



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE**  
**INCUBADORA CON SUPERVISIÓN INTELIGENTE PARA LA**  
**ECLOSIÓN DE HUEVOS.”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: DISPOSITIVO TECNOLÓGICO**  
Presentado para optar al grado académico de:  
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**AUTOR: RAMÓN MALDONADO ÁNGEL ANDRÉS**  
**TUTOR: ING. JOSÉ LUIS MORALES**

Riobamba – Ecuador

2019

©2019, Ángel Andrés Ramón Maldonado.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

-

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que la propuesta tecnológica “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE INCUBADORA CON SUPERVISIÓN INTELIGENTE PARA LA ECLOSIÓN DE HUEVOS.”, de responsabilidad del señor Ángel Andrés Ramón Maldonado, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Washington Luna E. <b>DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA</b>	_____	_____
Ing. Freddy Chávez V. <b>DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES</b>	_____	_____
Ing. José Luis Morales G. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
Ing. Freddy Chávez V. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____

Yo, Ángel Andrés Ramón Maldonado. Soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ángel Andrés Ramón Maldonado.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado agradezco a Dios por ser mi guía y acompañante en el transcurso de mi vida universitaria, brindándome su bendición y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres Andrés y Nancy por brindarme todo su apoyo y esfuerzo durante estos últimos años, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron. A mi abuelita Amelia por brindarme sus consejos y apoyarme siempre, mi hermana Belén por brindarme su carisma y entusiasmo a culminar una etapa más en mi vida, A mis amigos por todo el apoyo y buenos momentos que pasamos.

De igual forma agradezco a mi director de tesis Ing. José Luis Morales que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Incubadoras.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.1. Manuales.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.2. Semiautomáticas.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.3. Automáticas.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2. Aves Domésticas.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.1. Producto de incubación.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3. Manejo de la Incubación.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.1. Factores fundamentales de una incubadora.....</b>	<b>12</b>
<b>1.4. Partes Fundamentales de una incubadora.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4.1. Control de temperatura y humedad.....</b>	<b>14</b>
1.4.1.1. Sensor DHT.....	14
1.4.1.2. Sensor SHT.....	15
1.4.1.3. Sensor LM35.....	16
1.4.1.4. Comparación de los sensores.....	16
<b>1.4.2. Control de movimientos.....</b>	<b>17</b>
<b>1.4.3. Ventilación.....</b>	<b>17</b>
1.4.3.1. Ventilación estática.....	18
1.4.3.2. Ventilación forzada.....	18
<b>1.4.4. Estructura.....</b>	<b>19</b>

<b>1.4.5.</b>	<b><i>Tarjetas de desarrollo</i></b> .....	<b>20</b>
1.4.5.1.	<i>Tarjeta microcontroladora Arduino</i> .....	20
1.4.5.2.	<i>Raspberry Pi</i> .....	21
1.4.5.2.	<i>Intel Galileo</i> .....	22
1.4.5.3.	<i>Tabla comparativa</i> .....	23
<b>1.4.6.</b>	<b><i>Motores y Servomotores</i></b> .....	<b>23</b>
<b>1.5.</b>	<b>Entornos de Programación</b> .....	<b>23</b>
1.5.1.	<i>Matlab</i> .....	24
1.5.2.	<i>Python</i> .....	24
1.5.3.	<i>OPEN CV</i> .....	25
<b>1.6.</b>	<b>Procesamiento de imágenes</b> .....	<b>25</b>
1.6.1.	<i>Algoritmo SIFT</i> .....	25
1.6.2.	<i>Algoritmo SURF</i> .....	27
 <b>CAPITULO II</b>		
<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>29</b>
2.1.	<b>Requerimientos del sistema</b> .....	<b>29</b>
2.1.1.	<i>Concepción del prototipo del sistema de incubación</i> .....	29
2.1.2.	<i>Diseño de la arquitectura del prototipo</i> .....	31
2.1.3.	<i>Selección del hardware que conforma el prototipo</i> .....	32
2.1.3.1.	<i>Arduino Mega 2560</i> .....	32
2.1.3.2.	<i>Raspberry Pi 3 Modelo B+</i> .....	33
2.1.3.3.	<i>Sensor de humedad y temperatura</i> .....	34
2.1.3.4.	<i>PCA9685</i> .....	34
2.1.3.5.	<i>Módulo l298N puente H L298</i> .....	35
2.1.3.6.	<i>Servomotor SG90</i> .....	36
2.1.3.7.	<i>Sensor de nivel de agua Analógico</i> .....	36

2.1.3.8.	<i>Motorreductor</i>	37
2.1.3.9.	<i>Sensor ultrasónico</i>	38
2.1.3.10.	<i>Mini bomba de agua sumergible</i>	39
<b>2.2.</b>	<b>Esquema de conexión electrónica del prototipo de incubadora artificial</b>	<b>39</b>
<b>2.2.1.</b>	<b><i>Conexiones de los Sensores Ultrasónicos</i></b>	<b>40</b>
<b>2.2.2.</b>	<b><i>Conexiones de los motorreductores</i></b>	<b>40</b>
<b>2.2.3.</b>	<b><i>Conexiones adicionales</i></b>	<b>42</b>
<b>2.3.</b>	<b>Software conformado por el prototipo</b>	<b>43</b>
<b>2.3.1.</b>	<b><i>Software Arduino Ide 1.8.1</i></b>	<b>43</b>
<b>2.3.2.</b>	<b><i>Software Python</i></b>	<b>44</b>
<b>2.4.</b>	<b>Diagramas de Flujo</b>	<b>44</b>
<b>2.4.1.</b>	<b><i>Control de movimiento de los huevos</i></b>	<b>45</b>
<b>2.4.2.</b>	<b><i>Supervisión Inteligente del prototipo de incubación</i></b>	<b>48</b>
<b>2.5.</b>	<b>Interfaz de usuario del sistema de incubación</b>	<b>52</b>
<b>2.6.</b>	<b>Diseño mecánico del prototipo</b>	<b>53</b>
<b>2.6.1.</b>	<b><i>Características finales de la incubadora</i></b>	<b>53</b>
<b>2.6.2.</b>	<b><i>Montaje</i></b>	<b>54</b>
2.6.2.1.	<i>Carcasa de la incubadora</i>	57
 <b>CAPITULO III</b>		
<b>3.</b>	<b>VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO</b>	<b>60</b>
<b>3.1.</b>	<b>Características del prototipo de incubadora</b>	<b>60</b>
<b>3.1.1.</b>	<b><i>Pruebas de medición de temperatura</i></b>	<b>60</b>
<b>3.1.2.</b>	<b><i>Pruebas de medición de Humedad</i></b>	<b>62</b>
<b>3.1.3.</b>	<b><i>Pruebas de medición de Giro</i></b>	<b>63</b>
3.1.3.1.	<i>Pruebas de giro sin huevos</i>	63
3.1.3.2.	<i>Pruebas de giro con huevos</i>	64

<b>3.2.</b>	<b>Pruebas de Funcionamiento</b>	<b>65</b>
<b>3.2.1.</b>	<b><i>Calibración del sistema de incubación</i></b>	<b>65</b>
3.2.1.1.	<i>Calibración de los motores de movimiento</i>	66
3.2.1.2.	<i>Calibración de los servomotores</i>	66
3.2.1.3.	<i>Calibración de los motorreductores</i>	66
3.2.1.4.	<i>Calibración de la temperatura con respecto a la humedad</i>	66
<b>3.2.2.</b>	<b><i>Caracterización de las condiciones de la incubadora</i></b>	<b>67</b>
3.2.2.1.	<i>Caracterización de la humedad relativa</i>	67
3.2.2.2.	<i>Caracterización de los movimientos de las pinzas sujetadoras</i>	68
3.2.2.3.	<i>Caracterización del control de visión artificial</i>	68
<b>3.2.3.</b>	<b><i>Implementación del algoritmo de detección, descripción y segmentación</i></b>	<b>69</b>
<b>3.3.</b>	<b>Pruebas de incubación</b>	<b>69</b>
<b>3.3.1.</b>	<b><i>Características del sistema de incubación</i></b>	<b>70</b>
<b>3.3.2.</b>	<b><i>Análisis de los huevos en el transcurso de la incubación</i></b>	<b>72</b>
<b>3.4.</b>	<b>Pruebas de energía</b>	<b>75</b>
<b>3.5.</b>	<b>Análisis económico</b>	<b>76</b>
<b>3.6.</b>	<b>Funcionamiento de la interfaz</b>	<b>76</b>
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>77</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>78</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Número de granjas avícolas en Ecuador por condición de integración.....	6
<b>Tabla 2-1:</b>	Resultados del censo de huevos comerciales.....	11
<b>Tabla 3-1:</b>	Cantidad total de productores avícolas por regiones en Ecuador.....	11
<b>Tabla 4-1:</b>	Duración del período de incubación en aves domésticas.....	12
<b>Tabla 5-1:</b>	Valores estimados para la humedad relativa en las incubadoras.....	13
<b>Tabla 6-1:</b>	Descripción de los sensores DHT11, SHT3x, LM35.....	16
<b>Tabla 7-1:</b>	Características de las tarjetas de desarrollo.....	23
<b>Tabla 8-1:</b>	Tabla comparativa de motores de desplazamiento.....	23
<b>Tabla 1-2:</b>	Conexión de sensores ultrasónicos.....	40
<b>Tabla 2-2:</b>	Conexión de Motorreductores.....	41
<b>Tabla 3-2:</b>	Conexiones adicionales en el Arduino Mega 2560.....	42
<b>Tabla 4-2:</b>	Características principales de la incubadora artificial.....	53
<b>Tabla 5-2:</b>	Dimensiones estimadas y reales en la estructura de sujeción.....	54
<b>Tabla 6-2:</b>	Dimensiones estimadas y reales en la estructura de sujeción.....	56
<b>Tabla 7-2:</b>	Valores estimados en el ensamblaje de la estructura externa de la incubadora.....	58
<b>Tabla 1-3:</b>	Mediciones de temperatura.....	62
<b>Tabla 2-3:</b>	Mediciones de Humedad.....	62
<b>Tabla 3-3:</b>	Mediciones de ángulos de inclinación sin huevos.....	64
<b>Tabla 4-3:</b>	Mediciones de ángulos de inclinación con huevos.....	65
<b>Tabla 5-3:</b>	Humedad relativa de acuerdo a los parámetros de temperatura y área.....	67
<b>Tabla 6-3:</b>	Posición de las pinzas sujetadoras de cada huevo.....	68
<b>Tabla 7-3:</b>	Temperaturas medidas en el periodo de incubación.....	69
<b>Tabla 8-3:</b>	Temperaturas medidas en el periodo de incubación (19-21 días).....	71
<b>Tabla 9-3:</b>	Pesos iniciales y finales de cada huevo.....	73
<b>Tabla 10-3:</b>	Mortalidad estimada de acuerdo a las eclosiones favorables.....	74
<b>Tabla 11-3:</b>	Valores de voltaje, corriente y potencia de los elementos en la incubadora.....	75
<b>Tabla 12-3:</b>	Costo final estimado del prototipo.....	76

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1-2:</b>	Curva de reacción de la planta con el controlador de temperatura.....	45
<b>Gráfica 2-2:</b>	Curva de reacción de la planta con el controlador de humedad.....	46
<b>Gráfico 1-3:</b>	Variación de la temperatura en el transcurso del día.....	70
<b>Gráfico 2-3:</b>	Variación de la temperatura durante los primeros 18 días.....	71
<b>Gráfico 3-3:</b>	Comparación gráfica de cada uno de los pesos.....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Incubadora de huevos automática.....	7
<b>Figura 2-1:</b>	Modelo básico de una incubadora manual.....	8
<b>Figura 3-1:</b>	Modelo del Sistema de incubación semiautomático.....	8
<b>Figura 4-1:</b>	Incubadora industrial Maru Max 380 automática.....	9
<b>Figura 5-1:</b>	Sensor DHT11.....	15
<b>Figura 6-1:</b>	Sensor SHT3x.....	15
<b>Figura 7-1:</b>	Sensor LM35.....	16
<b>Figura 8-1:</b>	Bandeja mecánica controladora del movimiento de los huevos.....	17
<b>Figura 9-1:</b>	Principio de ventilación estática.....	18
<b>Figura 10-1:</b>	Principio de ventilación forzada.....	19
<b>Figura 11-1:</b>	Estructura básica de una incubadora de huevos automática.....	20
<b>Figura 12-1:</b>	Arduino mega (1), Arduino Leonardo (2), Arduino uno (3), Arduino nano (4).....	21
<b>Figura 13-1:</b>	Microcontrolador Raspberry Pi.....	22
<b>Figura 14-1:</b>	Tarjeta Intel Galileo.....	22
<b>Figura 15-1:</b>	Diferencia Gaussiana, pirámide de escala de David Lowe.....	26
<b>Figura 16-1:</b>	Gradientes en la ventana Gaussiana e Histograma de puntos.....	27
<b>Figura 17-1:</b>	Espacio escala mediante SIFT (izq.) y SURF (dcha.).....	28
<b>Figura 1-2:</b>	Esquema general del sistema de incubación.....	30
<b>Figura 2-2:</b>	Esquema del principio de funcionamiento del sistema.....	32
<b>Figura 3-2:</b>	Microprocesador Arduino Mega2560.....	32
<b>Figura 4-2:</b>	Microprocesador Raspberry Pi3 B+.....	33
<b>Figura 5-2:</b>	Sensor DHT 11 con sus respectivos puertos.....	34
<b>Figura 6-2:</b>	Módulo PCA9685.....	35
<b>Figura 7-2:</b>	Driver puente H L298N.....	35
<b>Figura 8-2:</b>	Micro servo motor SG90.....	36
<b>Figura 9-2:</b>	Sensor de nivel de agua analógico.....	37
<b>Figura 10-2:</b>	Motorreductor.....	38
<b>Figura 11-2:</b>	Sensor ultrasónico.....	38
<b>Figura 12-2:</b>	Mini bomba de agua sumergible.....	39
<b>Figura 13-2:</b>	Conexión del sistema de control de movimiento y nivel de la pinza.....	41
<b>Figura 14-2:</b>	Conexión del sistema de control de temperatura.....	42
<b>Figura 15-2:</b>	Conexión implementada del sistema de incubación.....	43
<b>Figura 16-2:</b>	Diagrama de flujo encargado del movimiento de los huevos.....	46

<b>Figura 17-2:</b>	Esquema general de los parámetros de la incubadora.....	47
<b>Figura 18-2:</b>	Diagrama para la detección de movimiento en la incubadora.....	49
<b>Figura 19-2:</b>	Diagrama de flujo de segmentación por colores.....	50
<b>Figura 20-2:</b>	Interfaz de usuario del sistema de supervisión de la incubadora.....	52
<b>Figura 21-2:</b>	Ensamblaje de la estructura encargada de la sujeción de huevos.....	54
<b>Figura 22-2:</b>	Servomotor sujetado a la pinza sujetadora de huevos.....	55
<b>Figura 23-2:</b>	Estructura de sujeción y manipulación de huevos.....	56
<b>Figura 24-2:</b>	Estructura final implementada de sujeción y manipulación de huevos.....	57
<b>Figura 25-2:</b>	Estructura base del prototipo de la incubadora en SolidWorks.....	57
<b>Figura 26-2:</b>	Ensamblaje final de la incubadora artificial.....	58
<b>Figura 27-2:</b>	Ensamblaje de la carcasa de la incubadora.....	59
<b>Figura 28-2:</b>	Ensamblaje de la carcasa de la incubadora.....	59
<b>Figura 1-3:</b>	Toma de temperatura de una prueba realiza.....	61
<b>Figura 2-3:</b>	Humedad medida con el anemómetro.....	62
<b>Figura 3-3:</b>	Medición de ángulos.....	64
<b>Figura 4-3:</b>	Medición de ángulos.....	65
<b>Figura 5-3:</b>	Pesos de los huevos en el comienzo de la incubación.....	72
<b>Figura 6-3:</b>	Polluelos con 1 día de nacimiento del prototipo.....	74
<b>Figura 7-3:</b>	Interfaz de monitoreo del sistema de incubación.....	76

## **ANEXOS**

**ANEXO A:** Características del Arduino Mega2560

**ANEXO B:** Características de Raspberry pi B+

**ANEXO C:** Características del Servo motor SG90

**ANEXO D:** Características del sensor de nivel de agua

**ANEXO E:** Características del sensor ultrasónico

**ANEXO F:** Características del sensor DHT11

**ANEXO G:** Características del PCA9685

**ANEXO H:** Características del PCA9685

**ANEXO I:** Motorreductor de 6v

**ANEXO J:** Datos de la mini bomba de agua.

**ANEXO K:** Planos de la Implementación Mecánica

## RESUMEN

Este trabajo de titulación tuvo como objetivo la implementación de un sistema de incubación con la finalidad de automatizar el método de incubación tradicional por uno un método controlado por un sistema de visión artificial y automatizado desde el inicio de incubación del huevo hasta la eclosión del mismo, suprimiendo la intervención hombre – máquina. El prototipo se basó en tres etapas. La primera etapa: establecer, adquirir e implementar los elementos necesarios; usando el microcontrolador Arduino para realizar la tarea de adquisición, procesamiento y evaluación de los datos suministrados por los actuadores y sensores de la incubadora, además se realizó un sistema de supervisión por medio de visión artificial con la ayuda de una cámara web de 60FPS con una resolución de 1200x800 pixeles, y usando el software de desarrollo Python basado en Linux y código abierto se consiguió independizar en un 80% la intervención humana al automatizar los procesos de movimiento periódico del huevo mediante servomotores los cuales tienen el trabajo de posicionar el huevo a 45° por 8 veces cada día, control de temperatura y humedad en la cámara de incubación mediante un sistema de ventilación controlado por el sensor DHT11 y finalmente la supervisión del huevo con Python. Logrando obtener un resultado de un total de 0 huevos rotos durante la incubación y de los 10 huevos, 7 consiguieron eclosionar exitosamente mientras que de los 3 restantes solamente 1 no se formó el embrión adecuadamente debido a que el huevo ya se había pasado en el tiempo para ser incubado. Finalmente se puede establecer un porcentaje de eclosión exitosa del 70% aproximadamente dependiendo del estado en el que se encuentren los huevos en el momento de iniciar la incubación.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <CONTROL AUTOMÁTICO>, <ARTIFICIAL>, <VISIÓN>, <MICROCONTROLADOR>, <MÁQUINA>, <INCUBACIÓN>, <ECLOSIÓN>

## **ABSTRACT**

This degree work aimed to the implementation of an incubation system with a purpose to automating the traditional incubation method towards another, controlled by an artificial vision system and automated, from the beginning of egg incubation until its hatching were suppressing human-machine intervention. The prototype was based on three stages. The first stage: establish, acquire and implement the necessary elements, using the Arduino microcontroller to perform the task of acquisition, processing, and evaluation of the data provided by the actuators and sensors of the incubator. Also, a monitoring system was carried out using artificial vision with a 60FPS webcam with a resolution of 1200x800 pixels and using Python development software based on Linux. Also an open source was achieved by 80% independent human intervention to automate the processes of periodic movement of the egg through servomotors which have the job of positioning the egg at 45 ° for 8 times each day, temperature and humidity control in the incubation chamber through a ventilation system controlled by the DHT11 sensor and finally the monitoring of the egg with Python. Achieving a result of a total of 0 eggs broken during the incubation and the ten eggs, seven managed to hatch successfully while of the remaining three only one did not form the embryo properly because the egg had already passed in time to be incubated. Finally, a successful hatching percentage of approximately 70% can be established depending on the state in which the eggs are found at the time of starting the incubation.

**Keywords:** <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCE>, <AUTOMATIC CONTROL>, <ARTIFICIAL>, <VISION>, <MICROCONTROLLER>, <MACHINE>, <INCUBATION>, <ECLOSION>

## **INTRODUCCIÓN**

Con el desarrollo progresivo de la tecnología con herramientas como sensores, motores, controladores entre otros, se han buscado medios que faciliten las actividades que deben tratarse día a día, por tanto, buscar soluciones a las actividades desarrolladas por el hombre, con máquinas, es un medio que facilita y acelera el proceso de desarrollo de cada una de ellas debido a que las máquinas no generan agotamiento por repetición o tampoco presentan la dificultad conocida como “error humano” para llevar a cabo muchas tareas. Por lo tanto, en este proyecto, la incubación de varios tipos de huevos de distintas aves, controlada de manera permanente, es el proceso que se llevará a cabo. Con la utilización de una incubadora inteligente reutilizable es como se planea independizar al ser humano en esta actividad repetitiva.

## **ANTECEDENTES**

Por medio de la incubación artificial se intenta recrear los parámetros del proceso biológico de incubación de las aves, con la finalidad de que los huevos tengan la temperatura, humedad, ventilación y movimiento necesarios para su eclosión. La incubación de los huevos de aves se viene intentando, desde la antigüedad, Aristóteles escribía en el año 400 A.C. que los egipcios incubaban huevos espontáneamente en pilas de estiércol. Los chinos desarrollaron la incubación artificial por lo menos hacia el año 246 A.C. (Plata, 2014, p.27)

La producción de aves por medio de la asistencia del hombre ha sido una técnica aplicada desde hace mucho tiempo atrás. La construcción de las primeras incubadoras artificiales en Estados Unidos data de alrededor de 1844. (Cubides, 2016, p.28)

La incubadora según Smith, fue prácticamente un cuarto grande con ventiladores para forzar el aire caliente en todas partes de la cámara de incubación, se patentó en 1918. Fue uno de los primeros modelos de incubadora que aún hoy en día son eficientes, este modelo es usado para la incubación de aves domésticas como: codornices, perdices, pavos, patos y otras aves de corral. (Reyes, 2019, p.5)

En Europa las primeras incubadoras surgen en el siglo XIX y eran esencialmente armarios calefactados por diversos métodos como: Hidro incubadoras o Aero incubadoras. La fuente de calor se obtenía calentando el agua o el aire por diversas formas, ya sea por: calderas de petróleo,

carbón o por medio de energía eléctrica. Estos métodos eran rudimentarios que exigían un conocimiento previo para su uso adecuado. (Rauch, 2016, p.4)

Los principios de incubación se heredaban de una generación a otra, por industrias avícolas del país y exterior. La temperatura variaba en la incubadora al mover los huevos, al añadir más de éstos para usar el calor del desarrollo embrionario de los huevos más viejos y mediante la regulación del flujo de aire fresco a través del área de origen de las aves. (“El Sitio Avícola”, Berry, 2010, p.1)

Determinar los problemas que se suscitan en el momento de incubación en las aves domésticas es una tarea agotadora y repetitiva que puede originar errores. Muchas veces los inconvenientes no son debido a un sólo factor, sino a varios. Aunque no es viable establecer todos los problemas de incubación, por medio de la investigación lo que se pretende es revisar toda la información disponible el rendimiento de las reproductoras. (Jones, 2007, p.1)

En nuestro país existen apenas tres industrias certificadas en incubación con tecnología de punta, ubicadas en la provincia de Pichincha de acuerdo al último censo que se realizó a nivel nacional. La tecnología utilizada en nuestro país aún sigue siendo la tradicional con el control de variables clásicas que vienen proponiendo.

Actualmente Ecuador se encuentra rodeado por un ambiente de estabilidad y tranquilidad que incentiva al emprendimiento de negocios. La avicultura ecuatoriana atraviesa por una difícil crisis, donde la producción de aves, ha hecho que los productores busquen una solución en sus plantas ya sean pequeñas, medianas o grandes. (aviNews, “Industria avícola de Ecuador en proceso de reactivación este 2018”, María de los Ángeles, 2018, p.1)

Las propias incubadoras crean, no sólo los parámetros exactos para la incubación, sino que recrean condiciones para proveer al huevo de una biosfera ideal para el perfecto desarrollo del pollito. Los últimos avances en incubación dan paso hoy en día, a la vacunación in ovo, la cual se realiza dentro de la incubadora, o en el traslado del huevo a la nacedera, utilizada para prevenir enfermedades de alta mortalidad en pollitos recién nacidos.

En la Unidad Académica de Investigación y Producción Avícola de la FCP, de la ESPOCH, se realizó el estudio, instalación y evaluación de una incubadora. Para tratar la determinación de parámetros se utilizaron observaciones individuales. De los resultados del proceso de incubación

de los huevos, se determinó un porcentaje de fertilidad del 58%, la eficiencia del equipo que fue del 65,33%, la homogeneidad en el peso del huevo fue de 55,20 gr. (QUITUIZACA, 2015, p.5)

El objetivo de la investigación biotecnológica es que las máquinas incubadoras a futuro consigan aplicar sustancias inmunoestimulantes y promotores de crecimiento. Permitiendo así una producción avícola automatizada casi en su totalidad, mejorando la productividad de las incubaciones. (El sitio Avícola, Berry, 2010, p.1)

## **JUSTIFICACIÓN**

### **Justificación Teórica**

La mayor parte de las incubadoras que se encuentran disponibles en el mercado son de alto costo y poseen una capacidad de huevos alta, debido a este inconveniente se propone realizar un prototipo de una incubadora totalmente accesible, con materiales de bajo costo y accesibles, en comparación con las incubadoras que ofrece el mercado de marcas como Wiltex, Copele, Awhao, Xuan Yue, Weiqian, Amzdeal entre las más reconocidas cuyos precios varían desde los cientos hasta los miles de dólares dependiendo de calidad y sobre todo su autonomía, estas incubadoras son comercializadas a nivel internacional, algunas de ellas no poseen autonomía manteniendo el proceso de incubación tradicional mediante la supervisión continua del hombre.

Para el diseño del prototipo la variable principal que se debe tomó en cuenta es la temperatura que deberá mantener la cámara para el proceso de eclosión, la parte primordial es el aislamiento térmico que conservará el prototipo.

