICES	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
DC insulation measurement			Yes		
Overload behaviour			Operating point shift, power limitation		
DC disconnector			Yes		
Reverse polarity protection			Yes		

INTERFACES	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
WLAN / Ethernet LAN		Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)			
6 inputs and 4 digital inputs/outputs		Interface to ripple control receiver			
USB (A socket) <sup>1)</sup>		Datalogging, inverter update via USB flash drive			
2x RS422 (RJ45-socket) <sup>1)</sup>		Fronius Solar Net			
Signalling output <sup>1)</sup>		Energy management (potential-free relay output)			
Datalogger and Webserver		Included			
External input <sup>1)</sup>		S0 Meter Interface / Input for overvoltage protection			
RS485		Modbus RTU SunSpec or meter connection			

<sup>1)</sup> Also available in the light version.  
Further information and technical data can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

### THREE BUSINESS UNITS, ONE GOAL: TO SET THE STANDARD THROUGH TECHNOLOGICAL ADVANCEMENT.

What began in 1945 as a one-man operation now sets technological standards in the fields of welding technology, photovoltaics and battery charging. Today, the company has around 3,800 employees worldwide and 1,242 patents for product development show the innovative spirit within the company. Sustainable development means for us to implement environmentally relevant and social aspects equally with economic factors. Our goal has remained constant throughout: to be the innovation leader.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com)

v08 Aug 2017 EN

**Fronius India Private Limited**  
GAT no 312, Nanekarwadi  
Chakan, Taluka - Khed District  
Pune 410501  
India  
pv-sales-india@fronius.com  
www.fronius.in

**Fronius Australia Pty Ltd.**  
90-92 Lambeck Drive  
Tullamarine VIC 3043  
Australia  
pv-sales-australia@fronius.com  
www.fronius.com.au

**Fronius UK Limited**  
Maidstone Road, Kingston  
Milton Keynes, MK10 0BD  
United Kingdom  
pv-sales-uk@fronius.com  
www.fronius.co.uk

**Fronius International GmbH**  
Froniusplatz 1  
4600 Wels  
Austria  
pv-sales@fronius.com  
www.fronius.com



**E.4. Inversor InfiniSolar [23].**

# InfiniSolar: On-Grid Inverter with Energy Storage

## Innovative and Cost-effective Power Solution



- Self-consumption and feed-in to the grid
- Programmable supply priority for PV, Battery or Grid
- User-adjustable battery charging current suits different types of batteries
- Programmable multiple operations modes: Grid tie, Off grid, and grid-tie with backup
- Built-in Timer for various mode of on/off operation
- Multiple communication for USB, RS-232, Modbus and SNMP
- Monitoring software for real time status display and control
- Custom-made firmware by ODM contract
- Parallel operation up to 6 units for 5KW / 10KW and 15KW

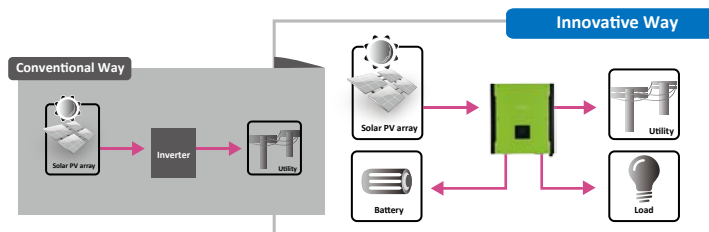
ON-GRID INVERTER WITH ENERGY STORAGE

InfiniSolar is a flexible and intelligent hybrid inverter which utilizes solar power, AC utility, and battery power source to supply continuous power. It's a simple and smart solar power storage system for home users to either store energy into a battery for night-time usage or use for self-consumption first depending on demands. Priority for power source is programmable through smart software. During night time or power failure, it will automatically consume reserved power from the battery. In this way, it will reduce dependence on the utility.



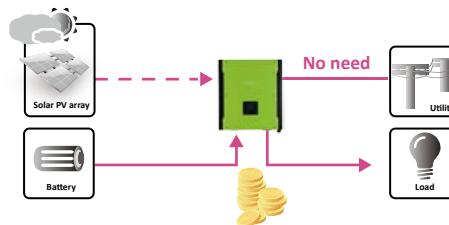
### Feed-in is not the only choice

In comparison with conventional grid-tie inverter, InfiniSolar can not only feed-in power to the grid but also store solar power to the battery for future usage and directly power to the loads.



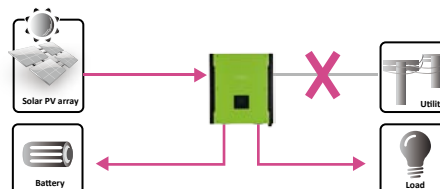
### Save money by discharging battery for self-consumption first

InfiniSolar can save money by using battery energy first when PV energy is low. Until battery energy is low, InfiniSolar will consume AC power from the grid.



### Power backup when AC failed

InfiniSolar can operate as an off-grid inverter to provide continuous power even without the grid. It's a perfect power solution for remote regions or temporary AC power source for camping or night market.



## InfiniSolar On-grid Inverter with Energy Storage Selection Guide

MODEL	InfiniSolar 2KW	InfiniSolar Plus II 3KW	InfiniSolar Plus 5KW	InfiniSolar 3P 10KW	InfiniSolar 3P 15KW
<b>PHASE</b>	1-phase in / 1-phase out			3-phase in / 3-phase out	
<b>MAXIMUM PV INPUT POWER</b>	2250 W	4500 W	10000 W	14850 W	22500 W
<b>RATED OUTPUT POWER</b>	2000 W	3000 W	5000 W	10000 W	15000 W
<b>MAXIMUM CHARGING POWER</b>	1200 W	2880W	4800 W	9600 W	15000 W
<b>GRID-TIE OPERATION</b>					
<b>PV INPUT (DC)</b>					
Nominal DC Voltage / Maximum DC Voltage	300 VDC / 350 VDC	360 VDC / 500 VDC	720 VDC / 900 VDC	720 VDC / 900 VDC	720 VDC / 900 VDC
Start-up Voltage / Initial Feeding Voltage	80 VDC / 120 VDC	116 VDC / 150 VDC	225 VDC / 250 VDC	320 VDC / 350 VDC	320 VDC / 350 VDC
MPP Voltage Range	120 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC	400 VDC ~ 800 VDC
Number of MPP Trackers / Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10 A	2 / 2 x 18.6A	2 / A: 37.65A; B: 18.6A
<b>GRID OUTPUT (AC)</b>					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	208/220/230/240 VAC		230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)	
Output Voltage Range	88 - 127 VAC*	184 - 265 VAC*		184 - 265VAC* per phase	184 - 264.5VAC per phase
Nominal Output Current	18 A	13 A	21 A	14.5A per phase	21.7A per phase
Power Factor	> 0.99				
<b>EFFICIENCY</b>					
Maximum Conversion Efficiency (DC/AC)	95%		96%		
European Efficiency@ Vnominal	94%		95%		
<b>OFF-GRID OPERATION</b>					
<b>AC INPUT</b>					
AC Start-up Voltage/Auto Restart Voltage	60 - 70 VAC / 85 VAC	120 - 140 VAC / 180 VAC		120 - 140 VAC per phase / 180 VAC per phase	
Acceptable Input Voltage Range	80 - 130 VAC	170 - 280 VAC		170 - 280 VAC per phase	
Maximum AC Input Current	30 A		40 A		
<b>PV INPUT (DC)</b>					
Maximum DC Voltage	350 VDC	500 VDC	900 VDC	900 VDC	900 VDC
MPP Voltage Range	150 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC	350 VDC ~ 850 VDC
Number of MPP Trackers/Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10A	2 / 2 x 18.6A	2 / A: 37.65A; B: 18.6A
<b>BATTERY MODE OUTPUT (AC)</b>					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Waveform	Pure Sinewave				
Efficiency (DC to AC)	90%	93%		91%	91%
<b>HYBRID OPERATION</b>					
<b>PV INPUT (DC)</b>					
Nominal DC Voltage / Maximum DC Voltage	300 VDC / 350 VDC	360 VDC / 500 VDC	720 VDC / 900 VDC	720 VDC / 900 VDC	720 VDC / 900 VDC
Start-up Voltage / Initial Feeding Voltage	80 VDC / 120 VDC	116 VDC / 150 VDC	225 VDC / 250 VDC	320 VDC / 350 VDC	320 VDC / 350 VDC
MPP Voltage Range	150 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC	350 VDC ~ 850 VDC
Number of MPP Trackers/Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10A	2 / 2 x 18.6A	2 / A: 37.65A; B: 18.6A
<b>GRID OUTPUT (AC)</b>					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Voltage Range	88-127 VAC*	184 - 265 VAC*		184 - 265 VAC* per phase	184 - 264.5 VAC per phase
Nominal Output Current	18 A	13 A	21 A	14.5 A per phase	21.7A per phase
<b>AC INPUT</b>					
AC Start-up Voltage / Auto Restart Voltage	60 - 70 VAC / 85 VAC	120 - 140 VAC / 180 VAC		120 - 140 VAC per phase / 180 VAC per phase	120 - 140 VAC per phase / 180 VAC per phase
Acceptable Input Voltage Range	80 - 130 VAC	170 - 280 VAC		170 - 280 VAC per phase	170 - 280 VAC per phase
Maximum AC Input Current	30 A		40 A		40 A
<b>BATTERY MODE OUTPUT (AC)</b>					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Efficiency (DC to AC)	90%	93%		91%	91%
<b>BATTERY &amp; CHARGER</b>					
Nominal DC Voltage	48 VDC				
Maximum Charging Current	Default 25A, 5A - 25A (Adjustable)	Default 25 A, 5A - 60A (Adjustable)	Default 60A, 5A - 100A (Adjustable)	Default 60A, 10A - 200A (Adjustable)	Default 60A, 5A - 300A (Adjustable)
<b>GENERAL</b>					
<b>PHYSICAL</b>					
Dimension, D x W x H (mm)	107 x 438 x 480		204.2 x 460 x 600	167.2 x 500 x 622	219 x 650 x 820
Net Weight (kgs)	15.5		29	40	62
<b>INTERFACE</b>					
Communication Port	RS-232/USB		RS-232/USB		RS-232, USB and Dry contact
Intelligent Slot	Optional SNMP, Modbus and AS-400 cards available				
<b>ENVIRONMENT</b>					
Humidity	0 ~ 90% RH (Non-Condensing)				
Operating Temperature	0 to 40°C		-10 to 55°C		
Altitude	0 ~ 1000 m**				

\*These figures may vary depending on different AC voltage and country requirements.  
 \*\*Power derating 1% every 100 m when altitude is over 1000m.  
 Product specifications are subject to change without further notice.





E.5. Acero 304 [49].



FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE 300		
			Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI		<b>304</b>	<b>316</b>	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		<b>C ≤ 0.08%*</b> <b>Si ≤ 1.00%</b> <b>Mn ≤ 2.00%</b> <b>Cr 18% - 20%*</b> <b>Ni 8% - 10,5%*</b>	<b>C ≤ 0.08%*</b> <b>Si ≤ 1.00%</b> <b>Mn ≤ 2.00%</b> <b>Cr 16% - 18%*</b> <b>Ni 10% - 14%*</b> <b>Mo 2% - 2.5%*</b>	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)	(g/cm³)	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD	(N/mm²)	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C	(J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C	(W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	(x 10⁶ C⁻¹)	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C	(μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm²)	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm²)	210 / 230	205410 / -	
	ELONGACIÓN (A₅) MIN	(%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCUL / KVL	(J/cm²)	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C	(N/mm²)	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C	(N/mm²)	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C	σ1/10⁵/t (N/mm²)	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5	
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL	(OC)	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	
	TEMPLADO		NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE	
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL	(C)	1200 / 925	1200 / 925	
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE		925 / 840	925 / 840	
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD		MUY BUENA	MUY BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112		45%	45%	
	EMBUTICIÓN		MUY BUENA	BUENA	

\* Son aceptables tolerancias de un 1%

## E.6. Poliuretano [13].



### FICHA TECNICA POLIURETANO

LA ESPUMA DE POLIURETANO ES UN EXCELENTE AISLANTE TÉRMICO DEBIDO A QUE LAS CELDAS QUE FORMAN LA ESPUMA ESTÁN DISPERSAS EN LA MASA POLIMÉRICA Y SON INDEPENDIENTES Y COMPLETAMENTE CERRADAS A DIFERENCIA DE OTROS MATERIALES AISLANTES.

EL PROCESO DE APLICACIÓN DE LA ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO ES UNO DE LOS MÁS SIMPLES Y COMPLETOS EN EL MERCADO DEBIDO A SU AUTOADHERENCIA A TODO TIPO DE SUSTRATOS, LOS CUALES COMO REQUISITO SOLO TIENEN QUE ESTAR LIMPIOS Y SECOS, Y A UNA TEMPERATURA NO INFERIOS DE 10 °C.

UNA VEZ APLICADA LA ESPUMA SE REDUCE CONSIDERABLEMENTE LOS FENÓMENOS DE EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN DE LAS SUPERFICIES POR CAMBIOS DE TEMPERATURA AMBIENTE.

LAS PROPIEDADES FÍSICAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESPUMA RÍGIDA APLICADA POR ASPERSIÓN SON EN PROMEDIO LAS SIGUIENTES:

CONCEPTO Y UNIDADES	VALORES	NORMA Y MÉTODO
CELDA CERRADAS %	90	D 2846 ASTM
DENSIDAD KG/ M3	35-40	D 1622 ASTM
RESISTENCIA LA COMPRESIÓN PSI	34	D 1621 ASTM
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA BTU	0.125	C 177 ASTM
ABSORCIÓN DEL AGUA %	2-4	D 2832 ASTM
PERMEABILIDAD AL VALOR DE AGUA G/ M2	80	ISO 1663

#### COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE AISLAMIENTO TÉRMICO DE DIVERSOS MATERIALES

MATERIAL	ABREVIATURA	FACTOR K	R PARA 1 "	ESPESOR EQUIVALENTE
POLIURETANO	PU	.110	9.09	1.00
FIBRA DE VIDRIO	FG	.220	4.54	2.00
POLIESTIRENO	PS	.240	4.16	2.18
CORCHO NATURAL	CN	.270	3.70	2.45
LANA MINERAL	LM	.300	3.33	2.73

NOTA: EL VALOR MÁS BAJO DE FACTOR K Y EL MÁS ALTO DE FACTOR R DETERMINAN EL MEJOR AISLAMIENTO TÉRMICO.

