



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Diseño y construcción de una incubadora y criadora artificial para huevos  
de cóndor andino**

**Danny Xavier Ron Castro**

**David Escudero, Ph.D., Director de Tesis**

Tesis de Grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Quito, mayo de 2015

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Diseño y construcción de una incubadora artificial para huevos de cóndor andino**

**DANNY XAVIER RON CASTRO**

David Escudero, PhD.  
Director de Tesis

---

Edison Bonifaz, PhD.  
Miembro del Comité de Tesis

---

Ing. Paúl Remache MES.  
Miembro del Comité de Tesis

---

Alfredo Valarezo, PhD.  
Director del programa

---

Ximena Córdova, PhD.  
Decana de la Escuela de Ingeniería  
Colegio de Ciencias e Ingeniería

---

**Quito, mayo de 2015**

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

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

Nombre: Danny Xavier Ron Castro

C. I.: 1713141511

Fecha: Quito, mayo de 2015

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de grado va dedicado a mis padres por su apoyo y guía incondicional en cada etapa de mi vida. A mi hermano por su ejemplo de lucha y dedicación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres y mi hermano, con el apoyo e impulso de ellos he logrado salir adelante.

A todo el departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad San Francisco de Quito por todo el conocimiento entregado, en especial a David Escudero y Andrés Ortega que depositaron su confianza en mí realizar este proyecto.

A Paul Morales y a la empresa Acindec S.A. que hicieron posible que este proyecto se convierta en una realidad.

A mis amigos y compañeros, especialmente a Paola Benavides por hacer de mi vida universitaria una experiencia única e incomparable.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de tesis presenta el diseño y construcción de una incubadora y una criadora artificial para huevos de cóndor. El objetivo principal es diseñar con un software CAD, seleccionar componentes y construir la incubadora y la criadora según los parámetros especificados por parte del Fondo “Ayuda para la fauna silvestre – TUERI”. Inicialmente se propuso una idea del diseño de las máquinas, se seleccionaron los materiales de construcción y se realizaron los cálculos respectivos para la correcta construcción de cada una de ellas. Según los resultados se determinó el diseño definitivo y se escogió los componentes que son utilizados en las máquinas. Finalizada la fase de diseño, se construyó según los planos de construcción de cada una de las partes que conforman la incubadora y la criadora y se ensambló cada una de ellas. Finalmente se realizaron pruebas del funcionamiento de cada una de ellas.

## **ABSTRACT**

This thesis presents the design and construction of an artificial incubator and brooder for condor egg. The main objective were to design the incubator and brooder using a CAD software, selected the components and built the incubator and brooder with the parameters specified by the Fondo "Ayuda para la fauna silvestre - TUERI". At first, an initially design was proposed for the machines; building materials were selected and the respective calculations for proper construction of each were made. Based on these initial designs, final designs with their respective components were proposed and used for the construction of the incubator and brooder. Finally performance were performed to the incubator and brooder to test their functionality.



## Contenido

RESUMEN.....	7
ABSTRACT .....	8
Índice de figuras .....	12
Índice de tablas .....	15
Glosario de términos.....	17
Capítulo 1: Introducción.....	19
1.1    Antecedentes .....	19
1.2    Justificación y motivación del proyecto .....	19
1.3    Objetivos .....	20
1.3.1    Objetivo general .....	21
1.3.2    Objetivos específicos.....	21
1.4    Descripción general del proyecto .....	21
1.4.1    Diseño de la incubadora .....	21
1.4.2    Construcción de la incubadora y criadora .....	22
1.5    Resumen.....	22
Capítulo 2: Fundamentos teóricos .....	24
2.1    El cóndor andino ( <i>Vultur gryphus</i> ).....	24
2.1.1    Localización actual .....	24
2.1.2    El cóndor andino en vida silvestre.....	25
2.1.3    Reproducción.....	26
2.1.4    Incubación Natural .....	26
2.2    Incubación artificial .....	27
2.2.1    Propiedades termodinámicas importantes para la incubación artificial .....	27
2.2.2    Propiedades de transferencia de calor importantes para la incubación artificial .....	28
2.2.3    Propiedades físicas relacionadas a la cinemática. ....	30
2.2.4    Incubadora artificial.....	31
2.2.5    Criadora artificial.....	32
2.3    Resumen.....	33
Capítulo 3: Diseño .....	34

3.1	Metodología del diseño.....	34
3.1.1	Alojamiento de la incubadora y criadora .....	34
3.1.2	Alternativas de diseño .....	35
3.1.3	Sistemas existentes .....	35
3.2	Selección de las alternativas de diseño .....	38
3.2.1	Incubadora.....	42
3.2.2	Criadora.....	43
3.3	Diseño preliminar .....	44
3.3.1	Diseño preliminar incubadora .....	45
3.3.1	Diseño preliminar criadora.....	47
3.4	Cálculos .....	48
3.4.1	Cantidad de potencia y calor .....	48
3.4.2	Humedad relativa .....	59
3.5	Opciones de componentes.....	61
3.5.1	Calentadores .....	62
3.5.2	Humidificador .....	63
3.5.3	Sistema de rotación .....	64
3.5.4	Motor.....	65
3.6	Diseño del sistema .....	65
3.6.1	Propiedades del acero ASTM A240 TP 304 .....	65
3.6.2	Propiedades del acero ASTM A276 TP 304 .....	66
3.6.3	Características del Poliuretano.....	67
3.6.4	Selección de componentes .....	67
3.7	Sistema detallado .....	80
3.7.1	Piezas y creación de planos de fabricación .....	80
3.7.2	Montaje y ensamblaje.....	82
Capítulo 4: Construcción .....		83
4.1	Metodología de construcción.....	83
4.1.1	Optimización y corte de la placa .....	83
4.1.2	Doblado de piezas.....	85
4.1.3	Soldado de piezas .....	88

	11
4.1.4 Colocación del poliuretano.....	91
4.1.5 Maquinado del eje .....	93
4.1.6 Armado del conjunto.....	94
Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones.....	99
5.1 Conclusiones .....	99
5.2 Recomendaciones .....	101
Capítulo 6: Bibliografía .....	103
Anexo A.....	105
A1: Cantidad de potencia para la criadora.....	106
A2: Cantidad de calor para la criadora .....	107
A.3 Pérdidas de potencia en la criadora.....	108
A4: Humedad relativa de la criadora .....	111
Anexo B.....	113
Anexo C.....	121
C1: Diseño del circuito .....	122
Anexo D.....	123

## Índice de figuras

Figura 2.1: Distribución aproximada actual del cóndor andino en Sudamérica. Tono gris oscuro indica densidad poblacional .....	25
Figura 2.2: Cóndor en vida silvestre .....	26
Figura 2.3: Configuración de paredes compuestas .....	30
Figura 2.4: Incubadora de huevos de aves .....	32
Figura 2.5: Criadora o pabellón de cuidado de mascotas .....	33
Figura 3.1: Distribución del cuarto.....	34
Figura 3.2: Incubadora manual .....	36
Figura 3.3: Incubadora semiautomática .....	37
Figura 3.4: Criadora semiautomática .....	37
Figura 3.5: Incubadora automática .....	38
Figura 3.6: Diseño preliminar de la incubadora .....	45
Figura 3.7: Diseño preliminar de la criadora.....	47
Figura 3.8: IncuKit™ for Cabinet Incubator .....	68
Figura 3.9: IncuStat™ Advanced .....	70
Figura 3.10: HumidiKit™ - Auto humidity system for incubators .....	70
Figura 3.11: Mecanismo de rotación de celdas. ....	71
Figura 3.12: Ciclo de actuación del motor. ....	712
Figura 3.13: Esquema posicionamiento del rodamiento. ....	714

Figura 3.14: Motor paso a paso NEMA 17 .....	81
Figura 3.15: Pieza de la estructura sin doblar indicando cortes y zonas de doblado.....	81
Figura 3.16: Pieza de la estructura doblada.....	81
Figura 3.17: Diseño 3D definitivo de la incubadora. ....	82
Figura 3.18: Diseño 3D definitivo de la criadora. ....	82
Figura 4.1: Optimización de la placa de acero .....	83
Figura 4.2: Corte de las piezas con la cortadora industrial.....	84
Figura 4.3: Corte de las piezas con moladora.....	85
Figura 4.4: Configuración de la dobladora industrial.....	86
Figura 4.5: Doblado de las piezas en la dobladora industrial.....	86
Figura 4.6: Pieza doblada o placa.....	87
Figura 4.7: Marco de la puerta doblada.....	87
Figura 4.8: Doblado manual de platina de acero.....	88
Figura 4.9: Suelda con puntos en las esquinas de las piezas .....	90
Figura 4.10: Proceso de pulido de piezas .....	90
Figura 4.11 Proceso de cuadrar las piezas.....	90
Figura 4.12: Suelda de canastillas con el eje.....	90
Figura 4.13: Preparación de la pieza .....	91
Figura 4.14: Inyección del poliuretano.....	92
Figura 4.15: Corte de exceso del poliuretano.....	92

Figura 4.16: Bridas .....	93
Figura 4.17: Torneado de bridas.....	93
Figura 4.18: Fresado de bridas .....	94
Figura 4.19: Ensamble de piezas .....	95
Figura 4.20: Estructura de incubadora soldada .....	95
Figura 4.21: Instalación del respiradero .....	96
Figura 4.22: Realización de agujeros en la estructura .....	96
Figura 4.23: Instalación del eje a la estructura. ....	97
Figura 4.24: Instalación de la caja de control.....	97
Figura 4.25: Comprobar el funcionamiento del equipo.....	98
Figura C.1: Circuito.....	122

## Índice de tablas

Tabla 3.1: Análisis de criterios de diseño.....	40
Tabla 3.2: Parámetros de costo.....	40
Tabla 3.3: Parámetros de confiabilidad .....	40
Tabla 3.4: Parámetros de seguridad.....	40
Tabla 3.5: Parámetros de mantenibilidad .....	41
Tabla 3.6: Parámetros de exactitud .....	42
Tabla 3.7: Análisis de criterios de diseño de Incubadora.....	43
Tabla 3.8: Análisis de criterios de diseño de criadora.....	44
Tabla 3.9: Constantes usadas en este proyecto.....	50
Tabla 3.10: Constantes utilizadas en este proyecto .....	52
Tabla 3.11: Constantes para el cálculo de humedad relativa.....	60
Tabla 3.12: Opciones de calentadores .....	62
Tabla 3.13: Opciones de humidificadores .....	63
Tabla 3.14: Opciones para el sistema de rotación .....	64
Tabla 3.15: Opciones de motores .....	65
Tabla 3.16: Propiedades mecánicas acero ASTM A240-TP304 .....	66
Tabla 3.17: Propiedades mecánicas acero ASTM A276-TP304 .....	66
Tabla 3. 18: Constantes para calcular velocidad angular .....	72
Tabla 3.19: Constantes para calcular aceleración angular.....	73

Tabla 3.20: Constantes para calcular inercia del rodamiento .....	76
Tabla A.1: Constantes usadas en este proyecto .....	106
Tabla A.2: Constantes usadas en este proyecto .....	109
Tabla A.3: Constantes usadas en este proyecto .....	10611



## Glosario de términos

$\rho$  = Densidad

T = Temperatura

P = Presión

C<sub>p</sub> = Calor específico

V = Volumen

Q = Caudal

m = Masa

q = Calor

$\dot{q}$  = Potencia

k = Conductividad térmica

h = Coeficiente de convección

h<sub>r</sub> = Coeficiente de radiación

L = Espesor

$\mu_{\infty}$  = Viscosidad cinemática

Pr = Número de Prandtl

$\varepsilon$  = Emisividad

$\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzmann

v = Velocidad

A = Área

Re = Número de Reynolds

Nu<sub>x</sub> = Número de Nusselt

P<sub>g</sub> = Presión de saturación

h<sub>fg</sub> = Entalpía de evaporación

$h_f$  = Entalpía de líquido saturado

$h_g$  = Entalpía de vapor de saturación

W = Humedad específica

RPS = Número de revoluciones

t = Tiempo

$\omega$  = Velocidad angular

$\alpha$  = Aceleración angular

F = Fuerza

P = Peso

$\tau$  = Torque

$\mu$  = Par de rozamiento

d = Diámetro

g = Gravedad

I = Inercia

## Capítulo 1: Introducción

---

### 1.1 Antecedentes

El cóndor andino (*Vultur gryphus*) es un ave que pertenece a la familia Cathartidae y habita en la cordillera de los Andes en Sudamérica. A partir del año 1959 se realizaron los primeros estudios de la reproducción de la especie en cautiverio; mientras que a partir del año 1972 se investiga a la especie en su estado natural, esto debido a los signos de retracción de sus poblaciones (Lambertucci, 2007).

En la actualidad, en el Ecuador existen menos de cincuenta ejemplares en estado silvestre y menos de diez parejas reproductivas en cautiverio (Ministerio del Ambiente [MAE], 2013), razón por la cual, esta especie se encuentra en un estado crítico de extinción.