Los tipos de incubadoras habituales en los que se ha hecho una selección son: manuales (capacidad inferior a 50 huevos), semiautomáticos (capacidad entre 25 a 100 huevos) y automáticos (capacidad de 130 a 5000 huevos).

Actualmente existen las incubadoras totalmente automáticas las cuales garantizan una eclosión de los huevos casi en su totalidad, pero todas estas cualidades hacen que el equipo sea costoso y de difícil acceso y además de ello debe mantener una supervisión del operario en cuanto a la temperatura y humedad a la que se encuentre la incubadora.

Con este proyecto se realizó una incubadora de bajo costo que controla el proceso de eclosión de los huevos de la manera más autónoma posible y con la ayuda de un display se mantiene una

monitorización constante de las variables que se deben considerar en el proceso, además de acoplar el sistema mecánico a una aplicación móvil y de tal manera se tiene un monitoreo del estado del equipo en todo tiempo.

### **Justificación Aplicativa**

La tarea de controlar y verificar una adecuada eclosión de los huevos de aves se vuelve tedioso y repetitivo, además demanda de mucho tiempo, por este motivo muchas veces no se realiza un adecuado control de los parámetros y estados en los que deben encontrarse los huevos y más aun volviendo más complicada esta tarea cuando la cantidad de huevos se incrementa, motivo por el cual muchos granjeros avícolas optan por ejecutar un trabajo rutinario sobre sus incubadoras es decir cada cierto tiempo controlan los huevos y de este modo incrementando el riesgo de que los huevos no lleguen a eclosionar.

Se desarrolló entonces una incubadora que posee un sistema controlado de temperatura mediante un ventilador el cuál se consigue un ambiente adecuado en toda la cámara de incubación, así también las condiciones ambientales y a las necesidades que se puedan presentar durante el desempeño de su trabajo.

Dependiendo de la clase de huevos que se escoja en el programa principal las bandejas con los huevos rotaran de forma automática en un periodo de tiempo de 3 horas, con un horario que el estudio de eclosión nos brinda con cada tipo de huevo que se proporciona, garantizando así que el calor se distribuya a cada huevo.

El sistema de sujeción de la incubadora es ajustable, asegurando de tal modo una adhesión aceptable en cada tipo de huevo además que suministra información que ayuda al control de la última semana de nacimiento de las aves, activando el traslado desde la parte superior hacia la nacedera para continuar con su desarrollo, esta implementación representa un cambio en bajo costo y con más características a manejar durante el proceso de la incubación en comparación a las incubadoras tradicionales en marcas comerciales.

La supervisión inteligente mediante visión artificial ayuda a que el proceso de este tipo de incubadora sea autónomo permitiendo la separación automática del ave que recién sale del cascarón, pasando así a la siguiente etapa de preparación de crecimiento con una nueva temperatura.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar y construir un prototipo de incubadora con supervisión inteligente para la eclosión de huevos

### **Objetivos Específicos**

- Investigar los conceptos y procesos de incubación que permita la eclosión de huevos.
- Investigar y seleccionar los diferentes tipos de algoritmos para la detección y supervisión de imágenes.
- Establecer los requerimientos del prototipo que se va a utilizar durante el proceso de incubación.
- Seleccionar los componentes tanto en hardware y software necesarios para el prototipo.
- Implementar el prototipo de incubadora con el sistema de supervisión seleccionado.
- Realizar pruebas y analizar los resultados del prototipo de incubadora y verificar si cumple con los requerimientos establecidos.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

La incubación artificial es un método de producción de aves domésticas, que simula las condiciones ambientales para poder hacerlo de manera exitosa, se debe antes hacer una breve introducción sobre las aves domésticas, el tipo de cuidado de sus huevos, las condiciones ambientales e internas en las que se debe realizar su incubación y los diferentes tipos de incubadoras que existen en el mercado.

#### 1.1. Incubadoras

Es la gestión de un huevo fertilizado para garantizar el desarrollo satisfactorio del embrión dentro del huevo fecundado en un polluelo normal, es el proceso de mantener los huevos fertilizados caliente con el fin de permitir el desarrollo adecuado del embrión. Puede ser natural o artificial. (Fasanmi, 2015, p.1)

Un dispositivo eléctrico que brinda temperatura y humedad determinados y con una aireación adecuada para la eclosión de huevos. Actúan como una gallina clueca que se encuentra en los huevos y proporciona su calor corporal para la incubación de pollos. Cuando un pollo o cualquier otra ave ponen los huevos, la vida de un embrión permanece aplazada hasta el inicio de la incubación. Se tarda unos 21 días para salir del cascarón de un huevo de gallina. (Zareen, 2016, p.2).



**Figura 1-1:** Incubadora de huevos automática

**Fuente:** <https://www.incubadorasdehuevos.com>

El método de incubación se utiliza desde los egipcios los cuales introducían huevos en restos de estiércol y esperaban su eclosión, pero con el pasar de los años se fueron implementando sistemas complementarios que ayudaban de una manera más eficaz el proceso de incubación, el principio de usar cámaras que mantenían la temperatura fue de gran ayuda y conforme la tecnología avanza estas cámaras llevan cada vez mayor equipamiento para así conseguir una mayor precisión en los parámetros de incubación y a la vez una menor intervención del hombre al hacer que el dispositivo sea casi totalmente automático. Existen varios tipos de incubadoras entre las más importantes se puede citar:

### ***1.1.1. Manuales***

Este tipo de incubadoras son dispositivos donde la intervención del operador es total, se orienta más a productores aficionados debido a que se debe mantener un constante monitoreo del estado de cada uno de los huevos, es decir, debe revisar la temperatura, humedad y rotar los huevos muchas veces cada día, esto hace que la producción de aves sea en una cantidad baja debido al extenso cuidado y supervisión manual que requiere. (Babera, 2016, p.1)



**Figura 2-1:** Modelo básico de una incubadora manual

**Fuente:** [https://bricolaje.facilísimo.com/incubadora-casera-hecha-a-mano\\_887291.html](https://bricolaje.facilísimo.com/incubadora-casera-hecha-a-mano_887291.html)

### ***1.1.2. Semiautomáticas***

Son aquellas máquinas las cuales existe una interacción hombre – máquina debido a que las tareas de control de temperatura y ventilación son automáticas, pero las de supervisión de humedad y rotación de los huevos aún es ejecutada por el avicultor. (Babera, 2016, p.1)

Este tipo de dispositivos son muy utilizados por los pequeños avicultores debido a que su control es parcial y se puede producir una cantidad de mayor de aves en comparación con las incubadoras manuales.



**Figura 3-1:** Modelo del Sistema de incubación semiautomático

**Fuente:** <http://www.comercialsanvi.com/incubadora-fiem-mg-100/150-bfamily-humedad-semiautomatica>

### **1.1.3. Automáticas**

Este tipo son utilizadas de manera profesional, es decir son equipo de requerimiento empresarial debido a la cantidad elevada de producción de aves con una cantidad que puede ir hasta los 5000 huevos por cada unidad de incubación, poseen un sistema de volteo constante y temporizado, además de su ventilación forzada, todas estas características de control son electrónicas. (Babera, 2016, p.2)



**Figura 4-1:** Incubadora industrial Maru Max 380 automática

**Fuente:** [http://www.aveindustrias.com:8069/website/image/ir.attachment/27013\\_73677d3/datas](http://www.aveindustrias.com:8069/website/image/ir.attachment/27013_73677d3/datas)

Una vez establecido los tipos de incubadora que existen en el mercado, se puede observar que el precio se incrementa conforme vaya aumentando la cantidad huevos.

Además de automatizar el proceso de incubación, el uso de las técnicas de visión en imágenes es un punto que debe ser tratado para poder conseguir una autonomía casi total, además de alcanzar el mejor rendimiento del proyecto.

## 1.2. Aves Domésticas

Tienen su origen en China e India, el hombre se dedicaba a recolectar los huevos de estos animales de manera silvestre y con la ayuda de jaulas para aves, se aseguraba una producción de 30 huevos por ave cada año, gracias al avance de los métodos de recolección y la incursión de la tecnología se ha llegado a estimar que una gallina puede llegar a producir hasta 300 huevos cada año. (MANEJO PRODUCTIVO Y REPRODUCTIVO EN PORCINOS Y AVES, INATEC, 2017, p.3). En Ecuador la producción de aves domésticas como gallinas, patos, pavos, codornices entre otras han tenido un crecimiento notable de acuerdo a la Tabla 1-1 la cuál muestra la cantidad de granjas de producción de aves que existen en el país.

**Tabla 1-1:** Número de granjas avícolas en Ecuador por condición de integración

Tipo de Actividad Económica Principal	Total, Granjas	Condición de Integración de la granja	
		Integradas a una empresa	No Integradas a una empresa
<b>TOTAL, GRANJAS</b>	1567	191	1376
Dedicadas a pollos	1547	188	1359
Dedicadas a codornices	3		3
Dedicadas a pavos	8	3	5
Dedicados avestruces	4		4
Dedicadas a otras aves	5		5

**Fuente:** (Tabla de Salida de Censos Avícolas Ecuatorianos.pdf, 2017, p.2)

Por lo tanto, el trabajo de producir aves domésticas en una cantidad elevada, es una actividad que muchas personas realizan en nuestra sociedad y desarrollar nuevas tecnologías que ayuden en dicha tarea, tendrá una aceptación muy valorada.

### **1.2.1. Producto de incubación**

El huevo es un producto que tiene muchas cualidades nutritivas, es de fácil preparación y digestión, la producción de este alimento crece a nivel mundial con un valor estimado de 100 000 millones de dólares (Guier.pdf, 2017, p.14). Este alimento ha sido producido de manera estandarizada y de acuerdo a leyes y reglamentos durante los últimos años debido a las críticas que han sido provocadas por las condiciones inaceptables en masa que se producían tiempo atrás, actualmente la existencia de granjas que resulten de agrado para el público son las que existen dentro del mercado, no obstante, existen granjas inhumanas aun en funcionamiento de modo clandestino.

De acuerdo al censo de SESA CONAVE en Ecuador la producción de huevos es la siguiente:

**Tabla 2-1:** Resultados del censo de huevos comerciales.

<b>PROVINCIA</b>	<b>CAPACIDAD</b>
Tungurahua	4.798.600
Manabí	2.100.330
Pichincha	1.438.350
Cotopaxi	1.082.319
Resto	310.085
Total	9.729.684

**Fuente:** (CORPORACION NACIONAL DE AVICULTORES DEL ECUADOR.pdf, Orellana, 2017, p.6)

Finalmente haciendo un análisis general en Ecuador de acuerdo al censo en la producción de pollos de carne (Broilers), las productoras de huevos de incubación livianos – pesados y ponedoras se encontraron los valores mostrados en la Tabla 3-1 se puede observar que la mayor cantidad de reproductores avícolas se encuentran concentrados en la región sierra, además que las granjas de producción de aves de consumo son las que una mayor demanda, al ser un alimento que se consume de manera regular en nuestro país.

**Tabla 3-1:** Cantidad total de productores avícolas por regiones en Ecuador

		TOTAL, NACIONAL	REGIÓN SIERRA	REGIÓN COSTA	REGIÓN AMAZÓNICA
POLLOS (Broilers)	# de Granjas	1.223	620	448	155
	Capacidad	28.383.190	14.015.930	12.269.425	2.097.835
	Número	18.850.808	9.230.347	8.006.745	1.613.716
REPRODUCTORAS Pesadas	# de Granjas	41	26	10	5
	Capacidad Rep. Pesadas	2.087.100	1.359.500	625.800	101.800
	# de Rep. Pesadas	1.550.971	992.837	494.834	63.300
REPRODUCTORAS Livianas	# de Granjas	10	4	4	2
	Capacidad Rep. Livianas	281.500	163.200	90.100	28.200
	# de Rep. Livianas	123.200	52.500	47.500	23.200
PONEDORAS	# de Granjas	284	196	82	6
	Capacidad Ponedoras	9.729.684	7.425.699	2.276.810	27.175
	# de ponedoras	7.940.606	6.224.321	1.703.500	12.785

Fuente: (Tabla de Salida de Censos Avícolas Ecuatorianos.pdf, 2017, p.2)

### 1.3. Manejo de la Incubación

Para obtener resultados aceptables en este delicado proceso, se debe situar el dispositivo de incubación en un lugar con una temperatura entre los 20°C y 25°C y sin la presencia de corrientes de aire además de encontrarse con una humedad entre 50% y 75%. (IncubatriciBorotto, Manual.informativo.para.la.incubación.artificial.de.huevos, 2014, p.3)

Se debe mantener la temperatura de 37,7°C y una cubeta de agua en la cámara para mantener una humedad recomendada para los huevos, en los últimos 3 días antes de la fecha de eclosión los huevos deben mantenerse sin moverse y debe aumentar la humedad aumentando el agua para poder conseguirlo además que se recomienda una temperatura de 37,2°C para esos días.

**Tabla 4-1:** Duración del período de incubación en aves domésticas

Tipo de Ave	Días de incubación	Temperatura de Incubación
Patos	28 / 30 días	38°C
Pavos	28 / 30 días	37,7°C
Perdices	22 / 24 días	37,5°C
Gallinas	21 / 22 días	37,5°C
Palomas	18 / 19 días	37°C
Codornices	16 / 17 días	37°C

Fuente: (Arévalo & Llambo, 2014, p.24)

La incubación artificial de huevos es una actividad que se realiza en todo el Ecuador con la finalidad de producir aves para el consumo de la sociedad y según el Censo de productores avícolas de Ecuador, la producción de esta ave doméstica va desde productoras industrializadas hasta los granjeros avícolas aficionados.

### 1.3.1. Factores fundamentales de una incubadora

Para garantizar el desarrollo exitoso de un huevo en un polluelo se debe mantener un control constante de factores principales en la cámara de incubación los cuales son: la temperatura, humedad, los movimientos y la ventilación. (Paz, 2015, p.3).

- Control de temperatura y humedad

Es necesario mantener la temperatura en su interior en un valor estimado de  $37,5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa entre (55 - 65) % los primeros 18 días y (65 - 75) % en los últimos 3 días, es de vital importancia para tener éxito en este proyecto.

Además se debieron establecer un intervalo de valores en la humedad relativa puesto que en la incubación natural los valores no son constantes pero si aproximados por lo tanto, Para una humedad relativa óptima (entre el 65% y 70%) es recomendable que el contenedor de agua tenga un área equivalente a la mitad de la superficie del piso de la incubadora, por lo tanto, con la disponibilidad de recipientes que se adapten de manera adecuada al espacio designado en la incubadora se han conseguido los siguientes valores:

**Tabla 5-1:** Valores estimados para la humedad relativa en las incubadoras

Humedad Relativa %	TEMPERATURA			
	99°F (37.2°C)	100°F (37.7°C)	101°F (38.3°C)	102°F (38.8°C)
<b>45 - 50</b>	81.5	82.3	83.4	84.0
<b>55 - 60</b>	85.5	86.3	87.2	88.0
<b>65 - 70</b>	89.2	90.0	91.2	92.1

Fuente: <http://www.elsitioavicola.com/articulos/2496/cuidado-e-incubacion-de-los-huevos-fertiles/>

Por lo tanto, los valores estimados en el proceso de incubación en la incubadora fueron de  $37.7^{\circ}\text{C}$  con una humedad relativa entre 45 – 50%, aumentando la humedad los últimos 3 días al disminuir

la temperatura a 37.2°C y finalmente estimando los valores de temperatura de bulbo húmedo entre 82.3 a 81.5.

- Control de movimientos

Un desarrollo normal de embriones ocurre cuando los huevos son volteados periódicamente, durante los primeros 18 días de incubación, en la incubación natural es la gallina quien voltear los huevos, entonces ya sea de manera natural o artificial, todos los huevos deben ser volteados al menos 8 veces cada 24 horas, y una incubación exitosa se obtendrá si se aumenta la cantidad de movimiento de los huevos, los últimos días deben permanecer con el menor movimiento posible caso contrario se produciría una ruptura de los vasos sanguíneos y de yemas, aumentando la mortalidad de los embriones. (Paz, 2015, p.5)

- Ventilación

Es un factor importante mientras el embrión se encuentra en desarrollo, debe haber un flujo constante de CO<sub>2</sub> y oxígeno por medio del huevo. (González Morales, 2017, p.17)

La ventilación debe cumplir con permitir la respiración del embrión, mantener un mínimo del 21% a 22% de oxígeno en la cámara y limitar el O<sub>2</sub> de la atmósfera en un nivel inferior al 0,5% y nunca rebasar el 1%, debido a que provocaría un lento desarrollo embrionario. (Paz, 2015, p.5)

#### **1.4. Partes fundamentales de una incubadora**

El dispositivo debe simular condiciones naturales de una gallina para poder desarrollar un embrión hasta el momento de eclosionar, por lo que mantener controlado el ambiente del huevo es primordial porque de ello depende la eficiencia del proceso. (González Morales, 2017, p.14)

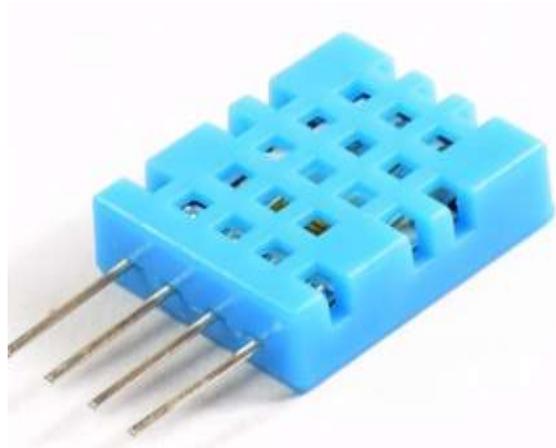
##### ***1.4.1. Control de temperatura y humedad***

Es el que debe mantener una lectura de las condiciones ambientales de la cámara de incubación, con el uso de un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire además de un pin de lectura de datos se puede conseguir un control periódico de éstas condiciones, la unidad del

sensor que se pretenda utilizar debe tener consideraciones importantes como: la precisión, manipulación con el microcontrolador, disponibilidad y el costo, esto es importante para reblandecer las membranas de la cáscara y facilitar la salida de los polluelos. (Paz, 2015, p.5)

#### 1.4.1.1. *Sensor DHT*

Los sensores de la familia DHT son las más optadas para este proyecto debido a su tamaño, facilidad de manipulación de conexión y de la disponibilidad en el mercado, cuenta con un complejo sensor de temperatura y humedad con una salida de señal digital calibrada (Akintade, Olankanmi, & Kehinde, 2015, p.5), realiza una lectura de datos cada 2 segundos lo cual no influye mucho debido a que las variables no cambian muy rápido en el tiempo.



**Figura 5-1:** Sensor DHT11

**Fuente:** [https://naylampmechatronics.com/blog/40\\_Tutorial-sensor-de-temperatura-y-humedad-DHT1.html](https://naylampmechatronics.com/blog/40_Tutorial-sensor-de-temperatura-y-humedad-DHT1.html)

#### 1.4.1.2. *Sensor SHT*

Sensirion es el fabricante líder mundial de sensores digitales de temperatura y humedad, ofrece la gama de productos de temperatura y humedad donde consta de varios desgloses que ofrecen diferentes opciones y precisión. Se basan en el método de medición capacitiva y poseen una salida



#### 1.4.1.4. Comparación de los sensores

De acuerdo a la disponibilidad de sensores de temperatura y humedad existentes en el mercado se muestra la siguiente tabla comparativa de características de los sensores de temperatura.

**Tabla 6-1:** Descripción de los sensores DHT11, SHT3x, LM35

CARACTERÍSTICAS	DHT-11	STH3x	LM35
Voltaje	5 Vdc	2.4 - 5.5 Vdc	4 -20 Vdc
Corriente	1.5 mA	1 - 1.5 mA	0.6 mA
Rango de medición de Humedad	20% a 90% de humedad relativa	0% a 100% de humedad relativa	N.A.
Error de medición de humedad	± 5% de humedad relativa	± 3% de humedad relativa	N.A.
Rango de Temperatura	0 a 60°C	-40 a 90°C	-55 a 150°C
Error de medición de temperatura	± 2°C	± 0.5°C	± 0.25°C

Fuente: («DHT Datasheet, PDF - Alldatasheet», 2017, p.1)

De acuerdo a los sensores existentes en el mercado, aunque el sensor STH3x posee mejores características, el sensor DHT-11 es el más adecuado a las condiciones de la cámara de incubación no solo por su costo y disponibilidad, sino que debido a la humedad relativa y las condiciones a las que va a funcionar están dentro del rango de operación del sistema.

#### 1.4.2. Control de movimientos

La manera de controlar el movimiento de los huevos puede ser:

- Con el movimiento natural por medio de la gallina
- De manera individual por medio de la intervención humana
- En grupos con la ayuda de una bandeja que los sujeta
- De manera individual por medio de motores adecuados para cada huevo
- De manera grupal con rodillos donde se ubican los huevos



**Figura 8-1:** Bandeja mecánica controladora del movimiento de los huevos

**Fuente:** [https://elektropunto.com/12238-large\\_default/bandeja-para-volteo-automatico-de-huevos-en-incubadora-casera-24huevos.jpg](https://elektropunto.com/12238-large_default/bandeja-para-volteo-automatico-de-huevos-en-incubadora-casera-24huevos.jpg)

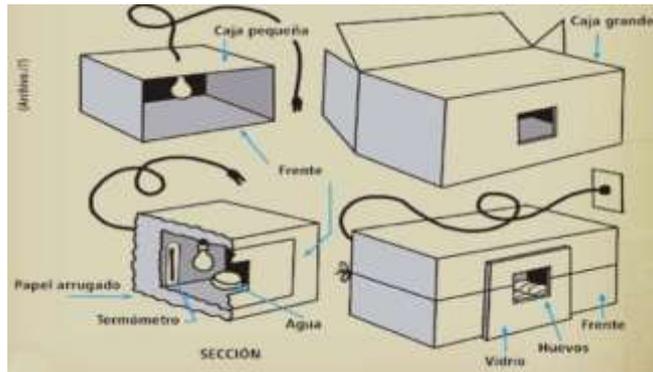
Realizar un giro de  $45^\circ$  a cada lado de cada huevo por cada hora dentro de los 12 a los 18 días, asegurará un desarrollo adecuado del embrión.

### **1.4.3. Ventilación**

Puede ser de manera estática o de ventilación forzada, estos sistemas de ventilación se llegan a activar de manera automática como una respuesta inmediata al incremento de temperatura o al exceso de humedad con el objetivo de mantener constantes las condiciones que la cámara debe mantener durante el proceso de incubación. (Paz, 2015, p.10)

#### **1.4.3.1. Ventilación estática**

Mejor conocida por ventilación por convección se produce cuando el aire caliente que se acumula en la base del sistema de incubación se eleva hacia la parte superior produciendo un flujo de aire de manera natural, este método es utilizado en incubadoras manuales con la ayuda de orificios que permitan el flujo tanto en la parte inferior como superior del dispositivo.



**Figura 9-1:** Principio de ventilación estática

**Fuente:** <http://www.juventudtecnica.cu/dossier/tres-0>

#### 1.4.3.2. Ventilación forzada

En este método, el flujo de aire del interior de la cámara es producido por ventiladores que remueven el aire obligándolo a recircular por toda la cámara, permitiendo tener una circulación constante de aire limpio y expulsión de gases que los huevos producen.