K = FACTOR DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.  
R = RESISTENCIA A LA TRANSMISIÓN DE CALOR.

SE SOLICITA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE NUESTRO EQUIPO UNA TOMA DE CORRIENTE TRIFÁSICA A 220 VOLTS A UNA DISTANCIA NO MAYOR DE 50 METROS DEL SITIO A APLICAR LA ESPUMA.

www.patsa.net



## E.7. Vidrio Templado [19].



**GLASSTEMPCORR**  
Cristales Templados

FICHA TÉCNICA  
CRISTAL TEMPLADO

### 1.- DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El cristal templado es un vidrio de seguridad que se obtiene tras el proceso de temple térmico en un horno horizontal, sin pinzatura, que consiste en llevar los vidrios hasta su estado plástico mediante exposición a temperaturas inferiores a la de su reblandecimiento, para luego enfriarlos de manera inmediata mediante exposición a elevadas presiones de aire. Un cristal de seguridad templado posee excelente resistencia mecánica debido a la acumulación de tensiones controladas y equilibradas en su masa.

Como consecuencia, poseen excelente resistencia mecánica y su resistencia a impacto, flexión, tracción, compresión y choque térmico será de 4 a 5 veces mayor que la de un vidrio crudo. En caso de rotura, el cristal templado se fragmenta en pequeños trozos no cortantes, lo que hace que sea un producto muy adecuado para aquellas aplicaciones en las que las exigencias de seguridad sean altas.

### 2.- PRODUCTOS GLASSTEMPCORR

ESPEORES	6 mm	8 mm	10 mm	12 mm
COLORES				
INCOLORO	●	●	●	●
BRONCE	●	●	●	
GRIS	●	●		
REFLEJANTE BLUE DARK	●	●		
REFLEJANTE PRIVA-BLUE	●	●		
REFLEJANTE INCOLORO	●	●		
REFLEJANTE BRONCE	●	●		
REFLEJANTE GRIS	●	●		

### 3.- DIMENSIONES MÁXIMAS RECOMENDABLES SEGÚN NORMA

ESPEORES	DIMENSIONES
6	1900 x 1400
8	2750 x 1800
10	3160 x 2040
12	3160 x 2100

### 4.-ASPECTO DEL PRODUCTO

**Aspecto de Bordes:** Pulido Mate o Pulido Brillante, si es solicitado por el cliente.

**Espesor:** 6, 8, 10 y 12 mm

**Ubicación de Marca:** Frontal o al canto, según solicitud del cliente.

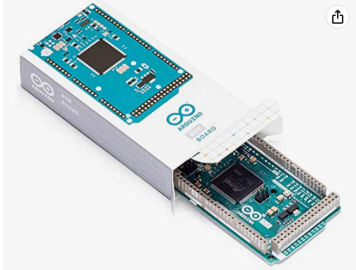


# Apéndice F

## Componentes electrónicos.

### F.1. Placa Arduino DUE [36].

Back to results



#### Arduino Due with Headers [A000062]

Visit the Arduino Store  
★★★★★ 421 ratings | 15 answered questions  
Amazon's Choice for "arduino due"

Price: **\$34.29**  
\$18.63 Shipping & Import Fees Deposit to Costa Rica Details


Brand: Arduino.org  
Connectivity Technology: USB  
Compatible Devices: Personal Computer

#### About this item

- Powerful 32-bit CPU from ARM working at 3.3 Volts. Onboard: 54 Digital I/O pins, 16 Analog Inputs, 4 UARTs, 2 DAC (Digital to Analog Converter), a CAN Bus port, and 2 TWI (I2C) Communication Ports
- Has two microUSB connectors: one for programming and serial communication, and the second one for faster USB native communication
- The Arduino Due has an efficient switching voltage regulator, it can host devices attaching a USB device to the micro-A usb connector, so the board will provide the power to the device.
- Expanded SPI Bus functionality: simultaneously communicate with multiple devices transmitting at different speeds, such as sensors or SD card readers.
- Arduino Due is compatible with Arduino shields that work at 3.3V

New (4) from **\$34.29**

#### Similar item to consider



MakerFocus ESP32 Development Board Upgraded Version 8MB Flash, ESP32 WiFi Bluetooth, ESP32 OLED 0.96 Inch OLED Display CP2102 Internet for Arduino ESP8266 NodeMCU  
★★★★★ (185)  
\$21.59

**\$34.29**  
\$18.63 Shipping & Import Fees Deposit to Costa Rica Details

Delivery **Friday, July 1**

Deliver to Costa Rica

**In Stock.**

Qty: 1

**Add to Cart**  
**Buy Now**

Secure transaction

Ships from Amazon  
Sold by Arduino

Return policy: Eligible for Return, Refund or Replacement within 30 days of receipt


Support: Free Amazon tech support included

Add a gift receipt for easy returns

**Add to List**

New (4) from **\$34.29**

### F.2. Sensores de Temperatura y Humedad [44].



#### DHT22/AM2302 Genuine original

High Quality

Genuine product vs Low-quality products

AM2302 vs Worded products vs Wordless products

#### DHT22 Digital Temperature and Humidity Sensor, Aideepen AM2302 Temp Humidity Monitor Sensor Replace SHT15 SHT11

Visit the Aideepen Store  
★★★★★ 66 ratings | 3 answered questions

Price: **\$10.35**  
\$18.26 Shipping & Import Fees Deposit to Costa Rica Details

Extra Savings: Promotion Available. 3 Applicable Promotion(s)

- Model: DHT22; Main Chip: AM2302 high sensitive temperature humidity sensor. Single-bus digital signal output, bidirectional serial data
- 4 Pins Sequence Number: Pin1-VDD(Power 3.3V-5.5V); Pin2-SDA, serial data interface, two-way interface; Pin3-NC, no connect; Pin4-GNDI(Ground)
- Temperature range: -40 to 80 degree celsius, Temperature measurement accuracy: +/- 0.5°C degree celsius
- Humidity measuring range: 0-100%RH, Humidity measurement accuracy: ±2%RH
- \*With fixing screw hole, convenient to install and fixed Size:33\*15\*8mm/1.29\*0.59\*0.39in

#### Specifications for this item

Brand Name	Aideepen
Ean	0611029132926
Part Number	DH
UNSPSC Code	41110000
UPC	611029132926

**\$10.35**  
\$18.26 Shipping & Import Fees Deposit to Costa Rica Details

Delivery **Tuesday, July 5**

Deliver to Costa Rica

**Only 20 left in stock - order soon.**

Qty: 1

**Add to Cart**  
**Buy Now**

Secure transaction

Ships from Amazon  
Sold by Aideepen

Return policy: Eligible for Return, Refund or Replacement within 30 days of receipt

Add a gift receipt for easy returns

**Add to List**

### F.3. Interruptores de contacto [39].

**MUZHI SPDT1NO 1NC Momentary Hinge Metal Roller Lever Micro Switch AC 5A 125 250V 3 Pins 12 Pcs**  
 Brand: MXRS  
 ★★★★★ 675 ratings | 29 answered questions  
 #1 Best Seller in Limit Switches

Price: **\$6.99** (\$0.58 / Count)  
 \$14.67 Shipping & Import Fees Deposit to Costa Rica Details  
 Save 5% at checkout. Terms

Style: 3

3	1	2	4
\$6.99 (\$0.58 / Count)	\$6.99 (\$0.58 / Count)	\$6.99 (\$0.58 / Count)	\$6.69 (\$0.56 / Count)

Current Rating: 5 Amps  
 Operating Voltage: 250 Volts (AC), 125 Volts (AC)  
 Contact Type: Spdt  
 Brand: MXRS  
 Switch Type: Limit Switch, Metal, SPDT  
 Terminal: Spdt  
 Material: Metal

Roll over image to zoom in

**\$6.99** (\$0.58 / Count)  
 \$14.67 Shipping & Import Fees Deposit to Costa Rica Details  
 Delivery **Tuesday, July 5**  
 Deliver to Costa Rica  
**In Stock.**  
 Qty: 1  
 Add to Cart  
 Buy Now  
 Secure transaction  
 Ships from Amazon  
 Sold by MUZHI STORE  
 Return policy: Eligible for Return, Refund or Replacement within 30 days of receipt  
 Add a gift receipt for easy returns  
 Add to List  
 Have one to sell?  
 Sell on Amazon

### F.4. Cables de cobre UTP [37].

Electronics > Computers & Accessories > Computer Components > Single Board Computers

**ELEGOO 120pcs Multicolored Dupont Wire 40pin Male to Female, 40pin Male to Male, 40pin Female to Female Breadboard Jumper Wires Ribbon Cables Kit Compatible with Arduino Projects**  
 Visit the ELEGOO Store  
 ★★★★★ 8,771 ratings | 23 answered questions  
 #1 Best Seller in Single Board Computers

List Price: ~~\$9.99~~  
 Price: **\$6.98**  
 You Save: \$3.01 (30%)  
 \$16.67 Shipping & Import Fees Deposit to Costa Rica Details

Color: Dupont Wire 120pcs(male to female,male to male, fe... ^


\$6.98	\$7.99

Brand: ELEGOO  
 CPU Socket: DIP  
 RAM Memory Technology: DDR  
 Platform: No Operating System

Roll over image to zoom in

**\$6.98**  
 \$16.67 Shipping & Import Fees Deposit to Costa Rica Details  
 Delivery **Friday, July 1**  
 Deliver to Costa Rica  
**In Stock.**  
 Qty: 1  
 Add to Cart  
 Buy Now  
 Secure transaction  
 Ships from Amazon  
 Sold by ELEGOO Official US  
 Return policy: Eligible for Return, Refund or Replacement within 30 days of receipt  
 Add a gift receipt for easy returns  
 Add to List  
 Have one to sell?  
 Sell on Amazon

## F.5. Consola LCD. [38]



Back to results

**Nextion 5 Enhanced Display NX8048K050 Resistive Touch Screen + Nextion IO Adapter**

Visit the NEXTION Store

Bundle Price: **\$95.89**

- Nextion io adapter is designed for Nextion enhanced and Nextion intelligent, not for nextion display basic.
- Here is nextion 5 basic version, <https://www.amazon.com/dp/B07B4DV86Z>
- You can buy Nextion intelligent and Nextion display basic version here, <https://www.amazon.com/nextion>
- If you have any problem, please contact seller as follow: click "DIYmalls"(you can find "Sold by DIYmalls" under Buy Now button), in the new page, click "Ask a question".

**Note:** Products with electrical plugs are designed for use in the US. Outlets and voltage differ internationally and this product may require an adapter or converter for use in your destination. Please check compatibility before purchasing.


**\$95.89**

This item cannot be shipped to your selected delivery location. Please choose a different delivery location.

Deliver to Costa Rica

Add to Cart


Have one to sell?  
Sell on Amazon



**\$3,584<sup>17</sup>** prime

Sponsored

## F.6. Set de resistencias [40].



Roll over image to zoom in

**ELEGOO 17 Values 1% Resistor Kit Assortment, 0 Ohm-1M Ohm (Pack of 525) RoHS Compliant**

Visit the ELEGOO Store

★★★★★ 2,093 ratings | 39 answered questions

Amazon's Choice in Single Fixed Resistors by ELEGOO

Price: **\$11.99**

\$18.96 Shipping & Import Fees Deposit to Costa Rica Details

- More humanized design with 50 pcs frequently used resistors (100, 220, 1k, 10k Ohm) and 25 pcs seldom used resistors. Color Code Guide helps you read the resistance
- Perfect pin (0.022 inches, 0.55mm), #24 lead SWG (Stand Wire Gauge), perfect for breadboard in electronic projects
- ±1% tolerance, 1/4w, metal film.
- With complete RoHS certification.
- Perfect packaging: Plastic case + PE bag

**Specifications for this item**

Brand Name	ELEGOO
Included Components	resistors
Item Weight	7.2 ounces
Material	Plastic
Model Number	EL-CK-004
Number of Items	1
Part Number	EL-CK-004
Specification Met	

See more

**\$11.99**

\$18.96 Shipping & Import Fees Deposit to Costa Rica Details

Delivery **Friday, July 1**

Deliver to Costa Rica

**In Stock.**

Qty: 1

Add to Cart

Buy Now

Secure transaction

Ships from Amazon

Sold by ELEGOO Official US

Packaging Shows what's inside. It...

Details

Return policy: Eligible for Return, Refund or Replacement within 30 days of receipt

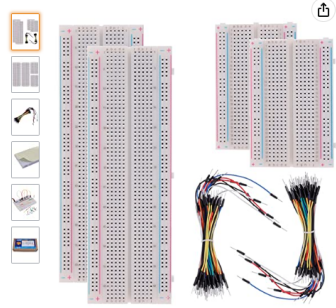
Support: Free Amazon product support included

Add a gift receipt for easy returns

Add to List

Have one to sell?  
Sell on Amazon

## F.7. Protoboard [42].



BOJACK 3 Values 130 Pcs Solderless Breadboard 4 Pcs 830 Tie Points & 400 Tie Points & 126 Pcs Flexible Breadboard Jumper Wires

Brand: BOJACK  
★★★★★ 72 ratings

Price: **\$12.99**

\$19.23 Shipping & Import Fees Deposit to Costa Rica [Details](#)

Delivery **Friday, July 1**

Deliver to Costa Rica

**In Stock.**

Qty: 1

[Add to Cart](#)

[Buy Now](#)

Secure transaction

Ships from Amazon  
Sold by BOJACK ELECTRON

Return policy: Eligible for Return, Refund or Replacement within 30 days of receipt

Add a gift receipt for easy returns

[Add to List](#)


Specifications for this item

Brand Name	BOJACK
Ean	0762917165967
Material	Plastic
Model Number	B.L.B.B.-1.120P

Roll over image to zoom in

## F.8. Sensor de calidad de aire [43].

Home > Grove - Air quality sensor v1.3



Grove - Air quality sensor v1.3

Code: C000138 / Barcode: 101020078

**\$12.80**

Quantity: 1 [ADD TO CART](#) [ADD TO WISHLIST](#)


A Grove sensor designed for indoor air quality testing.