Ante este panorama, varias organizaciones a nivel nacional, con la participación conjunta del Ministerio del Ambiente (MAE), se han unido a un proyecto de conservación de la especie. Entre estas organizaciones está el Fondo “Ayuda para la Fauna Silvestre – TUERI” de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) que busca crear la primera incubadora y criadora para huevos de cóndor andino en el país.

### 1.2 Justificación y motivación del proyecto

El cóndor andino, según los datos del Ministerio del Ambiente, ha disminuido notablemente en sus ejemplares. Según el último censo de la especie en el territorio nacional, lo que lo ha colocado ya dentro del denominado Libro Rojo de aves en el Ecuador y se lo ha registrado en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies

Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), por lo que se prohíbe su comercialización (MAE, 2013).

Con el conocimiento de este decrecimiento en las cifras, el Fondo “Ayuda para la Fauna Silvestre – TUERI” de la USFQ está involucrado en el proyecto de conservación de la especie que incluye: monitoreo del ave silvestre, reproducción en cautiverio y campaña de educación.

Para este proyecto de titulación se tomará en cuenta tan solo la parte correspondiente a la reproducción en cautiverio, específicamente en el tema de incubación y cría artificial de huevos del cóndor andino.

Existe la necesidad de construir una incubadora y una criadora artificial para huevos de cóndor andino debido a que las parejas reproductivas en cautiverio tienen una tasa de mortalidad del 100% de sus pichones. Por ende, la justificación del proyecto es la construcción de la primera incubadora y criadora artificial en el Ecuador para cóndores andinos.

Con la construcción y funcionamiento de la incubadora y criadora artificial se pretende tener una repoblación de esta especie de manera artificial. Posteriormente, en su momento oportuno estos cóndores serán liberados a su hábitat natural para que empiecen vivir de manera silvestre.

### **1.3 Objetivos**

En base a los antecedentes, justificación y motivación del proyecto, estos son los objetivos principales y específicos de este proyecto.

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar y construir una incubadora y una criadora artificial semiautomática para huevos de cóndor con un software CAD (Computer Aided Design) para albergar dos huevos de cóndor a la vez, desde la ovoposición, hasta el nacimiento del pichón y crianza del mismo.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Definir las variables de control para una incubación correcta (Ej: Temperatura, humedad)
- Definir los diferentes materiales y componentes que serán parte de la incubadora y criadora.
- Diseñar y construir la incubadora y criadora artificial.
- Evaluar, una vez construida la incubadora y la criadora, para comprobar que ésta cumple con los parámetros requeridos.

## **1.4 Descripción general del proyecto**

### **1.4.1 Diseño de la incubadora**

Después de determinar los parámetros establecidos por el manual de cuidado del cóndor realizado por la Asociación de Zoológicos y Acuarios (AZA) y el manual de incubación de huevos de cóndor realizado por la organización Bioandina, en este caso la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo y la humedad relativa, ya sea de la incubadora y la criadora, se procede a diseñar según las dimensiones del cuarto destinado a las mismas en el software CAD Autodesk Inventor®. En el proceso de diseño se debe tomar en cuenta el espacio que ocupa cada una de los componentes que integran a la criadora, lo que posteriormente facilitará la instalación de las mismas.

En el proceso de diseño se incluye la lista de materiales y componentes, ya sean mecánicos y electrónicos, que serán parte de la incubadora y criadora. Es necesario realizar planos de cada una de las piezas que son parte de la incubadora para proceder a construir.

#### **1.4.2 Construcción de la incubadora y criadora**

La construcción de la incubadora y la criadora se realiza en una empresa de metalmecánica, principalmente las partes críticas como: la estructura y los componentes mecánicos, ya que necesita de mucha precisión para garantizar que la máquina no tenga problemas en su periodo operativo.

La instalación de los componentes electrónicos y programación del sistema de control automático se lo realiza en el departamento de electrónica de la misma empresa de metalmecánica.

Una vez construida la incubadora y la criadora, se procede a realizar las pruebas respectivas para determinar si el sistema de control automático controla los parámetros establecidos en la parte de diseño en un periodo de tiempo, lo que garantizaría el funcionamiento correcto de la incubadora y la criadora, y por ende la utilización de la misma para sus fines específicos.

#### **1.5 Resumen**

En los capítulos posteriores se realizará una revisión literaria de los principales conceptos que serán utilizados a lo largo del proyecto. Posteriormente, se realizará un análisis completo del diseño de la incubadora y la criadora, con sus respectivos diseños en el software de modelado 3D, dimensionamiento, cálculos y la selección de componentes

según la necesidad. Para finalizar se documenta todo el proceso de construcción según su proceso, ensamblaje e instalación de los componentes.

## Capítulo 2: Fundamentos teóricos

---

En este capítulo se realizará una revisión literaria de los conceptos fundamentales que serán utilizados a lo largo del proyecto.

### 2.1 El cóndor andino (*Vultur gryphus*)

Esta sección brinda una descripción de las principales características del cóndor andino (*Vultur gryphus*). Esta ave pertenece a la familia Cathartidae, habita principalmente en la cordillera andina en Sudamérica.

#### 2.1.1 Localización actual

En la actualidad el cóndor andino está distribuido a lo largo de la Cordillera de los Andes, entre el oeste de Venezuela hasta el sur de Argentina y Chile (Lambertucci, 2007). En el Ecuador no existe un registro exacto de donde se encuentran los cóndores en estado natural; mientras que los cóndores andinos en cautiverio se encuentran repartidos en las provincias de Cotopaxi, Imbabura, Pichincha y Tungurahua.



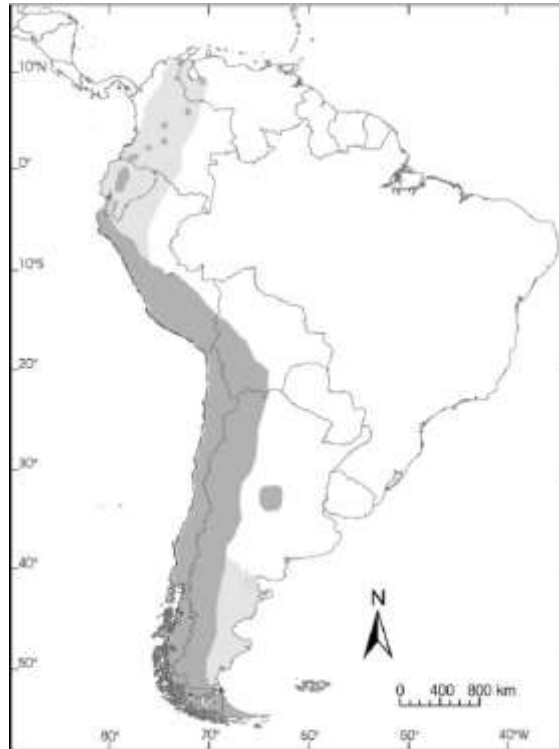


Figura 2.1: Distribución aproximada actual del cóndor andino en Sudamérica. Tono gris oscuro indica densidad poblacional (Lambertucci, 2007)

### 2.1.2 El cóndor andino en vida silvestre

El cóndor andino cuando se encuentra en vida silvestre tiene un comportamiento como ave de rapiña. Normalmente estas aves se alimentan de carroña de mamíferos; anida en acantilados o precipicios escarpados. Se requieren tres factores por los que el cóndor escoge su hábitat: viento o corrientes de aire caliente para volar alto, buena visibilidad en el aire para descubrir y poder llegar a la carroña y suministro de alimentos (Haemig, 2011).



Figura 2.2: Cóndor en vida silvestre (Avilés Loayza, 2014)

### **2.1.3 Reproducción**

El cóndor andino alcanza su madurez a la edad de 7 años, a pesar de esto no existe documentación que indique que un cóndor inicie su etapa de reproducción a esa edad. La etapa reproductiva del cóndor es una vez al año, el cortejo a la pareja lo realiza entre los meses de marzo y julio. Esta especie tiene la capacidad de producir hasta dos huevos al año siempre y cuando el primer huevo haya sido retirado del nido o dañado. (AZA, 2010). Por este motivo se pretende utilizar el primer huevo para incubarlo de manera artificial y un segundo huevo de manera natural; de esta manera se obtendrán dos pichones al año de una misma pareja.

### **2.1.4 Incubación Natural**

El proceso de incubación dura entre 58 a 62 días. La incubación lo realizan el padre y la madre del huevo; de esta manera garantizan que no exista ningún tipo de intrusión dentro del nido y que cada uno se mantenga alimentado durante este proceso (AZA, 2010). Los

huevos durante la incubación se encuentran en constante movimiento y rotación que la realizan los padres de manera periódica.

## **2.2 Incubación artificial**

La incubación artificial data del año 400 A.C. en Egipto; en China se realizó incubación artificial en gran escala en el año 246 A.C. donde se incubaba hasta 36000 huevos de gallina. La primera incubadora patentada data del año 1844 en Estados Unidos de América, mientras que “The Smith incubator” patentó en 1918 la primera incubadora a gran escala (Berry, 2004).

### **2.2.1 Propiedades termodinámicas importantes para la incubación artificial**

Las propiedades termodinámicas son características que se pueden medir dentro de un sistema. En la incubación artificial algunas propiedades termodinámicas son de vital importancia para que el que proceso de incubación se realice con éxito.

#### **2.2.1.1 Temperatura**

La temperatura es una medida que indica, que tan caliente o frío se encuentra un sistema. Se relaciona directamente con la energía interna y movimiento de partículas dentro de un sistema (Cengel, Y. & Boles, M., 2009).

#### **2.2.1.2 Temperatura de bulbo seco**

La temperatura de bulbo seco es la temperatura ordinaria, descrita anteriormente. Se la llama de esta manera para diferenciarla de otras formas de temperatura. (Cengel, Y. & Boles, M., 2009)

### **2.2.1.3 Temperatura de bulbo húmedo**

Temperatura de bulbo húmedo se denomina a la temperatura medida cuando se aplica una mecha de algodón saturada con agua un termómetro de mercurio y se aplica un flujo de aire sobre esta mecha. De esta manera el aire no saturado pasa por la mecha húmeda y un poco del agua de la mecha se evapora ocasionando que la temperatura del agua disminuya y se crea una diferencia de temperatura entre el aire y el agua. Posteriormente la pérdida de calor del agua por evaporación es igual a la ganancia de calor del aire y la temperatura del aire se estabiliza. En este punto se obtiene un valor exacto de la temperatura de bulbo húmedo (Cengel, Y. & Boles, M., 2009).

### **2.2.1.4 Humedad específica**

La humedad específica está definida como la masa de vapor de agua presente en una unidad de masa de aire seco (Cengel, Y. & Boles, M., 2009).

### **2.2.1.5 Humedad relativa**

La humedad relativa se define como la cantidad de humedad que contiene el aire con respecto a la cantidad máxima de humedad que el aire puede contener a una misma temperatura (Cengel, Y. & Boles, M., 2009).

## **2.2.2 Propiedades de transferencia de calor importantes para la incubación artificial**

Se describen las siguientes propiedades que serán utilizadas a lo largo del desarrollo del proyecto. Entre estas propiedades están: calor, potencia, mecanismos de transferencia de calor y el concepto de pared compuesta.

### **2.2.2.1 Calor**

Se define el calor como una forma de energía que se transfiere entre dos sistemas debido a una diferencia de temperatura (Cengel, Y. & Boles, M., 2009).

### **2.2.2.2 Potencia**

Se define potencia al trabajo realizado por unidad de tiempo (Cengel, Y. & Boles, M., 2009).

### **2.2.2.3 Mecanismos de transferencia de calor**

Existen tres tipos de mecanismos de transferencia de calor. Estos son conducción, donde existe transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia a las adyacentes menos energéticas, como interacción de las partículas. El otro mecanismo es la convección, donde existe transferencia de energía entre una superficie sólida y el fluido adyacente que se encuentra en movimiento. Existen dos tipos de convección: el primero es convección natural, si el movimiento del fluido es producido por fuerzas de flotación inducidas y convección forzada donde un fluido es forzado a fluir por una superficie. Por último la radiación, donde existe transferencia de energía debido a la emisión de ondas electromagnéticas (Cengel, Y. & Boles, M., 2009).

### **2.2.2.4 Paredes compuestas**

Las paredes compuestas se dividen en paredes en serie y en paralelo. En las paredes en serie el calor se propaga a través de varias paredes con contacto térmico; de esta manera se crea un gradiente de temperatura donde cada sección tiene una distinta temperatura. Las paredes en paralelo son más complejas debido a que un mismo bloque o sección de pared

está formada por dos tipos de materiales o también existen más mecanismos de conducción de calor que afecten a esa sección de la pared (Ortega, A., 2014).