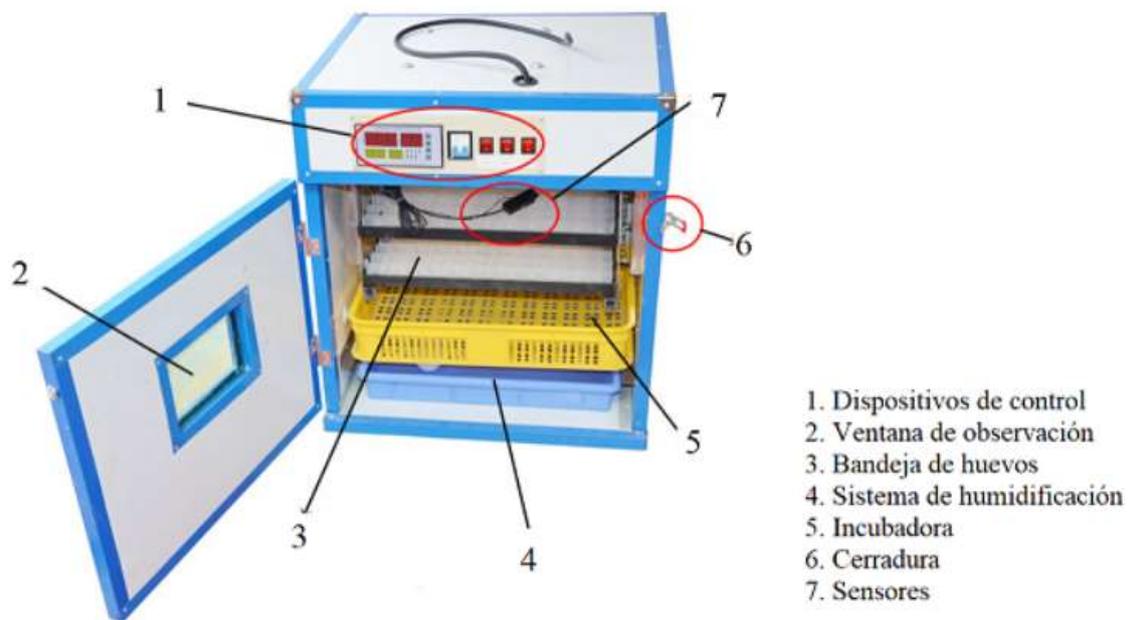
**Figura 10-1:** Principio de ventilación forzada

**Fuente:** [https://www.petersime.com/images/uploads/pages/Conventional%20setters \(1\).jpg](https://www.petersime.com/images/uploads/pages/Conventional%20setters%20(1).jpg)

#### 1.4.4. Estructura

Es el entorno en el cual se alojarán los huevos y serán sometidos a las condiciones de operación, siendo la madera el material más utilizado y de acuerdo a la capacidad es decir la cantidad de huevos que podrá albergar, será el tamaño de cada una de las paredes, este material es recomendable debido a que es un buen aislante. (Feria de ciencias UNAM, Diseño\_y\_construccion\_de\_una\_incubadora\_de\_huevo, 2016, p.5)

Ya sea básica o hasta profesional, la incubadora debe disponer de una puerta para la manipulación del huevo en caso de ser necesario y de poseer una constante circulación de aire, casi en su totalidad poseen una ventana de vidrio cubierta que junto con un display ayudan a monitorear y controlar los procesos que realiza la incubadora



**Figura 11-1:** Estructura básica de una incubadora de huevos automática

**Fuente:** <https://sc02.aliiedn.com/kf/HTB1L9jGKFXXXXtXXXXq6xXFXXB/205958882/HTB1L9jGKFXXXXtXXXXq6xXFXXB.jpg>

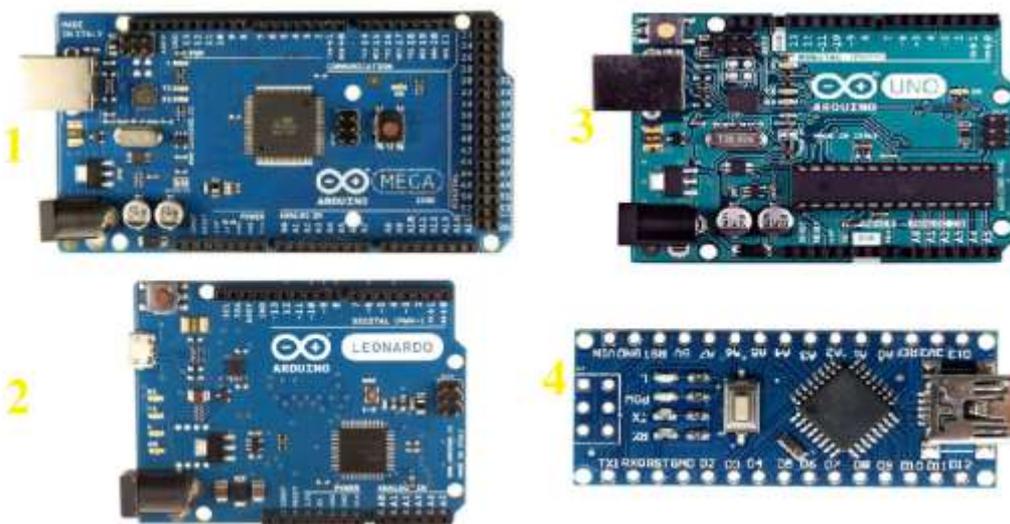
### 1.4.5. Tarjetas de desarrollo

Conocidos comúnmente como microcontroladores, tienen como objetivo realizar las tareas que el usuario le ordene por medio de programación y control, su objetivo es realizar tareas creando autonomía en los dispositivos que estén operando.

Las características que poseen es ofrecer una compatibilidad con muchos dispositivos como, por ejemplo: sensores, módulos inalámbricos, tarjetas de memorias micro SD, entre otros. Constan con entradas y salidas analógicas y digitales, puertos de conexiones seriales, USB, reguladores de voltaje, indicadores de transmisión y recepción de datos. Todo esto depende de las características que ofrece cada modelo y fabricante de cada microcontrolador.

#### 1.4.5.1. Tarjeta microcontroladora Arduino

Es una tarjeta de código abierto programable, al ser una tarjeta de bajo costo es ideal para realizar procesos de automatización y proyectos de electrónica y robótica. Puede recibir información de sensores y manejar accionadores, motores, etc. (MECATRÓNICA LATAM, What is Arduino?, 2018, p.1)



**Figura 12-1:** Arduino mega (1), Arduino Leonardo (2), Arduino uno (3), Arduino nano (4)

**Fuente:** <https://store.arduino.cc/usa/>

Prácticamente las tarjetas de Arduino son muy similares, todas tienen pines de salida y entrada que permiten la lectura de los dispositivos, también envía los datos a través de los pines de salida

para activar o desactivar los diferentes actuadores que se encuentren enlazados ya sean analógicos o digitales.

#### 1.4.5.2. *Raspberry Pi*

Es un microcontrolador que brinda muchas facilidades en entornos de programación, visión y control de actuadores y sensores para la elaboración de proyectos de electrónica. Tienen una gran capacidad de procesamiento de datos, reunido en un tamaño no más grande que el de una tarjeta de crédito, actualmente se encuentran en los modelos A y B

- El modelo A debido a que posee un bajo consumo de energía es una buena elección en proyectos de energía solar, eólica o batería. Además de poseer una memoria interna de 256MB haciendo un poco limitada la ejecución de algoritmos y aplicaciones robustas (Halfacree, 2018, p.12)
- El modelo B tiene un precio algo superior al modelo A, debido a que viene con más características, comenzando con una memoria de 512MB, además de tener puertos USB adicionales permitiéndonos conectar un teclado y un ratón. (Halfacree, 2018, p.14)



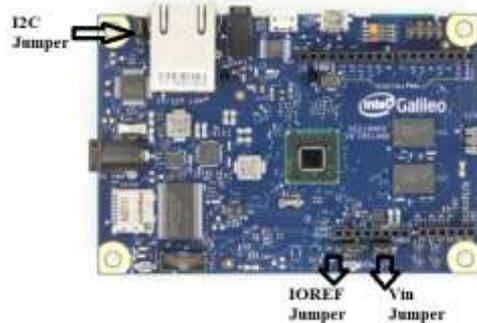
**Figura 13-1:** Microcontrolador Raspberry Pi

**Fuente:** [https://www.pi-shop.ch/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/r/8/r8326274-04\\_4.jpg](https://www.pi-shop.ch/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/r/8/r8326274-04_4.jpg)

#### 1.4.5.2. *Intel Galileo*

Se basa en la arquitectura Intel sistema Intel Pentium de 32 bits, esta tarjeta se creó con el fin soportar voltajes de 3.3V a 5V, es semejante a Arduino y para sí programación se la puede realizar con el software de Arduino, puede comunicarse con computadores, microcontroladores y

Arduino, y proporciona una gran cantidad de funciones de fácil manejo para los estudiantes, así como para profesionales, es una placa de microcontrolador basada en el procesador de aplicaciones Intel Quark SoC x1000, está diseñada para ser compatible con el hardware y el software de Arduino convirtiéndolo en un dispositivo con una buena facilidad de uso. (Arduino - IntelGalileo, 2019, p.1)



**Figura 14-1:** Tarjeta Intel Galileo

**Fuente:** <https://www.arduino.cc/en/Arduino>

Certified/IntelGalileo

#### 1.4.5.3. Tabla comparativa

Luego de haber analizado cada una de las tarjetas de desarrollo se procede a realizar una tabla comparativa entre sus características como se puede observar en la tabla 7-1 Raspberry carece de Memoria Flash y E/S analógicas aso como Arduino Mega2560 no Contiene Ethernet.

**Tabla 7-1:** Características de las tarjetas de desarrollo

Características	Raspberry pi	Intel Galileo (Gen 1)	Arduino
Procesador	ARM11	SoC Quark X100	ATMega2560
Voltaje de operación	3.3V/5V	3.3V/5V	5V
Voltaje de entrada	5V	5V	7-12V
RAM	512MB	512KB	256KB
Memoria Flash	-	8MB	32KB
Puerto USB	2	2	1
Velocidad de reloj	700Mhz	400MHz	16MHz
E/s Analógicas	-	6	16
E/S digitales	8	14	54
Ethernet	100	10/100	No contiene

**Fuente:** Altamirano y otros.

#### 1.4.6. Motores y Servomotores

En la tabla 8-1 se muestra una tabla comparativa de motores con la capacidad de realizar la acción de sujeción y desplazamiento de los huevos dentro de la cámara de incubación

**Tabla 8-1:** Tabla comparativa de motores de desplazamiento

<b>MOTORES</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Corriente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Torque</b>	<b>Velocidad</b>
<b>Micro servo SG90</b>	4.8 - 6 Vdc	2.5 mA	32 x 32 x 12 mm	2.5 Kgf/cm	0.1 s/60°
<b>Servo motor MG996R</b>	4.8 - 7.2 Vdc	2.5 A	40.7 x 19.7 x 42.9 mm	9.4 Kgf/cm	0.17 s/60°
<b>Motor reductor de DC</b>	3 - 6 Vdc	40 - 70 mA	70.5 x 27 x 23 mm	5.5 Kgf/cm	240 rpm

Fuente: (MOTOR DATASHEET - BD6701F, Rohm, 2019)

### 1.5. Entornos de Programación

Resultan útiles en el momento de dar instrucciones a las tarjetas de desarrollo con la finalidad de monitorear, controlar, adecuar y calibrar la entrada y salida de datos suministrada por los sensores y actuadores del proyecto.

El software de desarrollo que se consideró dentro de nuestro proyecto es Matlab, Python y la biblioteca Open CV debido a que estuvieron orientado en el manejo de objetos y procesamiento tanto de los datos suministrados por los actuadores y sensores como el procesamiento de imágenes y se posee un conocimiento previo sobre este tipo de programas.

#### 1.5.1. Matlab

Es el programa más utilizado dentro de ingeniería debido a su robustez y compatibilidad con diversos problemas y procesos de electrónica.

Utilizado para realizar cálculos con datos vectoriales, matriciales, escalares y cadenas complejas de información, el software se puede utilizar desde solucionar simples ecuaciones hasta procesar información suministrada por actuadores y sensores del exterior, por medio de herramientas del mismo programa. (Fernández, 2015, p.4). Es un programa realmente intuitivo debido a que, si se suscita algún problema, repositorios en línea están siempre disponibles para disipar las dudas.

Por medio de la GUIDE de Matlab podemos visualizar el comportamiento del sistema en base a los datos y parámetros establecidos para que sean mostrados en el entorno de programación visual,

esto se hace posible debido a que el software permite el ingreso continuo de datos.(Guerrero, 2008, p.3)

### **1.5.2. Python**

Es un entorno de programación muy robusto y de un modo de aprendizaje intuitivo, con una programación orientada a objetos, este programa resulta útil en el desarrollo de aplicaciones en muchas plataformas.

Python es de software libre, por lo tanto, constantemente se crean nuevas librerías que ayudan en los diferentes proyectos de desarrollo. Se puede acceder a todo este tipo de información incluyendo las librerías necesarias con relación a cada proyecto por medio del sitio web de Python, <http://www.python.org/> y puede distribuirse libremente. (Rossum Drake, 2009, p.7)

Es un software de mucha ayuda para automatizar, trabajando con múltiples bibliotecas se consigue un entorno eficaz y sencillo de elaborar, al ofrecer una mayor estructura y soporte para programas y un chequeo exhaustivo de error y al ser un lenguaje de alto nivel posee arreglos de tamaño flexible y diccionarios, permite la separación del programa en módulos que pueden volver a utilizarse y esto hace que la colecciones que existen en línea sean de utilidad para poder comenzar un proyecto con una guía predeterminada que arreglaremos a nuestra conveniencia. (Rossum Drake, 2009, p.8)

### **1.5.3. OPEN CV**

Es una biblioteca de código abierto con licencia BSD que incluye varios cientos de algoritmos de visión por ordenador, el documento de visión describe la API de OpenCV 2.x Que es esencialmente una API de C++, en oposición de a la API de OpenCV 1.x basada en C. tiene una estructura modular, lo que significa que el paquete incluye varias bibliotecas compartidas o estáticas. (The OpenCV Manual, 2019, p1)

Esta biblioteca funciona en Mac OSX, Windows y Linux, haciendo de esta herramienta una ayuda útil y compatible sin importar el sistema operativo que se use y el proyecto que se pretenda controlar al aprovechar las capacidades multinúcleo en el reconocimiento de objetos, calibración de cámaras, visión estéreo y visión robótica. (*OPENCV TUTORIAL.pdf*, 2018, p.1)

## 1.6. Procesamiento de imágenes

Es manipular la información que cada imagen posee, con la ayuda de un ordenador y con esta información adquirida de cada imagen realizar un procedimiento específico, de acuerdo al objetivo que se quiera alcanzar, esto puede ser: filtrado, recorte, segmentación, compresión y reconocimiento. (Procesamiento digital de imágenes, *Capitulo1.pdf*, 2018, p.1)

Por lo tanto, manipular la imagen con una computadora, se puede realizar en diferentes entornos con software específico para conseguir esta tarea, En este proyecto se debe tomar en cuenta que cada imagen tiene datos y puntos de interés que deben ser extraídos, analizados y posteriormente evaluados. (Procesamiento digital de imágenes, *Capitulo1.pdf*, 2018, p.2)

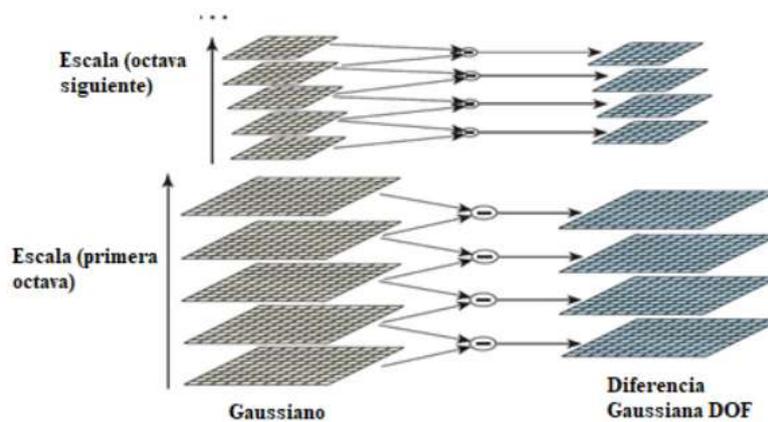
### 1.6.1. Algoritmo SIFT

Es un detector y un descriptor de puntos de interés, realiza la extracción de características distintivas de imágenes en escala de grises, permitiendo reconocer los datos de la imagen (Flores & Braun, 2011, p.1). El algoritmo en síntesis realiza los siguientes procedimientos:

- Detección de extremos en el espacio-escala

El objetivo es hallar en el espacio-escala, de la imagen, puntos invariantes a las características invariantes, traslación, escalado y rotación de la misma. Son los puntos máximos o mínimos.

Se aplica esta diferencia Gaussiana  $n$  veces, con distintos tamaños de región, es decir, aumentando la desviación estándar, buscando máximos y mínimos locales en cada iteración. Los puntos máximos o mínimos son posibles candidatos a ser puntos clave, “Una vez que se obtiene la “pirámide” anterior, se buscan para cada “piso” de la misma extremos locales quienes se transformarán en candidatos a puntos clave”. (Flores & Braun, 2011, p.2)



**Figura 15-1:** Diferencia Gaussiana, pirámide de escala de David Lowe

Fuente: <http://aishack.in/tutorials/sift-scale-invariant-feature-transform-log-approximation/>

- Localización exacta del punto clave

La detección de extremos produce muchos puntos en el espacio-escala, que son posibles candidatos, entre ellos se encuentran puntos afectados por la variación de iluminación y ruido, si este valor es menor al umbral, el punto es descartado. (Flores & Braun, 2011, p.3)

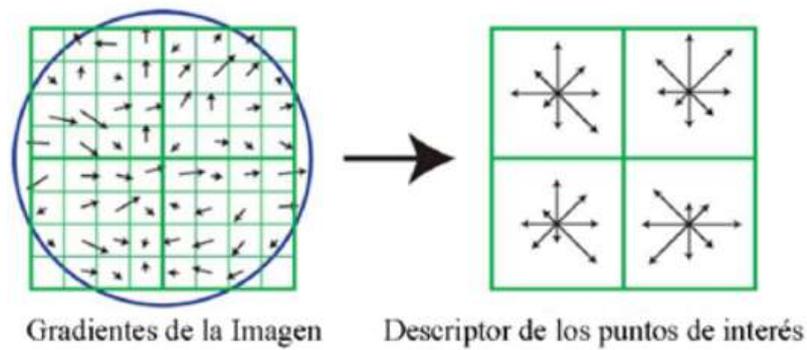
- Asignación de orientación

Para asegurar la invariancia a la rotación de las imágenes, se asigna una orientación a cada punto de la imagen, luego se determina el módulo de su gradiente  $m(x, y)$  y la fase  $\theta(x, y)$  utilizando diferencias entre píxeles, una vez calculado la magnitud y dirección del gradiente del punto y sus vecinos, se genera un histograma de direcciones con los valores que varían de a 10 grados ponderado por la magnitud del gradiente del punto clave en cuestión.

El mayor porcentaje indica la orientación del punto de interés, si este valor sobrepasa el 80% del máximo principal, genera un nuevo punto en la misma posición y escala. (Flores & Braun, 2011, p.4)

- Descriptor de puntos clave

Aquí cada punto posee una asignación de escala, localización y orientación. Un descriptor es la concatenación de los valores de cada histograma, hallado mediante el gradiente de la sub división en 4 regiones de 4x4 vecinos del punto. (Flores & Braun, 2011, p.4)



**Figura 16-1:** Gradientes en la ventana Gaussiana e Histograma de puntos

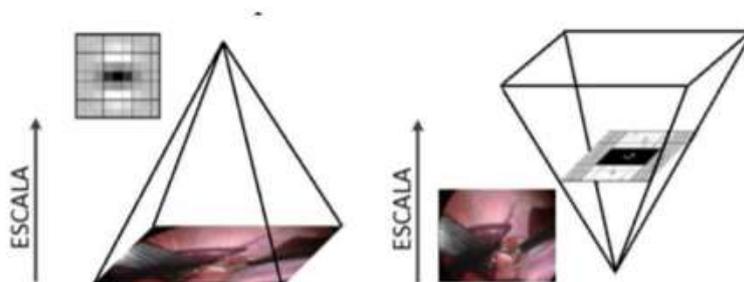
**Fuente:** [https://www.researchgate.net/figure/Usando-una-ventana-gaussiana-los-valores-m-y-TH-examina-en-la-vecindad-del-punto-de\\_fig4\\_266488057](https://www.researchgate.net/figure/Usando-una-ventana-gaussiana-los-valores-m-y-TH-examina-en-la-vecindad-del-punto-de_fig4_266488057)

### 1.6.2. Algoritmo SURF

Es un detector y descriptor de puntos de interés, está basado en procedimientos similares al algoritmo SIFT, la diferencia recae en el los datos obtenidos es un vector de un tamaño de 64 que en SIFT es de 128. El algoritmo a pesar de ser robusto es mucho más rápido.

Las etapas de este algoritmo son:

- Generar la imagen integral para generar los cálculos
- Creación del espacio – escala
- Localizar puntos invariantes máximos y mínimos del espacio – escala
- Asignación de orientación y generador del descriptor



**Figura 17-1:** Espacio escala mediante SIFT (izq.) y SURF (dcha.)

**Fuente:** [http://oa.upm.es/20480/1/INVE\\_MEM\\_2012\\_135438.pdf](http://oa.upm.es/20480/1/INVE_MEM_2012_135438.pdf)

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

Considerando el recurso tanto económico como en tiempo, que se necesita para poder armar este dispositivo de incubación, se han seguido los siguientes pasos: diseñar y seleccionar los elementos necesarios, montaje de la estructura, establecer y aplicar los algoritmos de control de parámetros (Tempera, Humedad, Movimientos y visión artificial) y calibrar la incubadora para realizar el proceso de incubación de manera correcta.

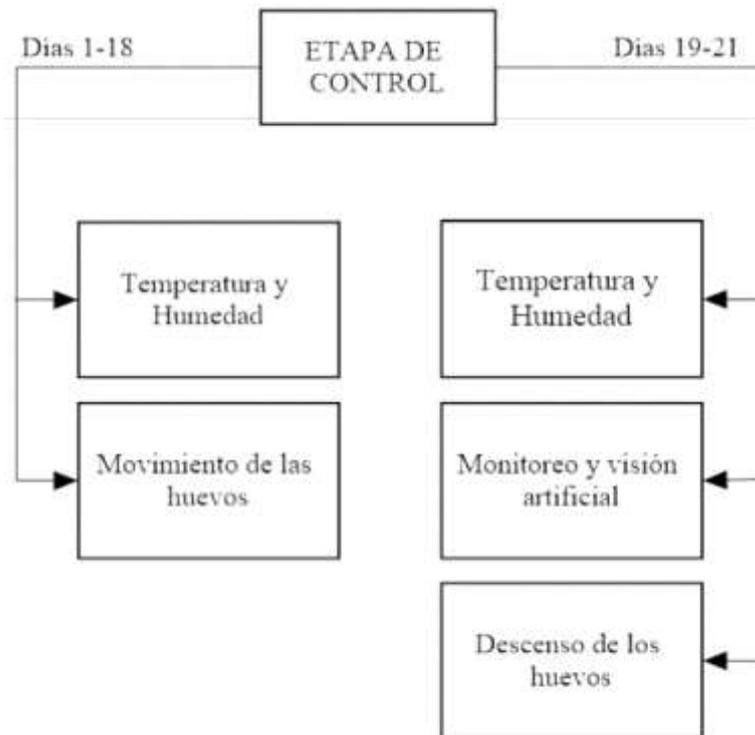
#### 2.1. Requerimientos del sistema

La información analizada en el Capítulo I determinó que los requerimientos necesarios para obtener un sistema de incubación artificial óptima son:

- Implementar un sistema de visión con la capacidad de supervisar el proceso de incubación y determinar el día que los huevos hagan eclosión.
- Configurar los parámetros de temperatura y humedad para obtener las condiciones de incubación ideales.
- Calibrar el sistema de movimiento de cada una de las pinzas de los huevos.
- Supervisión y visualización para el usuario en tiempo real de los parámetros ambientales, así como la del movimiento de huevos.

##### 2.1.1. *Concepción del prototipo del sistema de incubación*

El diseño del sistema de incubación se observa en la Figura 1-2, de tal manera se puede visualizar de manera general el principio de funcionamiento del prototipo.



**Figura 1-2:** Esquema general del sistema de incubación

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

- Etapa de control

Son los microprocesadores encargados de precautelar un funcionamiento eficaz del prototipo, además de informar al usuario si se llega a dar un evento no programado en cualquier bloque, un Arduino Mega2560 cuya función es controlar la temperatura y movimientos junto con una Raspberry Pi3B+ encargada del sistema de visión artificial harán que el sistema en conjunto funcione de manera exitosa.

- Temperatura y humedad

Se procuró simular las condiciones ambientales que cada huevo es sometido en el proceso de incubación natural, el uso de sensores de temperatura y nivel de agua junto con ventiladores y bombillas de 80watt como actuadores, todos con una calibración determinada se encargarán de mantener la cámara de incubación con los valores de temperatura ideales para obtener un sistema funcional.

- Movimiento de los huevos

Es importante en el desarrollo de un huevo, debido a que cada huevo debe mantener un movimiento periódico durante los primeros 18 días, siendo recomendado por avicultores un movimiento promedio de 8 veces por día.

Servomotores SG90 en cada una de las pinzas sujetadoras de los huevos son los que realizarán la acción de movimiento por lo tanto fueron calibrados en un movimiento de 45° por cada 3 horas.

- Monitoreo y Visión artificial

Se hizo uso de una cámara LOGITECH C170 que se encuentra ubicada en la parte superior de la cámara de incubación, su tarea es controlar el movimiento de los huevos el día de eclosión, por lo tanto, enviará imágenes del estado de la cámara de incubación el día 21 del proceso para que sean analizadas por los algoritmos de manipulación de imágenes.

Por medio de las imágenes adquiridas en el monitoreo y junto con un algoritmo de detección y descripción, se detecta el movimiento de cada uno de los huevos para poder tomar las acciones necesarias para garantizar un nacimiento seguro y exitoso.

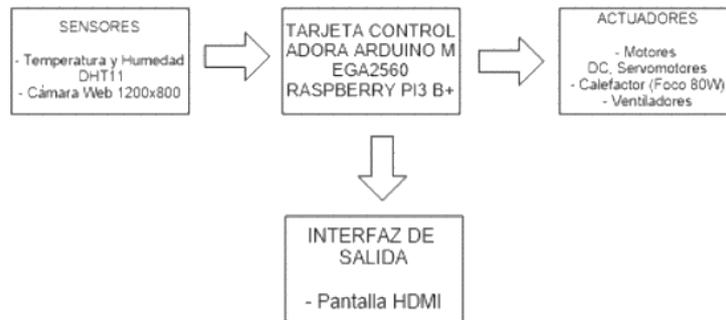
- Descenso de los huevos

Una vez detectado movimiento en los huevos, el sistema de visión artificial se encarga de ejecutar la acción de activar el motor reductor responsable del huevo en movimiento, para poder garantizar un nacimiento seguro y exitoso.

### ***2.1.2. Diseño de la arquitectura del prototipo***

Lo que se describirá es el procedimiento a seguir en el monitoreo durante el periodo de 21 días en cada uno de los 10 huevos tratados en la incubadora y realizar un análisis de los resultados obtenidos. Las pruebas fueron realizadas en un entorno real, la incubadora fue situada en un espacio con una temperatura ambiente que variaba entre los 22° a 26°C y poseía una mínima circulación de aire. Es decir, se mantuvieron las condiciones ambientales óptimas y tomando todas

las seguridades necesarias para verificar cada una de las etapas que componen el presente proyecto.