Enhance your experience, add to your cart:

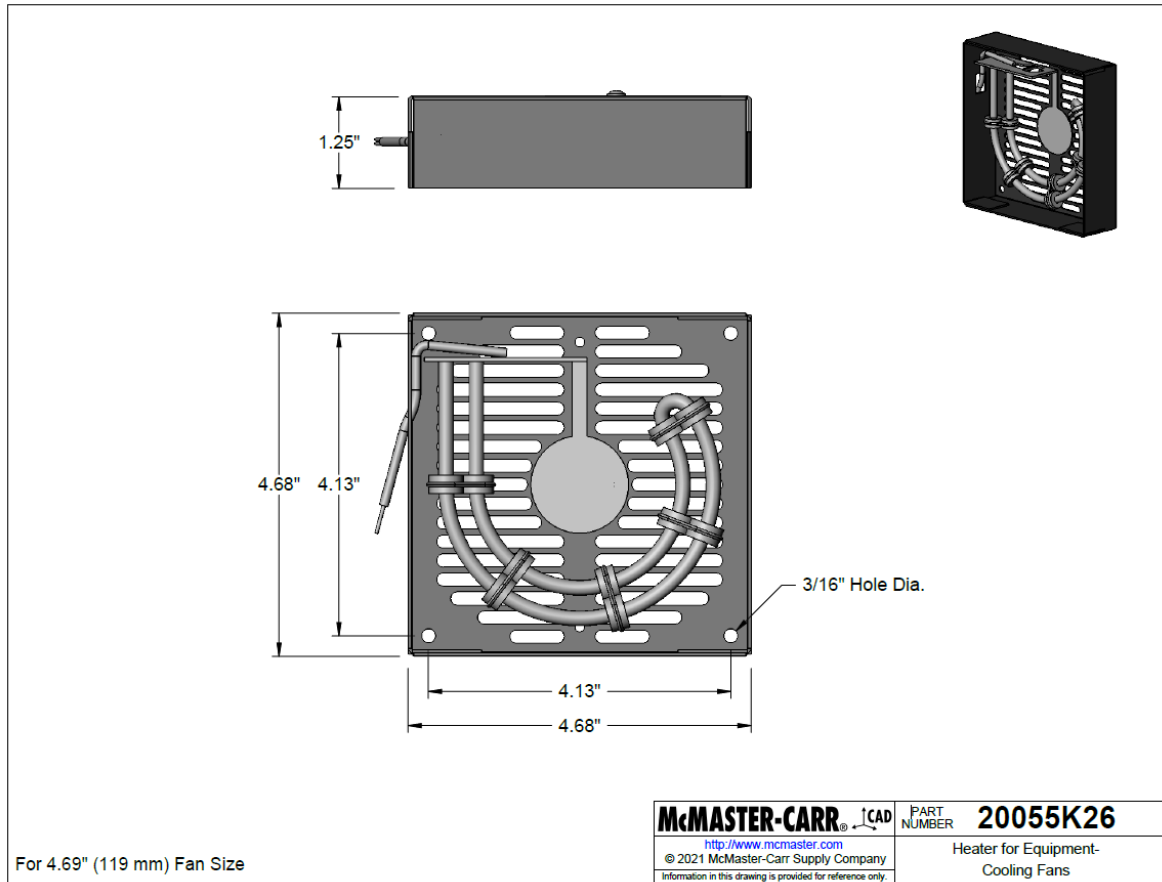
- IoT Air Quality Checker Bundle \$0.00
- CCS811 Air Quality Sensor-Breakout \$76.60
- CCS811 Air Quality Sensor-Breakout \$14.30

Share this: [f](#) [t](#) [in](#) [p](#)

[Click to expand](#)



F.9. Calentador [41].



\$155.20 Each

1 Each

In stock

20055K26

ADD TO ORDER



3-D Solidworks

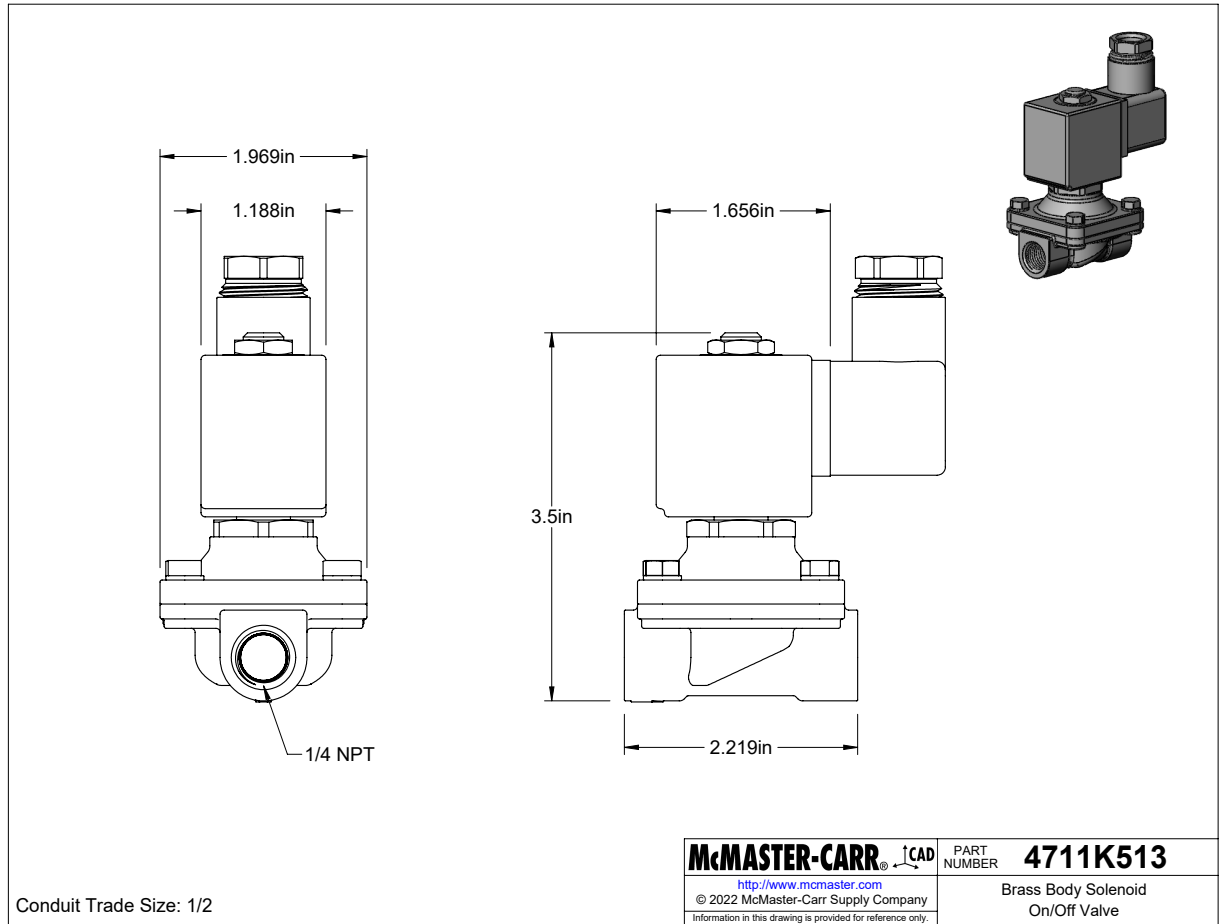
Download

Learn more about our [Solidworks Add-In](#).

For Fan Shape	Square
Heater Type	Electric
For Overall Fan	
Height	4.69" (119 mm)
Width	4.69" (119 mm)
Depth	1.25" (31.75 mm)
Wattage	600 W
Voltage	120V AC
Current	5 A
Electrical Phase	Single
Power Source	Electric
Electrical Connection Type	Hardwire
Wire Connection Type	Wire Leads
Housing	
Material	Painted Aluminum
Color	Black
Mobility	Stationary
Mounting Hole Diameter	3/16"
Mounting Fasteners Included	No
Specifications Met	UL Recognized Component
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (07/08/2021, 219 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	United States
USMCA Qualifying	No
Schedule B	851680.0000
ECCN	EAR99

Heat the airflow from equipment-cooling fans to warm equipment and reduce humidity. Use with square equipment-cooling fans. Install in place of a fan guard using the mounting holes. Components are UL recognized.

F.10. Válvula Solenoide [41].



\$123.78 Each

Each

In stock

4711K513

ADD TO ORDER



3-D Solidworks



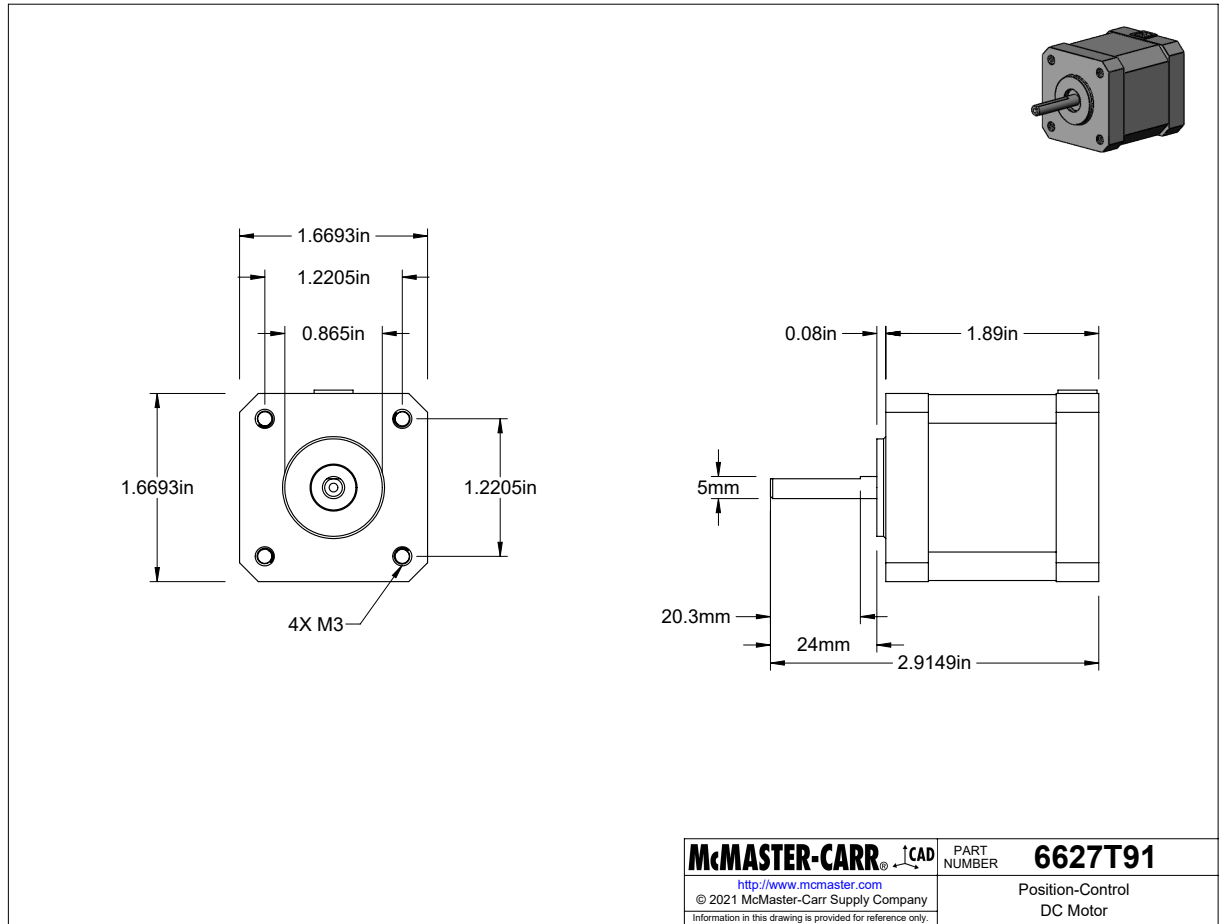
Download

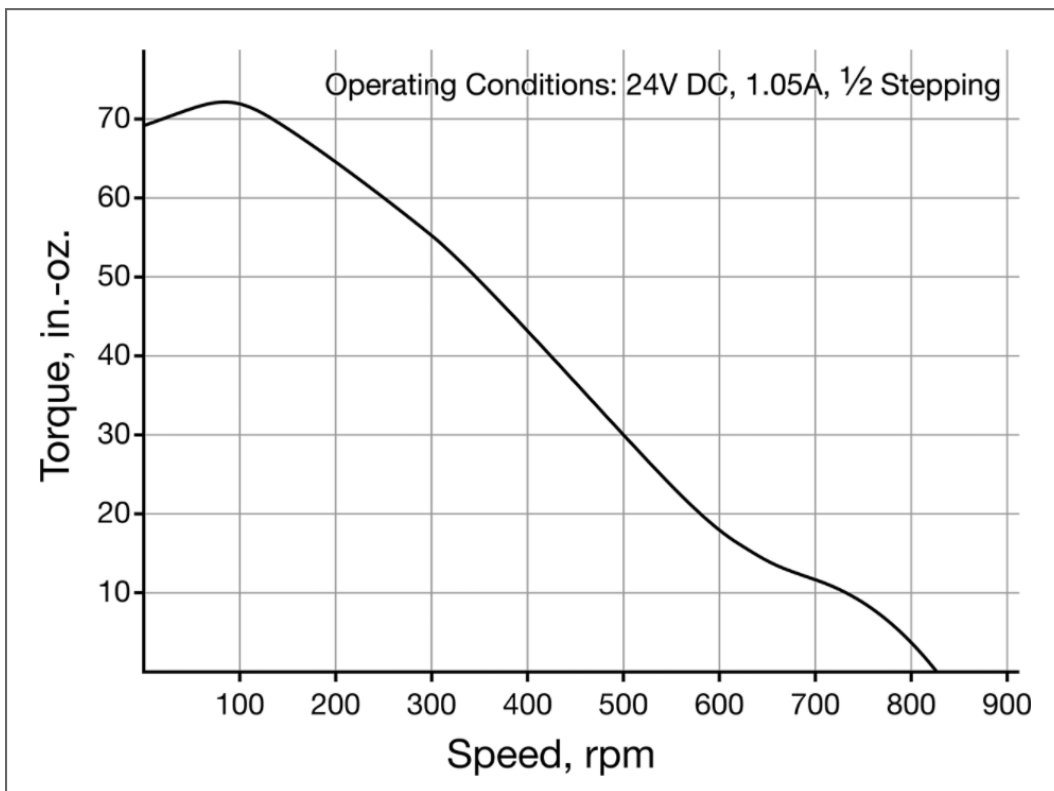
Learn more about our [Solidworks Add-In](#).