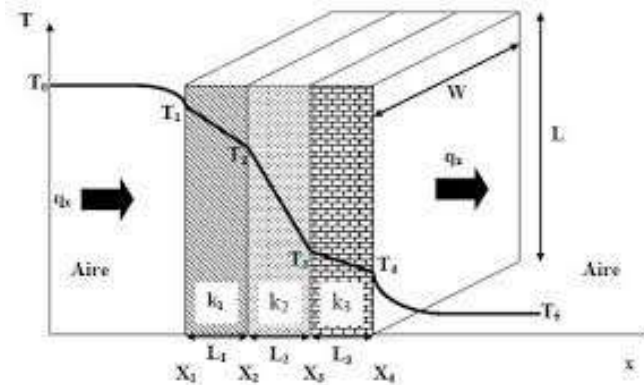


Figura 2.3: Configuración de paredes compuestas (Ortega, A., 2014)

### 2.2.3 Propiedades físicas relacionadas a la cinemática.

En esta sección se detallan las propiedades físicas de la cinemática relacionadas a la rotación del motor. Entre ellas están la velocidad y aceleración angular, peso y momentos de inercia.

#### 2.2.3.1 Velocidad angular promedio

Se denomina velocidad angular instantánea a la razón de cambio de la posición angular con respecto al tiempo (Giancoli, D., 2008).

#### 2.2.3.2 Aceleración angular promedio

Se denomina aceleración angular instantánea a la relación de cambio de velocidad después de un intervalo de tiempo (Giancoli, D., 2008).

#### 2.2.3.3 Peso

Se define como peso a la fuerza de la gravedad que actúa en un objeto (Giancoli, D., 2008).

#### **2.2.3.4 Momento de inercia**

Se denomina momento de inercia a la suma de las masas de cada partícula en el cuerpo, multiplicadas por el cuadrado de la distancia de esa partícula al eje de rotación (Giancoli, D., 2008).

#### **2.2.3.5 Torque o torsión**

Se define como torque o torsión a los esfuerzos y deformaciones en los elementos de sección transversal circular sometidos a pared de torsión (Beer, F., Johnston, R. & DeWolf, J., 2007).

#### **2.2.3.6 Factor de seguridad**

Se define al factor de seguridad como la razón de la carga última a la carga permisible (Beer, F., Johnston, R. & DeWolf, J., 2007).

### **2.2.4 Incubadora artificial**

Una incubadora artificial (Figura 2.4) tiene como propósito simular la incubación natural de cualquier tipo de ave. Para ello es necesario reproducir un ambiente parecido al que los padres de un pichón lo realizan; por lo cual se crea una cámara donde se instalan componentes que puedan imitar los requerimientos para la incubación.

Estos componentes se dividen en mecánicos y eléctricos. Los componentes mecánicos son: estructura metálica aislada y mecanismos de balanceo y rotación. Los mecanismos y máquinas eléctricas son: servomotor, humidificador, ventilador, fuente de calor y componentes que integran el sistema de control automático. El conjunto de estos elementos crea un sistema que puede reproducir el proceso de incubación de un ave.



Figura 2.4: Incubadora de huevos de aves (Plantamus, 2014)

### **2.2.5 Criadora artificial**

La criadora artificial (Figura 2.5) tiene como propósito simular un ambiente similar al que las aves crean una vez producida la eclosión, momento en el que los pichones rompen el cascarón y se produce el nacimiento del mismo. Un pichón de cóndor debe permanecer dentro de la criadora desde el día que nace, hasta 25 días después de su nacimiento (Bioandina, s.f.). Para reproducir este ambiente es necesaria la instalación de diversos componentes mecánicos y electrónicos, ya que son ellos los que ayudan a controlar principalmente la temperatura y la humedad.





Figura 2.5: Criadora o pabellón de cuidado de mascotas (Incubadorasynacedoras, 2012)

### 2.3 Resumen

En este capítulo se hace referencia a los principales argumentos que forman parte de este proyecto. Se hace un recuento general de lo que es el cóndor, como su localización actual y reproducción. A su vez se especifica lo que es la incubación artificial y una breve descripción de las variables físicas y termodinámicas que serán nombradas a lo largo de los siguientes capítulos. En el siguiente capítulo se establecerá el método de diseño utilizado y su desarrollo hasta el momento previo a su construcción.

## Capítulo 3: Diseño

---

Este capítulo incluye lo referente al diseño de la incubadora y la criadora. Dentro de él se detalla la metodología del diseño, selección de alternativas de diseño, diseño preliminar, cálculos, alternativas de componentes, diseño del sistema y el sistema detallado.

### 3.1 Metodología del diseño

En esta sección se detalla el sitio donde se alojara la incubadora y la criadora, alternativas de diseño y los sistemas existentes en la actualidad, por lo que posteriormente se procederá a escoger un sistema según las necesidades.

#### 3.1.1 Alojamiento de la incubadora y criadora

La incubadora y criadora artificial se alojarán en un cuarto aislado dentro del Hospital Docente de Especialidades Veterinarias de la USFQ (Figura 3.1), con un área disponible de  $3.32 \text{ m}^2$ .



Figura 3.1: Distribución del cuarto.

### **3.1.2 Alternativas de diseño**

Existen varias alternativas de diseño para incubadoras de aves. Los factores más importantes para diseñar y posteriormente construir son la temperatura y humedad que afectan directamente al sistema. Para esto es necesario realizar un análisis de materiales y componentes existentes en el mercado, así también la factibilidad para la construcción de la misma y de esta manera determinar la mejor alternativa de diseño ya sea para la incubadora y la criadora.

### **3.1.3 Sistemas existentes**

Hoy en día existen varios sistemas en el mercado, que van desde máquinas manuales, hasta máquinas automáticas según la necesidad. En el caso de la incubadora se busca un sistema semiautomático, esto quiere decir que ciertas funciones las máquinas las realizan de forma automática, mientras que otras funciones se las realiza de forma manual. El mercado local e internacional no ofrece un sistema específico para cóndores, por lo que la oferta son incubadoras con control de temperatura y humedad, así como rejillas de movimiento regulables para aves de corral como gallinas, patos, etc.

Para la criadora, al ser un sistema menos complejo, la máquina es semiautomática. El sistema de crianza artificial en aves no se encuentra desarrollado en su totalidad, por lo que la oferta de este tipo de máquinas es limitada y son utilizadas como unidades de cuidados intensivos para cualquier tipo de animal.

#### **3.1.3.1 Sistema manual**

Una incubadora manual tiene que ser controlada frecuentemente por una persona encargada de la máquina. En cada control se realiza la inspección de temperatura, humedad y rotación

de los huevos (“Incubadoras y nacedoras,” 2012). Este sistema es utilizado para procesos de incubación no profesionales.



Figura 3.2: Incubadora manual (Mundo el Gallo, 2009)

### **3.1.3.2 Sistema semiautomático**

El sistema semiautomático (Figura 3.3) tiene la capacidad de controlar una o varias de las condiciones de incubación. Estos factores pueden ser la temperatura, humedad, ventilación o rotación. De esta manera se facilitan las labores para la o las personas encargadas de incubar los huevos de cualquier tipo de ave.



Figura 3.3: Incubadora semiautomática (“Incubadoras y nacedoras,” 2012)

En el caso de la criadora (Figura 3.4), los escasos sistemas de crianza que se encuentran, tienen un sistema semiautomático, donde se puede controlar la temperatura, ventilación y humedad ya sea de forma manual, como automática.



Figura 3.4: Criadora semiautomática (Incubadoras y nacedoras, 2012)

### 3.1.3.3 Sistema automático

Las incubadoras automáticas (Figura 3.5) son utilizadas para procesos de incubación masiva, donde la máquina permite un proceso de incubación perfecto, creando un ambiente ideal para el tipo de ave que se decida incubar. Estas máquinas incluyen un control de los factores de incubación completamente automático, así como dispositivos de seguridad en caso de que existan eventuales accidentes. Se están desarrollando sistemas de vacunación y nutrición in ovo automatizados dentro de una incubadora para la prevención de enfermedades de los pichones (“Incubadorasynacedoras,” 2012).



Figura 3.5: Incubadora automática (“Incubadorasynacedoras,” 2012)

## 3.2 Selección de las alternativas de diseño

Para escoger la mejor alternativa de diseño se toman en cuentas los factores a los que va a estar sometida la incubadora y la criadora, se incluyen también criterios de diseño como son: costo, confiabilidad, seguridad, mantenibilidad y exactitud.

En la Tabla 3.1 se analiza tres posibles alternativas según los criterios de diseño. 10 es el puntaje más alto, y 0 el puntaje más bajo, dando un total de 50 puntos por alternativa.

	Manual	Semiautomática	Automática
Costo	9	7	5
Confiabilidad	5	8	10
Seguridad	7	8	10
Mantenibilidad	9	8	8
Exactitud	4	8	10
Total	34	39	43

Tabla 3.1: Análisis de criterios de diseño

Se establecen parámetros según el puntaje para asignar un valor a cada una de las alternativas.

Costo:

En la Tabla 3.2 se detalla cada uno de los valores según el costo aproximado en USD (\$).

Valor	Parámetro (\$)
1	>5000
2	4500-5000
3	4000-4500
4	3500-4000
5	3000-3500
6	2500-3000
7	2000-2500
8	1500-2000
9	1000-1500
10	<1000

Tabla 3.2: Parámetros de costo

Confiabilidad:

En la Tabla 3.3 se asigna a cada valor un parámetro según el tipo de reajustes que cada una de las máquinas debe ser sometida.

<b>Valor</b>	<b>Parámetro</b>
1	Confiabilidad nula
2	Reajustes irreparables
3	Reajustes irreparables
4	Reajustes repetitivos
5	Reajustes repetitivos
6	Reajustes periódicos
7	Reajustes periódicos
8	Reajustes según la necesidad
9	Reajustes según la necesidad
10	No requiere reajustes

Tabla 3.3: Parámetros de confiabilidad

Seguridad:

En la Tabla 3.4 se detalla a cada valor un parámetro según el porcentaje de que ocurra algún tipo de evento donde pueda poner en peligro la integridad de la persona que opere las máquinas.

<b>Valor</b>	<b>Parámetro (%)</b>
1	>40
2	40
3	35
4	30
5	25
6	20
7	15
8	10
9	5
10	<1

Tabla 3.4: Parámetros de seguridad



### Mantenibilidad:

En la Tabla 3.5 se asigna a cada valor un parámetro según el número de mantenimientos correctivos que cada una de las máquinas debe ser sometida por cada 1000 horas de uso.

<b>Valor</b>	<b>Parámetro</b>
1	>8
2	8
3	7
4	6
5	5
6	4
7	3
8	2
9	1
10	<1

Tabla 3.5: Parámetros de mantenibilidad

### Exactitud:

En la Tabla 3.6 se detalla el parámetro de cada valor según el porcentaje de nacimientos por cada huevo introducido en la incubadora.

<b>Valor</b>	<b>Parámetro (%)</b>
1	<20
2	20
3	30
4	40
5	50
6	60
7	70
8	80
9	90
10	99

Tabla 3.6: Parámetros de exactitud

Según el análisis de criterio de diseño se tiene que la mejor alternativa es una incubadora automática, sin embargo debido a que el costo de construcción de una incubadora automática es bastante elevado, y siendo un factor crítico el presupuesto que se tiene para el proyecto, este tipo de incubadora se convierte en una alternativa no viable para este proyecto. Como segunda mejor alternativa se encuentra la incubadora semiautomática; tomando en cuenta el factor crítico de costos de construcción se convierte en la mejor alternativa de diseño y por ende de construcción.

### **3.2.1 Incubadora**

Al ser la incubadora semiautomática la mejor alternativa para el diseño y construcción es necesario realizar un análisis de criterios de diseño detallado para la máquina. En este análisis de criterios de diseño se clasifica según el tipo de material con el que será diseñada la máquina.

Para el análisis de criterios de diseño se utiliza la misma metodología de calificación utilizada en la Tabla 3.1.

	Madera	Acero A240 TP 304
Costo	9	7
Confiabilidad	8	8
Seguridad	8	8
Mantenibilidad	5	8
Exactitud	8	8
Total	38	39

Tabla 3.7: Análisis de criterios de diseño de Incubadora

Según el análisis de criterios de diseño para la incubadora se tiene que la mejor alternativa es una incubadora con una estructura de acero A240-TP304 o acero inoxidable. A pesar de que tiene un costo más elevado por los materiales que se utiliza, garantiza una alta durabilidad debido a la calidad del material, así como un mantenimiento más asequible para las personas encargadas de la incubadora.

### 3.2.2 Criadora

La mejor alternativa para el diseño y construcción de la criadora es un sistema semiautomático, de esta manera la persona encargada de la crianza del pichón del cóndor puede manipular los factores que influyen en el ambiente de la incubadora, en este caso temperatura y humedad. Se realiza un análisis de criterios de diseño detallados para determinar la mejor opción según el material con el que se diseña y construye la máquina con el mismo criterio utilizado en la Tabla 3.1 y 3.7.