**Figura 2-2:** Esquema del principio de funcionamiento del sistema

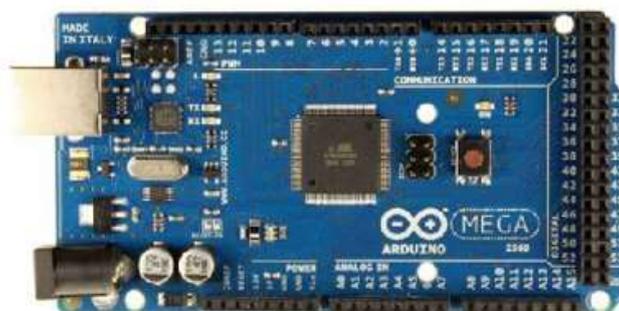
Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

### 2.1.3. Selección del hardware que conforma el prototipo

Para el correcto funcionamiento del prototipo del sistema de incubación el uso de microcontroladores es necesario para garantizar un control de los sensores y actuadores implementados, todos los dispositivos utilizados fueron seleccionados por su disponibilidad en el mercado y su cumplimiento con los requerimientos que la incubadora requiere, todos ellos descritos y comparados en las tablas.

#### 2.1.3.1. Arduino Mega 2560

Se seleccionó al Arduino Mega2560 por la disponibilidad de entradas y salidas analógicas y digitales que posee y que van de acuerdo a las necesidades del prototipo. (Intro to Arduino.pdf, 2019, p.1)



**Figura 3-2:** Microprocesador Arduino Mega2560

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Las características principales a utilizar se observan en el anexo A

- 54 puertos digitales
- 15 puertos PWM
- 16 puertos analógicos
- voltaje de operación de 5v
- Corriente operación de 500mA
- alimentación externa de 7 -12 Vdc

#### 2.1.3.2. *Raspberry Pi 3 Modelo B+*

Posee un disipador encima del SoC haciendo que las temperaturas generadas por el CPU prevengan una avería por calor.



**Figura 4-2:** Microprocesador Raspberry Pi3 B+

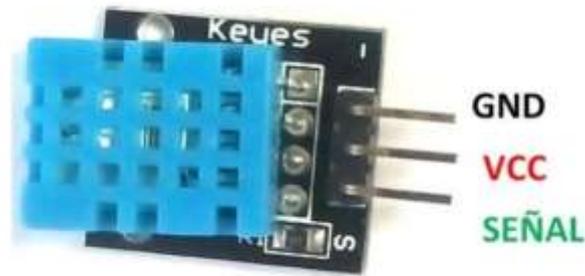
**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

Las características principales a utilizar se observan en el anexo B

- Voltaje de alimentación de 5v micro-USB.
- 4 puertos USB 2.0.
- Corriente de operación 50mA.
- Entrada de Audio I2S.
- Salida de Audio análogo, digital.

### 2.1.3.3. Sensor de humedad y temperatura

El modelo DHT11 fue utilizado debido a las prestaciones y requerimientos que el sistema necesita.



**Figura 5-2:** Sensor DHT 11 con sus respectivos puertos

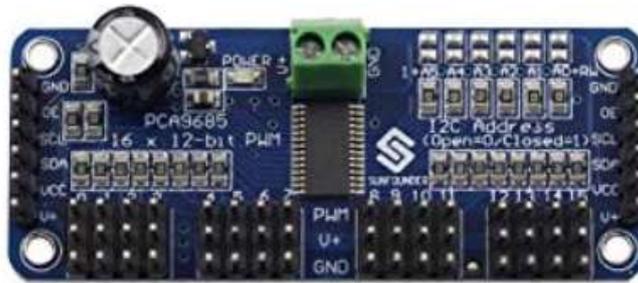
**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

Las características principales a utilizar se observan en el anexo F

- Rango de medición de humedad de 20% a 90% de humedad relativa.
- Error de medición de humedad  $\pm 5\%$  de humedad relativa.
- Corriente de funcionamiento de 1.5mA.
- Rango de temperatura de 0 a 60°C.
- Error de medición de temperatura  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

### 2.1.3.4. PCA9685

Es un controlador LED de 16 canales controlado por bus I2C, tiene su propia resolución PWM individual de resolución fija de 12 bits, que opera con una frecuencia de 24 Hz a 1526 Hz con un ciclo de trabajo que se puede ajustar de 0% a 100%. (PCA9685 16-channel, 2015, p.1)



**Figura 6-2:** Módulo PCA9685

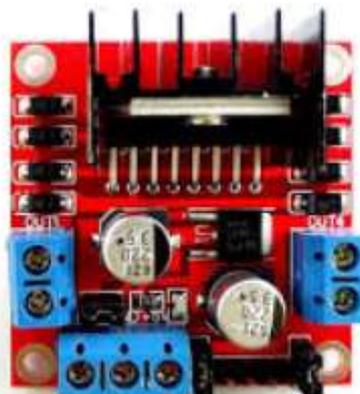
**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

Las características principales a utilizar se observan en el anexo G

- 16 drivers led.
- Entrada de reloj externo de 50 Mhz.
- Entradas tolerantes de 5,5V.
- Corriente de operación 1A.
- Funcionamiento de -40°C a 85°C.

#### 2.1.3.5. Módulo L298N puente H L298

Es una tarjeta que sirve para el control de motores de corriente directa y todo dispositivo que necesita una carga inductiva, la tarjeta es ideal para controlar los motorreductores que son los encargados del descenso de cada uno de los huevos al finalizar el periodo de incubación. (*L298N Motor Driver.pdf*, 2017, p.1)



**Figura 7-2:** Driver puente H L298N

**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

Las características principales a utilizar se observan en el anexo H

- Circuito integrado L298N.
- Corriente de operación de 2A.
- Temperatura de operación -3°C a 35°C.

#### 2.1.3.6. *Servomotor SG90*

Es un mini servo cuya utilización será ideal para el accionamiento de las pinzas sujetadoras y el movimiento de los huevos, posee una gran compatibilidad con el microcontrolador Arduino y sus cables de conexión están definidos por los colores Rojo (Alimentación), Café (Alimentación – o tierra) y Naranja (PWM). (Servo Motor SG-90 Datasheet, 2017, p.1)



**Figura 8-2:** Micro servo motor SG90

**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

Las características principales a utilizar se observan en el anexo C

- Voltaje de operación de 3 a 7,2 v
- Temperatura de funcionamiento de -30°C a 60°C
- Ángulo de rotación de 180°
- Corriente de operación 200mA.

#### 2.1.3.7. *Sensor de nivel de agua Analógico*

Es el encargado de controlar un nivel de agua constante con la finalidad de mantener la humedad relativa dentro de la cámara de incubación, está formado por cables en paralelo que miden el nivel

de agua del recipiente y entrega una señal de voltaje analógico para que pueda ser manipulada por el microcontrolador Arduino.



**Figura 9-2:** Sensor de nivel de agua analógico

**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

Las características principales a utilizar se observan en el anexo D

- Voltaje de 3 a 5 Vcc
- Corriente de 20 mA
- Rango de temperatura de  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $10^{\circ}\text{C}$

#### 2.1.3.8. Motorreductor

Es el encargado del descenso de cada uno de los huevos en el final del ciclo de incubación, es ideal para el descenso controlado por un sensor ultrasónico en cada uno de los huevos en tratamiento. (*RB04M022.pdf*, 2016, p.1)



**Figura 10-2:** Motorreductor

**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

Las características principales a utilizar se observan en el anexo I

- Voltaje de operación de 3 a 6 VDC
- Corriente de operación de 200 mA
- Temperatura de operación -5°C a 50°C
- Velocidad máxima de 220 rpm

#### 2.1.3.9. Sensor Ultrasónico

Es el encargado de medir la distancia mediante el uso de ondas ultrasónica, el dispositivo es el encargado de medir la distancia de separación en la base del sistema en el descenso y control de los motorreductores. (*Intro to Arduino.pdf*, 2019, p.1)



**Figura 11-2:** Sensor ultrasónico

**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

Las características principales a utilizar se observan en el anexo

- Voltaje de operación de 5v
- Corriente de 2mA
- Frecuencia de operación de 40KHz

#### 2.1.3.10. Mini bomba de agua sumergible

Es un dispositivo que se encarga de mantener el nivel de agua del contenedor constante en la incubadora, es eficaz debido a que necesita una cantidad baja de voltaje y no se debe utilizar si no existe agua para trabajar. (*Mini Bomba de Agua Sumergible*, 2018, p.1)



**Figura 12-2:** Mini bomba de agua sumergible

**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

Las características principales a utilizar se observan en el anexo J

- Voltaje de operación de 2,5 a 6 V.
- Flujo de agua de 80 a 120 l/h.
- Velocidad de 5500 RPM.
- Corriente de operación 300mA.

## **2.2. Esquema de conexión electrónica del prototipo de incubadora artificial**

El proceso de conexión de cada uno de los dispositivos para el correcto funcionamiento del sistema de incubación es detallado a continuación:

### **2.2.1. Conexiones de los Sensores Ultrasónicos**

La conexión de los 10 sensores ultrasónicos y el microcontrolador Arduino se observa en la Tabla 1-2, las entradas fueron conectadas a las echo y las salidas al Trigger respectivamente a cada uno de los siguientes terminales:

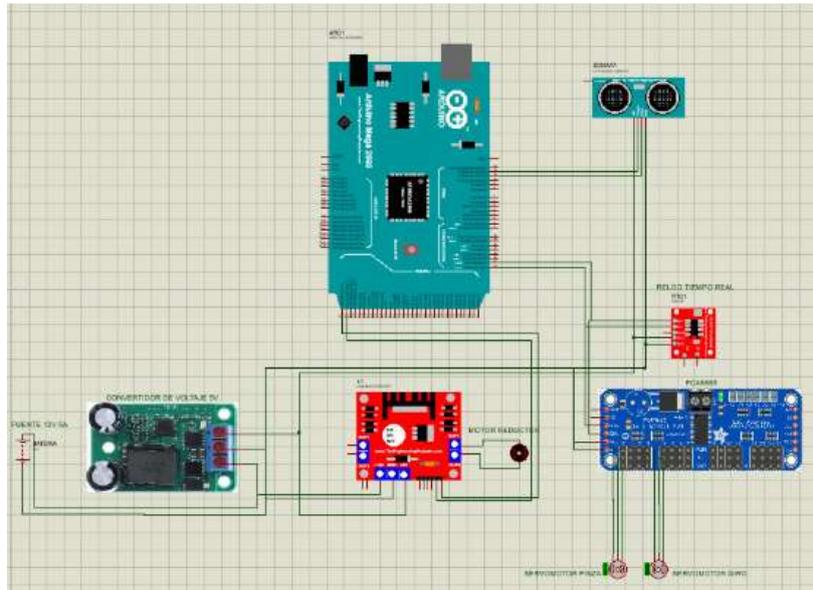
**Tabla 1-2:** Conexión de sensores ultrasónicos

<b>Arduino MEGA</b>	<b>Terminales Entrada/Salida</b>
Terminal 5	Entrada sensor ultrasónico # 8 (echo)
Terminal 6	Salida del sensor ultrasónico # 8 (Trigger)
Terminal 7	Entrada del sensor ultrasónico # 7 (echo)
Terminal 8	Salida del sensor ultrasónico # 7 (Trigger)
Terminal 9	Entrada del sensor ultrasónico # 6 (echo)
Terminal 10	Salida del sensor ultrasónico # 6 (Trigger)
Terminal 11	Entrada del sensor ultrasónico # 5 (echo)
Terminal 12	Salida del sensor ultrasónico # 5 (Trigger)
Terminal 14	Salida del sensor ultrasónico # 9 (Trigger)
Terminal 15	Entrada del sensor ultrasónico # 9 (echo)
Terminal 16	Entrada del sensor ultrasónico # 16 (echo)
Terminal 17	Salida del sensor ultrasónico # 17 (Trigger)
Terminal 22	Entrada del sensor ultrasónico # 4 (echo)
Terminal 23	Salida del sensor ultrasónico # 4 (Trigger)
Terminal 24	Entrada del sensor ultrasónico # 3 (echo)
Terminal 25	Salida del sensor ultrasónico # 3 (Trigger)
Terminal 26	Entrada del sensor ultrasónico # 2 (echo)
Terminal 27	Salida del sensor ultrasónico # 2 (Trigger)
Terminal 28	Salida del sensor ultrasónico # 1 (Trigger)
Terminal 29	Entrada del sensor ultrasónico # 1 (echo)

**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

### **2.2.2. Conexiones de los motorreductores**

La conexión de los 10 motorreductores en el sistema de incubación recibe una señal donde entrada 1 es un giro en sentido horario haciendo descender cada una de las pinzas y entrada 2 es un giro en sentido antihorario haciendo que las pinzas suban desde la base hasta la parte superior de la incubadora, mostrando la conexión de cada uno de los terminales en la Tabla 2-2



**Figura 13-2:** Conexión del sistema de control de movimiento y nivel de la pinza

**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

**Referencia:** Esquema de conexión Proteus

Continuación se detalla la tabla de conexión de los dispositivos implementados en el prototipo de incubación.

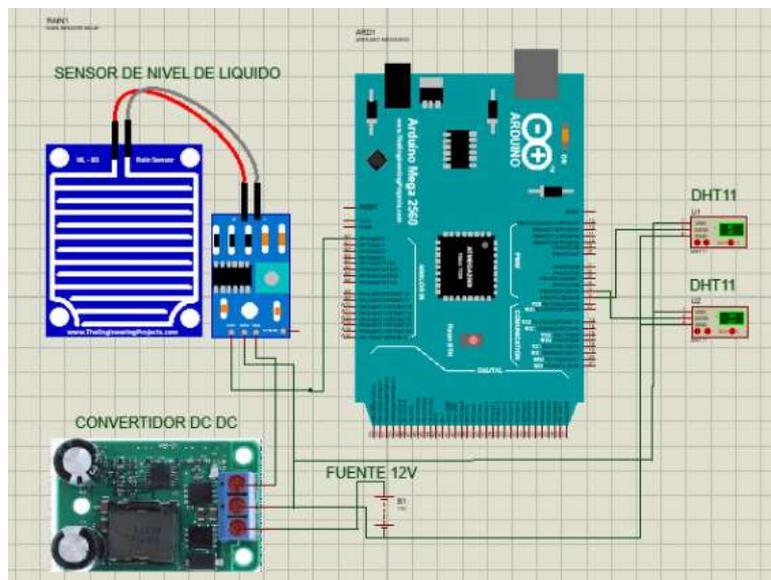
**Tabla 2-2:** Conexión de Motorreductores

<b>Pines Arduino MEGA</b>	<b>Terminales de Entrada R298D</b>
Terminal 30	Entrada 1 del Motor # 2
Terminal 31	Entrada 2 del Motor # 2
Terminal 34	Entrada del Motor # 10
Terminal 35	Entrada del Motor # 10
Terminal 36	Entrada del Motor # 9
Terminal 37	Entrada del Motor # 9
Terminal 38	Entrada del Motor # 8
Terminal 39	Entrada del Motor # 8
Terminal 40	Entrada del Motor # 7
Terminal 41	Entrada del Motor # 7
Terminal 42	Entrada 1 del Motor # 6
Terminal 43	Entrada 2 del Motor # 6
Terminal 44	Entrada 1 del Motor # 5
Terminal 45	Entrada 2 del Motor # 5
Terminal 46	Entrada 1 del Motor # 4
Terminal 47	Entrada 2 del Motor # 4
Terminal 48	Entrada 1 del Motor # 3
Terminal 49	Entrada 2 del Motor # 3
Terminal 52	Entrada 1 del Motor # 1
Terminal 53	Entrada 2 del Motor # 1

**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

### 2.2.3. Conexiones adicionales

Una vez definidos los terminales con los respectivos sensores y actuadores se realizó un esquema de conexión en el software Proteus con la finalidad de mostrar gráficamente la placa armada mostrada en la Figura 14-2. Las conexiones adicionales en el microcontrolador se detallan en la Tabla 3-2 cuyos dispositivos conectados son los sensores DHT11, la bombilla, PCA 9685, ventilador y la conexión de la bomba sumergible de agua, para poder realizar la acción de control del sistema interno de incubación.



**Figura 14-2:** Conexión del sistema de control de temperatura

**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

**Referencia:** Esquema de conexión Proteus

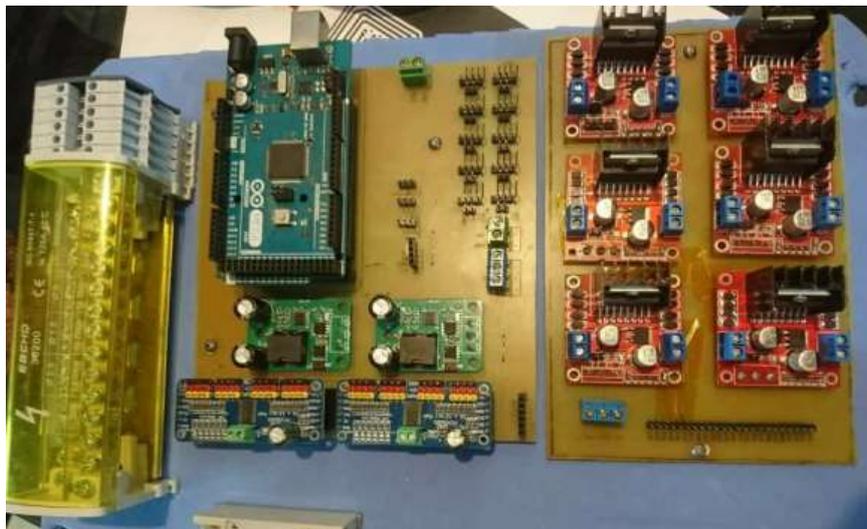
Continuación se detalla la tabla de conexión de los dispositivos implementados en el prototipo de incubación.

**Tabla 3-2:** Conexiones adicionales en el Arduino Mega 2560

Pines Arduino MEGA2560	Terminales de Entrada
Terminal 2	Entrada de temperatura y humedad
Terminal 3	Entrada de temperatura y humedad
Terminal 4	Conexión a la bombilla
Terminal 20	SDA (PCA9685)
Terminal 21	SCL (PCA9685)
Terminal 32	Conexión al ventilador
Terminal 33	Conexión a la bomba de agua

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Finalmente, en la Figura 15-2 se muestra la conexión física de los dispositivos mencionados anteriormente.



**Figura 15-2:** Conexión implementada del sistema de incubación

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

### 2.3. *Software* conformado por el prototipo de incubación

Los *softwares* requeridos para la funcionalidad del sistema de incubación fueron los detallados a continuación:

### **2.3.1. *Software Arduino Ide 1.8.1***

Las placas de desarrollo se conocen como módulos Arduino que son de código abierto, vienen en una variedad de placas de desarrollo, el enfoque más común es utilizar del IDE de Arduino que utiliza la programación en C. Esto le da acceso a una enorme biblioteca de Arduino que está en constante crecimiento gracias a su característica de código abierto. (Intro to Arduino, Fall, 2015, p.1)

### **2.3.2. *Software Python***

Es un entorno de programación muy robusto y de un modo de aprendizaje intuitivo, con una programación orientada a objetos, este programa resulta útil en el desarrollo de aplicaciones en muchas plataformas.

Python es de software libre, por lo tanto, constantemente se crean nuevas librerías que ayudan en los diferentes proyectos de desarrollo. Se puede acceder a todo este tipo de información incluyendo las librerías necesarias con relación a cada proyecto por medio del sitio web de Python, <http://www.python.org/> y puede distribuirse libremente. (Rossum Drake, 2009, p.7)

## **2.4. Diagramas de Flujo**

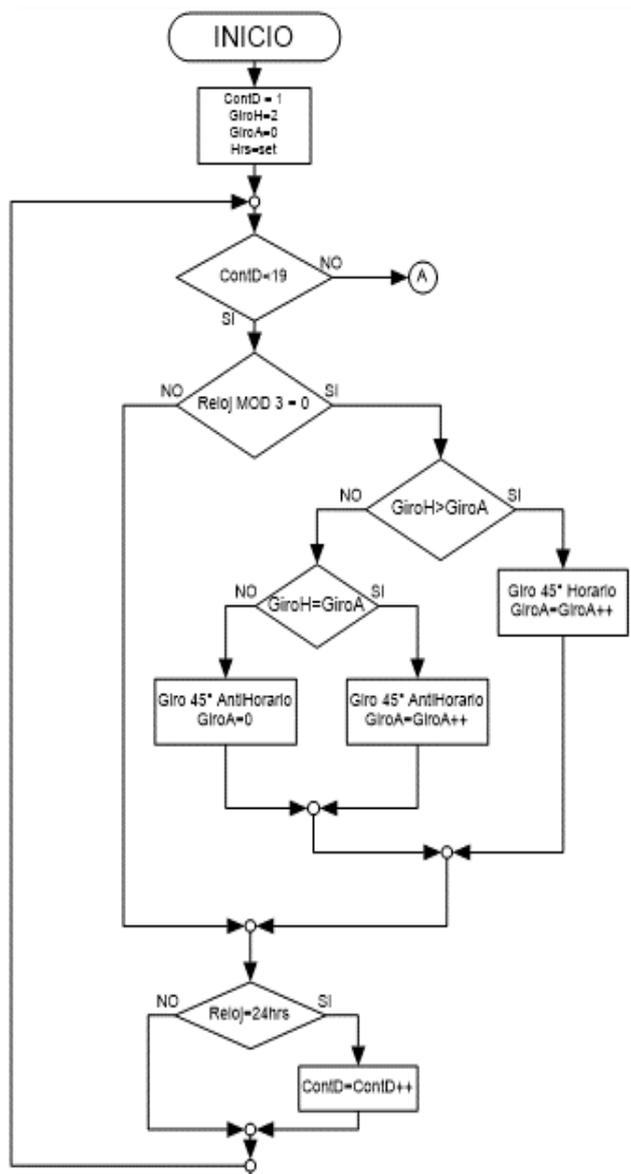
Se presenta a continuación los algoritmos de programación mediante diagramas de flujo.

### **2.4.1. *Movimiento de las pinzas***

Los últimos 3 días se debe mantener el movimiento de los huevos al mínimo pues los vasos sanguíneos en cada uno de los pollitos a punto de eclosionar podrían romperse, teniendo así una eclosión fallida, finalmente en el proceso de incubación los servomotores realizan 2 giros de 45° tanto en sentido horario como en antihorario durante este periodo de tiempo. Durante los 18 primeros días se mantuvo un movimiento determinado y únicamente, los últimos 3 días se debe mantener una estabilidad total en este sistema de movimiento. Por lo tanto, el principio de funcionamiento de este sistema sería el que se muestra en la Figura 18-2

**Figura 16-2:** Diagrama de flujo encargado del movimiento de los huevos

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)



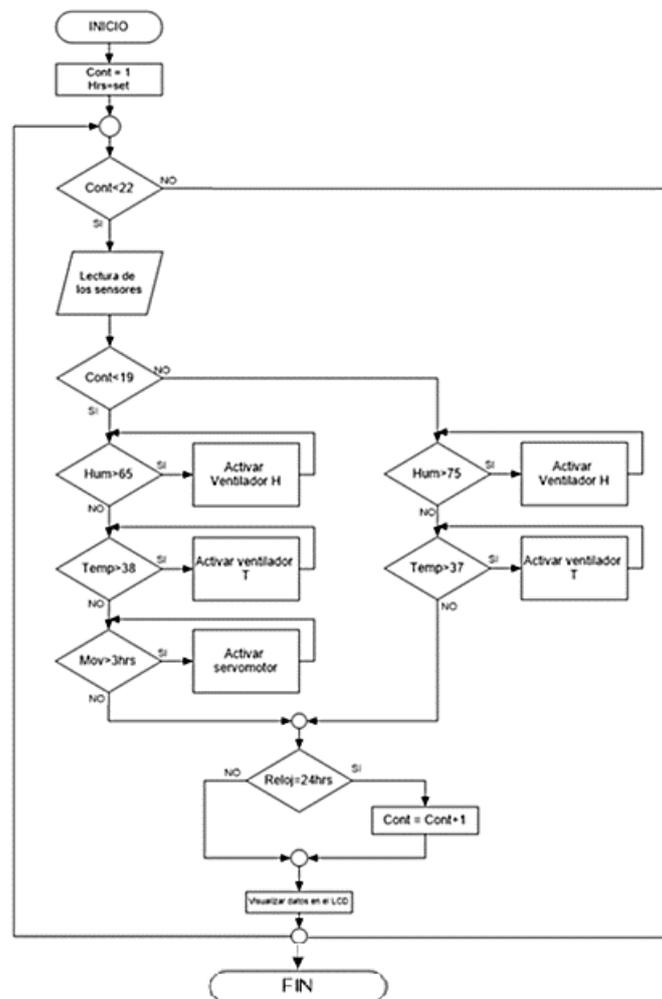
Siendo las bibliotecas principales utilizadas en esta etapa de control las siguientes:

- **HCPCA9685.h.-** Permite la comunicación con placas que ejecutan un módulo de controlador PWM de 16 canales. (Arduino - Reference, 2019)
- **Wire.h.** - Es un complemento para la librería de la comunicación serial. (Arduino - Reference, 2019)
- **Ultrasonic.h** - Es un complemento para medir distancias a través de ultrasonidos HC-SR04. (Arduino - Reference, 2019)

Funciones del software del prototipo de incubación Arduino

- **A.-** Termina el proceso de movimiento y envía datos a la interfaz.
- **void centrar ()**. - Es la función que permite centrar la pinza.
- **void giro1()**. - Esta función permite realizar un giro antihorario de 45 grados.
- **void giro2()**. - Esta función permite realizar un giro horario de 45 grados.

El control total del sistema en un esquema general se lo muestra en la figura 19-2, con lo que el diagrama muestra un control general de las condiciones del prototipo del sistema durante los 21 días.