Valve Function	On/Off
Valve Type	Solenoid
Fitting Type	Connector
Shape	Straight
Actuation	Electric (Solenoid)
Electrical Connection Type	Hardwire
Conduit Trade Size	1/2
Valve Starting Position	Normally Closed
For Use With	Water, Oil, Air, Argon, Helium, Neon, Xenon, Krypton
Connection Type	Pipe
Connection Style	Threaded
Pipe Size	1/4
Gender	Female
Thread Type	NPT
Flow Coefficient (Cv)	1.4
Maximum Pressure	200 psi @ 70° F
Pressure Drop	Zero Pressure Drop
Min. Pressure Drop Required	None
Manual Override	No
Temperature Range	15° to 195° F
Actuator Temperature Range	-20° to 355° F
Voltage	24V AC
Maximum Current Draw	0.33 A
Frequency	50Hz, 60Hz
Duty Cycle	Continuous
Vacuum Rating	0.001 Torr
Body Material	Brass
Diaphragm Material	Buna-N Rubber
Seal Material	Buna-N Rubber
Seat Material	Buna-N Rubber
Actuator Housing Material	Plastic
Valve Length	2 1/4"
Valve Width	1 31/32"
Actuator Mount Type	Direct

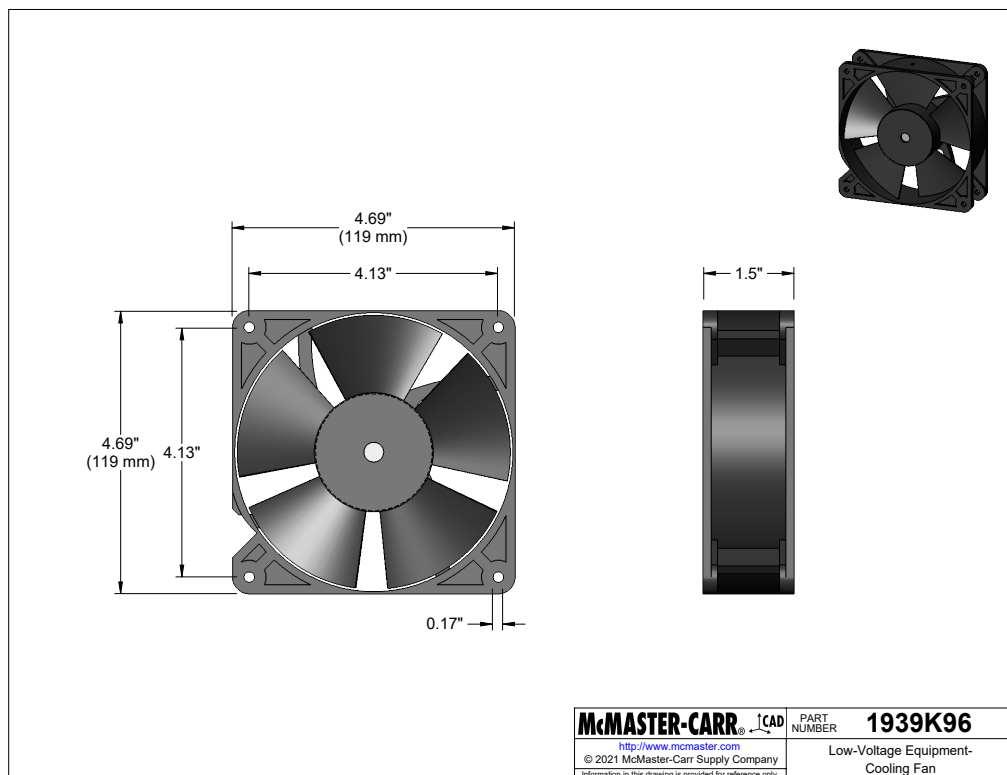


F.11. Motor DC [41].





F.12. Ventilador [41].



\$82.31 Each  Each  
 In stock  
 1939K96 **ADD TO ORDER**

 3-D Solidworks

Learn more about our [Solidworks Add-In.](#)

Overall	
Height	4.69" (119 mm)
Width	4.69" (119 mm)
Depth	1.5" (38 mm)
Airflow	205 cfm
Bearing Type	Ball
Temperature Range	0° to 145° F
Volume	67 dB
Current	2.67 A
Frame Material	Aluminum
Blade Material	Plastic
Mounting Fasteners Included	No
Mounting Hole Diameter	0.15" (3.8 mm)
Shape	Square
Voltage	12V DC
Power Source	Electric
Electrical Connection	Wire Leads
Thermostat Included	No
Specifications Met	UL Recognized Component, CSA Certified
CSA File Number	027697_0_000
UL File Number	E38324
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) compliant with exemptions 6(a)-I, 6(b)-II, 6(c), 7(a), 7(c)-I, and 7(c)-II - Lead as an alloying element in steel and aluminum and in copper alloy, solders, and ceramic
REACH	REACH (EC 1907/2006) (07/08/2021, 219 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Germany
Schedule B	841459.9080
ECCN	EAR99

Running on 48V DC power or lower, these compact fans fit inside electronics and other small, heat-sensitive equipment to keep things cool. They're also known as muffin fans. Some meet American and Canadian safety standards.

Fans with ball bearings generate less heat as they run, so they have a longer life than fans with sleeve bearings.

### F.13. Anemómetro [41].



\$472.48 Each

In stock

4120K54

Each

**ADD TO ORDER**

Measures	Airflow Temperature
Meter Style	Tube
Airflow	40-3,900 fpm 0.5-40 mph 0.39-30 kn 0.2-20 m/sec. 0.7-70 km/hr.
Temperature Range	32° to 122° F/0° to 50° C
Display Type	Digital
Overall	
Height	7"
Width	2 15/16"
Depth	1 5/16"
Probe	
Diameter	1/2"
Cable Length	4 ft.
Maximum Probe Extension	3 ft.
Power Source	Battery
Batteries Included	Yes
Features	RS-232 Port
Additional Specifications	SDS
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	Not Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Taiwan
Schedule B	902680.0000
ECCN	EAR99
Related Products	<a href="#">Vinyl Carrying Cases</a> <a href="#">USB Adapter Cable</a>

With a probe on a cord, these meters access hard-to-reach places in duct. They display airflow and temperature simultaneously and can show airflow measurements on multiple scales, such as fpm, mph, and knots.

Use the RS-232 port to transmit data. For a USB connection, you'll need a USB adapter cable (sold separately).


Tube meters have a probe that telescopes to 3 ft. to reach into narrow openings.

# Apéndice G

## Otros componentes.

### G.1. Adaptador [35].

Electronics > Computers & Accessories > Computer Accessories & Peripherals > Cables & Accessories > Cables & Interconnects > USB Cables



**Amazon Basics USB 2.0 Printer Cable - A-Male to B-Male Cord - 6 Feet (1.8 Meters), Black**

Visit the Amazon Basics Store  
★★★★★ 65,483 ratings | 557 answered questions  
Amazon's Choice In USB Cables by Amazon Basics

Price: **\$6.53**  
\$14.54 Shipping & Import Fees Deposit to Costa Rica Details

Size: **6 Feet** 16 Feet

Style: **1-Pack** 24-Pack


Pattern Name: **Cable** Cable + 1.2 Cable Cable + Extension Cable

**Connector Type** Usb 2.0  
**Cable Type** USB  
**Compatible Devices** Personal Computer, Printer  
**Color** Black  
**Brand** Amazon Basics

**About this item**

- IN THE BOX: (1) 6-foot-long (1.8 meters) high-speed multi-shielded USB 2.0 A-Male to B-Male cable
- EASY CONNECTION: Connects mice, keyboards, and speed-critical devices, such as external hard drives, printers, and cameras to your computer
- GOLD-PLATED CONNECTORS: Constructed with corrosion-resistant, gold-plated connectors for optimal signal clarity and shielding to minimize interference
- ULTRA FAST SPEED: Full 2.0 USB capability/480 Mbps transfer speed

Roll over image to zoom in



USB Connection Type Performance Chart

Amazon Basics USB 2.0 Printer Cable - A-Male to B-Male Cord

480Mbps 1.8m 72dB

**\$6.53**  
\$14.54 Shipping & Import Fees Deposit to Costa Rica Details

Delivery **Friday, July 1**

Deliver to Costa Rica

**In Stock.**

Qty: 1

**Add to Cart**

**Buy Now**

Secure transaction

Ships from Amazon.com  
Sold by Amazon.com

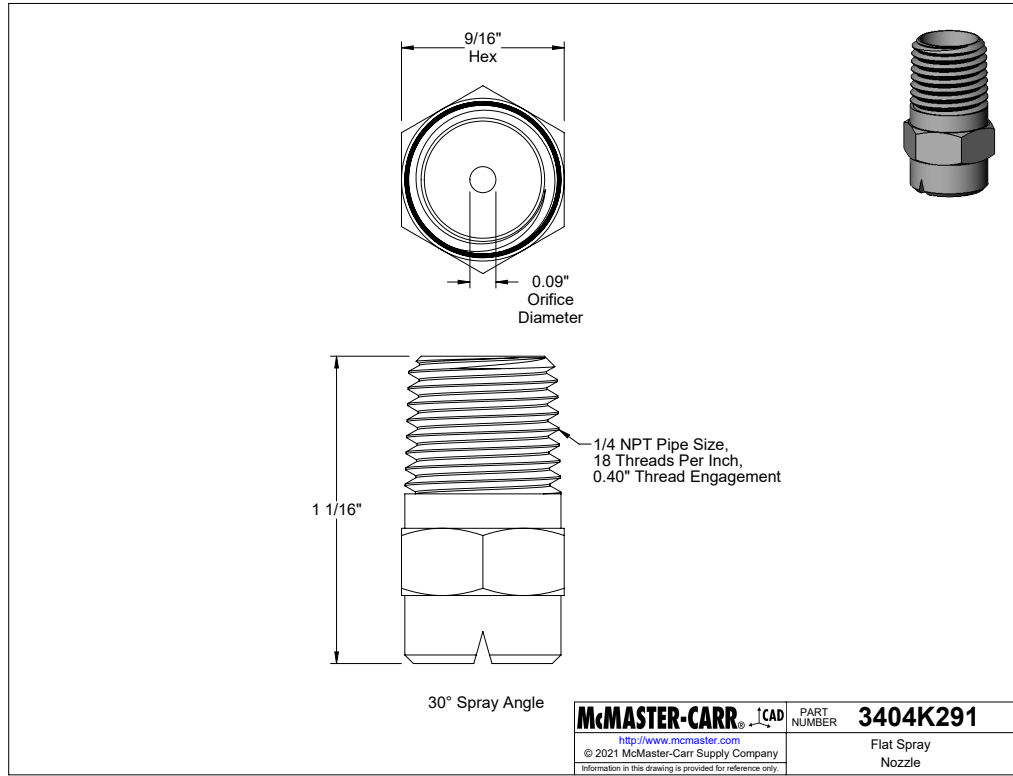
Return policy: Eligible for Return, Refund or Replacement within 30 days of receipt

**Add other items:**

- Amazon Basics XLR Male to Female Microph... **\$9.21**
- Amazon Basics VGA to VGA PC Computer Monit... **\$9.21**
- Add a gift receipt for easy returns

**Add to List**

G.2. Punta dispersora de agua [41].



Spray Angle |  Each

30°

**50°**

65°

80°


120°

**ADD TO ORDER**

1-9 Each \$15.16

10 or more \$13.55

3404K29



Learn more about our [Solidworks Add-In](#).