	Madera	Acero A240 TP 304
Costo	8	6
Confiabilidad	8	8
Seguridad	8	8
Mantenibilidad	4	7
Exactitud	8	8
Total	36	37

Tabla 3.8: Análisis de criterios de diseño de criadora

El análisis de criterios de diseño de la criadora indica que la mejor opción es una criadora con estructura de acero ASTM A240-TP304 o acero inoxidable, lo que garantiza principalmente una mejor mantenibilidad y durabilidad debido a las condiciones a las que está sometida la criadora a pesar de que tiene un costo más elevado que una criadora de madera.

### 3.3 Diseño preliminar

Para el diseño preliminar de la incubadora y criadora es necesario tomar en cuenta la medida del lugar donde las máquinas se alojarán, el espesor de las láminas de acero con la que será construida, si es necesario incluir aislamiento dentro de las máquinas y demás requerimientos para alcanzar y mantener constantes los parámetros especificados.

### 3.3.1 Diseño preliminar incubadora

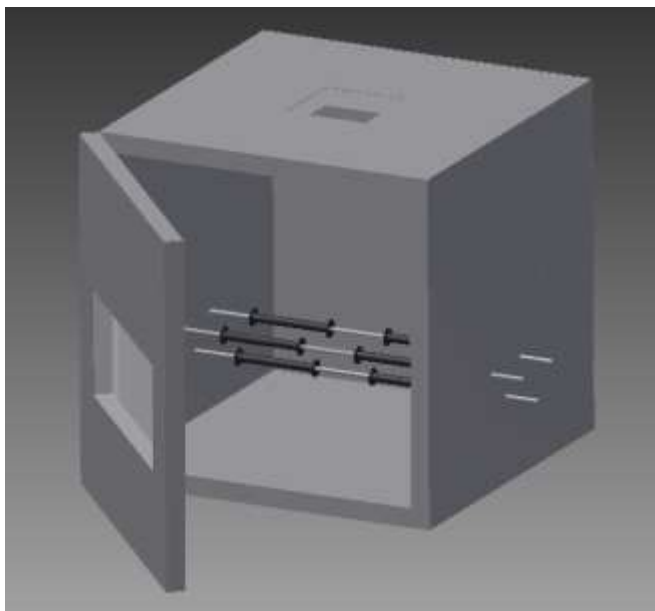


Figura 3.6: Diseño preliminar de la incubadora

Para el diseño de la incubadora es fundamental la dimensión de los huevos de cóndor; en este caso 110 mm de largo y 70 mm de diámetro en promedio. En la incubadora se desea alojar 2 huevos dentro de ella que puedan ser incubados a la vez. La incubadora debe tener una temperatura de bulbo seco entre 97.5 – 98 °F y temperatura de bulbo húmedo entre 80 – 82 °F (Bioandina, s.f.).

El material seleccionado para realizar la incubadora son láminas de Acero A240 TP 304 (Acero inoxidable) lo que garantiza que la incubadora no tendrá rastros de corrosión a lo largo de su utilización, así como la utilización de Poliuretano, una mezcla de polioliol y isocianato, como aislante con lo que se evita pérdidas de calor mientras esta se encuentre en funcionamiento. El sistema de rotación se lo realiza con Acero A276 TP 304. Las dimensiones de la incubadora son 400 mm de largo, 400 mm de ancho y 400 mm de altura.

Las láminas de Acero A240 TP 304 seleccionadas para la construcción de la incubadora son de 1.5 mm de espesor y el espesor del aislante de poliuretano es de 25.4 mm. Dentro de la incubadora se instalará un calentador, que proveerá el calor necesario en toda la cámara de incubación para alcanzar la temperatura deseada y mantenerla constante en un rango de 36.4 – 36.7°C. Para mantener una constante circulación de aire y por ende una mejor distribución de temperatura, se instalará un ventilador. La humidificación de la incubadora se la realizará con una humidificadora adecuada, la misma que garantice que la humedad de la cámara de incubación sea constante en este caso el 47% de humedad relativa. Se instalará un mecanismo de rotación de huevos, el mismo que cumpla con el requerimiento de girar el huevo 180° cada 8 horas (Bioandina, s.f.).

La incubadora tendrá un visor de vidrio templado, por donde se pueda observar claramente lo que está sucediendo dentro de ella. De la misma manera se instalará un sistema de iluminación en el interior de la incubadora.

La incubadora contará con una caja de control donde se instalará un termostato para controlar la temperatura con el uso de termocuplas, un higróstico que controla la humedad relativa de la incubadora usando un sensor de humedad y el motor del mecanismo de rotación el cual es controlado automáticamente mediante un microprocesador.

### 3.3.1 Diseño preliminar criadora

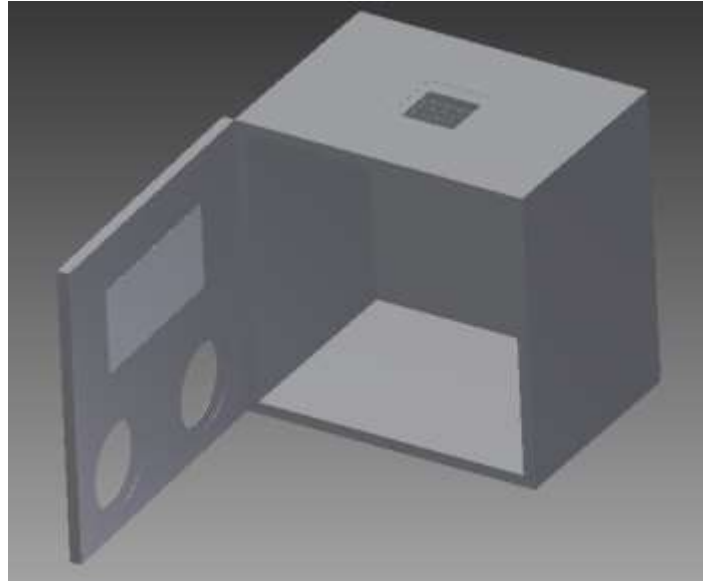


Figura 3.7: Diseño preliminar de la criadora

Para el diseño de la criadora es necesario tomar en cuenta que el pichón se alojara dentro de ella por 25 días. La criadora debe mantener una temperatura de bulbo seco de 97 °F y temperatura de bulbo húmedo entre 84 – 86 °F (Bioandina, s.f.).

La criadora se la realizará con el mismo tipo de materiales que la incubadora, por ende el mismo acero, el mismo aislante y con los mismos espesores. Las dimensiones de la criadora son 700 mm de largo, 500 mm de ancho y 500 mm de altura.

Esta máquina tendrá 2 agujeros de 150 mm de diámetro, los mismos que son desarmables para que la persona encargada de la máquina pueda manipular el pichón con los títeres para simular a sus padres; los títeres estimulan al pichón como si se lo hiciera de forma natural, así como también poder alimentar al mismo. Contará con una compuerta lateral la que será utilizada para retirar cualquier tipo de desecho.

La humidificación y el calentamiento de la criadora se lo realizarán con equipos similares a los de la incubadora, modificando los niveles de humedad y temperatura que se necesitan para la criadora.

La criadora tendrá un visor de vidrio templado con una lámina espejada; esta lámina tendrá la función de evitar que se pueda observar lo que sucede fuera de la máquina, mientras que la persona encargada de manipular al pichón observe lo que sucede en la parte interna. A su vez se instalará un sistema de iluminación dentro de ella.

La criadora contará con una caja de control donde se instalará un termostato y un higrostat. Cada uno de ellos será controlado con la instalación de termocuplas para medir la temperatura y un sensor de humedad para controlar el nivel de humedad relativa.

### **3.4 Cálculos**

Es necesario determinar la cantidad de calor y potencia que la incubadora y la criadora necesitan, tomando en cuenta las pérdidas de calor que ocurren a través de la estructura de estos dos dispositivos. Es necesario saber la cantidad de humedad relativa que se necesita para que las máquinas funcionen según los parámetros indicados. De la misma manera se calcula la potencia del motor y las dimensiones del eje que sostendrán los huevos para que este no sufra deformaciones a lo largo del tiempo y pueda cumplir con su función.

Para realizar los cálculos respectivos se procede a transformar cada uno de los parámetros en unidades del Sistema Internacional (SI).

#### **3.4.1 Cantidad de potencia y calor**

Se calcula la cantidad de potencia [W] y la cantidad de calor [J] con lo que se garantiza que la incubadora y la criadora puedan alcanzar la temperatura establecida.



### 3.4.1.1 Cantidad de potencia para la incubadora

Para calcular la cantidad de potencia que se necesita para llegar a la temperatura indicada en la incubadora es necesario calcular la densidad del aire. La Tabla 3.9 muestra las constantes usadas en este proyecto.

Constantes	Valor	Unidades
Densidad del aire a 20°C ( $\rho_0$ )	1.293	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Temperatura 0°C en grados Kelvin ( $T_0$ )	273.15	K
Temperatura ambiente de grados Kelvin ( $T$ )	293.15	K
Temperatura de incubación en grados Kelvin ( $T_1$ )	309.65	K
Presión atmosférica en Quito ( $P$ )	72000	Pa
Presión atmosférica a nivel del mar ( $P_0$ )	101325	Pa
Calor específico del aire a presión constante ( $C_p$ )	1005	$\frac{J}{\text{kg} * K}$
Volumen de la incubadora ( $V$ )	0.0404	$\text{m}^3$

Tabla 3.9: Constantes usadas en este proyecto

Usando la ecuación (1), asumiendo que el aire se comporta como un gas ideal, se puede calcular la densidad del aire a la temperatura y presión deseada ( $T$  y  $P$ ).

$$\rho = \rho_0 * \frac{T_0}{T} * \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

$$\rho = 1.293 * \frac{273.15}{293.15} * \frac{72000}{101325}$$

$$\rho = 0.856 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Según el número de CFM (Pies cúbicos por minuto) a los que funciona el ventilador se puede determinar la cantidad de aire que circula dentro de la incubadora.

Suponiendo que el ventilador funciona en su carga máxima a 115 CFM se tiene que:

$$Q = \frac{115 \text{ pies}^3}{1 \text{ min}} = \frac{0.3048^3 \text{ m}^3}{1 \text{ pie}^3} = \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0.0542 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Para determinar la cantidad de masa de aire por unidad de tiempo se utiliza la ecuación (2).

$$\dot{m} = \rho * Q \quad (2)$$

$$\dot{m} = 0.0542 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 0.856 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.0464 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Utilizando la ecuación (3) para determinar la cantidad de calor se obtiene la cantidad de potencia que se necesita para calentar la incubadora.

$$\dot{q} = \dot{m} * Cp * (T_1 - T) \quad (3)$$

$$\dot{q} = 0.0464 * 1005 * (309.65 - 293.15)$$

$$\dot{q} = 769.428 \text{ W}$$

### 3.4.1.2 Cantidad de calor para la incubadora

Para determinar la cantidad de calor que se debe ingresar en la incubadora según el volumen de la misma se determina de la siguiente manera.

Donde la masa de aire está dado por:

$$m = V * \rho \quad (4)$$

$$m = 0.0404 * 0.856$$

$$m = 0.0346 \text{ kg}$$

Entonces utilizando la ecuación (3) se obtiene que,

$$q = 0.0864 * 1005 * (309.65 - 293.15)$$

$$q = 762.795 \text{ J}$$

### **3.4.1.3 Pérdida de potencia en la incubadora**

Para determinar la pérdida de potencia a través de las paredes de la incubadora los cálculos se realizan como si se tratase de una pared compuesta. En este caso la pared tiene 2 láminas de Acero A240 TP 304 y una capa de Poliuretano. Se establecen las siguientes constantes en la Tabla 3.10.

Constante	Valor	Unidades
Conductividad térmica del Acero A240 TP 304 ( $k_1$ )	23	$\frac{W}{m * k}$
Conductividad térmica del poliuretano ( $k_2$ )	0.028	$\frac{W}{m * k}$
Conductividad térmica del vidrio templado ( $k_3$ )	0.8	$\frac{W}{m * k}$
Coefficiente de convección natural ( $h_c$ )	10	$\frac{W}{m^2 * k}$
Espesor del Acero A240 TP 304 ( $L_1$ )	0.0015	m
Espesor del Poliuretano ( $L_2$ )	0.0254	m
Espesor del Vidrio templado ( $L_3$ )	0.003	m
Temperatura interna ( $T_{in,\infty}$ )	309.65	K
Temperatura externa ( $T_{out,\infty}$ )	293.15	K
Presión atmosférica en Quito (P)	72000	Pa
Presión atmosférica a nivel del mar ( $P_o$ )	101325	Pa
Caudal CFM 115 (Q)	0.0542	$\frac{m^3}{s}$
Área del ventilador ( $A_v$ )	0.01131	$m^2$
Longitud de una pared (L)	0.3432	m
Coefficiente de convección natural ( $h_a$ )	2	$\frac{W}{m^2 * k}$
Viscosidad cinemática del aire a 309.65 grados Kelvin ( $\mu_\infty$ )	$16.8606 \times 10^{-6}$	$\frac{m^2}{s}$
Conductividad térmica del aire a 309.65 grados Kelvin (k)	$27.0141 \times 10^{-3}$	$\frac{W}{m * k}$
Número de Prandtl del aire a 309.65 grados Kelvin (Pr)	0.7056	
Coefficiente de emisividad del acero ( $\epsilon$ )	0.08	
Constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma$ )	$5.67 \times 10^{-8}$	$\frac{W}{m^2 * K^4}$
Área de paredes laterales, superior, inferior, frontal y posterior según las dimensiones de cada pared		$m^2$

Tabla 3. 10: Constantes utilizadas en este proyecto

Para la incubadora se toma en cuenta las dimensiones de cada una de las paredes y según el material de lo que está compuesta cada una de ellas.