**Figura 17-2:** Esquema general de los parámetros de la incubadora

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Siendo las bibliotecas principales utilizadas en esta etapa de control las siguientes:

#### Bibliotecas del software del prototipo de incubación en Arduino

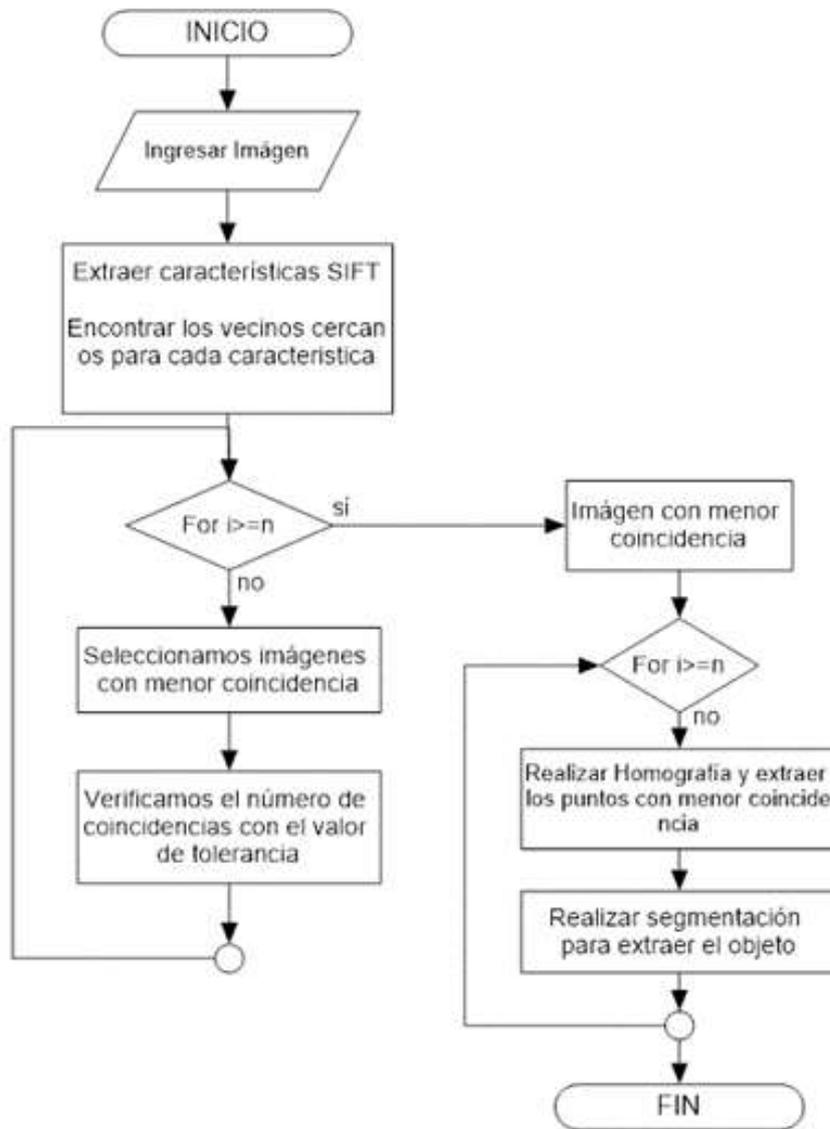
- **<DHT.h>**. - Permite la comunicación con los sensores DHT11 que permite leer datos de humedad y temperatura. (*Arduino - Reference.pdf*, 2019)
- **"RTClib.h"**. - Permite la activación de un reloj en tiempo real. (*Arduino - Reference.pdf*, 2019)

#### Funciones del software del prototipo de incubación Arduino

- **void pid\_controller\_init ()**. - Esta función permite iniciar las condiciones iniciales del PID.
- **void printDate ()**. - Esta función se encarga de mostrar el mes, día, año y hora.
- **void loop ()**. - Esta función permite realizar los giros de los servomotores y abrir y cerrar las pinzas.
- **void activar ()**. - Esta función nos permite controlar la temperatura, humedad e intensidad de las bombillas.
- **void medirtemperaturas ()**. - Esta función permite leer la temperatura y humedad.
- **void cambiapos ()**. - Esta función permite controlar los giros necesarios en el día.
- **void pinzasA ()**. - Es la función que permite abrir la pinza.
- **void pinzasC ()**. - Es la función que permite cerrar la pinza.
- **void m1\_A ()**. - Mueve todos los motores hacia arriba tomando una distancia determinada.
- **void m1\_B ()**. - Mueve todos los motores hacia abajo tomando una distancia determinada.
- **void apagado ()**. - Apaga todos los motores que permiten subir y bajar la pinza.
- **void nivelA ()**. - Permite leer el nivel de agua.
- **void bajarx ()**. - Permite bajar el motor x de forma independiente.

#### **2.4.2. Supervisión Inteligente del prototipo de incubación**

El uso de algoritmos clásicos en la detección y descripción de puntos de interés se ha optado por utilizar el algoritmo SIFT, aunque SURF nos muestra más puntos de interés en el espectro visible e infrarrojo, tiene la desventaja de tener un mayor costo computacional haciendo que el algoritmo sea eficaz solo con sistemas computacionales de alta gama y la finalidad principal de la incubadora es detectar cualquier movimiento para poder activar los motorreductores y hacer descender a los huevos garantizando un nacimiento seguro de los pollitos en la base de la cámara.



**Figura 18-2:** Diagrama para la detección de movimiento en la incubadora

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Siendo las bibliotecas principales utilizadas en esta etapa de control las siguientes:

Bibliotecas del software del prototipo de incubación en Python

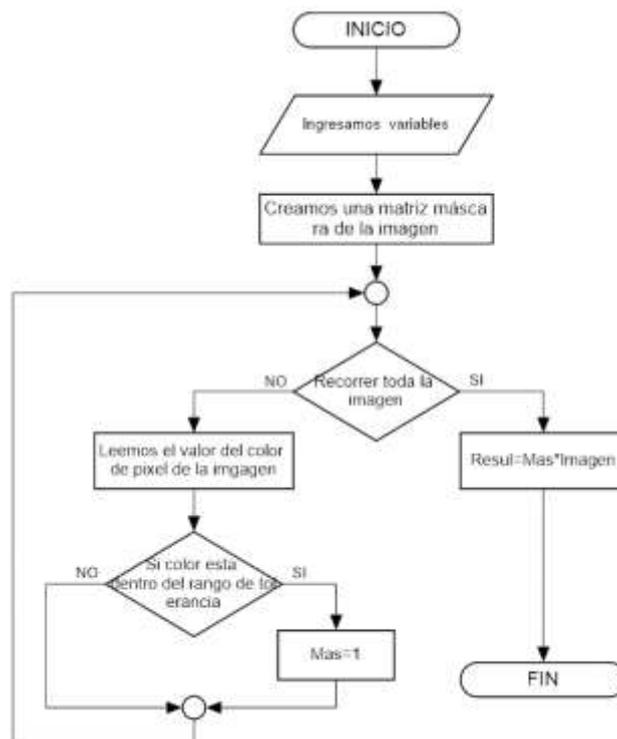
- **import sys.** - El módulo provee acceso a funciones y objetos. (*The Python Library Reference.pdf*, 2019)
- **import cv2.**- Permite la comunicación con Open CV. (*The Python Library Reference.pdf*, 2019)

Funciones del software del prototipo de incubación en Python

- **def startView(self).** - Esta función permite iniciar la cámara.
- **def actualizar(self).** - Esta función permite actualizar los datos en tiempo real.
- **def motion (self, img).** - Permite activar el algoritmo de detección.

SIFT es un algoritmo que se comporta de manera similar a SURF en la detección de puntos de interés en el espectro visible por lo tanto la elección de este algoritmo es la más adecuada.

En la segmentación de la imagen que se muestra en el cuadro de proceso en la Figura 21-2 lo que se pretende es reducir el costo computacional, haciendo que la detección de movimiento en la incubadora se concentre solo en los colores de los huevos, es necesario aclarar que el color estará en un rango de tolerancia debido a que la tonalidad de todos los huevos no es la misma.



**Figura 19-2:** Diagrama de flujo de segmentación por colores

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

El algoritmo utilizado es capaz de analizar a una imagen anteriormente obtenida pudiendo de tal manera, realizar los procedimientos más adecuados, haciendo que la detección y descripción de puntos de interés sea eficaz y con buenos resultados, y en el algoritmo de segmentación se lee un

conjunto de imágenes y se compara si los valores están dentro de un rango de tolerancia determinado para poder encontrar un pixel específico en la imagen por lo que la segmentación se ejecutará con los valores estimados de pixeles de los huevos en la incubadora

Es recomendable realizar una calibración adecuada de la cámara que se esté utilizando para el monitoreo de la incubadora con la finalidad de poder establecer las características internas de la cámara y así mejorar la precisión y confiabilidad de los algoritmos que se vayan a emplear con las imágenes obtenidas, obteniendo los mejores resultados posibles en la supervisión de cada uno de los huevos que se encuentren en el proceso de incubación.

A continuación, se especifica las bibliotecas y funciones utilizadas en Python para el software de la incubadora.

#### Bibliotecas del software del prototipo de incubación

- ***import cv2.***- Permite la comunicación con Open CV. (*opencv\_tutorials.pdf*, 2019)
- ***import serial, time.*** - Permite iniciar una conexión serial con un puerto Arduino. (*opencv\_tutorials.pdf*, 2019)
- ***from PyQt5.***- Permite activar la biblioteca grafica. (*opencv\_tutorials.pdf*, 2019)

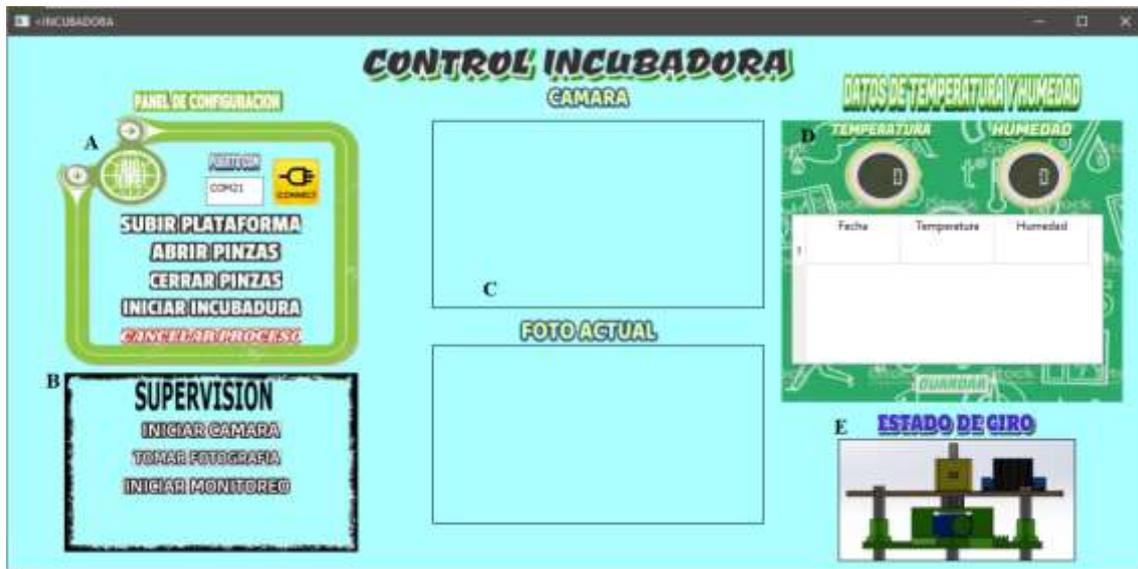
#### Funciones del software del prototipo de incubación

- ***class Loading (QMainWindow).*** - Permite abrir la parte gráfica, se define botones y visualizar ciertas variables deseadas.
- ***def guardarDoc(self).*** - Esta función permite guardar los datos leídos.
- ***def detectarView (self, status).*** - Esta función permite activar otra función.
- ***def tomarfoto(self).*** - Esta función permite comparar una imagen con otra.
- ***def subirMotores(self).*** - Esta función permite subir el soporte las pinzas.
- ***def abrirPinzas(self).*** - Esta función permite abrir la pinza.
- ***def cerrarPinzas(self).*** - Esta función permite ajustar la pinza.
- ***def go(self).*** - Envía datos de la raspBerry hacia el Arduino para iniciar el proceso de incubación.
- ***def cancel(self).*** - Esta función permite cancelar datos.
- ***def connect(self).*** - Esta función permite la conexión entre la raspBerry y Arduino.

- *def deco (self, data)*. - Permite recibir los datos del Arduino, para interpretar en Python (temperatura, humedad y giro), cuando se trabaja con interfaz gráfica PyQt5.
- *def mostrar (self, img, window=1)*. - Permite que la imagen capturada se muestre en la interfaz gráfica, captura la imagen de la cámara y la muestra en la interfaz gráfica.

## 2.5. Interfaz de usuario del sistema de incubación

La interfaz fue estructurada de manera que tenga un aspecto amigable hacia el avicultor, mostrando los valores que deberá controlar para conseguir el mejor rendimiento de la incubadora.



**Figura 20-2:** Interfaz de usuario del sistema de supervisión de la incubadora

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Donde:

- A = Es el panel encargado del control la puesta en marcha del proceso de incubación con los parámetros seteados en el microcontrolador
- B = Es el panel de monitoreo
- C = Muestra las imágenes de la incubadora donde “CAMARA” muestra las imágenes en tiempo real obtenidas por la cámara y “FOTO ACTUAL” es la imagen que va a ser comparada con el algoritmo
- D = Es el panel de visualización del estado actual de la cámara de incubación en los parámetros de temperatura y humedad, además visualiza una tabla del promedio de la temperatura por cada hora

- E = Muestra el estado de giro de la pinza que sostiene al huevo en cada momento

## 2.6. Diseño mecánico del prototipo

### Piezas mecánicas del prototipo de la incubadora

- Estructura de madera
- 1 vidrio templado de (68,6 x 67,8) cm de 6mm de espesor
- 2 vidrios templados de (30 x 21) cm de 6mm de espesor
- 1 mini bomba de agua
- 10 pinzas sujetadoras (Impresas en filamento de 1,75mm)
- 1 cámara LOGITECH C170
- Elementos de conexión y ensamblaje

### 2.6.1. Características finales de la incubadora

Con la finalidad de proveer información de importancia y que el avicultor requiera conocer se han enlistado las siguientes características principales de la incubadora artificial:

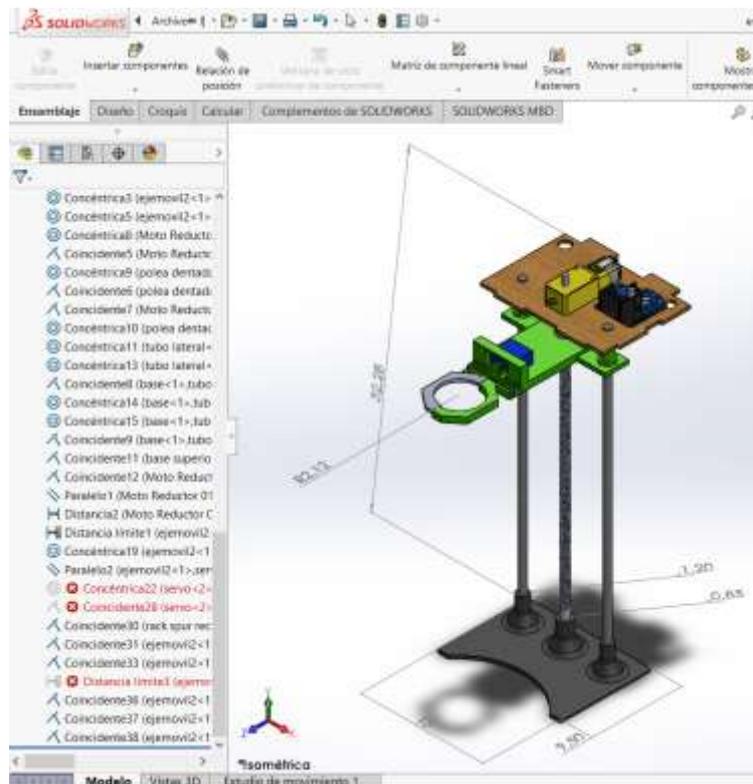
**Tabla 4-2:** Características principales de la incubadora artificial.

Dimensiones: <b>Largo - ancho</b>	(69,5 / 69,4) cm
Altura: <b>desde la base hasta la cubierta superior</b>	54,2 cm
Grosor de la parte exterior:	0,9 cm
Grosor del soporte de los huevos:	0,3 cm
Tiempo estimado de funcionamiento: <b>Sin interrumpir la alimentación</b>	528 Hrs aprox
Distancia máxima de control de visión: <b>Incubadora vs cámara</b>	75 cm
Temperatura de funcionamiento: <b>Mínima y Máxima</b>	(37 / 38) °C
Motores reductores: <b>Utilizados en las barras de los sujetadores de huevos</b>	6v a 12v / 200mA
Bomba encargada de la humidificación:	12v / 500mA
Fuente de calefacción: <b>2 focos de iluminación</b>	200 watts
Tamaño del tablero de control: <b>Largo - ancho - profundidad</b>	(40 / 30 / 20,5) cm

Realizado por: Ramón Ángel, 2019

## 2.6.2. Montaje

Para el ensamblaje del sistema de pinza se pudo adquirir elementos adicionales como impresiones en 3D se procede con el armado de la incubadora artificial. Se procede con el armado de la pinza sujetadora y la base de la misma como se puede observar en la Figura 23-2.



**Figura 21-2:** Ensamblaje de la estructura encargada de la sujeción de huevos  
Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Finalmente, de manera física y simulada se obtuvieron los las siguientes medidas:

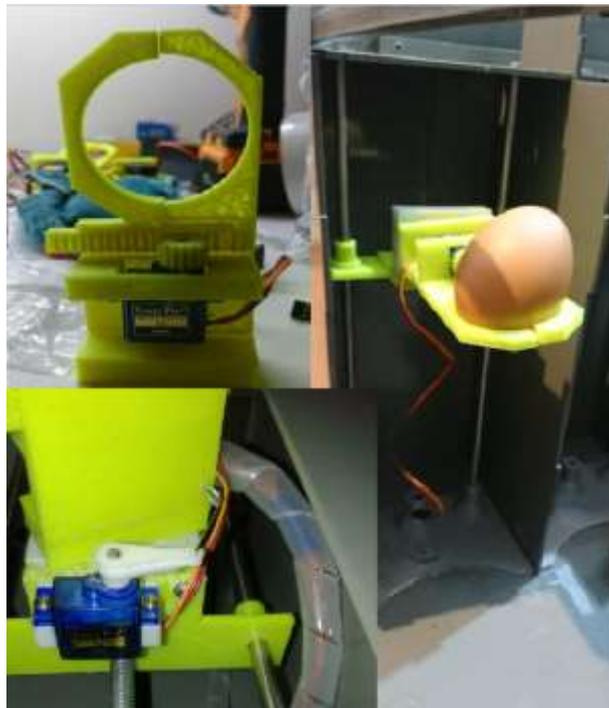
**Tabla 5-2:** Dimensiones estimadas y reales en la estructura de sujeción.

Descripción	Longitudes Ensamblaje (cm)	
	Simulación	Físicas
Largo	13	12,8
Ancho	9,5	9,2
Altura	32,28	32,11
Diámetro de la base de los soportes	interior 0,85/ exterior 1,20	interior 0,82/ exterior 1,18
Diámetro de las pinzas de sujeción	2,12	2,11

Realizado por: Ramón Ángel, 2019

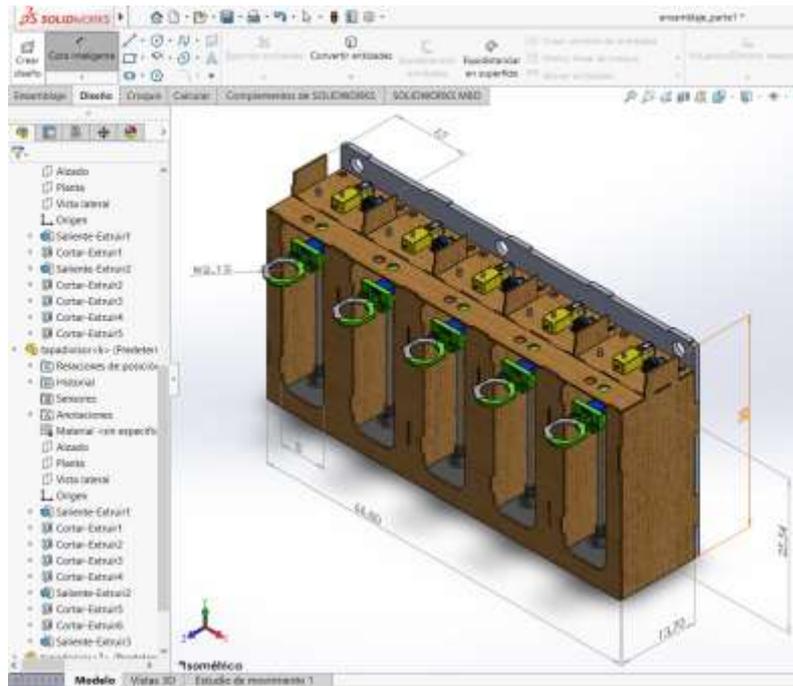
En esta estructura se conectan 2 servomotores que están encargados de la movilidad de la pinza que está dispuesta en sujeción y ángulo de movimiento y que junto con la base que se encuentra sujeta a un tornillo sin fin que se encargara de la posición de altura con la ayuda de un motorreductor de 6v a 12v.

Posteriormente se armaron 10 estructuras de similares características, que estarán destinadas para la sujeción y cuidado de 1 huevo cada uno y posteriormente se juntan estas estructuras en filas de 5 con la finalidad de hacer una estructura final de la incubadora rígida.



**Figura 22-2:** Servomotor sujetado a la pinza sujetadora de huevos  
Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Las dos filas que se pretendieron obtener seguían el diseño base implementado en SolidWorks, debido a que estas piezas fueron recortadas según el modelo creado en dicho programa.



**Figura 23-2:** estructura de sujeción y manipulación de huevos

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Por lo tanto, los valores estimados en el ensamblaje en el programa y los valores medidos en el ensamblaje físico fueron los siguientes:

**Tabla 6-2:** Dimensiones estimadas y reales en la estructura de sujeción.

Descripción	Longitudes ensamblaje (cm)	
	Simulación	Físicas
Largo	66,8	66,9
Ancho	13,7	13,8
Altura	35	35
Distancia de espacio de cada pinza	8	7,9
Altura de movilidad de cada pinza	25,54	25,55

Realizado por: Ramón Ángel, 2019

Como se puede observar los valores establecidos en el ensamblaje simulado y los valores reales que se estuvieron obteniendo en el armado físico de las partes de la cámara de incubación se tenía un error estimado de  $\pm 0,15\%$  en la comparación de medidas, esto es debido a la precisión de corte en las piezas debido a que la máquina cortadora poseía un error de  $\pm 1\text{mm}$  a  $2\text{mm}$  aproximadamente.

No obstante, las piezas y partes finales obtenidas poseen medidas aceptables y que no infieren en el resultado final de la construcción de la incubadora artificial.

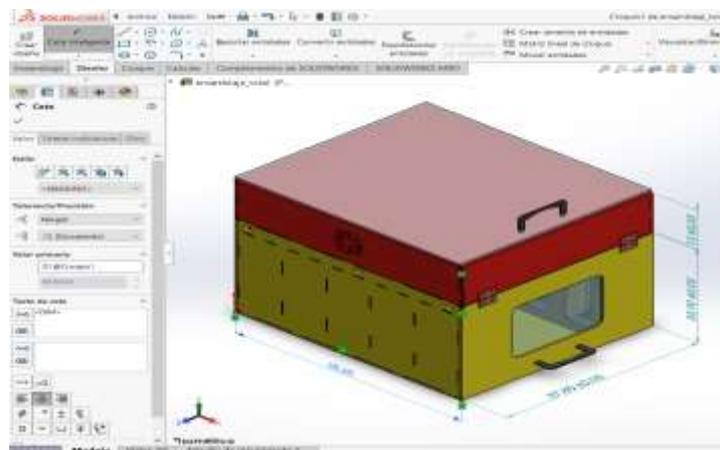


**Figura 24-2:** estructura final implementada de sujeción y manipulación de huevos  
**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

Una vez implementado se procedió en el accionamiento de cada motor para poder determinar la funcionalidad de la estructura, una vez verificado la funcionalidad de cada pinza y motorreductor se continuo con el ensamblaje final con la estructura que se observa en la Figura 28-2 que albergará todo el sistema, sensores y actuadores.

#### 2.6.2.1. Carcasa de la incubadora

El diseño final del proyecto se tomaron ideas de diferentes modelos que ya han sido fabricados, consiguiendo de tal manera un diseño con modelos funcionales y añadiendo partes de nuevas y que en conjunto se obtuvo una incubadora totalmente funcional.



**Figura 25-2:** Estructura base del prototipo de la incubadora en SolidWorks  
**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

Por lo tanto, en el momento del ensamblaje debido a las características individuales de cada pieza se obtuvieron las siguientes medidas:

**Tabla 7-2:** Valores estimados en el ensamblaje de la estructura externa de la incubadora

DESCRIPCIÓN	DIMENSION (cm)
<b>ESTRUCTURA EXTERNA</b>	
Largo	68,6
Ancho	57,8
Altura	51
Tapa superior	68.6 x 67.8
<b>COMPUERTA LATERAL</b>	
Largo	57,8
Ancho	35,9

Realizado por: Ramón Ángel, 2019

Se consideró a la madera como material que formará la mayor parte, para la construcción de la cámara debido a la capacidad que posee de conservar la temperatura, por lo tanto, para empezar, se hizo un esquema de la estructura de la incubadora en SolidWorks con sus respectivas cotas en el ensamblaje final como se observa en la Figura 28-2, que es un software en el que se pueden realizar piezas de acuerdo a la necesidad del usuario y posteriormente, si es necesario, realizar un ensamblaje del modelo que se está realizando. Todo esto es necesario para poder tener las medidas exactas en el modelo físico y corregir errores antes de incluso tener el material físicamente elaborado con el que se pretende construir el proyecto.