Connection Type	Pipe
Pipe Connection Type	Threaded
Pipe Size	1/4
Thread Type	NPT
Gender	Male
Flow Rate, gpm	
@ 20 psi	1
@ 40 psi	1.5
@ 100 psi	2.3
@ 1,000 psi	7.5
Orifice Diameter	0.09"
Overall Width	9/16"
Length	1 1/16"
Maximum Pressure	1,000 psi
Maximum Temperature	800° F
Material	303 Stainless Steel
Tip Type	Permanent
Spray Application	General Purpose
Spray Pattern	Flat
Spray Direction	Straight
For Use With	Air, Thin Liquids
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/19/2021, 211 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	United States
USMCA Qualifying	No
Schedule B	842490.9500
ECCN	2B999

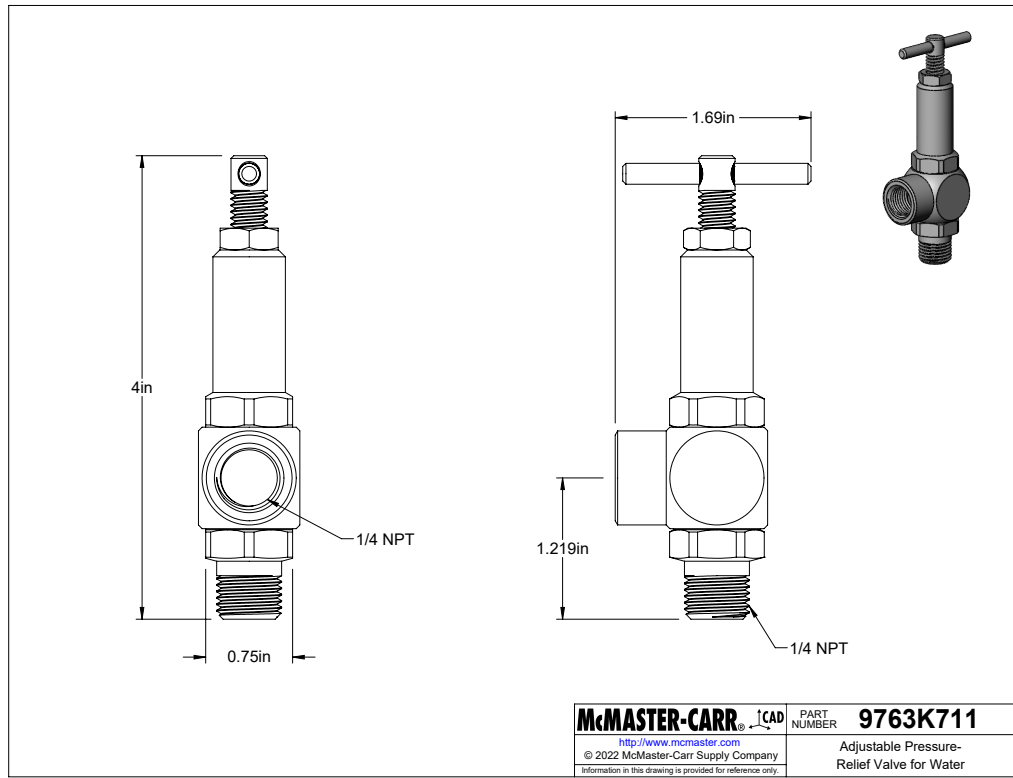
These nozzles produce a flat, thin spray pattern. They're good for general cleaning, washing, etching, foam control, and applying coatings.

303 stainless steel nozzles are more chemical, corrosion, and abrasion resistant than brass nozzles.

[Spray nozzle fittings](#) and [manifolds](#) are also available.



G.3. Válvula de alivio [41].



\$179.29 Each  
In stock  
9783K711

1 Each

ADD TO ORDER



3-D Solidworks

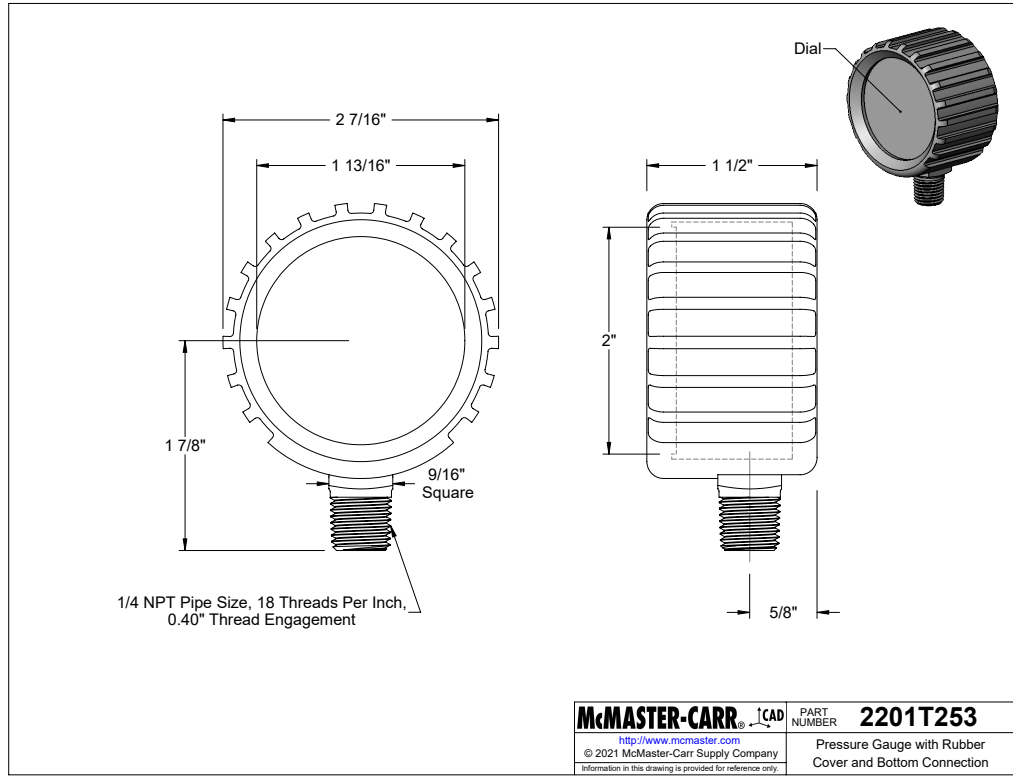
Download

Learn more about our [Solidworks Add-In](#).

Valve Function	Pressure Relief
For Use With	Water
Activation	Pressure Driven
Inlet	
Pipe Size	1/4
Connection Type	Pipe
Pipe Connection Type	Threaded
Connection	NPT Male
Location	Bottom
Maximum Pressure	50 psi
Relief Port	
Pipe Size	1/4
Connection Type	Pipe
Pipe Connection Type	Threaded
Connection	NPT Female
Location	Side
Set Pressure Accuracy	Not Rated
Set Pressure Configuration	Adjustable
Set Pressure	
Range	0 to 50 psi
Adjustment Method	T-Handle
Temperature Range	-30° to 160° F
Shape	90° Elbow
Overall Height	4"
Material	
Body	Brass
Seal	Buna-N
Valve Type	Relief
Features	Locknut, Removable Bonnet
Flow Coefficient (Cv)	Not Rated
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/17/2022, 223 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	United States
USMCA Qualifying	No
Schedule B	848140.0000
ECCN	EAR99

Alter the set pressure to suit your application. These valves begin opening at the set pressure and fully open at about 10% over the set pressure. Tighten the locknut to prevent accidental changes in set pressure. Valves should not be used in applications that require the valve to close completely below the set pressure.

G.4. Manómetro [41].



Pressure Range,  
psi  
✓ 0 to 60

 Each

**ADD TO ORDER**

\$25.25 Each  
In stock  
2201T25

 3-D Solidworks  **Download**

Learn more about our [Solidworks Add-In](#).

Measures	Pressure
For Use With	Air, Ethyl Alcohol, Hydraulic Fluid, Natural Gas, Nitrogen, Water
Display Type	Dial
Dial Type	Dry
Dial Diameter	2"
Pipe Size	1/4
Scale Type	Single
Scale	psi
Environment Temperature Range	-40° to 150° F
Process Temperature Range	-40° to 150° F
Connection Type	Pipe
Pipe Connection Type	Threaded
Thread Type	NPT
Gender	Male
Case Material	ABS Plastic
Case Color	Black
Connection Material	Brass
Lens Material	Polycarbonate Plastic
Mounting Orientation	Any
Accuracy	±2%
Accuracy Scale	Mid Scale
Accuracy Grade	B
Connection Location	Bottom
Cover Material	Rubber
Graduation Marks	1 psi
Numeric Increments	5 psi
Pressure Range	0 to 60 psi
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Brazil or Peoples Republic of China
Schedule B	902820.0000
ECCN	EAR99

These are the most commonly used pressure gauges. Use them with pumps, filters, regulators, and in process lines to measure and display pressure.

Gauges with 304 stainless steel case or ABS plastic case have better corrosion resistance than gauges with brass or steel case.

Gauges with cover have a rubber sleeve to protect the case from impact.



**Joywayus Adaptador de tubería de latón Barstock Street Tee T de 3 vías NPT hembra de 1/4 pulgadas x macho de 1/4 pulgadas**

Visita la tienda de Joywayus  
 4.5 ★★★★★ 133 calificaciones  
 Amazon's Choice para "1/4 npt t fitting"

Precio anterior: US\$99.49  
 Precio: **US\$8.99**  
 Ahorra: US\$90.50 (5%)

US\$14.92 de envío y depósito de derechos de importación a Costa Rica Detalles

Estilo: **Forma de T 1/4" NPT-1PCS**

Forma de esquina 1/2" G-2PCS US\$8.99	<b>Forma de T 1/4" NPT-1PCS</b> US\$8.99	Forma de T 1/4" NPT-4PCS US\$11.99
Forma de Y NPT-1 pieza US\$9.59	Forma de Y 1/4" NPT-2PCS US\$10.99	Forma de Y NPT 1/2"-1 pieza US\$8.99
Forma de Y NPT 1/4"-2PCS US\$11.99		

Talla: F1/4xF1/4-M1/4  
 Material: Latón  
 Marca: Joywayus  
 Color: Brass

**US\$8.99**  
 US\$14.92 de envío y depósito de derechos de importación a Costa Rica Detalles

Entrega el **Jueves, Julio 28**  
 O Entrega más rápida el **Martes, Julio 19**

Enviar a: Mar - San Ramon 20201

Disponibles.

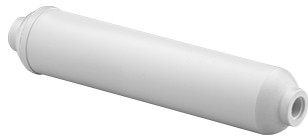
Cantidad: 1

Agregar al Carrito  
 Compra ahora

Transacción segura  
 Enviado por Amazon  
 Vendido por Joywayus

Política de devoluciones:  
 Elegible para devolución, reintegro o sustitución dentro de los 30 días posteriores a la recepción  
 Agregar un recibo de regalo para facilitar las devoluciones

## G.5. Filtro de agua [41].

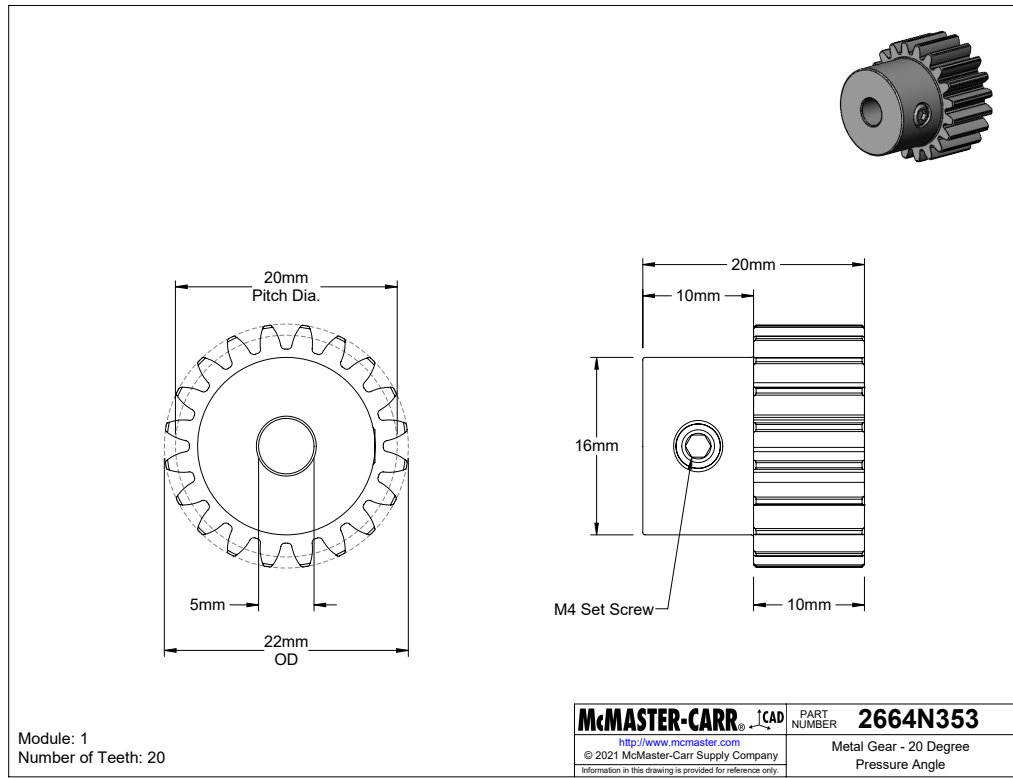


\$15.91 Each  
 In stock  
 44205K22

1 Each  
 ADD TO ORDER

For Use With	Water
For Reducing	Rust, Sediment
Connection Type	Pipe
Pipe Connection Type	Threaded
Pipe Size	1/4
Thread Type	NPT
Gender	Female
Maximum Flow Rate	1 gpm
Maximum Pressure	125 psi
Maximum Temperature	100° F
Removes Particle Size Down To	5 microns
Housing	
Material	Polypropylene Plastic
Clarity	Opaque
Color	White
Overall	
Diameter	2"
Length	10"
Cartridge Included	Yes
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	Not Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Mexico
USMCA Qualifying	No
Schedule B	842121.0000
ECCN	EAR99

G.6. Engranajes [41].



\$15.52 Each

In stock

2664N353

Each

ADD TO ORDER



3-D Solidworks



Download

Learn more about our [Solidworks Add-In](#).