Dado que existe un ventilador dentro de la incubadora que distribuye el calor dentro de la misma, es necesario calcular el coeficiente de convección forzada.

Se utiliza la ecuación (5) para determinar la velocidad del aire dentro de la incubadora.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

$$v = \frac{0.0542}{0.01131}$$

$$v = 4.792 \frac{m}{s}$$

Se encuentra la viscosidad cinemática para la presión deseada.

$$\mu_{\infty} = \mu_{\infty} * \frac{Po}{P} = 16.86 \times 10^{-6} * \frac{101325}{72000} = 2.4 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

Se utiliza la ecuación (6) para encontrar el número de Reynolds del aire.

$$Re = \frac{v * L}{\mu_{\infty}} \quad (6)$$

$$Re = \frac{4.792 * 0.3432}{2.4 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 68526$$

El número de Reynolds encontrado indica que el flujo de aire que existe dentro de la incubadora es turbulento.

Dado que el flujo de aire es turbulento y el número de Prandtl se encuentra en un rango entre 0.6 – 60, se utiliza la ecuación (7) para encontrar el número de Nusselt relacionado al flujo de aire que se encuentra en el interior de la incubadora.

$$Nu_x = St * Re * Pr \quad (7)$$

$$Nu_x = 0.0296 * Re^{\frac{4}{5}} * Pr^{\frac{1}{2}}$$

$$Nu_x = 0.0296 * 68526^{\frac{4}{5}} * 0.7056^{\frac{1}{2}}$$

$$Nu_x = 183.762$$

Utilizando la ecuación (8) se encuentra el coeficiente de convección forzada del aire dentro de la incubadora.

$$h_c = \frac{Nu_x * k}{L} \quad (8)$$

$$h_c = \frac{183.762 * 0.01686}{0.3432}$$

$$h_c = 9.027 \frac{W}{m^2 * K}$$

Las pérdidas de las 2 paredes laterales y de la pared superior e inferior de la incubadora, las cuales poseen las mismas dimensiones, se calcula utilizando el siguiente procedimiento.

Se establece la ecuación (9), la misma que cuenta con la relación que existe en pérdidas de calor desde la parte interna de la incubadora hasta el exterior.

$$\frac{T_{int,\infty} - T_{ext}}{\frac{1}{h_c * A} + \frac{L_1}{k_1 * A} + \frac{L_2}{k_1 * A} + \frac{L_1}{k_1 * A}} = \frac{T_{ext} - T_{ext,\infty}}{\frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{h_a * A} + \frac{1}{h_r * A}}}}} \quad (9)$$

Utilizando la ecuación (10) se determina el coeficiente de radiación en el exterior de la incubadora asumiendo una temperatura en la pared exterior  $T_s$  de 300 grados Kelvin.

$$h_r = \varepsilon * \sigma * (T_s + T_{out,\infty}) * (T_s^2 + T_{out,\infty}^2) \quad (10)$$

$$h_r = 0.08 * 5.67 \times 10^{-8} * (300 + 293.15) * (300^2 + 293.15^2)$$

$$h_r = 0.47 \frac{W}{m^2K}$$

Con el coeficiente de radiación, se despeja de la ecuación (9) la temperatura de la pared exterior ( $T_{ext}$ ) de esta manera se obtiene un valor exacto del mismo para posteriormente calcular el valor exacto del coeficiente de radiación.

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

$$T_{ext} = \frac{309.65 + \left( \frac{1}{9.02} + \frac{2 * 0.0015}{23} + \frac{0.0254}{0.028} \right) * (0.47 + 2) * (293.15)}{1 + \left( \frac{1}{9.02} + \frac{2 * 0.0015}{23} + \frac{0.0254}{0.028} \right) * (0.47 + 2)}$$

$$T_{ext} = 297.84 K$$

Utilizando la ecuación (10) se suplanta la temperatura de la pared exterior ( $T_{ext}$ ) encontrada y se obtiene el coeficiente de radiación que se utilizará en los cálculos posteriores.

$$h_r = 0.4681 \frac{W}{m^2K}$$

Se utiliza la ecuación (11) para determinar las pérdidas en las paredes laterales, superior, inferior, posterior y la sección de acero de la puerta.

$$q = \frac{T_{int,\infty} - T_{out,\infty}}{\frac{1}{h_c * A} + \frac{L_1}{k_1 * A} + \frac{L_2}{k_1 * A} + \frac{L_1}{k_1 * A} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{h_a * A} + \frac{1}{h_r * A}}}} \quad (11)$$

- Se calcula las pérdidas de calor en las paredes laterales, superior, inferior y posterior utilizando la ecuación (11)

$$q_{lat} = \frac{309.65 - 293.15}{\frac{1}{9.027} + \frac{2 * 0.0015}{23} + \frac{0.00254}{0.028} + \frac{1}{0.4681 + 2}} * (0.3432^2)$$

$$q = 3.202 \text{ W}$$

- Se calcula las pérdidas de calor en la sección de acero de la puerta de la incubadora

$$q_{door} = \frac{309.65 - 293.15}{\frac{1}{9.027} + \frac{2 * 0.0015}{23} + \frac{0.00254}{0.028} + \frac{1}{0.4681 + 2}} * (0.3432^2 - (0.27 * 0.27))$$

$$q = 1.22 \text{ W}$$

Se utiliza la ecuación (12) para calcular las pérdidas en el vidrio templado de la puerta

$$q = \frac{T_{int,\infty} - T_{out,\infty}}{\frac{1}{h_c * A} + \frac{L_3}{k_3 * A} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{h_a * A} + \frac{1}{h_r * A}}}} \quad (12)$$

$$q_{vid} = \frac{309.65 - 293.15}{\frac{1}{9.027} + \frac{2 * 0.003}{0.8} + \frac{1}{0.4681 + 2}} * (0.27 * 0.27)$$

$$q = 2.29 \text{ W}$$



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

$$\sum q_{perdidas} = 5 * q_{lat} + q_{door} + q_{vid}$$

$$\sum q_{perdidas} = 19.52 W$$

#### **3.4.1.4 Potencia total requerida para calentar la incubadora**

$$q_{total} = \sum q + \sum q_{perdidas}$$

$$q'_{total} = 788.948 W$$

#### **3.4.1.5 Cantidad de potencia para la criadora**

Los cálculos para obtener la cantidad de potencia para la criadora son parecidos al cálculo para obtener la potencia de la incubadora en esta sección se presenta solo el valor final obtenido. Ver Anexo 1 para un cálculo detallado de la potencia para la criadora.

$$\dot{q} = 769.428 W$$

#### **3.4.1.6 Cantidad de calor para la criadora**

Se determina la cantidad de calor para la criadora. Ver Anexo 1 para un cálculo detallado de la cantidad de calor para la criadora.

$$q = 3022.99 J$$

### 3.4.1.7 Pérdida de potencia en la criadora

Se determina las pérdidas de potencia en las paredes laterales, superior, inferior, posterior y de la puerta de la criadora. Ver Anexo 1 para un cálculo detallado de las pérdidas de potencia en la criadora.

- Pérdidas en las paredes laterales, superior e inferior.

$$q_{lat} = 8.86 W$$

- Pérdidas en la pared posterior

$$q_{post} = 10.88 W$$

- Pérdida en la sección de acero de la puerta

$$q_{dor} = 6.10 W$$

- Pérdida en el vidrio templado de la puerta

$$q_{vid} = 5.51 W$$

- Pérdida en las entradas de las manos

$$q_{manos} = 0.54 W$$

- Valor total de pérdidas en la criadora

$$\sum q_{perdidas} = 58.51 W$$

### 3.4.1.8 Potencia total requerida para calentar la criadora

$$q_{total} = \sum q + \sum q_{perdidas}$$

$$q'_{total} = 827.938 W$$

### **3.4.2 Humedad relativa**

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

#### **3.4.2.1 Humedad relativa de la incubadora**

En la Tabla 3.11 se establecen las constantes para el cálculo de humedad relativa de este proyecto

Constante	Valor	Unidades
Presión atmosférica en Quito (P)	72	KPa
Temperatura promedio de bulbo seco ( $T_1$ )	36.5	°C
Temperatura promedio de bulbo húmedo ( $T_2$ )	26	°C
Capacidad calorífica del aire según la presión ( $C_p$ )	1.005	$\frac{KJ}{kg}$
Presión de saturación a 36.5 °C de bulbo seco ( $P_{g1}$ )	6.115	Kpa
Presión de saturación a 26 °C de bulbo húmedo ( $P_{g2}$ )	3.376	Kpa
Entalpía de evaporación a 26°C de bulbo húmedo ( $h_{fg}$ )	2439.32	$\frac{KJ}{kg}$
Entalpía de líquido saturado a 26°C de bulbo húmedo ( $h_{f2}$ )	109.012	$\frac{KJ}{kg}$
Entalpía de vapor de saturación a 36.5°C de bulbo seco ( $h_{g1}$ )	2567.27	$\frac{KJ}{kg}$

Tabla 3. 11: Constantes para el cálculo de humedad relativa

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

1. Utilizando la ecuación (13) se calcula la humedad específica para aire húmedo.

$$W_2 = \frac{0.622 * P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} \quad (13)$$

$$W_2 = \frac{0.622 * 3.376}{72 - 3.376}$$

$$W_2 = 0.0306 \frac{kg H_2O}{kg aire seco}$$

2. Con la ecuación (14) se calcula la humedad específica para aire seco.

$$W_1 = \frac{Cp * (T_2 - T_1) + W_2 * h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}} \quad (14)$$

$$W_1 = \frac{1.005 * (26 - 36.5) + 0.0306 * 2439.32}{2567.27 - 109.012}$$

$$W_1 = 0.02607 \frac{kg H_2O}{kg aire seco}$$

3. Utilizando la ecuación (15) se calcula la humedad relativa del aire.

$$\phi = \frac{W_1 * P_2}{(0.622 + W_1) * P_{g1}} \quad (15)$$

$$\phi = \frac{0.02607 * 72}{(0.622 + 0.02607) * 6.1559}$$

$$\phi = 0.4705 * 100\% = 47.1\%$$

#### 3.4.2.2 Humedad relativa de la criadora

Dado que el procedimiento del cálculo de la humedad relativa de la criadora es parecido al de la incubadora, se toma en cuenta solo el valor final obtenido. Ver Anexo 1 para un cálculo detallado de esta sección.

$$\phi = 64.2\%$$

### 3.5 Opciones de componentes

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

### 3.5.1 Calentadores

La selección del calentador es el mismo para la incubadora y la criadora. La Tabla 3.12 muestra tres distintas opciones para el calentador. En la siguiente sección se explica con mayor detalle la opción seleccionada para el diseño




<b>Componente</b>			
<b>Origen</b>	Ecuador	Estados Unidos	España
<b>Potencia</b>	Según dimensiones	125 W	68 W
<b>Sistema de control</b>	Conexión manual a un termostato	Incluye kit de conexión a un termostato	Conexión manual a un termostato
<b>Instalación</b>	Crear rejilla para sostener la resistencia a la estructura. Conexión a 220 V.	Fácil instalación a la estructura con tornillos. Conexión a 110 V.	Crear sostenedores para sujetar a la estructura. Conexión a 220 V.
<b>Costo</b>	Según longitud y diámetro de la resistencia	\$ 149.99 (Incluye termostato)	\$ 20

Tabla 3.12: Opciones de calentadores

### 3.5.2 Humidificador

La selección del humidificador es la misma para la incubadora y la criadora. La Tabla 3.13 se muestran las diferentes opciones de humidificadores para este proyecto. En la siguiente sección se explica con mayor detalle la opción escogida para el diseño.



<b>Componente</b>		
<b>Origen</b>	Estados Unidos	España
<b>Capacidad</b>	1 litro de agua	3 litros de agua
<b>Sistema de control</b>	Incluye higróstico programable y sensor de humedad.	Incluye higróstico programable y sensor de humedad.
<b>Instalación</b>	Conexión directa hacia las máquinas. Conexión a 110 V.	Conexión directa hacia las máquinas. Conexión a 220 V.
<b>Costo</b>	\$ 129.99	\$ 300

Tabla 3.13: Opciones de humidificadores

### 3.5.3 Sistema de rotación

La selección del sistema de rotación se la hizo según los criterios de diseño y por efectividad del mismo. La Tabla 3.14 se muestran las dos opciones de mecanismos de rotación para este proyecto. En la siguiente sección se explica con mayor detalle la opción escogida para el diseño.