**Figura 26-2:** Ensamblaje final de la incubadora artificial.

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Para la alimentación del sistema, control de los sensores y actuadores se adjuntó un tablero encargado del control y monitoreo de la incubadora.



**Figura 27-2:** Ensamblaje de la carcasa de la incubadora

**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)



**Figura 28-2:** Ensamblaje de la carcasa de la incubadora

**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

## CAPÍTULO III

### 3. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

En este capítulo se detallará los valores obtenidos de las pruebas realizadas tanto en hardware como en software implementados para el funcionamiento del prototipo de incubación, mostrando la calibración de los sensores y actuadores además de la actualización y monitoreo de las imágenes e información enviada hacia la interfaz de usuario, finalmente se realizaron tablas comparativas de las temperaturas, pesos de los huevos, humedad relativa durante el periodo que el sistema estuvo en funcionamiento para conseguir el nacimiento de los polluelos.

#### 3.1. Características del prototipo de incubadora

Para comprobar que el prototipo de incubación y supervisión por visión artificial cumple con los objetivos planteados se caracterizaron las mediciones de temperatura, humedad, movimientos, control de visión artificial y posterior descenso de los huevos en eclosión en el final del proceso.

##### 3.1.1. Pruebas de medición de Temperatura

En la tabla 1-3 se muestra los valores tomados por el sensor DHT11 y se realizó la referencia con un instrumento de medición BENETECH GM816 (*manual\_EA-3010U.pdf*, 2019, p.1), que tiene una exactitud de  $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ . Se puso en funcionamiento por 24 horas, tomando las siguientes muestras como se muestra el Figura 1-3. Estas mediciones se realizaron para comprobar que no genere error, del generado por el sensor que es de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 1-3:** Toma de temperatura de una prueba realiza.

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

A continuación, se observa las muestras tomadas en la Tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Mediciones de temperatura

No.	Instrumento de Medición	Temperatura DHT11	Error Absoluto
1	37,6 °C	37,4 °C	0,3
2	37,8 °C	37,6 °C	0,2
3	37,9 °C	37,7 °C	0,2
4	37,9 °C	37,7 °C	0,2
5	37,9 °C	37,6 °C	0,3
6	37,9 °C	37,6 °C	0,3
7	38 °C	37,7 °C	0,3
8	38 °C	37,8 °C	0,2
9	37,6 °C	37,4 °C	0,2
10	38 °C	37,7 °C	0,3
11	38 °C	37,8 °C	0,2
12	38 °C	37,7 °C	0,3
13	38,1 °C	37,9 °C	0,2
14	38,1 °C	37,8 °C	0,3
15	37,7 °C	38 °C	0,3
16	38,1 °C	37,9 °C	0,2
17	38 °C	37,8 °C	0,2
18	38,1 °C	37,8 °C	0,3
19	37,9 °C	37,7 °C	0,2
20	37,8 °C	37,6 °C	0,2
21	37,9 °C	37,7 °C	0,2
22	37,7 °C	37,4 °C	0,3
23	37,8 °C	37,6 °C	0,2
24	37,8 °C	37,5 °C	0,3

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Aplicando el error absoluto de temperatura se obtuvo una media  $0,21^{\circ}\text{C}$ , esto resulta sumar la temperatura del dispositivo referencial y el sensor de temperatura del prototipo, no sobrepasan el error máx. de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . Mediante los resultados obtenidos en las mediciones se verifica que el sistema no introduce más error que el generado por el sensor cumpliendo así los requerimientos de incubación requeridos.

### 3.1.2. Pruebas de medición de Humedad

En la Figura 1-3 se muestra el porcentaje de humedad, el objetivo de esta prueba es determinar que el prototipo mantenga el error del sensor de humedad relativa que maneja en el prototipo es 45% con un error de 5%, para esto se utilizó un instrumento de medición BENETECH GM816, con una humedad relativa que va del 10% al 90% con un error del  $\pm 2.5\%$ . Se realizó el funcionamiento por 24 horas tomando así muestras como se muestra en la Tabla 2-3.



**Figura 2-3:** Humedad medida con el anemómetro

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

En la Tabla 2-3 se muestra los valores de humedad medidos.

**Tabla 2-3:** Mediciones de Humedad

No.	Humedad Referencial Anemómetro (%)	Humedad DHT11 (%)	Error Absoluto
1	45,8	44,8	1
2	46,5	45,5	1
3	45,8	44,8	1
4	47,3	46,2	1,1
5	45,1	44,3	0,8
6	44,9	44,3	0,6
7	44,7	43,6	1,1
8	45,6	44,8	0,8
9	45,4	44,1	1,3
10	45,3	44,2	1,1
11	44,7	44,1	0,6
12	44,8	44,1	0,7
13	44,9	44,1	0,8
14	45,3	44,4	0,9
15	45,1	44,1	1
16	45,2	44,3	0,9
17	45,1	44,6	0,5
18	45,3	44,6	0,7
19	44,9	44,2	0,7
20	45,1	44,3	0,8
21	45,7	44,8	0,9
22	45,5	44,8	0,7
23	45,4	44,7	0,7
24	45,1	44,2	0,9

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Aplicando el error absoluto de humedad se obtuvo una media 0,85%, esto resulta sumar la humedad relativa del dispositivo referencial y la humedad relativa del prototipo, no sobrepasan el error máx. de  $\pm 2.5$  %. Mediante los resultados obtenidos en las mediciones se verifica que el sistema no introduce más error que el generado por el sensor cumpliendo así los requerimientos.

### 3.1.3. Pruebas de medición de Giro

En esta prueba se realiza dos tipos de pruebas para verificar el ángulo de giro que va a tener cada módulo de soporte teniendo en cuenta el peso del huevo que va a influir.

### 3.1.3.1 Pruebas de giro sin carga

Como se muestra en la Figura 3-3, mediante una aplicación móvil con un error de  $\pm 1^\circ$  por el campo magnético que tiene el planeta, se midió el giro del servomotor sin carga cumple con el ángulo calibrado. El prototipo mantiene un giro horario de  $45^\circ$  horario, giro de  $0^\circ$  y un giro antihorario de  $45^\circ$ . Obteniendo de igual forma 8 giros en 24 hrs.



**Figura 3-3:** Medición de ángulos

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

**Tabla 3-3:** Mediciones de ángulos de inclinación sin huevos

No.	Aplicación Móvil			Calibración Motor			Error Absoluto Antihorario	Error Absoluto $0^\circ$	Error Absoluto Horario $45^\circ$
	Giro Antihorario $45^\circ$	Giro $0^\circ$	Giro Horario $45^\circ$	Giro Antihorario $45^\circ$	Giro $0^\circ$	Giro Horario $45^\circ$			
1	45	0	45	45	0	45	0	0	0
2	45	0	45	45	0	45	0	0	0
3	45	0	45	45	0	45	0	0	0
4	45	0	45	45	0	45	0	0	0
5	45	0	45	45	0	45	0	0	0
6	45	0	45	45	0	45	0	0	0
7	45	0	45	45	0	45	0	0	0
8	45	0	45	45	0	45	0	0	0

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Aplicando el error absoluto de giro se obtuvo una media de  $0^\circ$ , esto resulta sumar el giro de la aplicación móvil y el giro de la calibración del motor del prototipo, esto implica que la calibración realizada resulta totalmente precisa.

### 3.1.3.2 Pruebas de giro con carga

Como se muestra en la Figura 4-3, mediante una aplicación móvil con un error de  $\pm 1^\circ$  por el campo magnético que tiene el planeta, se midió que el giro del servomotor con carga tiene una variación de  $1^\circ$ . El prototipo mantiene un giro horario de  $44^\circ$  horario, giro de  $0^\circ$  y un giro antihorario de  $44^\circ$ . Obteniendo de igual forma 8 giros en 24 hrs.



**Figura 4-3:** Medición de ángulos

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

**Tabla 4-3:** Mediciones de ángulos de inclinación con huevos

No.	Calibración Servomotor			Aplicación Móvil			Error Absoluto Antihorario $45^\circ$	Error Absoluto $0^\circ$	Error Absoluto Horario $45^\circ$
	Giro Antihorario $45^\circ$	Giro $0^\circ$	Giro Horario $45^\circ$	Giro Antihorario $45^\circ$	Giro $0^\circ$	Giro Horario $45^\circ$			
1	45	0	45	44	0	44	1	0	1
2	45	0	45	44	0	44	1	0	1
3	45	0	45	44	0	44	1	0	1
4	45	0	45	44	0	44	1	0	1
5	45	0	45	44	0	44	1	0	1
6	45	0	45	44	0	44	1	0	1
7	45	0	45	44	0	44	1	0	1
8	45	0	45	44	0	44	1	0	1

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Aplicando el error absoluto de giro se obtuvo una media de  $1^\circ$ , lo que se interpreta como pérdida en la calibración esto debido al peso del huevo que la pinza soporta, está perdida no afecta en el proceso de incubación.

## **3.2. Pruebas de Funcionamiento**

### ***3.2.1. Calibración del sistema de incubación***

Una vez ensamblado el proyecto y determinado el principio de los algoritmos que se van a utilizar para las etapas del proceso de la incubadora, es necesario realizar una calibración de los parámetros de las etapas y posteriormente desarrollar una interfaz que permita un uso intuitivo al usuario, por lo tanto, las librerías necesarias para el control del sistema son las siguientes:

#### ***3.2.1.1. Calibración de los motores de movimiento***

Se determinaron dos calibraciones distintas, debido a la acción que se realizará en el giro de cada uno de los huevos y la activación de cada motorreductor para una eclosión a salvo de los futuros pollos.

#### ***3.2.1.2. Calibración de los servomotores***

Se realizó con un ángulo de giro para todos los servomotores haciendo que el giro sea idéntico en cada uno de los huevos, adicional a ello junto con un sistema de temporización y los movimientos recomendados por los avicultores, finalmente se programó un giro de 45° ya sea en sentido horario o antihorario en un lapso de 3 horas, obteniendo así un total de 8 movimientos por día de todos los huevos.

#### ***3.2.1.3. Calibración de los motorreductores***

La calibración del sistema de descenso de los huevos tiene un comportamiento distinto debido a que este sistema se encargará de bajar a los huevos una vez que se haya enviado una señal de accionamiento generada por el sistema de visión artificial, además que el sistema funcionará una vez transcurrido los 21 días, es decir en la etapa final del proceso de incubación donde los huevos de gallina terminan el proceso de incubación y se encuentran listos para eclosionar.

Se establece que el motor descienda hasta que el sensor ultrasónico ubicado en el nivel superior del tren de las pinzas de la cámara detecte una distancia mayor o igual a 20cm

### 3.2.1.4. Calibración de la temperatura con respecto a la humedad

Finalmente, lo que se realizó es medir el promedio de los valores de temperatura y humedad suministrados por los 2 sensores DHT11 y a su vez se envía a la función que controla el rango de temperatura.

Además, se estableció un intervalo de valores en la humedad relativa puesto que en la incubación natural los valores no son constantes, pero si aproximados, por lo tanto, Para una humedad relativa óptima (entre el 65% y 70%) es recomendable que el contenedor de agua tenga un área equivalente a la mitad de la superficie del piso de la incubadora.

Por lo tanto, los valores estimados en el proceso de incubación en la incubadora fueron de 37.7°C con una humedad relativa entre 45 – 50%, aumentando la humedad los últimos 3 días al disminuir la temperatura a 37.2°C y finalmente estimando los valores de temperatura de bulbo húmedo entre 82.3 a 81.5.

### 3.2.2. Caracterización de las condiciones de la incubadora

#### 3.2.2.1. Caracterización de la humedad relativa

Con respecto a los valores de la humedad relativa que existirá en la cámara se puede definir según una consideración entre la temperatura promedio y el área del recipiente con agua con respecto a la base donde cada uno de los pollos nacerán, por lo tanto, se establecieron los valores mostrados en la Tabla 5-3

**Tabla 5-3:** Humedad relativa de acuerdo a los parámetros de temperatura y área

	°C PROMEDIO		DIMENSIONES	Área cm <sup>2</sup>	Largo (cm)	Ancho (cm)
	Día 1-18	Día 19-21	Contenedor de agua	1836	68	27
	37,96	37,2	Base de la cámara	352	16	11
Humedad Relativa estimada	45%	50%	COMPARACIÓN (Contenedor / Base)	<b>5 a 1</b>		

Realizado por: Ramón Ángel, 2019

Se estimó entonces la humedad relativa que existirá en la cámara de incubación, de acuerdo a la temperatura promedio junto con el área del contenedor de agua y de la base de la cámara cuya proporción fue calculada de 5 a 1, obteniendo de tal manera un valor de humedad del 45% los primeros días y conforme la temperatura disminuye los últimos días un valor relativo de 50% aproximadamente, debido a que pueden variar en  $\pm 1\%$  dependiendo de las condiciones ambientales en determinado periodo de tiempo.

### 3.2.2.2. Caracterización de los movimientos de las pinzas sujetadoras

En la tabla 3-3 se muestra la posición que cada pinza va a tener en cada lapso de tiempo, asegurando un total de 8 movimientos por día.

**Tabla 6-3:** Posición de las pinzas sujetadoras de cada huevo

MOVIMIENTOS	
TIEMPO Hrs	POSICIÓN
0:00	0°
3:00	45°
6:00	0°
9:00	-45°
12:00	0°
15:00	45
18:00	0°
21:00	-45°

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Para la calibración del sistema y asegurar un total de 8 movimientos por día se utilizó un bucle por 18 días que se activa según el diagrama visto anteriormente donde se visualiza el movimiento que los micro servos deberán realizar.

### 3.2.2.3. Caracterización del control de visión artificial

En el proceso de visión artificial lo que se pretendió fue efectuar un monitoreo basado en las imágenes capturadas por la cámara, al realizar un proceso de detección y descripción de puntos de interés para poder realizar una segmentación de la imagen y determinar si existen diferencias al comparar las imágenes, determinando de tal manera la presencia de movimiento en la incubación.

### **3.2.3. Implementación del algoritmo de detección, descripción y segmentación**

El sistema de detección básicamente se hará cargo del monitoreo únicamente cuando el proceso de incubación este por finalizar, para conseguir un funcionamiento eficaz del algoritmo se tomó en cuenta tres parámetros fundamentales:

- El algoritmo SIFT
- La obtención de imágenes y su posterior tratamiento
- Comunicación serial hacia el prototipo

Una vez realizado este proceso, se continua con la implementación del control serial (envío y recepción de datos) y del algoritmo SIFT encargado de la detección y descripción.

Se implementó el algoritmo SIFT con los parámetros recomendados para la detección de imágenes donde:

- FLANN\_INDEX\_KDTREE = Es el comparador basado en el algoritmo FLANN

Finalmente, el algoritmo implementado realiza la detección y descripción de puntos de interés y con un costo computacional aceptable.

## **3.3. Pruebas de incubación**

De acuerdo a las pruebas establecidas con la incubadora artificial, se ha definido el valor máximo en la temperatura que alberga la incubadora al haber realizado el monitoreo durante el periodo de 18 días con un rango de temperatura de  $38^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  y disminuyendo a  $37^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  los 3 últimos días efectuando un descenso automático de los huevos hacia la base de la incubadora el día 21, periodo en el que éstos deben eclosionar. Este proceso que finaliza el ciclo de incubación se realiza de manera automática al ser monitoreada por medio de una cámara y al percibir movimiento por medio de visión artificial.

### **3.3.1. Características del sistema de incubación**

Durante todo el proceso se realizó el monitoreo de las temperaturas que fue capaz de mantener la cámara con la finalidad de verificar si se obtenían los valores calibrados y no había ningún

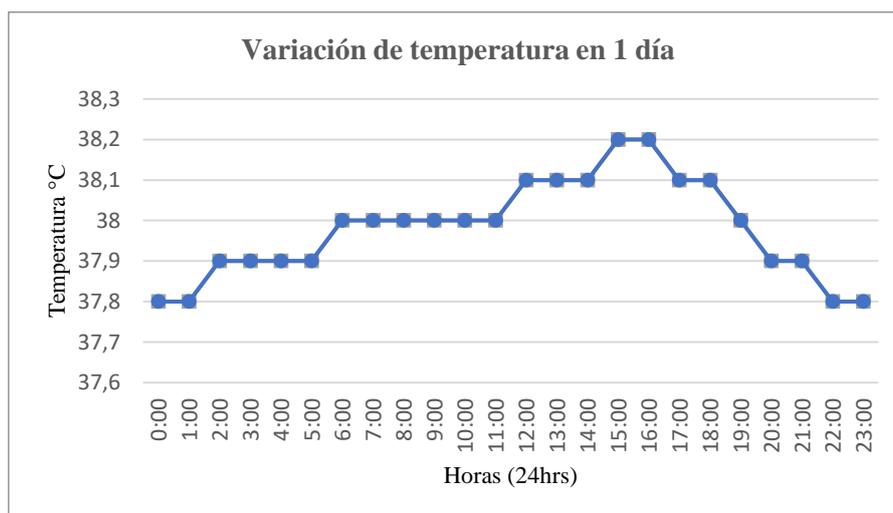
inconveniente en el tiempo de duración del mismo, por lo tanto, se obtuvieron los siguientes datos de temperatura.

**Tabla 7-3:** Temperaturas medidas en el periodo de incubación

Temperatura durante los primeros 18 días							
Temperatura ideal				37,8°C			
Temperatura calibrada				38°C			
Temperatura promedio (1 día)				38,00			
Temperatura promedio (18 días)				37,96			
TEMPERATURAS MEDIDAS							
Promediada cada hora				Promediada durante los 18 días			
Hrs: min	°C	Hrs: min	°C	Días	°C	Días	°C
0:00	37,9	12:00	38,1	1	37,9	10	38
1:00	37,9	13:00	38,1	2	37,9	11	38,1
2:00	37,9	14:00	38,1	3	37,7	12	37,8
3:00	37,9	15:00	38,2	4	38,1	13	38,2
4:00	37,9	16:00	38,2	5	37,7	14	37,9
5:00	37,9	17:00	38,1	6	38	15	38
6:00	38	18:00	38,1	7	37,8	16	38,1
7:00	38	19:00	38	8	38,2	17	38,1
8:00	38	20:00	37,9	9	37,9	18	37,8
9:00	38	21:00	37,9				
10:00	38	22:00	37,9				
11:00	38	23:00	37,9				

Realizado por: Ramón Ángel, 2019

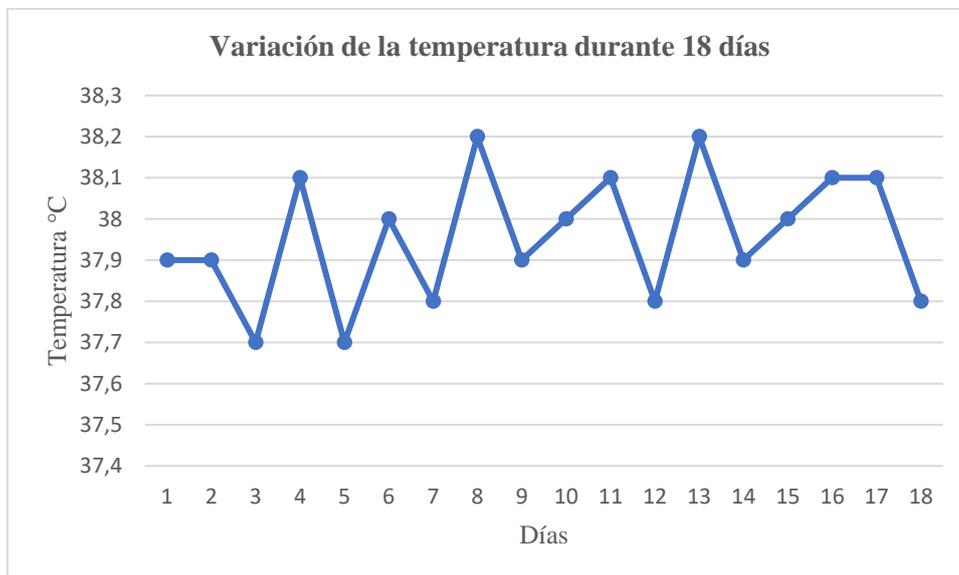
Con los valores de temperatura evaluados se pudo obtener las siguientes gráficas:



**Gráfico 1-3:** Variación de la temperatura en el transcurso del día

Realizado por: Ramón Ángel, 2019

Según el Gráfico 1-3, se puede observar que la temperatura ideal se obtiene en las primeras horas del día debido a la calibración de 38°C que se ha establecido, no obstante, un valor mayor de temperatura entre las 15:00 y 16:00 Hrs y el más bajo en las horas de la noche entre las 22:00 y 01:00 Hrs



**Gráfico 2-3:** Variación de la temperatura durante los primeros 18 días

Realizado por: Ramón Ángel, 2019

**Tabla 8-3:** Temperaturas medidas en el periodo de incubación (19-21 días)

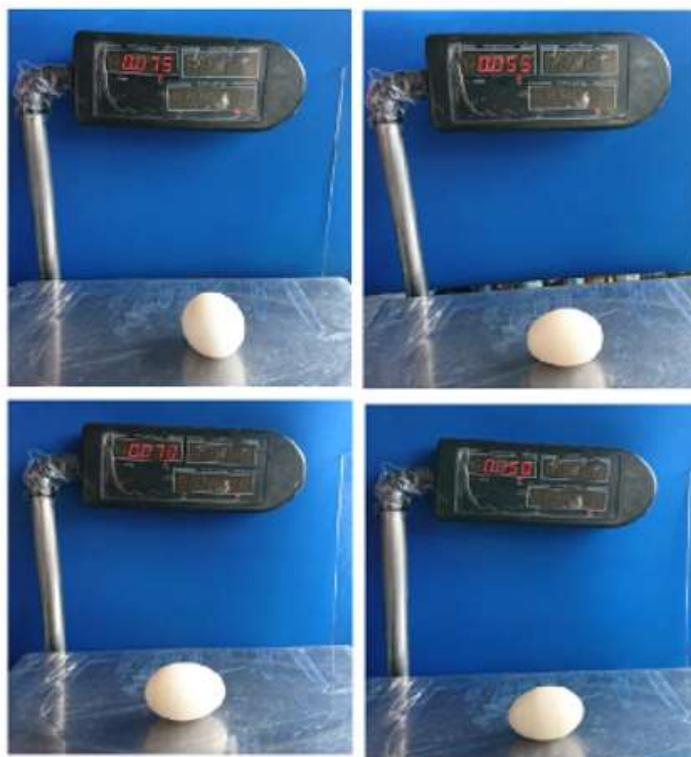
<b>TEMPERATURA EN LA CÁMARA</b>	
<b>Temperatura durante los 3 últimos días</b>	
Temperatura ideal	37,2°C
Temperatura calibrada	37°C
Temperatura promedio (3 días)	37,00
<b>TEMPERATURAS MEDIDAS</b>	
<b>Días</b>	<b>°C</b>
19	37,1
20	36,9
21	37

Realizado por: Ramón Ángel, 2019

Como se puede ver en el Gráfico 2-3, la variación de temperatura en el periodo inicial de incubación (18 días) varió entre 37,7° y 38,2°C, dependiendo de las condiciones ambientales en las que se encontraba la incubadora en cada uno de los días, siendo de esta manera valores de temperatura aceptables, debido a que la temperatura de incubación puede variar en un rango de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

### 3.3.2. *Análisis de los huevos en el transcurso de la incubación*

Una manera de poder comprobar la eficacia del proceso de incubación, fue tomar información del peso de los huevos al inicio y al terminar los 18 primeros días, con la finalidad de poder armar una tabla de valores para cada uno de los 10 huevos durante este periodo de tiempo.



**Figura 5-3:** Pesos de los huevos en el comienzo de la incubación

**Realizado por:** (Ramón Ángel, 2019)

El objetivo de este control fue comprobar que conforme el tiempo avanzaba, el peso de cada huevo disminuyó y de acuerdo a los avicultores el peso ideal que debe reducirse entre el valor inicial y el final debe ser entre un 12% aproximadamente, debido a que durante la incubación el oxígeno aumenta en cada uno de los huevos.

**Tabla 9-3:** Pesos iniciales y finales de cada huevo

# Huevo	Peso inicial		Peso final		% Peso perdido
	Kilogramos	Gramos Inicio	Kilogramos	Gramos Fin	
1	0,075	75	0,067	66,8	10,9
2	0,055	55	0,048	48,1	12,6
3	0,070	70	0,062	62,1	11,3
4	0,050	50	0,044	44,0	12,1
5	0,073	73	0,063	63,4	13,1
6	0,054	54	0,047	47,3	12,4
7	0,062	62	0,055	54,7	11,8
8	0,071	71	0,064	63,8	10,1
9	0,060	60	0,052	52,3	12,8
10	0,072	72	0,063	63,4	11,9

Realizado por: Ramón Ángel, 2019

Con la finalidad de no interrumpir el proceso de incubación se tomaron los pesos el primer y dieciochoavo día, debido a que los 3 últimos días se debe mantener el movimiento al mínimo porque pueden llegar a romperse los vasos sanguíneos de cada pollo a punto de nacer.



**Gráfico 3-3:** Comparación gráfica de cada uno de los pesos

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

Se pudo observar que la variación entre el peso inicial y final fue del  $12\% \pm 1.5$  aproximadamente pudiendo determinar una fiabilidad en el proceso y una mayor seguridad en el nacimiento de aquellos huevos cuyo valor porcentual de pérdida de peso se acerca al 12%.

Finalmente, de acuerdo a la cantidad de eclosiones exitosas y fallidas se pudo obtener la siguiente tabla de valores.