Gear Type	Spur
Pressure Angle	20°
Component	Gear
System of Measurement	Metric
Bore Type	Round
Module	1
Number of Teeth	20
Gear Pitch Diameter	20 mm
OD	22 mm
Face Width	10 mm
Overall Width	20 mm
For Shaft Diameter	5 mm
Material	Black-Oxide 1045 Carbon Steel
Teeth Heat Treatment	Not Hardened
Hub	
Diameter	16 mm
Width	10 mm
Set Screw Thread Size	M4
Includes	Set Screw
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (07/08/2021, 219 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Japan
Schedule B	848340.9000
ECCN	EAR99

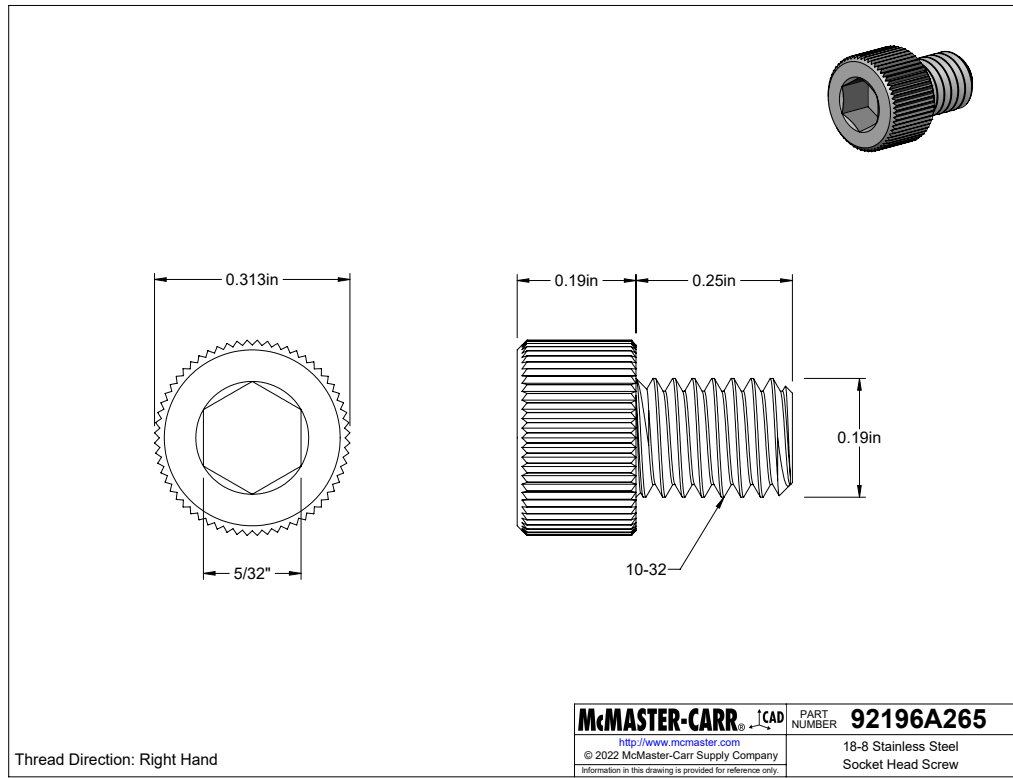
The current industry standard, these 20° pressure angle gears have thicker, stronger teeth than 14½° pressure angle gears. Compared to plastic gears and racks, they're better for high-load, high-speed, and heavy duty applications. Also known as spur gears.

Combine gears with different numbers of teeth to change speed and torque in your assembly. Combine a gear and rack to convert rotary motion into linear motion. To minimize your footprint, mount one or more standard gears inside of an internal gear.

For components to mesh correctly, they must have the same pressure angle and pitch/module.

Carbon steel components have hard, strong, and wear-resistant teeth, although they will rust when exposed to moisture and corrosive chemicals. They're best for high-torque machines, like lifting equipment, and heavy duty applications, such as rock crushing. Gears with teeth that are not hardened can be hardened to fit your application.

G.7. Tornilleria [41].





\$7.10 per pack of 50  
 In stock  
 92196A265

Packs of 50

**ADD TO ORDER**



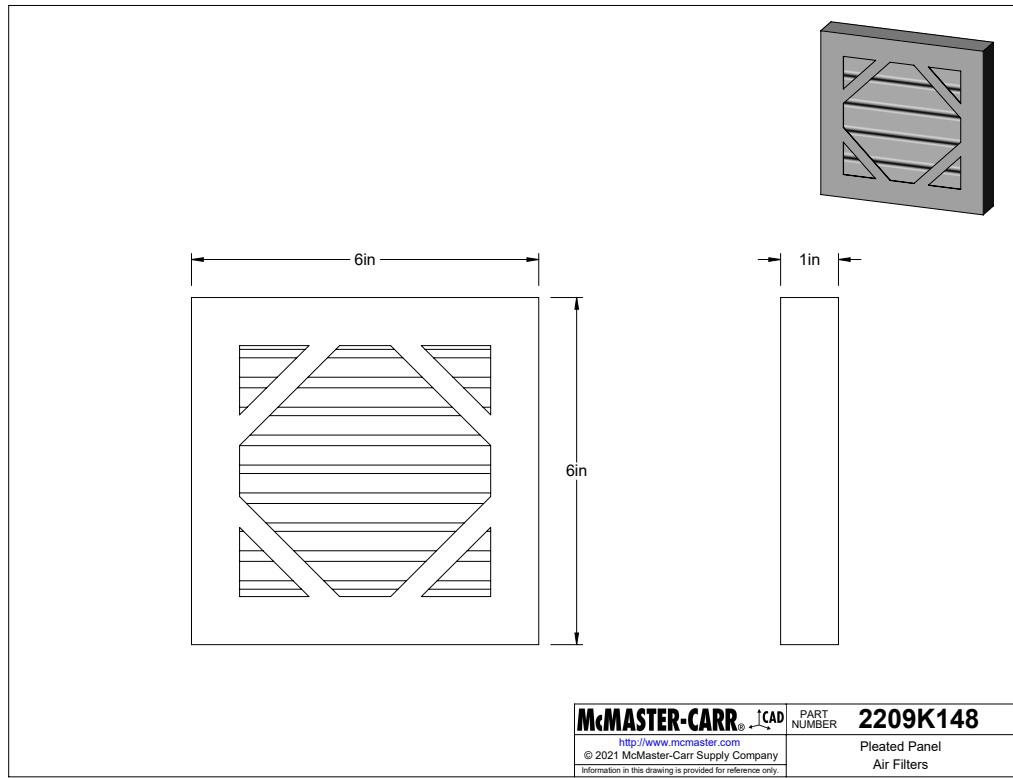
Learn more about our [Solidworks Add-In](#).

Head Type	Socket
Socket Head Profile	Standard
Drive Style	Hex
System of Measurement	Inch
Thread Direction	Right Hand
Thread Size	10-32
Screw Size Decimal Equivalent	0.19"
Thread Type	UNF
Thread Fit	Class 3A
Length	1/4"
Threading	Fully Threaded
Thread Spacing	Fine
Head	
Diameter	5/16"
Height	0.19"
Drive Size	5/32"
Tensile Strength	70,000 psi
Hardness	Rockwell B70
Specifications Met	ASME B18.3
Material	18-8 Stainless Steel
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/17/2022, 223 SVHC) Compliant
DFARS	Not Specialty Metals Compliant
Country of Origin	Taiwan
Schedule B	731815.9000
ECCN	EAR99

Made from 18-8 stainless steel, these screws have good chemical resistance and may be mildly magnetic. Length is measured from under the head. Fine threads are closely spaced to prevent loosening from vibration. They are not compatible with coarse threads.

Screws that meet ASME B1.1, ASME B18.3, ISO 21269, and ISO 4762 (formerly DIN 912) comply with standards for dimensions.

G.8. Filtro de aire [41].



\$21.45 per pack of 2  
 In stock  
 2209K148

Packs of 2

**ADD TO ORDER**



3-D Solidworks

Download

Learn more about our [Solidworks Add-In](#).

Trade Size	6 × 6
Thickness	1"
MERV Filter Rating	9
Filter Efficiency @	
1 Micron	35%
3 Microns	75%
Removes Particle Size Down To	3 microns
Material	Polyethylene Plastic/Polypropylene Plastic Blend
Frame Material	Cardboard
Support Grill Material	Galvanized Steel
Maximum Temperature	150° F
Specifications Met	UL 900
Useful Life	Disposable
Construction	Pleated
Filter Style	Panel
For Removing	Dust and Particles
For Use With	Air
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	Not Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	United States
USMCA Qualifying	No
Schedule B	591190.0080
ECCN	EAR99

The pleats create a large surface area for filtering without reducing airflow. These filters are typically used as replacement filters in HVAC equipment. The cardboard frame is treated to resist humidity, and the galvanized steel grill prevents sagging.

These filters meet UL 900 flame retardance requirements. Actual size is up to 5/8" less than trade size.

Don't see the size you need? [Additional sizes](#) are available.

## Apéndice H

# Memoria de cálculo .

Calculó de la transmisión de calor en la incubadora en las paredes planas de acero y poliuretano:

$$Q = U * A * \Delta T$$
$$Q = 9,26W/m^2 * K * 0,684m^2 * 9,7^{\circ}C$$
$$Q = 61,43W$$

Calculó del coeficiente total de transmisión de calor y la diferencia de temperaturas:

$$U = \frac{1}{R_{total}}$$
$$R_{total} = 2 * \frac{e_{acero}}{K_{acero}} + \frac{e_{poliuretano}}{K_{poliuretano}}$$
$$R_{total} = 2 * \frac{0,0012m}{79,99W/m * K} + \frac{0,03m}{0,2767W/m * K}$$
$$R_{total} = 0,108W/m^2 * K$$

$$U = \frac{1}{R_{total}}$$
$$U = \frac{1}{0,108W/m^2 * K}$$
$$U = 9,26W/m^2 * K$$

$$\Delta T = T_{int} - T_{\infty}$$
$$\Delta T = 37,7^{\circ}C - 28^{\circ}C$$
$$\Delta T = 9,7^{\circ}C$$

Calculó área de la incubadora

$$A = 2(a * b + a * h + b * h)$$
$$A = 2((0,3m * 0,5m) + (0,3m * 0,240m) + (0,5m * 0,240m))$$
$$A = 0,684m^2$$

Calculó transmisión de calor en la incubadora en el vidrio:

$$Q = U * A * \Delta T$$

$$Q = 24,03W/m^2 * K * 0,12m^2 * 9,7^{\circ}C$$

$$Q = 27,97W$$

Calculó área del visor

$$A = b * h$$

$$A = 0,5m * 0,24m$$

$$A = 0,12m^2$$

Calculó del coeficiente total de transmisión de calor y la diferencia de temperaturas:

$$U = \frac{1}{R_{total}}$$

$$R_{total} = \frac{e_{vidrio}}{K_{vidrio}}$$

$$R_{total} = \frac{0,04m}{0,96W/m * K}$$

$$R_{total} = 0,0416W/m^2 * K$$

$$U = \frac{1}{R_{total}}$$

$$U = \frac{1}{0,0416W/m^2 * K}$$

$$U = 24,03W/m^2 * K$$

$$\Delta T = T_{int} - T_{\infty}$$

$$\Delta T = 37,7^{\circ}C - 28^{\circ}C$$

$$\Delta T = 9,7^{\circ}C$$

Calculó área del huevo

$$A_{huevo} = \frac{D_{ancho}}{2} * \frac{D_{largo}}{2} * \pi$$

$$A_{huevo} = \frac{4,65}{2} * \frac{6,5}{2} * \pi$$

$$A_{huevo} = 23,73cm^2$$

NOTA: Cabe mencionar que estos datos se obtuvieron de forma experimental; lo cual evidencia los datos obtenidos a raíz de la literatura, resumidos en apartados anteriores.

Calculó transferencia de calor por unidad de área,

$$\dot{q} = \frac{T_{huevo} - T_{ambiente}}{\frac{1}{H} + \frac{EC}{K}}$$

$$\frac{37,7^{\circ}C - 28^{\circ}C}{\frac{1}{25W/m^2^{\circ}C} + \frac{0,035M}{550W/m^{\circ}C}}$$

$$\dot{q} = 242,11W/m^2$$

Calculó del calor transferido por área de cada huevo,

$$q = \dot{q} * A_{huevo}$$

$$q = 242,11W/m^2 * 0,002384m^2$$

$$q = 0,577W$$

Calculó calor total transferido por los 50 huevos al interior de la incubadora

$$q_{Total} = q * \#huevos$$

$$q_{Total} = 0,577W * 50huevos$$

$$q_{Total} = 28,86W$$

Calculó calor trasferido a 36.7°C,

$$\dot{q} = \frac{T_{huevo} - T_{ambiente}}{\frac{1}{h} + \frac{EC}{K}}$$

$$\dot{q} = \frac{37,7^{\circ}C - 36,7^{\circ}C}{\frac{1}{25W/m^2 * C} + \frac{0,035m}{550W/m * C}}$$

$$\dot{q} = 24,96W/m^2$$

Calculó del calor por área de cada huevo y el calor total

$$q = \dot{q} * A_{huevo}$$

$$q = 24,96,11W/m^2 * 0,002384m^2$$

$$q = 0,059W$$

$$q_{Total} = q * \#huevos$$

$$q_{Total} = 0,059W * 50huevos$$

$$q_{Total} = 2,97W$$

Calculó del calor que sede el huevo

$$Q = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

$$Q = 0,0000038Kg/s * 1,007KJ/kg * K * 9,7^{\circ}C$$

$$Q = 0,000037KJ/s \approx 0,037W$$

El flujo másico y el calor específico para el aire y el huevo, se obtienen de tablas termodinámicas (ver anexo C)

Calculó balance de masa

$$Q_{huevo} = Q_{aire}$$

$$\dot{m}h * C_p h * \Delta T h = \dot{m}h * C_p a * \Delta T a$$

$$\dot{m}h * C_p h * \Delta T h = 0,000037kJ/s$$

$$\dot{m}h * 38,84KJ/kg = 0,000037kJ/s$$

$$\dot{m}h = 9,53x10^{-7}Kg/s$$

Calculó entalpía específica

$$\begin{aligned}\Delta h &= [\Delta h_c - \Delta h_p] \\ \Delta h &= [109,5 - 68,6Kj/kg] \\ \Delta h &= 40,9KJ/kg\end{aligned}$$