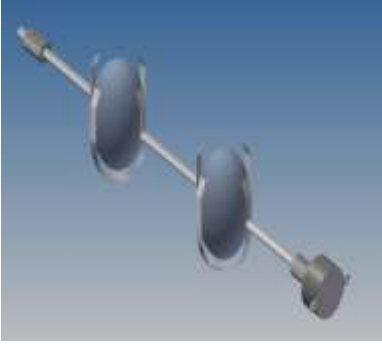
<b>Componente</b>		
<b>Características</b>	Mecanismo de 2 ejes	Mecanismo con celdas
<b>Capacidad</b>	2 Huevos	2 Huevos
<b>Material</b>	Acero A276 TP 304	Acero A276 TP 304
<b>Motor</b>	Motor paso a paso con banda de distribución	Motor paso a paso
<b>Confiabilidad</b>	No garantiza una correcta rotación de 180°	Garantiza una correcta rotación de 180°
<b>Sistema de control</b>	Sistema de rotación controlado por un microcontrolador.	Sistema de rotación controlador por un microcontrolador.

Tabla 3.14: Opciones para el sistema de rotación



### 3.5.4 Motor

La selección del motor para la rotación de los huevos se la realiza según las necesidades.



<b>Componente</b>		
<b>Características</b>	Motor paso a paso	Servomotor
<b>Torque</b>	$2.4 \frac{kg}{cm}$	$1.8 \frac{kg}{cm}$
<b>Peso</b>	285 g.	13 g.
<b>Confiabilidad</b>	No presenta posibles fallas.	Engranajes de nylon se desgastan.
<b>Sistema de control</b>	Cualquier tipo de microcontrolador.	Cualquier tipo de microcontrolador.

Tabla 3.15: Opciones de motores

## 3.6 Diseño del sistema

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

### 3.6.1 Propiedades del acero ASTM A240 TP 304

La estructura de la incubadora y la criadora se la realiza con láminas de acero inoxidable ASTM A240 TP 304. En la sección 3.2 se realiza un análisis bajo criterios de diseño el

mismo que indica porqué fue escogido este material. En la tabla 3.16 se muestra las propiedades mecánicas de este acero, respectivamente.

Propiedades mecánicas:

Esfuerzo de fluencia	205 [MPa]
Esfuerzo de rotura	515 [Mpa]
Elongación	40%
Dureza [Brinell]	201
Dureza [Rockwell B]	92

Tabla 3.16: Propiedades mecánicas acero ASTM A240-TP304 (“Huanan Special Steel,” s.f.)

### 3.6.2 Propiedades del acero ASTM A276 TP 304

Las celdillas que alojaran a los huevos en la incubadora se la realiza con un eje de acero inoxidable ASTM A276 TP 304. Este material fue escogido bajo un análisis de criterios de diseño especificados en la sección 3.2. La Tabla 3.16 se muestra las propiedades mecánicas de este acero, respectivamente.

Propiedades mecánicas:

Esfuerzo de fluencia	205 [MPa]
Esfuerzo de rotura	515 [MPa]
Elongación	40%
Dureza [Brinell]	130-200

Tabla 3.17: Propiedades mecánicas acero ASTM A276-TP304 (“Material Specifications,” s.f.)

### 3.6.3 Características del Poliuretano

El poliuretano es una resina sintética que puede ser utilizada como aislante térmico. Se compone de polioliol e isocianatos. El polioliol es un líquido viscoso constituido por oxígeno e hidrógeno. El isocianato es un compuesto químico constituido por nitrógeno, carbono y oxígeno; la mezcla de los 2 componentes da como resultado un poliuretano rígido. (“Poliuretano,” s.f.)

Los poliuretanos utilizados para aislamiento térmico son los rígidos, los mismos que poseen una alta densidad ( $30 - 50 \frac{kg}{m^3}$ ) y que pueden formar paneles con una alta capacidad de aislación térmica.

### 3.6.4 Selección de componentes

Los componentes que serán utilizados para la construcción de la incubadora y criadora son seleccionados según las necesidades requeridas para el correcto funcionamiento de las mismas.

#### 3.6.4.1 Calentador

El calentador que será utilizado en la incubadora y criadora se lo conoce como “IncuKit™ For Cabinet Incubators”(Figura 3.8) , un kit creado por la compañía “Incubator WareHouse” proveniente de Estados Unidos de América que cuenta con un calentador y ventilador, además este kit cuenta con un termostato (“IncuStat™ Advanced”) (Figura 3.9). Se escogió este calentador por lo que ha sido creado específicamente para incubación y garantiza la cantidad de potencia especificada en el manual. De la misma manera el termostato, que ayuda a controlar electrónicamente una temperatura específica, viene con

una configuración de fábrica por lo que no se requiere de una programación y tiene la modalidad de ahorro de energía integrada.

Entre las características principales de este kit están:

- El calentador produce 125 Watts de potencia.
- El sistema funciona con entradas de energía de 110 - 120 V.
- El sistema de control es programable y puede controlar el ventilador, el calentador y un motor de rotación.
- El ventilador funciona entre 95 – 115 CFM.
- El sistema de calefacción y control es de fácil instalación



Figura 3.8: IncuKit™ for Cabinet Incubator



Figura 3.9: IncuStat™ Advanced

#### 3.6.4.2 Humidificadora

La humidificadora que será instalada en la incubadora y la criadora se lo conoce como “HumidiKit™ - Auto Humidity System for Incubators” (Figura 3.10) creado por la compañía Norteamericana “Incubator WareHouse”. El kit cuenta con una humidificadora, un higróstato y un sensor de humedad.

Se escogió este humidificador por contiene un sistema integrado con el higróstato, dispositivo electrónico que ayuda a controlar el nivel de humedad relativa, y un sensor de humedad configurado de fábrica que no requiere de programación. Otro motivo por el que fue escogido es el costo del equipo, ya que el mercado local ofrece equipos de costos elevados y no incluyen higróstatos y sensores de humedad.

Las características principales de este componente son:

- El higrómetro es digital y programable según el porcentaje de humedad relativa requerida.
- El sistema funciona con una entrada de energía de 110 - 120 V.
- La capacidad es de 1 litro de agua destilada.
- El tubo se expande hasta 30".
- Provee humedad instantáneamente.



Figura 3.10: HumidiKit™ - Auto humidity system for incubators

#### **3.6.4.3 Sistema de rotación**

El mecanismo de rotación diseñado es un sistema de celdas o canastillas sobre un eje que tiene la capacidad de rotar 180° de forma automática y es accionado por un motor paso a paso controlado por un microprocesador Arduino MEGA™. Las canastillas son hechas de un material dúctil, las mismas que tendrán velcro para sujetar los huevos en el interior. El

eje conectado al motor tendrá un selector de desactivación de rotación automática en el caso que se requiera manipular los huevos.

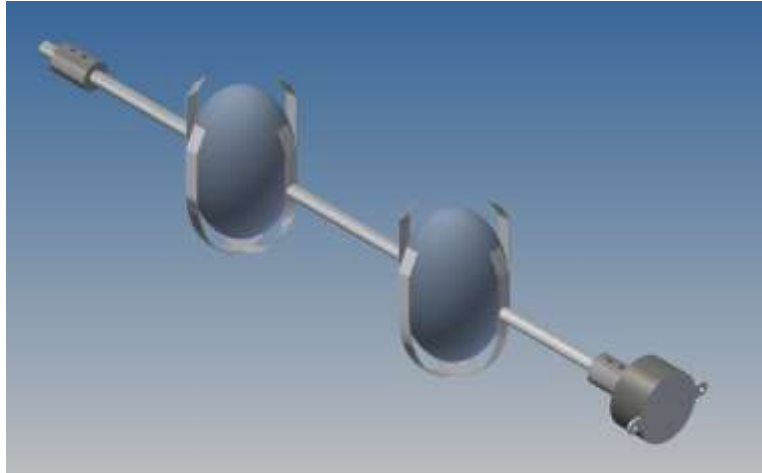


Figura 3.11: Mecanismo de rotación de celdas.

#### 3.6.4.4 Cálculos para determinar el motor

Para calcular los parámetros necesarios para seleccionar posteriormente un motor es necesario determinar el tiempo en el que el motor actúa para rotar los huevos  $180^\circ$ . Se determina que el tiempo total de rotación es de 10 segundos dividido en 3 secciones; el primer segundo el motor tiene que acelerar para empezar la rotación, los siguientes 8 segundos mantiene una velocidad constante y en el último segundo desacelera para completar los  $180^\circ$  de rotación. Se determina un diámetro estimado del eje para posteriormente medir su nivel de seguridad. Para esto es necesario calcular la velocidad angular, aceleración angular, carga de rozamiento del rodamiento, momentos de inercia, torque de aceleración y desaceleración y el torque de ciclo.

- Velocidad angular

En la Tabla 3.18 se definen las constantes para calcular la velocidad angular:

Constantes	Valor	Unidades
Número de revoluciones	0.5	
Tiempo de velocidad constante (t)	8	s

Tabla 3.18: Constantes para calcular velocidad angular

$$\omega = \frac{PRS}{t}$$

$$\omega = \frac{0.5}{8}$$

$$\omega = 0.0625 \text{ RPS}$$

Se transforma a revoluciones por minuto (RPM)

$$\omega = 0.0625 \text{ RPS} * 60s$$

$$\omega = 3.75 \text{ RPM}$$

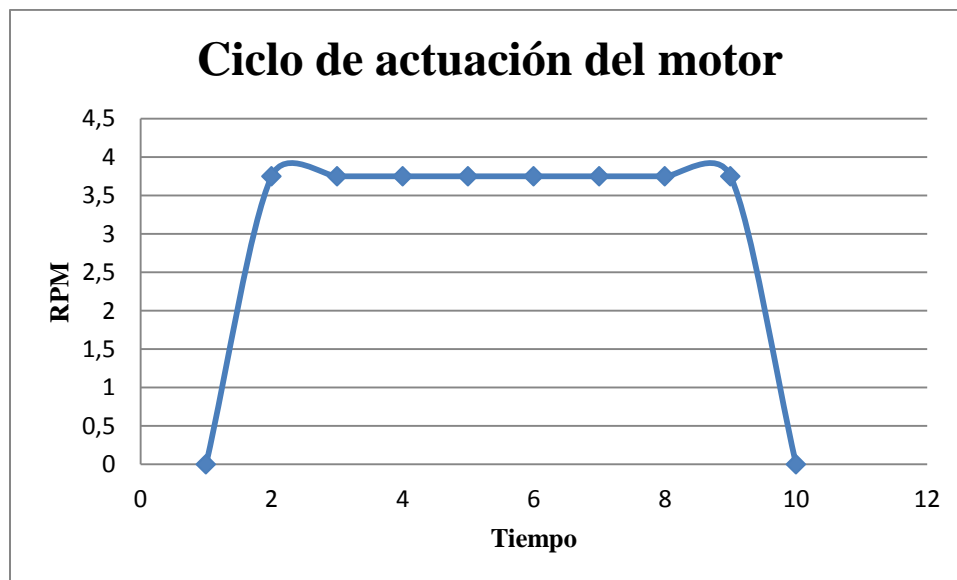


Figura 3.12: Ciclo de actuación del motor



Se transforma a las RPM a  $\frac{rad}{s}$

$$3.75 * 360^\circ = \frac{1350^\circ * \pi}{180^\circ} = 23.56 \frac{rad}{m} * \frac{1m}{60s} = 0.393 \frac{rad}{s}$$

- Aceleración angular

En la Tabla 3.19 se definen las siguientes constantes para calcular la aceleración angular:

Constante	Valor	Unidades
Velocidad angular ( $\omega$ )	0.393	$\frac{rad}{s}$
Tiempo de aceleración (t)	1	s