**Tabla 10-3:** Mortalidad estimada de acuerdo a las eclosiones favorables

<b>MORTALIDAD DE LOS HUEVOS</b>			
<b># Huevo</b>	<b>Día de eclosión</b>	<b>Hora del día</b>	<b>ESTADO SI=1; NO=0</b>
1	21	Mañana	1
2	21	Mañana	1
3	21	Tarde	1
4	---	---	0
5	22	Mañana	1
6	21	Tarde	1
7	---	---	0
8	21	Mañana	1
9	---	---	0
10	21	Mañana	1
<b>NACIMIENTOS EXITOSOS (%)</b>			70 %

Realizado por: Ramón Ángel, 2019



**Figura 6-3:** Polluelos con 1 día de nacimiento del prototipo

Realizado por: Ramón Ángel, 2019

### 3.4. Pruebas de consumo de energía

Para el consumo energético se tomaron en cuenta cada dispositivo electrónico que tenga un consumo de corriente mostrados en el Tabla 11-3, durante los 21 del proceso de incubación y eclosión por el prototipo.

**Tabla 11-3:** Valores de voltaje, corriente y potencia de los elementos en la incubadora

PRUEBAS DE ENERGÍA					
DISPOSITIVO	CANTIDAD TOTAL	Voltaje Unitario (V)	Corriente Individual (A)	Corriente Total (A)	POTENCIA (watt)
SERVOMOTORES	20	5	0,12	2,4	12
MOTORREDUCTOR	10	12	0,2	2	24
MINI BOMBA DE AGUA	1	4,96	0,35	0,35	1,74
SENSOR DE NIVEL DE AGUA	1	5	0,01	0,01	0,05
VENTILADOR DE COMPUTADORA	2	12	0,02	0,03	0,36
ARDUINO MEGA2560	1	5	0,2	0,2	1
RASPBERRY PI B+	1	5	0,1	0,1	0,5
SENSOR ULTRASÓNICO	10	5	0,03	0,3	1,5
SENSOR DHT11	2	5	0,02	0,04	0,2
PUENTE H L298n	6	5	0,1	0,6	3
PCA9685	2	5	0,2	0,4	2
REGULADORES DC-DC	2	5	0,78	1,56	7,8
<b>Total</b>				7,375	54,15

Realizado por: Ramón Ángel, 2019

Se determina que la potencia nominal del prototipo de incubación es de 54,15(W) y corriente 7,375 (A) conectado a plena carga, considerando a este como un prototipo de bajo consumo eléctrico comparado con otros dispositivos comerciales.

### 3.5. Análisis económico

Para el análisis económico se determinaron elementos electrónicos y mecánicos utilizados en el diseño e implementación existentes en el mercado nacional como se muestra de forma detallado en la Tabla 12-3.

**Tabla 12-3:** Costo final estimado del prototipo

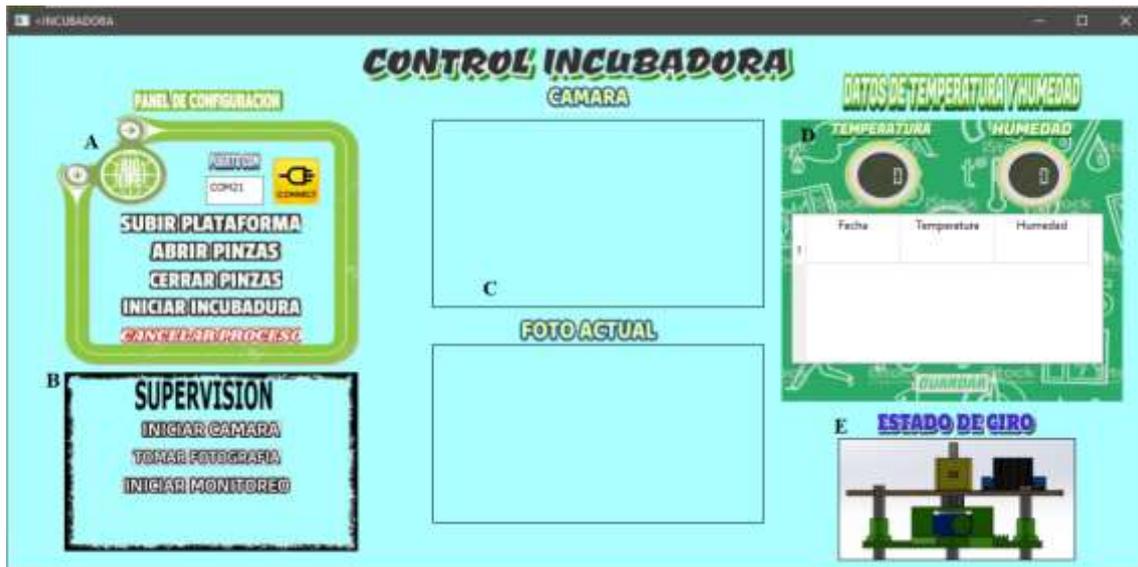
Total	DESCRIPCIÓN	Valor UNITARIO	Valor TOTAL(USDS)
	Estructura de madera	150	150
	Impresiones 3D	120	120
1	vidrio templado de (68,6 x 67,8) cm de 6mm	30	30
2	vidrios templados de (30 x 21) cm de 6mm de espesor	20	40
20	servomotores SG90	3,5	70
1	mini bomba de agua	5	5
1	Fuente de alimentación 12v / 5A	15	15
1	sensor analógico de nivel de agua	4	4
2	ventiladores de computadora de 12v	5	10
1	microprocesador Arduino MEGA2560	40	40
1	Raspberry pi3 B+	80	80
10	motores reductores de 6v a 12v	5	50
10	sensores ultrasónicos	4	40
1	cámara LOGITECH C170	20	20
2	sensores DHT11 (Temperatura y Humedad)	5	10
2	reguladores DC-DC 5v de 5A	10	20
2	PCA9685 de 16 canales (controlador de servomotores)	12	24
6	puentes H L298n de 12v	4	24
2	boquillas de 110v	2	4
1	Relé estado sólido	25	25
	Materiales de montaje y conexión	34	34
		<b>TOTAL</b>	<b>815 USD</b>

Realizado por: Ramón Ángel, 2019

Según las muestras la parte mecánica tiene un precio de 415\$ dólares (USD) y la parte electrónica un precio de 400\$ dólares (USD), dando un costo total de 815\$ (USD), mientras que al comparar con otras máquinas de incubación de las mismas características asciende a un valor de 600\$ (USD), dando una diferencia de 26,38% equivalente a 185\$ (USD), pero dicha maquinaria carece de supervisión inteligente en comparación del prototipo diseñado.

### 3.6. Funcionamiento de la interfaz

En la etapa final de incubación la interfaz es la encargada de detectar el movimiento de cada huevo por medio de la cámara para activar el descenso hacia la base y asegurar un nacimiento seguro, por lo tanto, la temperatura promedio, el estado de giro de las pinzas fueron supervisadas en la interfaz de usuario mostrado en la Figura 7-3.



**Figura 7-3:** Interfaz de monitoreo del sistema de incubación

Realizado por: (Ramón Ángel, 2019)

- A = Es el panel encargado de la calibración de las pinzas para sujetar el huevo y poder realizar el proceso de giro.
- B = Es el panel de supervisión donde se activará la cámara para la visualización de proceso de eclosión.
- C = Muestra las imágenes de la incubadora donde “CAMARA” muestra las imágenes en tiempo real obtenidas por la cámara y “FOTO ACTUAL” es la imagen que va a ser comparada con el algoritmo.
- D = Es el panel de visualización del estado actual del prototipo de incubación donde se mostrará los parámetros de temperatura y humedad, además visualiza una tabla con los datos medidos por cada hora.
- E = Muestra el estado de giro horario y antihorario de la pinza que sostiene al huevo en cada momento.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un prototipo de incubadora que maneja variables climáticas para la eclosión de huevos mediante supervisión inteligente con una efectividad del 70%.
- Para la supervisión inteligente se optó por el algoritmo SIFT donde logra determinar cuando existe un cambio en la superficie del huevo creando la segmentación de imágenes precisa para poder detectar el nacimiento de los huevos el día de la eclosión.
- Para que el proceso de incubación y la eclosión del huevo sea factible es necesario mantener una temperatura de 38°C los primeros 18 días y de 37°C los últimos 3 días, con una humedad relativa entre 45% y 50% respectivamente.
- El prototipo de incubación trabaja en un rango de temperatura 37,7°C a 38,2°C esto obtuvo mediante de los 18 primeros días logrando mantener el nivel de referencia de 38°C, y de 37°C, determinando que el prototipo trabaja a una temperatura adecuada logrando la eclosión.
- Con las muestras registradas de temperatura se obtuvo una media del error de 0,21°C, lo que no sobrepasan el error máx. de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  de la humedad relativa, esto nos indica que el sistema no introduce más error el sistema es estable.
- Con los datos registrados al sensar la humedad se pudo determinar una media del error de 0,85%, lo que no sobrepasan el error máx. de  $\pm 2.5\%$  de la humedad relativa, esto nos indica que el sistema no introduce más error.
- La capacidad total del prototipo fue de 10 huevos, se obtuvo un porcentaje de mortalidad del 30% esto se puede atribuir a las condiciones de fecundación que se les da a los huevos.

## RECOMENDACIONES

- Con los resultados obtenidos con el nacimiento de los polluelos, se recomienda utilizar huevos 100% certificados, es decir huevos que aún sean aptos para ser incubados.
- Se recomienda crear un dispositivo para determinar la fertilidad de los huevos para poder descartar ciertas anomalías.
- Como al ser un prototipo y se utilizaron 10 huevos, la incubadora puede ser implementada con un método de distribución en camilla, de modo que la producción se incrementaría.
- Se podría mejorar el sistema de desplazamiento de los huevos que están a punto de eclosionar, desde la incubadora hacia la nacedera, puesto que el funcionamiento del prototipo es de modo individual.
- En el periodo final de la incubación se debe hacer una mínima intervención en los huevos puesto a que pueden llegar a romperse los vasos sanguíneos produciendo la muerte del polluelo.
- Debido a que el funcionamiento del prototipo es satisfactorio, más adelante se puede implementar un sistema de tratamiento adicional para el desplazamiento de los polluelos.

## BIBLIOGRAFÍA

02 *Intro to Arduino.pdf*. (s. f.). Recuperado de <http://web.csulb.edu/~hill/ee400d/Technical%20Training%20Series/02%20Intro%20to%20Arduino.pdf>.

2015 - *PCA9685 16-channel, 12-bit PWM Fm+ I2C-bus LED con.pdf*. (s. f.). Recuperado de <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/PCA9685.pdf>.

Agelectronica, [en línea], *RB04M022.pdf*, [Consulta: 9 de julio de 2019], Recuperado de <http://www.agspecinfo.com/pdfs/R/RB04M022.PDF>

**AKINTADE, O. O., Olasunkanmi, J. N., & Kehinde, L. O.**, [en línea] Development of a GSM based DC Powered Bird Egg Incubator. *International Journal of Engineering Research*, 4(11), 7. [Consulta: 9 de junio de 2019], Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/287935574\\_Development\\_of\\_a\\_GSM\\_Based\\_DC\\_Powered\\_Bird\\_Egg\\_Incubator](https://www.researchgate.net/publication/287935574_Development_of_a_GSM_Based_DC_Powered_Bird_Egg_Incubator).

Alldatasheet, [en línea], *DHT Datasheet.pdf*. [Consulta: 8 de julio de 2019]. Recuperado de <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=DHT>

Arduino - IntelGalileo, [en línea]. [Consulta: 9 de julio de 2019], Disponible en <https://www.arduino.cc/en/ArduinoCertified/IntelGalileo>.

*Arduino - Reference.pdf*. [en línea]. [Consulta: 10 de julio de 2019]. Disponible en [https://www.ele.uri.edu/courses/ele205/ELE205Lab/ELE205\\_Lab\\_files/Arduino%20-%20Reference.pdf](https://www.ele.uri.edu/courses/ele205/ELE205Lab/ELE205_Lab_files/Arduino%20-%20Reference.pdf).

**Arévalo Castro**, [en línea], *Avicultura incubación*. Ciencias, [Consulta: 10 de junio de 2019], Recuperado de <https://es.slideshare.net/renatopaularevalocastro/avicultura-incubacin-36047493>

aviNews la revista global de avicultura, [en línea], Industria avícola de Ecuador en proceso de reactivación este 2018. [Consulta: 5 de junio de 2019]. Recuperado de <https://avicultura.info/industria-avicola-de-ecuador-en-proceso-de-reactivacion-este-2018/>

**Bavera**, [en línea], SITIO ARGENTINO DE PRODUCCIÓN ANIMAL "Producción avícola en general", [Consulta: 5 de junio de 2019], Recuperado de <http://www.produccion-animal.com.ar/>

**Bavera**, [en línea]. SITIO ARGENTINO DE PRODUCCIÓN ANIMAL "Producciones avícolas alternativas", [Consulta 7 de junio de 2019], Recuperado de <http://www.produccion-animal.com.ar/>

CENSO AVICOLA ECUATORIANO, [en línea], *Tabla de Salida de Censos Avícolas Ecuatorianos.pdf*. [Consulta: 9 de junio de 2019], Recuperado de <http://simce.ambiente.gob.ec/sites/default/files/documentos/anny/Tabla%20de%20Salida%20de%20Censos%20Av%C3%ADcolas%20Ecuatorianos.pdf>

**Chana**, [en línea], *TECNOLOGIA ARTIFICIAL PARA LA INCUBACION DE HUEVOS DE GALLINA 2801.pdf*, [Consulta: 25 de junio de 2019], Recuperado de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/7885/T.2801.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Cubides**. [en línea], *FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA PARA LA LÍNEA GENÉTICA AVÍCOLA EN UNA INCUBADORA DEL SECTOR.pdf*.

[Consulta: 10 de junio de 2019]. Recuperado de [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20453/41022072\\_2016.pdf?sequence=1](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20453/41022072_2016.pdf?sequence=1)

Datasheet, [en línea], Servo Motor SG-90 Basics, Pinout, Wire Description, [Consulta: 10 de julio de 2019]. Recuperado de [/servo-motor-basics-pinout-datasheet](#)

El sitio Avícola, [en línea], Incubación artificial. [Consulta: 5 de junio de 2019]. Recuperado de: <http://www.elsitioavicola.com/articles/1802/incubacion-artificial/>

**Fasanmi, O.** [en línea]. Development of an Automatic Electric Egg Incubator. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 4. [Consulta: 5 de junio de 2019]. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Olubunmi\\_Fasanmi/publication/283714119\\_Development\\_of\\_an\\_Automatic\\_Electric\\_Egg\\_Incubator/links/56444a6f08ae54697fb6b771/Development-of-an-Automatic-Electric-Egg-Incubator.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Olubunmi_Fasanmi/publication/283714119_Development_of_an_Automatic_Electric_Egg_Incubator/links/56444a6f08ae54697fb6b771/Development-of-an-Automatic-Electric-Egg-Incubator.pdf)

*feria218\_01*, [en línea], *Diseno\_y\_construccion\_de\_una\_incubadora\_de\_huevo\_económica.pdf*. [Consulta: 12 de junio de 2019]. Recuperado de [https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria218\\_01\\_diseno\\_y\\_construccion\\_de\\_una\\_incubadora\\_de\\_huevo\\_e.pdf](https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria218_01_diseno_y_construccion_de_una_incubadora_de_huevo_e.pdf)

**Fernández.** [en línea], *MANUAL BÁSICO DE MATLAB*. 62.pdf, [Consulta: 16 de junio de 2019] Recuperado de <http://webs.ucm.es/centros/cont/descargas/documento11541.pdf>.

**Flores, P., & Braun, J.**, [en línea]. *Algoritmo RANSAC: fundamento teórico*. 2, [Consulta: 2 de julio de 2019], Recuperado de

<http://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/gti/timag/trabajos/2011/keypoints/FundamentoRANSAC.pdf>.

**González Morales, J.**, [en línea] Diseño e implementación de un control de temperatura y humedad para un prototipo de incubadora artificial de pollos. [Consulta: 10 de junio de 2019], Recuperado de <http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/8610>

**Gherwi, W., Budman, H., & Elkamel, A.**, [en línea], *A robust distributed model predictive control based on a dual-mode approach*. *ELSEVIER*, 50, 130–138. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2012.11.002>. [Consulta: 25 de junio de 2019] Recuperado de <http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/8610>

**Guerrero**, [en línea]. *MANUAL DE INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO EN MATLAB*. 75. [Consulta: 15 de junio de 2019], Recuperado de [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/19/%255Bmatlab%255D\\_MATLAB\\_GUIDE.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/19/%255Bmatlab%255D_MATLAB_GUIDE.pdf)

Handson Technology, [en línea], *L298N Motor Driver.pdf*. [Consulta 9 de julio de 2019]. Recuperado de <http://www.handsontec.com/dataspecs/L298N%20Motor%20Driver.pdf>

Hand held Anemometer, [en línea], *manual\_EA-3010U.pdf*. [Consulta: 9 de julio de 2019]. Recuperado de [http://www.tools.in.th/manual/manual\\_EA-3010U.pdf](http://www.tools.in.th/manual/manual_EA-3010U.pdf)

HDI Electronics. [en línea]. Temperature and humidity sensors SHT. [Consulta: 9 de julio de 2019], Recuperado de <http://www.hdi-electronics.fr/en/sensirion-the-sensor-company/temperature-humidity-sensors-sht/>

**Incubatrici Borotto** [en línea]. *IB\_REAL\_12\_24\_49\_Auto\_REV02.1\_SP.pdf*. [Consulta: 1 de julio de 2019]. Disponible en [https://www.olba.com/media/blfa\\_files/IB\\_REAL\\_12\\_24\\_49\\_Auto\\_REV02.1\\_SP.pdf](https://www.olba.com/media/blfa_files/IB_REAL_12_24_49_Auto_REV02.1_SP.pdf)

**Jones**, [en línea], *selavi\_a1988m8v30n8p248.pdf*. [Consulta: 12 de junio de 2019], Recuperado de [https://ddd.uab.cat/pub/selavi/selavi\\_a1988m8v30n8/selavi\\_a1988m8v30n8p248.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/selavi/selavi_a1988m8v30n8/selavi_a1988m8v30n8p248.pdf)

**Juan Pablo Graffigna**, [en línea] *Capitulo1 Procesamiento Digital de imágenes.pdf*. [Consulta: 20 de junio de 2019]. Recuperado de <http://dea.unsj.edu.ar/imagenes/recursos/Capitulo1.pdf>

Manual del Protagonista, [en línea], *Porcinos\_y\_Aves\_01.pdf*. [Consulta: 11 de junio de 2019], Recuperado de [https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Porcinos\\_y\\_Aves\\_01.pdf](https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Porcinos_y_Aves_01.pdf)

**Marie Guier Serrano**, [en línea] *COMPARACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PRODUCCIÓN Y LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA, FISICOQUÍMICA Y SENSORIAL DE HUEVOS PROVENIENTES DE GALLINAS DE PASTOREO Y DE GALLINAS CONFINADAS EN SISTEMA CONVENCIONAL.pdf*. [Consulta: 8 de julio de 2019]. Recuperado de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4347/1/41865.pdf>.

MecatrónicaLATAM, [en línea], What is Arduino? [Consulta: 10 de junio de 2019]. Recuperado de: <https://www.mecatronicalatam.com/en/tutorials/arduino/que-es>

MOTOR DATASHEET, [en línea], Datasheet(PDF) - BD6701F - Rohm. [Consulta: 9 de julio de 2019]. Recuperado de

[http://category.alldatasheet.com/index.jsp?sSearchword=Motor%20datasheet&gclid=EAIAIQobChMIyZvS\\_oSp4wIVzB-GCh0drwv2EAAYASAAEgLuivD\\_BwE](http://category.alldatasheet.com/index.jsp?sSearchword=Motor%20datasheet&gclid=EAIAIQobChMIyZvS_oSp4wIVzB-GCh0drwv2EAAYASAAEgLuivD_BwE).

OPENCV, [en línea], *TUTORIAL.pdf*. [Consulta: 8 de julio de 2019]. Recuperado de <http://students.iitk.ac.in/eclub/assets/tutorials/OPENCV%20TUTORIAL.pdf>

**Orellana**, [en línea], *CORPORACION NACIONAL DE AVICULTORES DEL ECUADOR “C.pdf*. [Consulta: 10 de junio de 2019]. Recuperado de [http://amevea-ecuador.org/web\\_antigua/datos/AMEVEA\\_2007\\_\\_\\_ING.\\_JOSE\\_ORELLANA.PDF](http://amevea-ecuador.org/web_antigua/datos/AMEVEA_2007___ING._JOSE_ORELLANA.PDF)

**QUITUIZACA**, [en línea], *INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA INCUBADORA MODELO PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS.pdf*. [Consulta 24 de junio de 2019], Recuperado de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/5258/1/TESIS.pdf>

**Rambal**, [en línea], *Mini Bomba de Agua Sumergible*. [Consulta: 10 de julio de 2019], Recuperado de <https://rambal.com/bomba-valvula-solenoides/969-mini-bomba-sumergible-dc-25v-a-6v.html>

Raspberry Pi, [en línea], *Beginner’s Guide How to use your new computer.pdf*. [Consulta: 8 de julio de 2019] Disponible en [https://www.raspberrypi.org/magpi-issues/Beginners\\_Guide\\_v1.pdf](https://www.raspberrypi.org/magpi-issues/Beginners_Guide_v1.pdf).

**Reyes Chávez**, [en línea], *Influencia del tiempo de almacenamiento de huevos, en gallinas reproductoras de la línea Cobb-500, previo a la incubación, sobre los parámetros de incubabilidad.pdf*. [Consulta: 10 de junio de 2019], Recuperado de

<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12362/Reyes%20Ch%C3%A1vez%20Luis%20Enrique.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Smart**, [en línea] *Setting up the incubator.pdf*. [Consulta: 5 de julio de 2019]. Recuperado de [http://www.smartincubators.com/pdf/incubator\\_instructions\\_rewrite%206-2016.pdf](http://www.smartincubators.com/pdf/incubator_instructions_rewrite%206-2016.pdf).

Texas Instruments, [en línea], LM35  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  Temperature Sensor with Analog Output and 30V Capability | TI. [Consulta: 9 de julio de 2019]. Disponible en <http://www.ti.com/product/LM35>

The OpenCV Reference, [en línea], *opencv2refman.pdf*. [Consulta: 8 de julio de 2019], Recuperado de <https://docs.opencv.org/2.4/opencv2refman.pdf>.

The OpenCV Tutorials [en línea], *opencv\_tutorials.pdf*. [Consulta: 8 de julio de 2019], Recuperado de [https://docs.opencv.org/2.4/opencv\\_tutorials.pdf](https://docs.opencv.org/2.4/opencv_tutorials.pdf)

**Van Rossum**, [en línea], *TutorialPython2.pdf*. [Consulta 28 de junio de 2019]. Recuperado de <http://docs.python.org.ar/tutorial/pdfs/TutorialPython2.pdf>.

**Van Rossum y Drake**, [en línea], *The Python Library Reference.pdf*. [Consulta: 27 de junio de 2019]. Recuperado de <http://marvin.cs.uidaho.edu/Teaching/CS515/pythonLibrary.pdf>.

**Zareen, S., Zareen, H., Rehman, H., Bibi, G., Jadoon, M., Rehman, M.-U., & Khan, J.**, [en línea], Incubation and hatching chicken eggs by heat of 80-watt light bulb without any apparent side effect. *JOURNAL OF ENTOMOLOGY AND ZOOLOGY STUDIES*, 2, 972-974. [Consulta: 11 de junio de 2019], Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/304762310\\_Incubation\\_and\\_hatching\\_chicken\\_eggs\\_by\\_heat\\_of\\_80-watt\\_light\\_Bulb\\_without\\_any\\_apparent\\_side\\_effect](https://www.researchgate.net/publication/304762310_Incubation_and_hatching_chicken_eggs_by_heat_of_80-watt_light_Bulb_without_any_apparent_side_effect).

# ANEXOS

## ANEXO A: Características del Arduino Mega2560



### Arduino MEGA 2560

**Product Overview**

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560. It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connector, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

**Index**

- Technical Specifications [Page 2](#)
- How to use Arduino Programming Environment, Basic Tutorials [Page 6](#)
- Terms & Conditions [Page 7](#)
- Environmental Policies [Page 7](#)

RS radiospares RADIONICS A

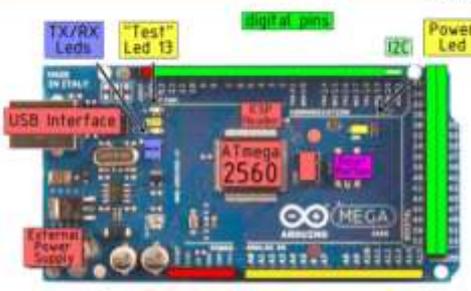
### Technical Specification

ENCL5 Rev. [http://www.arduino.cc/en/Reference/ArduinoMega2560](#) [http://www.arduino.cc/en/Reference/ArduinoMega2560](#)

**Summary**

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

**the board**



Labels: TX/RX Leds, "Test" Led 13, digital pins, Power Led, USB Interface, ATmega 2560, External Power Supply, analog pins.

RS radiospares RADIONICS A

### Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connector or with an external power supply. The power circuit is intended automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center positive plug into the board's power jack. Cables from a battery can be connected to the GND and 5V pin headers of the PCB/USB connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If supplied with more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FT232RL USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Microchip ATmega48U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- 5V:** The 5V pin on the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or if supplying voltage via the power jack, receive it through this pin.
- GND:** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from 5V or as an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- 3V3:** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- USB:** Limited pins.