Calculó del volumen de la estructura

$$\begin{aligned}V &= a * b * h \\ V &= 0,5m * 0,3m * 0,240m \\ V &= 0,036m^3\end{aligned}$$

Calculó del volumen de la estructura por unidad de masa

$$\begin{aligned}\dot{V} &= V * \rho \\ \dot{V} &= 0,036m^3 * 1,140Kg/m^3 \\ \dot{V} &= 0,041Kg\end{aligned}$$

Calculó del aire dentro de la incubadora para cumplir en cambiar 8 veces al día, por lo que a continuación se obtiene el caudal dentro de la incubadora y la energía que se debe adicionar a la masa trabajada

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= V * 8 \\ \dot{Q} &= 0,036m^3 * 8 \\ \dot{Q} &= 0,288m^3/día\end{aligned}$$

Calculó caudal por hora

$$\begin{aligned}\dot{Q}_h &= \dot{Q}/24h \\ \dot{Q}_h &= \frac{0,288m^3}{24horas} \\ \dot{Q}_h &= 0,012m^3/h\end{aligned}$$

Calculó del flujo másico en la incubadora.

$$\begin{aligned}\dot{m}_h &= \dot{Q} * \rho \\ \dot{Q}_h &= 0,012m^3/hora * 1,140Kg/m^3 \\ \dot{Q}_h &= 0,014Kg/h \approx 0,0000038Kg/s\end{aligned}$$

Calculó del área de flujo en la incubadora

$$\begin{aligned}s &= \pi * r^2 \\ s &= \pi * (0,075m)^2 \\ s &= 0,0176m^2\end{aligned}$$

Calculó de la velocidad del flujo

$$v = Q/s$$

$$v = \frac{0,012m^3/h}{0,0176m^2}$$

$$v = 0,68m/h$$

Calculó del área del agujero

$$r = \sqrt{\frac{Q}{v * \pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0,012m^3/h}{0,68m/h * \pi}}$$

$$r = 0,075m$$

$$D = 2 * r = 2 * 0,075m = 0,150m \approx 150mm$$

Cálculo de la densidad del aire a la temperatura y presión deseada

$$\rho = \rho_o * \frac{T_o}{T} * \frac{P}{P_o}$$

$$\rho = 1,140 * \frac{273,15}{301,15} * \frac{101000}{101325}$$

$$\rho = 1,03kg/m^3$$

Cálculo cantidad de masa de aire por unidad de tiempo

$$\dot{m} = \rho * Q$$

$$\dot{m} = 1,03kg/m^3 * 0,0589m^3/s$$

$$\dot{m} = 0,061kg/s$$

Cálculo cantidad de potencia que se necesita para calentar la incubadora

$$\dot{q} = \dot{m} * Cp * (T_1 - T)$$

$$\dot{q} = 0,061kg/s * 1005J/kg * K * (310,85 - 301,15)K$$

$$\dot{q} = 594,66W$$

Cálculo de la masa de aire dentro de la incubadora

$$m = V * \rho$$

$$m = 0,036m^3 * 1,03kg/m^3$$

$$m = 0,038kg$$

Cálculo velocidad del aire dentro de la ventilador

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0,0589}{0,016}$$

$$v = 3,39m/s$$



Cálculo viscosidad cinemática para la presión deseada

$$\begin{aligned}\mu_{\infty} &= \mu * \frac{Po}{P} \\ \mu_{\infty} &= 16,86 * 10^{-6} * \frac{101325}{101000} \\ \mu_{\infty} &= 1,6 * 10^{-5} m^2/s\end{aligned}$$

Cálculo del número de Reynolds del aire:

$$\begin{aligned}Re &= \frac{v * L}{\mu_{\infty}} \\ Re &= \frac{3,39 M/S * 0,3 m}{1,6 * 10^{-5} m^2/s} \\ Re &= 63562,5\end{aligned}$$

Cálculo del número de Nusselt relacionado al flujo de aire que se encuentra en el interior de la incubadora

$$\begin{aligned}Nu_x &= St * Re * Pr \\ Nu_x &= 0,0296 * Re^{\frac{4}{5}} * Pr^{\frac{1}{2}} \\ Nu_x &= 0,0296 * 63562,5^{\frac{4}{5}} * 0,7056^{\frac{1}{2}} \\ Nu_x &= 173,03\end{aligned}$$

Cálculo coeficiente de convección forzada del aire dentro de la incubadora

$$\begin{aligned}h_c &= \frac{Nu_x * k}{L} \\ h_c &= \frac{173,03 * 0,02717}{0,3} \\ h_c &= 15,66 W/m^2 * k\end{aligned}$$

Cálculo coeficiente de radiación en el exterior de la incubadora asumiendo una temperatura en la pared exterior  $T_s$  de 300 grados Kelvin

$$\begin{aligned}h_r &= \varepsilon * \sigma * (T_s + T_{out,\infty}) * (T_s^2 + T_{out,\infty}^2) \\ h_r &= 0,08 * 5,67 * 10^{-8} * (300 + 301,15) * (300^2 + 301,15^2) \\ h_r &= 0,492 W/m^2 * k\end{aligned}$$

Calculó de la temperatura de la pared exterior

$$\begin{aligned}T_{ext} &= \frac{T_{int,\infty} + (\frac{1}{h_c} + \frac{2*L_1}{K_1*A} + \frac{L_2}{K_2*A}) * (h_a * A + h_r * A) * (T_{out,\infty})}{1 + (\frac{1}{h_c} + \frac{2*L_1}{K_1*A} + \frac{L_2}{K_2*A}) * (h_a * A + h_r * A)} \\ T_{ext} &= \frac{310,85 + (\frac{1}{15,66} + \frac{2*0,0012}{79,99} + \frac{0,04}{0,2767}) * (2 + 0,492) * (301,15)}{1 + (\frac{1}{15,66} + \frac{2*0,0012}{79,99} + \frac{0,04}{0,2767}) * (2 + 0,492)} \\ T_{ext} &= 307,53 K\end{aligned}$$

Calculó la humedad específica para aire húmedo

$$W_2 = \frac{0,622 * P_{g2}}{P_2 - P_{g2}}$$

$$W_2 = \frac{0,622 * 4,13919}{101 - 4,13919}$$

$$W_2 = 0,0265 \frac{kgH_2O}{kgaireseco}$$

Calculó la humedad específica para aire seco.

$$W_1 = \frac{C_p * (T_2 - T_1) + W_2 * h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}}$$

$$W_1 = \frac{1,005 * (28 - 37,5) + 0,0265 * 2430,99}{2568,16 - 123,649}$$

$$W_1 = 0,0224 \frac{kgH_2O}{kgaireseco}$$

Calculó de la humedad relativa del aire.

$$\phi = \frac{W_1 * P_2}{(0,622 + W_1) * P_{g1}}$$

$$\phi = \frac{0,0224 * 101}{(0,622 + 0,0224) * 5,9803}$$

$$\phi = 0,59 * 100 \% = 59 \%$$

Calculó de potencia requerida en función del arreglo de módulos solares,

$$P_{MS} = \frac{P_{SF}}{R}$$

$$P_{MS} = \frac{18}{20,5}$$

$$P_{MS} = 0,880kWp$$

Con el valor del  $P_{MS}$  se procede a calcular la cantidad de paneles solares que se necesitan para generar el rendimiento esperado,

$$Número_{paneles} = \frac{P_{MS}}{Potencia_{instantánea}}$$

$$Número_{paneles} = \frac{0,880}{0,415}$$

$$Número_{paneles} = 2,12 \approx 2$$

Calculó del banco de baterías, conociendo la energía requerida, el voltaje de las baterías, la energía por batería y el porcentaje de profundidad de descarga permitido,

$$C = \frac{E}{V_B * P_D} = \frac{12000}{12 * 0,70} = 1428,57A_h \quad (H.1)$$

$$Cantidad\_baterias = \frac{1428,57}{150}$$

$$Cantidad\_baterias = 9,5 \approx 10$$

Calculó de la conductividad térmica para la pared compuesta (ver figura H.1), para ello se emplea la ecuación H.2

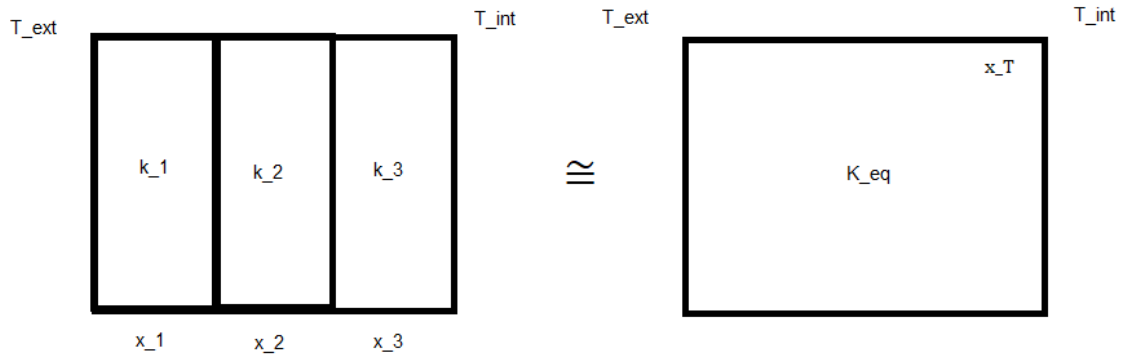


Figura H.1: Pared compuesta:  $K_{eq}$ .

$$K_{eq} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3}} \quad (H.2)$$

$$K_{eq} = \frac{2 * x_{acero} + x_{poliuretano}}{2 * \frac{x_{acero}}{k_{acero}} + \frac{x_{poliuretano}}{k_{poliuretano}}}$$

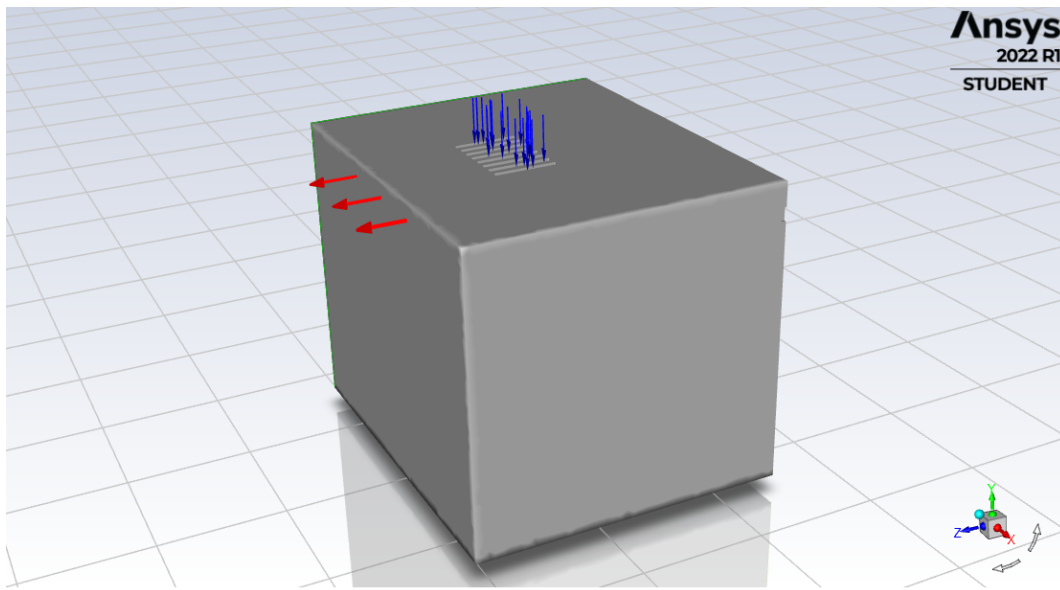
$$K_{eq} = \frac{2 * 0,0012 + 0,03}{2 * \frac{0,0012}{79,99} + \frac{0,03}{0,2767}}$$

$$K_{eq} = 0,299W/m * K$$

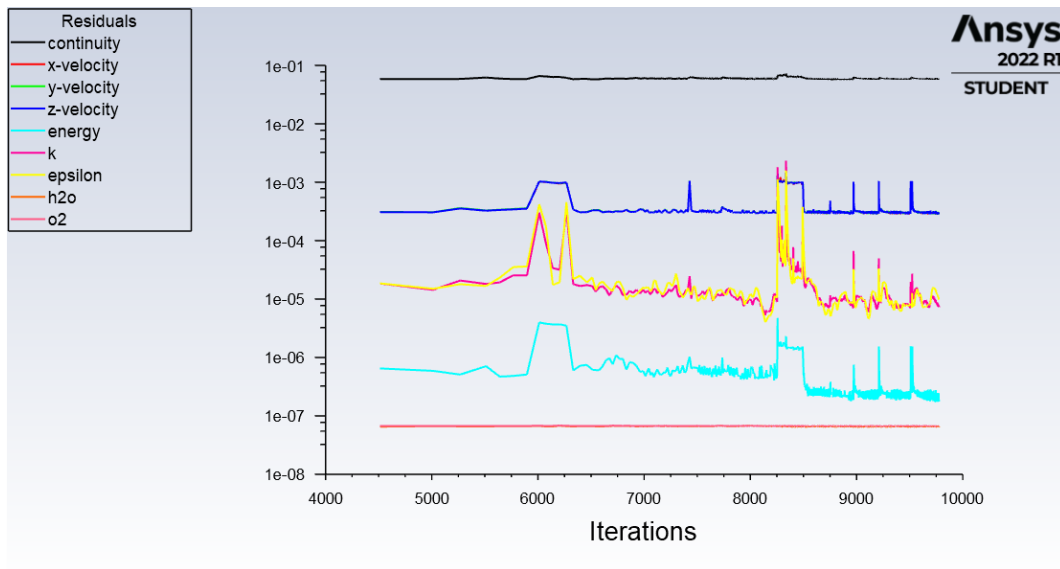
# Apéndice I

## Análisis Ansys

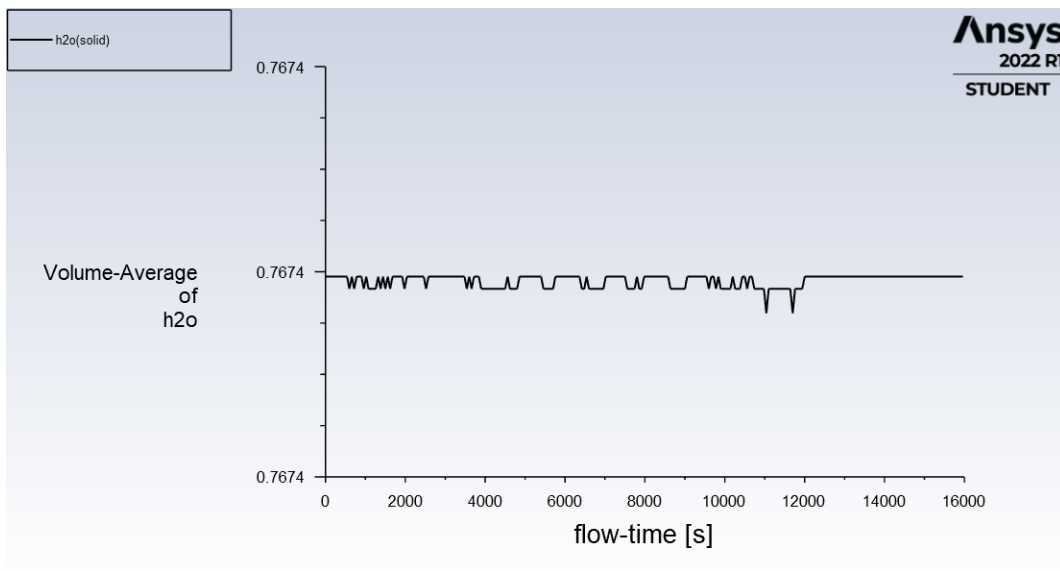
### I.1. Entradas y salidas de la estructura