Tabla 3.19: Constantes para calcular aceleración angular

$$\alpha_{ac} = \frac{\omega}{t}$$

$$\alpha_{ac} = \frac{0.393}{1}$$

$$\alpha_{ac} = 0.393 \frac{rad}{s^2}$$

- Carga de rozamiento del rodamiento

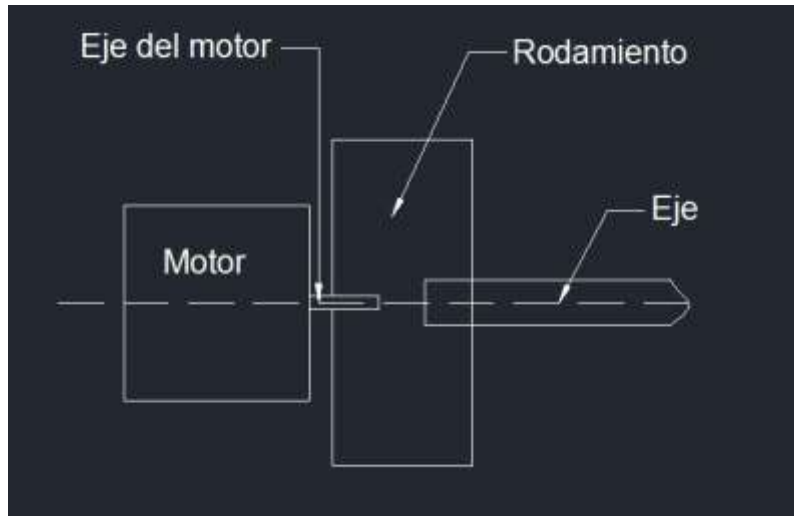


Figura 3.13: Esquema posicionamiento del rodamiento

Una vez diseñado el sistema de rotación en el software es necesario determinar las siguientes constantes:

Peso del soporte: eje y canastillas (Peso soporte = 0.211 kgf)

Peso del huevo (Peso huevo = 0.3 kgf)

Peso del rodamiento según catálogo (Peso rodamiento = 0.212 kgf)

El peso total del sistema está dado por:

$$F = \text{Peso soporte} + 2 * \text{Peso huevo} + \text{Peso rodamiento}$$

$$F = 0.211 + 2 * 0.3 + 0.212$$

$$F = 1.023 \text{ kgf}$$

Con el peso total del sistema se calcula la carga de rozamiento del rodamiento o torque de corrido utilizando la ecuación (16):

$$\tau_{run} = \mu * F * \frac{d}{2} \quad (16)$$

Dónde:

$\mu$  = Par de rozamiento del rodamiento según catálogo (0.015  $\mu$ )

F = Fuerza total del sistema

d = Diámetro del eje que se inserta en el rodamiento (d = 9.5 mm)

$$\tau_{run} = 0.015 * 1.023 * \frac{9.5}{2}$$

$$\tau_{run} = 0.0729 \text{ kg mm}$$

$$\tau_{run} = 0.0000729 \text{ kg m}$$

- Momentos de inercia

Para definir los momentos de inercia se utiliza el sistema de rotación y de los huecos creados en el software Autodesk Inventor™.

- Momento de inercia del sistema de rotación ( $I_s = 87.384 \text{ Kg mm}^2$ )
- Momento de inercia del hueco ( $I_h = 254.978 \text{ Kg mm}^2$ )
- Inercia del rodamiento se calcula utilizando la ecuación (16):

Se definen las siguientes constantes en la Tabla 3.20:

Constante	Valor	Unidades
Masa del rodamiento (m)	0.212	kg
Diámetro del rodamiento (d <sub>1</sub> )	35	mm
Diámetro del agujero donde se inserta el eje (d <sub>2</sub> )	9.525	mm
Gravedad (g)	9.8	$\frac{m}{s^2}$

Tabla 3.20: Constantes para calcular inercia del rodamiento

$$I_r = \frac{1}{8} * m * (d_1^2 + d_2^2) \quad (17)$$

$$I_r = \frac{1}{8} * 0.212 * (35^2 + 9.525^2)$$

$$I_r = 34.816 \text{ kg mm}^2$$

- La inercia total del sistema se calcula utilizando la ecuación (18).

$$I_t = \frac{I_s + 2 * I_h + I_r}{g} \quad (18)$$

$$I_t = 87.384 + 2 * 254.978 + 34.866$$

$$I_t = 632.206 \text{ kg mm}^2$$

$$I_t = \frac{0.0006322 \text{ kg m}^2}{9.8 \frac{m}{s^2}}$$

$$I_t = 0.00006451 \text{ kg m s}^2$$

- Utilizando la ecuación (19) se calcula el torque de aceleración

$$\tau_{acc} = I_t * \alpha_{ac} + \tau_{run} \quad (19)$$

$$\tau_{acc} = 0.00006451 * 0.393 + 0.0000729$$

$$\tau_{acc} = 0.0000982 \text{ kg m}$$

- Se calcula el torque de desaceleración utilizando la ecuación (19) pero con signo negativo.

$$\tau_{dec} = -I_t * \alpha_{ac} + \tau_{run}$$

$$\tau_{dec} = -0.00006451 * 0.393 + 0.0000729$$

$$\tau_{dec} = 0.0000475 \text{ kg m}$$

- Se calcula el torque del ciclo utilizando la ecuación (20)

Dónde:

$t_{acc}$ ,  $t_{run}$  y  $t_{dec}$  son los tiempos de aceleración, corrida y desaceleración en segundos.

$T_{acc}$ ,  $T_{run}$  y  $T_{dec}$  son los torques de aceleración, corrida y desaceleración calculados previamente.

$$\tau_{RMS} = \sqrt{\frac{\tau_{acc}^2 * t_{acc} + \tau_{run}^2 * t_{run} + \tau_{dec}^2 * t_{dec}}{t_{acc} + t_{run} + t_{dec}}} \quad (20)$$

$$\tau_{RMS} = \sqrt{\frac{0.0000982^2 * 1 + 0.0000729^2 * 8 + 0.0000475^2 * 1}{1 + 8 + 1}}$$

$$\tau_{RMS} = 0.00007376 \text{ kg m}$$

Se transforma a unidades para determinar el torque requerido del motor

$$\tau_{RMS} = 0.00007376 \text{ kg m} * \frac{9.8 \text{ N}}{1 \text{ kg}} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$

$$\tau_{RMS} = 0.07228 \text{ N cm}$$

### 3.6.4.6 Sobredimensionamiento del eje

Para determinar el sobredimensionamiento del eje se requiere establecer un valor de esfuerzo cortante máximo al que va a ser sometido el eje.

Estableciendo la relación donde el valor del esfuerzo de fluencia es igual a 0.67 veces al valor del esfuerzo de rotura entonces se asume que el valor del esfuerzo cortante máximo es 345 [MPa] o 3518.02 [ $\frac{kgf}{cm^2}$ ]. Utilizando la ecuación de torsión elástica (21) se obtiene los siguientes valores.

$$\frac{J}{c} = \frac{\tau_{RMS}}{\tau_{max}} \quad (21)$$

$$\frac{J}{c} = \frac{0.007376 \text{ kg cm}}{407.88 \frac{kgf}{cm^2}} = 0.00002137 \text{ cm}^3$$

Para calcular el diámetro del eje según el torque de ciclo y el cortante máximo establecido para ejes sólidos, donde:

c: radio del eje

d: diámetro del eje

$$\frac{1}{2} * \pi * c^3 = \frac{J}{c}$$

$$c = 0.023 \text{ cm}$$

$$d = 2c = 0.047 \text{ cm}$$

$$d = 0.47 \text{ mm}$$

Con el diámetro establecido del eje se calcula el sobredimensionamiento utilizando la ecuación (22).

$$\text{Sobredimensionamiento} = \frac{\text{diámetro sugerido del eje}}{\text{diámetro calculado}} \quad (22)$$

$$\text{Sobredimensionamiento} = \frac{9.5 \text{ mm}}{0.47 \text{ mm}}$$

$$\text{Sobredimensionamiento} \approx 20$$

El valor 10 en el cálculo anterior indica que el eje sugerido de 9.5 mm está sobredimensionado. El eje sugerido tiene un diámetro aproximadamente 20 veces mayor al calculado lo que indica que el no existen problemas para operar el sistema de rotación sin que exista fractura.

#### **3.6.4.7 Motor**

El motor escogido para el sistema es un motor paso a paso NEMA 17, su paso es de 200 revoluciones por vuelta, tiene un bobinado de 1.2 A a 4 V, capaz de cargar  $3.2 \frac{kg}{cm}$ . Esta capacidad de carga indica que el motor está sobredimensionado para los requerimientos de rotación de la incubadora.

Características generales:

- Tamaño: 42.3 x 48 mm.
- Peso: 350 gramos.
- Diámetro del eje: 5 mm
- Longitud del eje: 25 mm



Figura 3.124: Motor paso a paso NEMA 17

### **3.7 Sistema detallado**

Con la selección de los componentes que integran a la incubadora y a la criadora, los materiales a utilizar y mecanismos utilizados, se realiza el modelado 3D detallado en el software Autodesk Inventor™ 2015 y posteriormente la creación de planos de fabricación para la construcción de las máquinas.

#### **3.7.1 Piezas y creación de planos de fabricación**

Para diseñar la criadora y la incubadora se procede a realizar la estructura metálica con la opción del software Autodesk Inventor™ 2015 de chapa metálica; esta opción da lugar a tener medidas de los cortes que se deben realizar a las planchas de acero A240 TP 304 y medidas de los zonas en las que se debe doblar piezas ya cortadas. Para una correcta fabricación de las máquinas se necesita identificar en el diseño cada uno de los componentes que van a ser instalados, por ende su ubicación dentro o fuera de la incubadora o criadora y si es necesario un sistema de sujeción para que la instalación sea realizada de manera correcta.



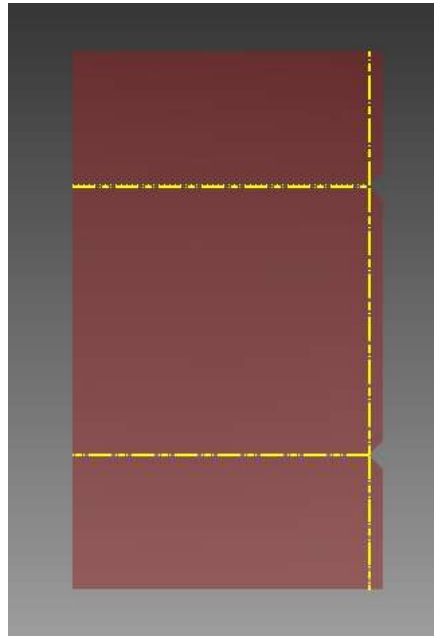


Figura 3.135: Pieza de la estructura sin doblar indicando cortes y zonas de doblado

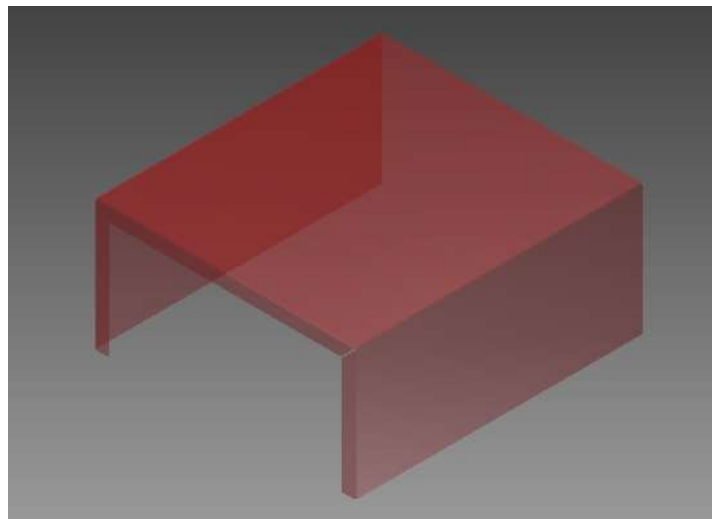


Figura 3.146: Pieza de la estructura doblada

Cada una de las piezas creadas en el software tiene su plano de fabricación detallado con medidas, tolerancias, acabados y notas varias para su correcta fabricación. Ver Anexo 2. Estos planos serán entregados a la empresa de metalmecánica Asindec S.A., que será la encargada de fabricar cada una de las piezas y su posterior construcción.

### 3.7.2 Montaje y ensamblaje

Para el montaje y ensamblaje de las piezas de la incubadora y la criadora se realizan ensambles preliminares como la estructura interna y externa de las máquinas, puerta, caja de instrumentos, componentes y para la incubadora el mecanismo de rotación. Una vez creados estos ensambles previos se procede a ensamblar las máquinas con las respectivas restricciones para el correcto montaje de estos y demás piezas creadas en el software.

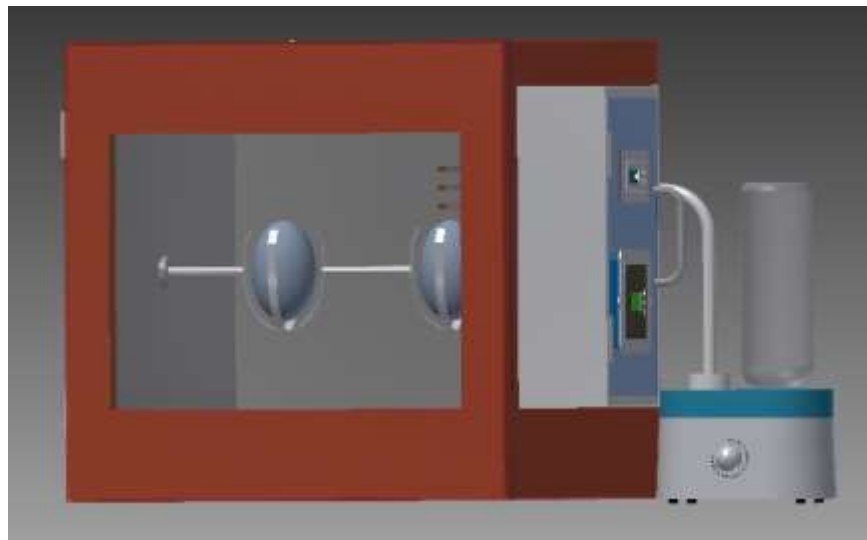


Figura 3.157: Diseño 3D definitivo de la incubadora.