### How to use Arduino

Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [C++](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, Max/MSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. [http://arduino.cc/en/Guide/HomePage](#)

**Linux Install** | **Windows Install** | **Mac Install**

Once you have downloaded/installed the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

**Blink Led**

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "Blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook> Arduino-0017>Examples> Digital>Blink**

Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select MEGA

Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.



### Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and a KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

### Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using  [pinMode\(\)](#),  [digitalWrite\(\)](#) and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA, and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- Serial:** 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 16 (RX) and 17 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 18 (TX); Serial 3: 18 (RX) and 19 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) ASCII data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega48U2 USB-to-U1T1 serial chip.
- External Interrupts:** 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 19 (interrupt 0), 18 (interrupt 1), 20 (interrupt 0), and 21 (interrupt 1). These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- PWM:** 6 to 11. Provide 8-bit PWM output with the [pulseWidthModulate\(\)](#) function.
- SPI:** 16 (MISO), 19 (MOSI), 52 (SS), 53 (CS). These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- USB:** 13. There is a built-in USB connected to digital pin 12. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, its off.
- PC:** 28 (SCL) and 21 (SDA). Support I2C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the [Wire website](#)). Note that these pins are not in the same location as the PC pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provides 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it's possible to change the upper end of their range using the [ANAL\\_IN](#) pin and [analogReference\(\)](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

- AREF:** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogWrite\(\)](#).
- Reset:** Bring this pin LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to boards which lack the one on the board.

RS radiospares RADIONICS A

Done uploading

Press Compile button to check for errors

Upload

TX RX Flashing

Blinking Led

RS radiospares RADIONICS A

## ANEXO B: Características de Raspberry pi B+

### Raspberry Pi 3 Model B

**Specifications**

**Processor**  
Broadcom BCM2837 chipset  
1.2GHz Quad-Core ARM Cortex-A62  
802.11 b/g/n Wireless LAN and Bluetooth 4.1 (Bluetooth Classic and LE)

**GPU**  
Dual Core VideoCore IVB MultiMedia Co-Processor. Provides Open GL ES 3.0. Hardware-accelerated OpenGL ES and WebGL ES 1.1. 264 high-profile H.264  
Capable of 1080p@60, 1.080p@30 or 1080p@24 with feature sharing and DMA infrastructure

**Memory**  
1GB LPDDR2

**Operating System**  
Boots from Micro SD cards running a variety of the Linux operating system or Windows 10 IoT

**Dimensions**  
85 x 56 x 17mm

**Power**  
Micro USB socket 5V, 2.5A

---

**Connectors:**

**Ethernet**  
10/100 based Ethernet socket

**Video Output**  
HDMI (rev 1.3 & 1.4)  
Composite (CA (PAL and NTSC))

**Audio Output**  
Audio Output 3.5mm jack, HDMI  
USB 4 USB 2.0 Connector

**GPIO Connector**  
40 pin (2.54 mm (100 mil) expansion header (3x3) strip  
Providing 27 GND pins as well as +3.3V, +5V and GND supply lines

**Camera Connector**  
15 pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)

**Display Connector**  
Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and 3 clock lines

**Memory Card Slot**  
Full-size Micro SDIO

---

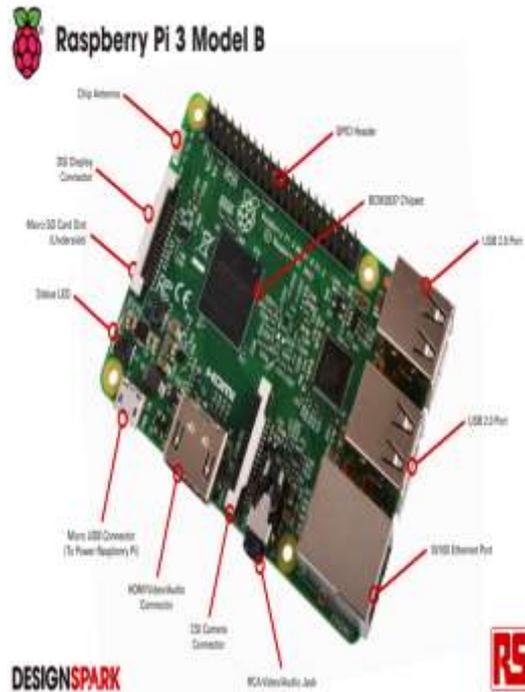
**Key Benefits**

- Low cost
- 32-bit base processing
- Consistent board format
- Added connectivity

---

**Key Applications**

- Low cost PC/tablet/desktop
- Media centre
- Industrial/Home automation
- Print server
- Web-camera
- Wireless access point
- Instrumentation/logging/monitoring (e.g. weather station)
- IoT applications
- Robotics
- Sensor/robotic sensor
- Security monitoring
- Gaming



### What is a Raspberry Pi?

Created by the Raspberry Pi Foundation, the Raspberry Pi is an open-source, Linux-based, credit card sized computer board. The Pi is an exciting and accessible means of improving computing and programming skills for people of all ages. By connecting to your TV or monitor and a keyboard, and with the right programming, the Pi can do many things that a desktop computer can do such as surf the internet and play video. The Pi is also great for those innovative projects that you want to try out - newer models are ideal for Internet of Things projects due to their processing power. With Pi 3, Wireless LAN and Bluetooth Low Energy are on-board too.

### What are the differences between the models?

Current versions of the Raspberry Pi are the Pi A+, Pi B+, Pi 2 B, Pi 3 B and Compute Module.

	Pi A+	Pi B+	Pi 2 B	Pi 3 B	Compute Module
Dimensions	85 x 56 x 14mm	85 x 56 x 17mm	85 x 56 x 17mm	85 x 56 x 17mm	870 x 30mm
SoC	BCM2838	BCM2838	BCM2838	BCM2837	BCM2838
Processor Core	ARM11	ARM11	ARM Cortex-A7	ARM Cortex-A53	ARM11
Processing Power	700 MHz	700 MHz	800 MHz	1.2 GHz	300 MHz
Memory	256 MB	512 MB	1 GB	1GB LPDDR2	512 MB
Ports	1x USB 2.0	4x USB 2.0 1x 10/100 Ethernet	4x USB 2.0 1x 10/100 Ethernet	4x USB 2.0 1x 10/100 Ethernet	N/A
GPIO	40	40	40	40	N/A

### What do I get with my Raspberry Pi?

A Raspberry Pi board only.

Each Raspberry Pi customer is unique. You may already have cables, power supplies, keyboards, SD memory cards or monitors. However, if you do require additional products to start with your Pi or to really get creative, we can help.

Our expanding range of accessories includes:

Protective Cases	Power Supplies	SD/MS Memory Cards	Keyboards & Mice	Processors
Cables	Displays & Camera Boards	Wireless Communications	Add-on Boards	IoT Pi Boards

### How do I get connected?

To get started with your Pi you will need:

- A monitor or TV screen to set-up your Pi
- A keyboard to interact with your Pi
- A mouse to navigate your Pi
- A power supply
- An SD card with the latest version of New Out Of Box Software (NOOBS), to install the operating system that you would like to use.

To get **sound** and **video** you will need cables to suit what your screen or monitor accepts. For those with monitors that accept VGA, a HDMI to VGA adaptor is needed in addition to a HDMI cable, unless you use the composite video output from the Pi.

For an **internet connection**, the Pi B+ and Pi 2 B have an ethernet port. You also have the option of adding a WiFi Adapter/Dongle which may mean that you need a USB Hub if you have run out of USB ports. The Pi 3 already has 802.11 b/g/n wireless LAN and Bluetooth 4.1 (Bluetooth Classic and Low Energy).

### Powering my Pi

The Pi has a 5 V microUSB power socket, located on the bottom left hand corner of your Pi board.

Version	Recommended Power Supply Current Capacity
Pi B	1.2A
Pi A+	100 mA
Pi B+	1.8A
Pi 2 B	1.8A
Pi 3 B	2.5A

Generally, the more USB ports and interfaces you use on your Pi, the more power you are going to need - be careful.

We advise to look at buying a powered USB hub - this means less pressure on your Pi whilst still being able to incorporate all the features and functionality that you want to. When connecting any devices to your Pi, it is advisable to always check the power rating.

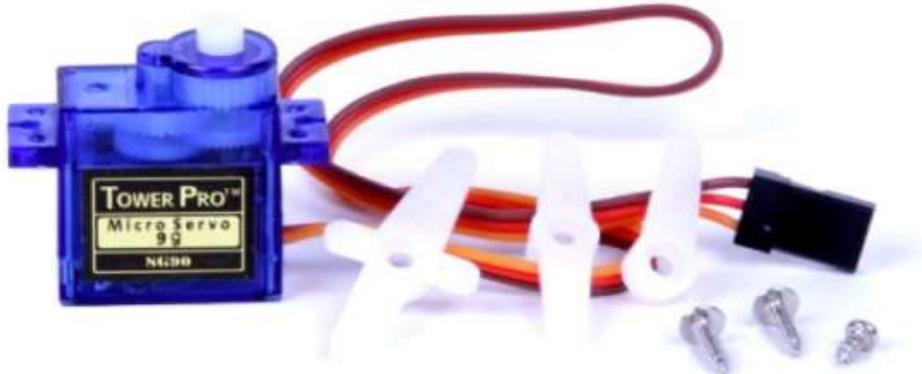
Batteries are not a recommended power supply for your Pi.

Note: The Official Raspberry Power Supply Unit for Pi 3 is not a general purpose power supply and must only be used for the Pi 3.

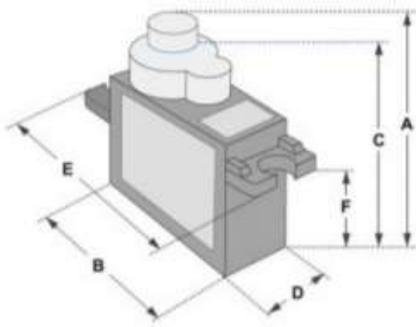
# ANEXO C: Características del Servo motor SG90

## SERVO MOTOR SG90

## DATA SHEET

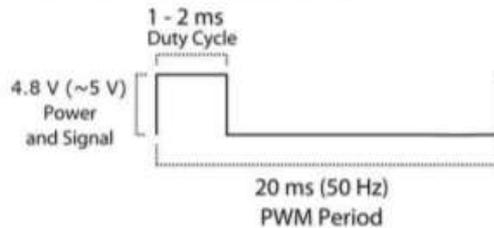
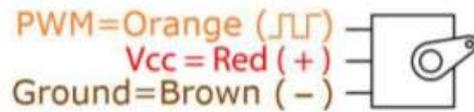


Tiny and lightweight with high output power. Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but smaller. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.



Dimensions & Specifications	
A (mm) :	32
B (mm) :	23
C (mm) :	28.5
D (mm) :	12
E (mm) :	32
F (mm) :	19.5
Speed (sec) :	0.1
Torque (kg-cm) :	2.5
Weight (g) :	14.7
Voltage :	4.8 - 6

Position "0" (1.5 ms pulse) is middle, "90" (~2ms pulse) is middle, is all the way to the right, "-90" (~1ms pulse) is all the way to the left.



## ANEXO D: Características del sensor de nivel de agua

### Water Sensor Module User's Manual



#### 1. Notice

(1) did not carefully read the instructions before you do not give the driver board a powered ! Avoid faulty wiring caused permanent damage to the drive plate.

(2) Please carefully check pin function , attention condensed identifier , correct wiring ! Do not reverse the power cord , resulting in Electronic devices burned.

#### 2. the product introduction

2013 latest Water Sensor is a Easy to use, compact and lightweight , high cost of water , droplets identification and detection sensors. This sensor is working The principle is to measure the size of the trace amount of water droplets through the line with a series of parallel wires exposed. And domestic and foreign Products compared not only small , powerful, and cleverly designed with the following features : First, the amount of water to simulate Conversion ; Second, plasticity based on the sensor output analog values ; Third, low power consumption , high sensitivity ; Fourth, can Directly connected to a microprocessor or other logic circuitry , and the controller board for a variety of , for example : ArduinoController , STC microcontroller , AVR microcontroller and so on.

#### Arduino experimental code

```
int analogPin = 1; // level sensor connected to an analog port
int led = 12; // Piranha LED connected to digital port 12
int val = 0; // define a variable val initial value of 0
int data = 0; // define a variable data initial value of 0
void setup ()
{
  pinMode (led, OUTPUT); // define led to an output pin
  Serial.begin (9600); // set the baud rate to 9600
}

void loop ()
{
  val = analogRead (analogPin); // read the analog value to the variable val
  if (val > 700) // determine whether more than 700 variables val
  {
    digitalWrite (led, HIGH); when // variable val is greater than 700 , Piranha LED lights
  }
  else {
    digitalWrite (led, LOW); when // variable val is less than 700 , the lamp goes out piranha
  }
  data = val; // variable is assigned to the variable data val
  Serial.println (data); // Serial print variable data
  delay (100);
}
```

After these steps are completed, we test the low water level, see experimental phenomena :



The water level does not reach the warning value , piranhas lamp is not lit  
Water level reaches and exceeds the alert value , piranha lights , initiate alarm.

#### 3. the specification parameters

- 1 Product Name: water level sensor
- 2 Item : K-0135
- 3 Operating voltage : DC5V
- 4 Working current : less than 20mA
- 5 Sensor Type : Analog
- 6 detection area : 40mm x 16mm
- 7 Production process : FR4 double-sided HASL
- 8 mounting hole size : 3.0mm
- 9 user-friendly design : half-mount -slip handle depression
- 10 Working temperature : 10 ℃ -30 ℃
- 11 Operating Humidity : 10% ~ 90 % non-condensing
- 12 Weight : 3g
- 13 Product Dimensions : 65mm x 20mm x 8mm

#### 4. , the test Water Sensor Module

We use the Arduino controller to be tested , need to use hardware devices as follows :

1. Arduino controller \* 1
2. Arduino sensor expansion board \* 1
3. Water Sensor Module \* 1
4. 3P sensor cable \* 2
5. IR & LED Module ( red ) \* 1
6. USB data communication cable \* 1

Water Sensor DuPont line will be connected to the Arduino sensor expansion board interface A1. The use of sensors

The red line will be connected to the Arduino piranha light sensor expansion board D8. After completing the hardware connection , the code is compiled After downloading the Arduino inside .

## ANEXO E: Características del sensor ultrasónico

### Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

#### Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The module includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal.
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) If the signal back, through high level, time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time \* velocity of sound (340M/S)) / 2,

#### Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

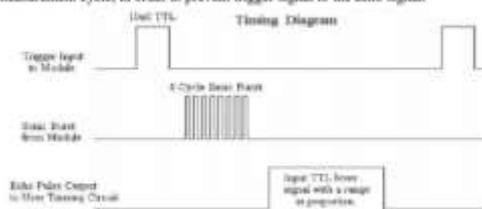
#### Electric Parameter

Working Voltage	DC 5V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
Measuring Angle	15 degree
Trigger Input Signal	10us TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL level signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm



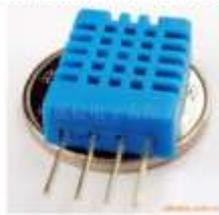
#### Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10us pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion. You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula:  $\mu\text{s} / 58 = \text{centimeters}$  or  $\mu\text{s} / 148 = \text{inch}$ ; or: the range = high level time \* velocity (340M/S) / 2, we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.



# ANEXO F: Características del sensor DHT11

## Digital-output relative humidity & temperature sensor/module – DHT11



### 3. Technical Specification:

Model	DHT11	
Power supply	3-5.5V DC	
Output signal	digital signal via single-bus	
Sensing element	Polymer resistor	
Measuring range	humidity 20-90%RH	temperature 0-50 Celsius
Accuracy	humidity $\pm 4\%$ RH (Max $\sim 5\%$ RH)	temperature $\pm 2.0$ Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 1%RH	temperature 0.1 Celsius
Repeatability	humidity $\pm 1\%$ RH	temperature $\pm 1$ Celsius
Humidity hysteresis	$\pm 1\%$ RH	
Long-term stability	$\pm 0.1\%$ RH/year	
Sensing period	Average 2s	
Interchangeability	fully interchangeable	
Dimensions	size 12*15.5*8.5mm	

### Resistive-type humidity and temperature module/sensor

#### 1. Feature & Application:

- \* Full range temperature compensated
- \* Relative humidity and temperature measurement
- \* Calibrated digital signal
- \* Outstanding long-term stability
- \* Extra components not needed
- \* Long transmission distance
- \* Low power consumption
- \* 4 pins packaged and fully interchangeable

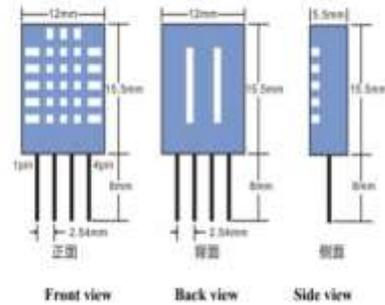
#### 2. Description:

DHT11 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

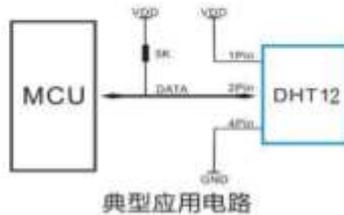
Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in OTP memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT11 to be suited in all kinds of harsh application occasions. Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

### 4. Dimensions: (unit—mm)



### 5. Typical application



### 3Pin-NULL, MCU=Microcomputer or single-chip computer

### 6. Operating specifications:

#### (1) Power and Pin

Power's voltage should be 3-5.5V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for power filtering.

#### (2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT11.

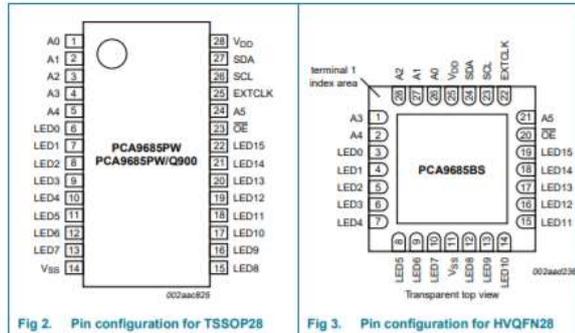
### 7. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3	5	5.5	V
	Measuring	0.5		2.5	mA
Current supply	Stand-by	100	Null	150	uA
	Average	0.2	Null	1	mA

# ANEXO G: Características del PCA9685

## Pinning information

### 6.1 Pinning



### 6.2 Pin description

Table 3. Pin description

Symbol	Pin		Type	Description
	TSSOP28	HVQFN28		
A0	1	26	I	address input 0
A1	2	27	I	address input 1
A2	3	28	I	address input 2
A3	4	1	I	address input 3
A4	5	2	I	address input 4
LED0	6	3	O	LED driver 0
LED1	7	4	O	LED driver 1
LED2	8	5	O	LED driver 2
LED3	9	6	O	LED driver 3
LED4	10	7	O	LED driver 4
LED5	11	8	O	LED driver 5
LED6	12	9	O	LED driver 6
LED7	13	10	O	LED driver 7
V <sub>SS</sub>	14	11 <sup>[1]</sup>	power supply	supply ground
LED8	15	12	O	LED driver 8
LED9	16	13	O	LED driver 9
LED10	17	14	O	LED driver 10
LED11	18	15	O	LED driver 11

Table 3. Pin description ...continued

Symbol	Pin		Type	Description
	TSSOP28	HVQFN28		
LED12	19	16	O	LED driver 12
LED13	20	17	O	LED driver 13
LED14	21	18	O	LED driver 14
LED15	22	19	O	LED driver 15
OE	23	20	I	active LOW output enable
A5	24	21	I	address input 5
EXTCLK	25	22	I	external clock input <sup>[2]</sup>
SCL	26	23	I	serial clock line
SDA	27	24	I/O	serial data line
V <sub>DD</sub>	28	25	power supply	supply voltage

[1] HVQFN28 package die supply ground is connected to both V<sub>SS</sub> pin and exposed center pad. V<sub>SS</sub> pin must be connected to supply ground for proper device operation. For enhanced thermal, electrical, and board level performance, the exposed pad needs to be soldered to the board using a corresponding thermal pad on the board and for proper heat conduction through the board, thermal vias need to be incorporated in the PCB in the thermal pad region.

[2] This pin must be grounded when this feature is not used.

## ANEXO H: Características del PCA9685

### L298N Dual H-Bridge Motor Driver

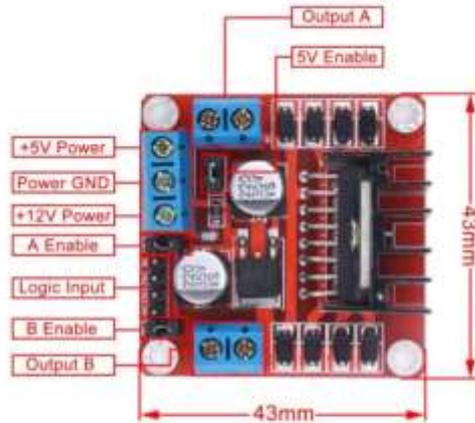
This dual bidirectional motor driver, is based on the very popular L298N Dual H-Bridge Motor Driver Integrated Circuit. The circuit will allow you to easily and independently control two motors of up to 2A each in both directions. It is ideal for robotic applications and well suited for connection to a microcontroller requiring just a couple of control lines per motor. It can also be interfaced with simple manual switches, TTL logic gates, relays, etc. This board equipped with power LED indicators, on-board +5V regulator and protection diodes.



SKU: MDU-1049

#### Brief Data:

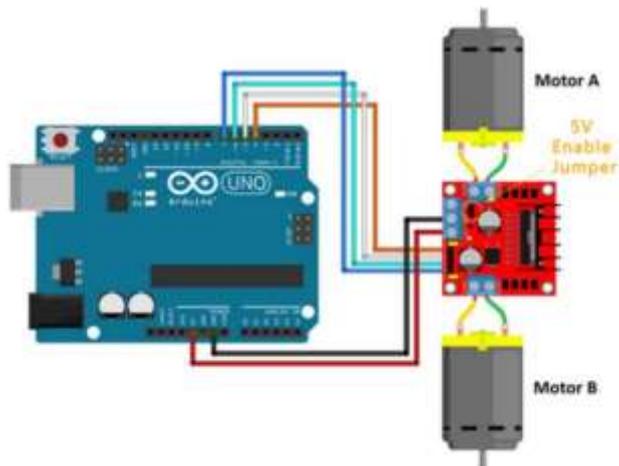
- Input Voltage: 3.2V-40Vdc
- Driver: L298N Dual H Bridge DC Motor Driver
- Power Supply: DC 5 V - 35 V
- Peak current: 2 Amp
- Operating current range: 0 - 500mA
- Control signal input voltage range :
  - Low:  $0.3V \leq V_{in} \leq 1.5V$ .
  - High:  $2.3V \leq V_{in} \leq V_{cc}$ .
- Enable signal input voltage range :
  - Low:  $0.3 \leq V_{in} \leq 1.5V$  (control signal is invalid)
  - High:  $2.3V \leq V_{in} \leq V_{cc}$  (control signal active)
- Maximum power consumption: 20W (when the temperature  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- Storage temperature:  $-25\text{ }^{\circ}\text{C} - +130\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- On-board +5V regulated Output supply (supply to controller board i.e. Arduino).
- Size: 3.4cm x 4.3cm x 2.7cm



#### Connection Examples:

##### Controlling 2-DC Motor with +5V Arduino onboard Power Supply:

Below is the circuit connection use the on-board +5V power supply from Arduino board, and should be done without the 5V Enable Jumper on (Active 5V). This connection can drive two 5V DC motors simultaneously.



## ANEXO I: Motorreductor de 6v

Motor reductor de DC (6V)

Número de parte: RB-04M022



### Introducción.

Motor reductor con gran sensibilidad y compatibilidad con microcontroladores (Arduino), puede emplearse PWM ( control de velocidad), además de ser efectivos cuando se busca alta velocidad de respuesta en pequeñas aplicaciones.

### Especificaciones:

- Engranajes internos: 48:1
- Velocidad sin carga (3V): 120 rpm
- Velocidad sin carga (6V): 240 rpm
- Corriente sin carga (3V): 40mA
- Corriente sin carga (6V): 70mA
- Fuerza de torque (3V): 3200mg\*cm
- Fuerza de torque (6V): 5500mg\*cm
- Dimensiones: 70.50mm x 27mm x 23mm
- Peso: 40g

*Electrónica S.A. de C.V.*

## **ANEXO J: Datos de la mini bomba de agua.**

### **INFO**

**NOTA:** Bomba Sumergible. 18EB10 14H10W

#### **Descripcion:**

Bomba de agua sumergible sin escobillas, lo que la diferencia de las otras bombas que esta va sumergida en el agua ya sea peceras, recipientes, etc.

Esta bomba de agua movera de 1,3 A 2 Litros por minuto (80 A 120 Litros/Hora), sirve para trabajo pesado con características de funcionamiento de 6V posee un cuerpo termo-plastico resistente. Es totalmente sumergible y refrigerado por agua. Normalmente esta bomba se usa para hacer una fuente, una cascada, regar las plantas, o lo que el usuario estime conveniente.

#### **Características:**

Voltaje DC: 2.5-6V

Potencia: 0.4-1.5W

Elevacion minima: 20cm / 7,87 "

Elevacion maxima: 110cm / 43,4"

Caudal: 1,3 A 2 L/min, 80-120L/hora.

Dimensiones tuberia de Expulsion:

Diametro exterior de salida de agua: 7,5 mm / 0,3 "

Diametro Interior de salida del agua: 5 mm / 0.2 "

Dimensiones de la Bomba:

Diametro: Aprox. 24mm / 0.95 "

Largo: Aprox. 45mm / 1.8 "

Altura: Aprox. 30mm / 1.2 "

Material: plastico

**ANEXO K: Planos de la Implementación Mecánica**