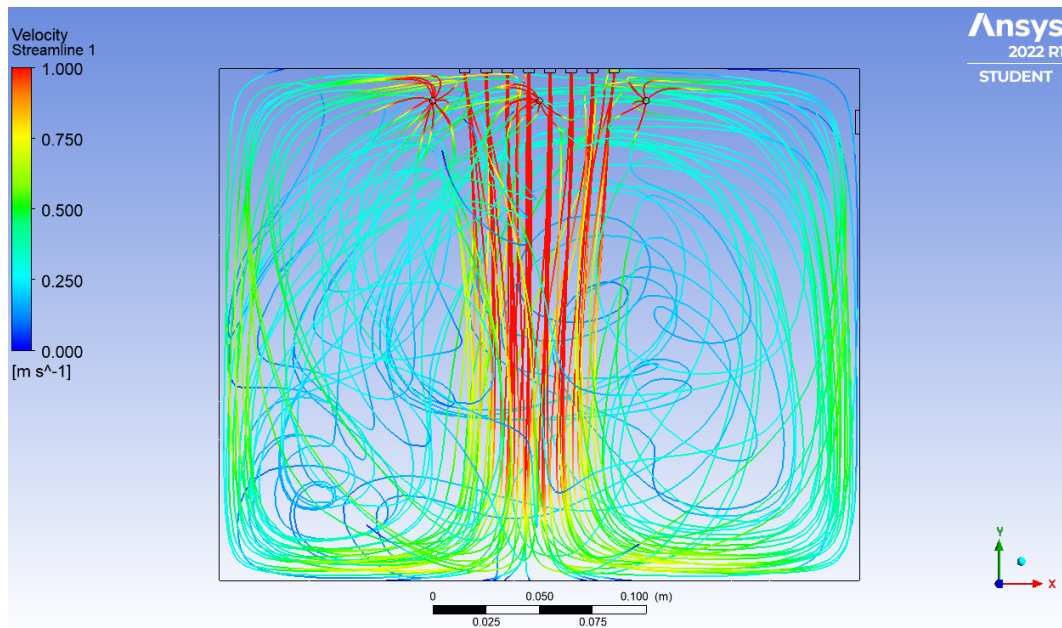
## I.2. Escala de residuos de la simulación en Ansys



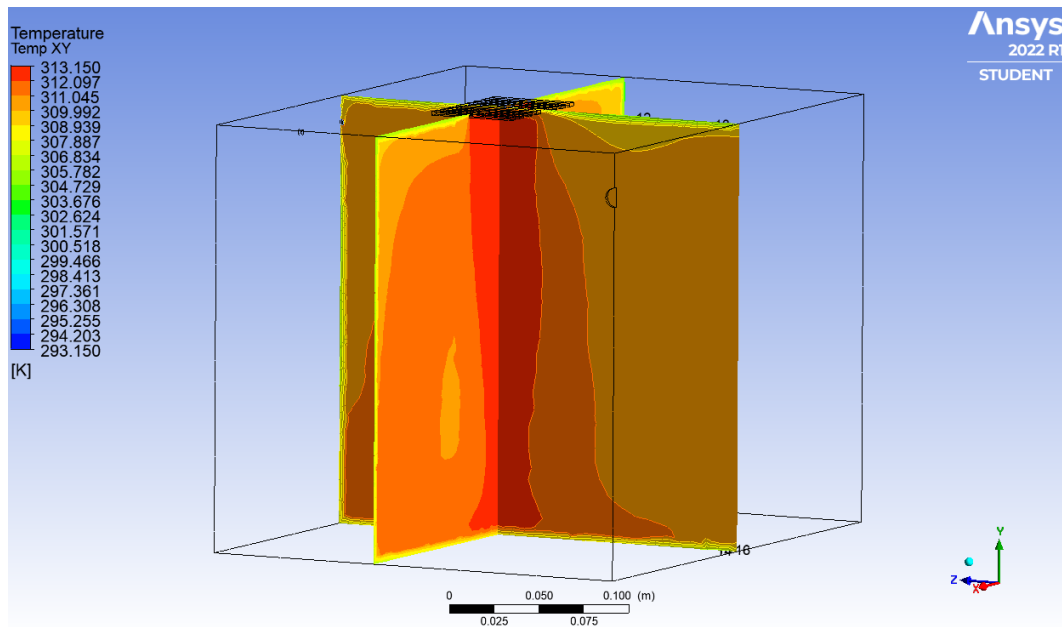
## I.3. Volumen promedio del agua en la simulación



### I.4. Línea de trabajo de la velocidad dentro de la incubadora



### I.5. Vista del comportamiento de la temperatura en el plano XY



## Apéndice J

# Muestra de Código de Programación

```

#include <dht.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include "SCD30.h"
#include <EEPROM.h>

#if defined(ARDUINO_ARCH_AVR)
    #pragma message("Defined architecture for ARDUINO_ARCH_AVR.")
    #define SERIAL Serial
#elif defined(ARDUINO_ARCH_SAM)
    #pragma message("Defined architecture for ARDUINO_ARCH_SAM.")
    #define SERIAL SerialUSB
#elif defined(ARDUINO_ARCH_SAMD)
    #pragma message("Defined architecture for ARDUINO_ARCH_SAMD.")
    #define SERIAL SerialUSB
#elif defined(ARDUINO_ARCH_STM32F4)
    #pragma message("Defined architecture for ARDUINO_ARCH_STM32F4.")
    #define SERIAL SerialUSB
#else
    #pragma message("Not found any architecture.")
    #define SERIAL Serial
#endif

dht DHT;

//Constants
#define DHT22_PIN 2 // DHT 22 (AM2302) - pin used for DHT22
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // set the LCD address to 0x27
after finding it from serial monitor (see comment above) for a 16
chars and 2 line display

//Variables
float hum; //Stores humidity value
float temp; //Stores temperature value

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    lcd.init(); // initialize the lcd
    // Print a message to the LCD.
    lcd.backlight();
    lcd.setBacklight(HIGH);
}

void loop()

```



```

{
    int chk = DHT.read22(DHT22_PIN);
    //Read data and store it to variables hum and temp
    hum = DHT.humidity;
    temp= DHT.temperature;
    //Print temp and humidity values to LCD
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Humidity: ");
    lcd.print(hum);
    lcd.print("%");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Temp: ");
    lcd.print(temp);
    lcd.println("Celcius");
    delay(2000); //Delay 2 sec between temperature/humidity check.
}

const int EN=2;          //ENABLE PIN
const int Step=3;       // STEP PIN
const int dir=4;        // DIRECTION PIN

void setup()
{
    pinMode(EN,OUTPUT);    // ENABLE AS OUTPUT
    pinMode(dir,OUTPUT);  // DIRECTION AS OUTPUT
    pinMode(Step,OUTPUT); // STEP AS OUTPUT
    digitalWrite(EN,LOW); // SET ENABLE TO LOW
}

void loop()
{
    digitalWrite(dir,LOW); // SET DIRECTION LOW FOR FORWARD
    ROTATION
    for(int x = 0; x < 1000; x++) // LOOP 1000 TIMES FOR 1000 RISING
    EDGE ON STEP PIN
    {
        digitalWrite(Step,HIGH); // STEP HIGH
        delay(1);                // WAIT
        digitalWrite(Step,LOW);  // STEP LOW
        delay(1);                // WAIT
    }
}

```

```

    }
    delay(10); // DELAY BEFOR SWITCH DIRECTION
    digitalWrite(dir,HIGH); // SET DIRECTION HIGH FOR BACKWARD
    ROTATION
    for(int x = 0; x < 1000; x++) // LOOP 1000 TIMES FOR 1000 RISING
    EDGE ON STEP PIN
    {
        digitalWrite(Step,HIGH); // STEP HIGH
        delay(1); // WAIT
        digitalWrite(Step,LOW); // STEP LOW
        delay(1); // WAIT
    }
    delay(10); // DELAY BEFOR SWITCH DIRECTION
}

```

```

void setup()
{
    Wire.begin();
    SERIAL.begin(115200);
    SERIAL.println("SCD30 Raw Data");
    scd30.initialize();
}

```

```

void loop()
{
    float result[3] = {0};

    if(scd30.isAvailable())
    {
        scd30.getCarbonDioxideConcentration(result);
        SERIAL.print("Carbon Dioxide Concentration is: ");
        SERIAL.print(result[0]);
        SERIAL.println(" ppm");
        SERIAL.println(" ");
        SERIAL.print("Temperature = ");
        SERIAL.print(result[1]);
        SERIAL.println(" °C");
        SERIAL.println(" ");
        SERIAL.print("Humidity = ");
        SERIAL.print(result[2]);
        SERIAL.println(" %");
        SERIAL.println(" ");
        SERIAL.println(" ");
    }
}

```

```

        SERIAL.println(" ");
    }

    delay(2000);
}

int solenoidPin = 4; //This is the output pin on the Arduino we are
using

void setup() {
// put your setup code here, to run once:
pinMode(solenoidPin, OUTPUT); //Sets the pin as an output
}

void loop() {
// put your main code here, to run repeatedly:
digitalWrite(solenoidPin, HIGH); //Switch Solenoid ON
delay(1000); //Wait 1 Second
digitalWrite(solenoidPin, LOW); //Switch Solenoid OFF
delay(1000); //Wait 1 Second
}

#define FAN_PIN 3;
#define FS_ADDR 0x01
int fanSpeed;
void setup() {
// put your setup code here, to run once:
pinMode(3, OUTPUT);
EEPROM.get(FS_ADDR, fanSpeed);
if(fanSpeed < 1) fanSpeed = 255;
analogWrite(FAN_PIN, fanSpeed);
Serial.begin(9600);
}
char rx_byte = 0;
String input = "";
void loop() {
    if (Serial.available() > 0) { // is a character available?
        rx_byte = Serial.read(); // get the character
    }
}

```

```
// check if a number was received
if ((rx_byte >= '0') && (rx_byte <= '9')) {
    input.concat(rx_byte);
}
else if (rx_byte == '\n') {
    Serial.print("Received: ");
    Serial.println(input);
    if(input.toInt() < 256) {
        fanSpeed = input.toInt();
        EEPROM.put(FS_ADDR, fanSpeed);
    } else {
        Serial.println("Invalid Number");
    }
    input = "";
}
else {
    Serial.println("Not a number.");
}
} // end: if (Serial.available() > 0)
analogWrite(FAN_PIN, fanSpeed);
}
```

## Apéndice K

# Precio de los materiales

Cuadro K.1: Precios del equipo

Componente	Cantidad	Costo (\$)
Componentes electrónicos		
Placa Arduino	1	34.29
Sensores de temperatura y humedad	3	31.05
Interruptor de contacto	2	13.98
Cables de cobre UTP	1	6.98
Consola LCD	1	95.89
Set de resistencias	1	11.99
Protoboard	1	12.99
Sensor de calidad de aire	1	12.80
Anemómetro digital	1	472.48
Válvula solenoide	1	124
Motor DC	1	65
Ventilador	1	82.30
Calentador	1	155.52
Sistema panel solar		
Paneles solares (CS3W-415P Hiku)	2	468
Baterías (Ultracell UCG150-12)	10	2670
Inversor trifásico (Fronius Symo 3.0-3-S)	1	1862
Inversor bidireccional (Infinisolar 2KW)	1	4068
Materiales de fabricación		
Acero inoxidable 304 (1000mmx3000mx1mm)	1	60
Poliuretano	2	37.56
Vidrio	1	40
Otros componentes		
Tornillería	1	4.15
Cables	1	20
Adaptador USB	2	13.06
Punta dispersora de agua	1	15.16
Válvula de alivio	1	179.3
Manómetro	1	25
Filtro de agua	1	16
Engranajes	2	31
Mordaza	2	20
Mordaza Bearing (Cojinete)	2	20
Filtro de aire	1	21.4
Soporte DC	1	10
Bandeja porta huevos	1	25
<b>Total con paneles</b>		<b>\$ 10724.9</b>
<b>Total sin paneles</b>		<b>\$ 1656.9</b>