Figura 3.168: Diseño 3D definitivo de la criadora.

## Capítulo 4: Construcción

---

### 4.1 Metodología de construcción

En esta sección se documenta la metodología de construcción detallada con imágenes. Se toma en cuenta cada uno de los procesos utilizados para la construcción de la incubadora y la criadora; esto incluye procesos de optimización, corte, doblado, soldado, maquinado, instalación del poliuretano y armado del conjunto.

#### 4.1.1 Optimización y corte de la placa

Antes de realizar el corte de los componentes que integran a la incubadora y la criadora se realiza un proceso de optimización de la placa de acero A240 TP 304. La optimización (Figura 4.1) consiste en realizar un esquema de todas las piezas que deben ser cortadas, organizadas de tal forma que exista un mínimo desperdicio de material. La placa de acero tiene como medidas 2440 x 1220 mm.



Figura 4.1: Optimización de la placa de acero

Una vez realizada la optimización de la placa de acero, se procede a realizar el corte de cada una de las piezas que formarán el ensamble final de la incubadora y la criadora. El corte (Figura 4.2) se lo realiza bajo las medidas especificadas en los planos de construcción de cada pieza en una cortadora industrial. Una vez obtenidas las piezas cortadas se procede a realizar los cortes de desarrollo (Figura 4.3) de cada una de las piezas con una moladora. Se denomina cortes de desarrollo al proceso de cortar los vértices de las piezas para al momento de doblar la pieza no exista interferencia con otras zonas de la pieza. Posteriormente iniciar el proceso de plegado.



Figura 4.2: Corte de las piezas con la cortadora industrial



Figura 4.3: Corte de las piezas con moladora

#### **4.1.2 Doblado de piezas**

Una vez realizados todos los cortes de las piezas se configura la dobladora industrial (Figura 4.4) y se procede a realizar el doblado de las piezas (Figura 4.5) según lo especificado en los planos de construcción. Una vez terminado el proceso de doblado se obtienen las placas que serán parte de la estructura y la puerta de la incubadora y la criadora (Figura 4.6) y (Figura 4.7).



Figura 4.4: Configuración de la dobladora industrial



Figura 4.5: Doblado de las piezas en la dobladora industrial



Figura 4.6: Pieza doblada o placa



Figura 4.7: Marco de la puerta doblada.

En el proceso de fabricación del eje de rotación para la incubadora, se procede a realizar un doblado manual de las platinas de acero (Figura 4.8). Al ser un doblado manual este tiene que ser rectificado varias veces hasta obtener la forma circular deseada y especificada en el plano de construcción. Una vez realizado el procedo de doblado se procede a soldar el eje con sus otros componentes.



Figura 4.8: Doblado manual de platina de acero.

#### **4.1.3 Soldado de piezas**

Para garantizar una cerradura total de las piezas una vez dobladas es necesario soldar con puntos en las esquinas de los cortes (Figura 4.9). El método de soldadura utilizado es TIG (Tungsten Inert Gas). Una vez realizada la suelda en cada una de las piezas, se procede a pulir (Figura 4.10) para eliminar todo tipo de rebaba o escoria que haya sido producida por la soldadura. Al momento de realizar la suelda las altas temperaturas pueden llegar a deformar las piezas de acero y se pueden pandear, por lo que es necesario cuadrar las piezas



(Figura 4.11) para que cuando se proceda a ensamblar la máquina no esté descuadrada y no existan problemas posteriores.



Figura 4.9: Suelda con puntos en las esquinas de las piezas



Figura 4.10: Proceso de pulido de piezas



Figura 4.11 Proceso de cuadrar las piezas

Las canastillas con el eje de rotación son soldadas con suelda TIG, para crear el sistema de rotación (Figura 4.12). El eje debe estar alineado con cada una de sus piezas para evitar cualquier tipo de bamboleo.



Figura 4.12: Suelda de canastillas con el eje.

#### 4.1.4 Colocación del poliuretano

Para la colocación del poliuretano es necesario reforzar las piezas con platinas de acero de 3 mm (Figura 4.13) para que la pieza no se deforme debido a la reacción violenta de expansión del poliuretano y a su vez cubrir con cinta pegante las parte exterior de la pieza para que no sufra averías al momento de retirar el exceso de material. Una vez reforzada y cubierta de cinta la pieza se inyecta la mezcla de polioli e isocianato sobre la pieza (Figura 4.14) hasta cubrir toda la superficie y se deja reposar durante una hora aproximadamente. Terminado el proceso de reposo se procede a retirar el exceso de poliuretano (Figura 4.15) con una sierra para proceder a cerrar las piezas y formar cada una de las paredes que forman la incubadora y la criadora.



Figura 4.13: Preparación de la pieza



Figura 4.14: Inyección del poliuretano



Figura 4.15: Corte de exceso del poliuretano.

#### 4.1.5 Maquinado del eje

Existen piezas que forman el conjunto del eje que deben ser maquinadas. Principalmente estas son bridas (Figura 4.16) que sirven para sujetar al eje con la estructura metálica y un acople que une al eje del motor con el eje de rotación. Los dos tipos de maquinados que se realizan son: torneado (Figura 4.17) para dar la forma requerida a estos elementos según el plano de construcción y fresado (Figura 4.18) para realizar los agujeros para los pernos que sujetaran al eje con la estructura.



Figura 4.16: Bridas



Figura 4.17: Torneado de bridas



Figura 4.18: Fresado de bridas

#### **4.1.6 Armado del conjunto**

Para el armado final del conjunto o ensamble se coloca pieza por pieza (Figura 4.19) según como se detalla en los planos de construcción. Para ello se debe hacer una inspección para que todas las medidas sean correctas y no este descuadrada antes de proceder a soldar el conjunto. Para soldar el conjunto de piezas es necesario realizar punto de soporte con suelda para posteriormente cuando todo haya sido colocado correctamente exista un remate final de soldadura en todo el conjunto (Figura 4.20). En la estructura de la incubadora y la criadora se instala un respiradero (Figura 4.21) para que pueda entrar aire del exterior al interior de las máquinas.



Figura 4.19: Ensamble de piezas



Figura 4.20: Estructura de incubadora soldada



Figura 4.21: Instalación del respiradero

En el caso de la incubadora se instala el eje de rotación previamente armado y las demás componentes maquinadas con la estructura de la incubadora. En este proceso es necesario realizar los agujeros a la estructura (Figura 4.22) según lo especificado en los planos de construcción y posteriormente sujetar todo el conjunto con pernos y tornillos con las medidas específicas (Figura 4.23).



Figura 4.22: Realización de agujeros en la estructura





Figura 4.23: Instalación del eje a la estructura.

Terminado el ensamblaje de la parte estructural de incubadora y la criadora se realizan los agujeros donde se instala la caja de control (Figura 4.24) donde se coloca el termostato y el higrostató, y en el caso de la incubadora se incluye también los pulsadores que controlarán el eje de rotación.



Figura 4.24: Instalación de la caja de control

Instalada la caja de control, se procede a realiza una prueba general con todos los componentes instalados para comprobar el correcto funcionamiento de los controladores (Figura 4.25) y también si todo el conjunto tiene el funcionamiento esperado como se lo propuso.



Figura 4.25: Comprobar el funcionamiento del equipo

## Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

---

### 5.1 Conclusiones

- Se realizó el diseño y construcción una incubadora y criadora artificial semiautomática para huevos de cóndor con el software Autodesk Inventor™ 2015. La incubadora alberga a dos huevos de cóndor a la vez en sistemas independientes y la criadora simula un ambiente parecido en el que los cóndores viven desde su nacimiento hasta una edad adecuada.
- Se definió y se alcanzó a cumplir con los requerimientos técnicos especificados como la temperatura, humedad y rotación del huevo cada cierto intervalo de tiempo, sin embargo antes de realizar pruebas con huevos de cóndor, las personas encargadas de las máquinas realizarán pruebas con huevos de otro tipo de ave.
- Hacer una revisión general de la lista de componentes mecánicos que son parte integral de la incubadora y la criadora fue fundamental para determinar materiales y el tipo de construcción que se realizó; de esta manera el proceso de creación de piezas y ensamble fue más eficiente.
- El hecho de que la mayoría de componentes eléctricos y electrónicos como los calentadores con su respectivo termostato y el humidificador con su higrostató no se encuentran con facilidad dentro del país se requirió importar del exterior, lo que retrasó el proceso de construcción del proyecto.
- Para garantizar que la máquina sea semiautomática se instalaron switches, los que controlan el sistema de rotación, donde se podrá operar la máquina, por lo que se escribió un manual de operaciones para no tener inconvenientes posteriormente.

- La construcción de las partes, ensamble e instalación de componentes de la incubadora y la criadora se las realizó en la empresa de metalmecánica Acindec S.A., lo que facilitó la construcción de las máquinas ya que los obreros respetaron los parámetros y tolerancias de construcción.
- Dado que la incubadora y la criadora fueron realizadas como proyecto único, con medidas especificadas en diseño y la selección de componentes bajo criterios del autor de la tesis, el costo de las máquinas es elevado en comparación a las incubadoras y criadoras que se encuentran en el mercado, con la diferencia que no existe ninguna que pueda albergar huevos de cóndor en su interior.
- Existieron dos procesos críticos dentro de la construcción: el primer proceso fue la manipulación de las planchas de acero inoxidable por su difícil manipulación y deformación en procesos de soldadura; el segundo proceso fue la programación debido al requerimiento de un control exacto en el movimiento del huevo de 180° cada 8 horas.

## 5.2 Recomendaciones

- En caso de que se requiera construir más incubadoras y criadoras hay que tomar en cuenta que algunos de sus componentes eléctricos y electrónicos son importados, por lo que se podría desarrollar en futuros proyectos una réplica de estos componentes dentro del país.
- Se recomienda seguir paso a paso el manual de operaciones de la incubadora y la criadora, así como también los parámetros de limpieza y mantenibilidad, para que esta tenga una mayor vida útil y no requiera de cambios antes de lo previsto de los componentes que integran a las máquinas.
- Es necesario tener cuidado con la manipulación de la caja de control de la incubadora, ya que posee circuitos conectados con cables al motor y al microcontrolador, lo que una desconexión o rotura de alguno de ellos causaría daños a todo el sistema y sería causa de paralización de la máquina para reparación del mismo.
- No es necesario aplicar ningún tipo de pintura o barniz sobre la superficie de las máquinas por el hecho que está construida con acero inoxidable con acabado superficial fino lo que dañaría la estética de las mismas.
- En caso de ser necesario se puede realizar un proceso de optimización de la incubadora y la criadora; este proceso contaría con la calibración de todos sus componentes según requerimientos específicos por parte de los interesados una vez que se haya realizado un proceso de pruebas.

- Es necesario realizar un plan de mantenimiento para que las máquinas o sufran averías y tener un set de extra de componentes en el caso de que se necesite realizar un mantenimiento correctivo.
- En caso de que no se alcance la humedad relativa indicada en la criadora, es necesario adquirir otro Humdikit™, ya que la criadora contará con un ducto extra para incluir un segundo humidificador.

## 6 Bibliografía

- Atecos. (s.f.). *Miliarium*. Recuperado el 2015 de abril de 17, de [http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/Soluciones/Fichas/Materiales\\_aislantes\\_termicos.PDF](http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/Soluciones/Fichas/Materiales_aislantes_termicos.PDF)
- Avilés Loayza, S. (12 de Febrero de 2014). Recuperado el 25 de Octubre de 2014, de <http://www.une.org.ec/~une/index.php/2012-07-08-04-19-37/92-produccion-de-los-y-las-docentes-ecuatorianos/468-cuento-la-justicia-del-condor>
- AZA Raptor TAG. (2010). Andean Condor (Vultus Gryphus) Care Manual. *Association of Zoos & Aquariums*.
- Beer, F., Johnston, R., & DeWolf, J. (2007). *Mecánica de materiales*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Berry, J. (2004). Artificial Incubation ANSI-8100. *Oklahoma Cooperative Extension Service*.
- Bioandina. (s.f.). Manual Básico de Incubación.
- Brico Greek*. (s.f.). Recuperado el 2015 de Marzo de 05, de <http://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/546-motor-paso-a-paso-nema-17-32kg-cm.html>
- Cengel, Y., & Boles, M. (2009). *Termodinámica*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Company, B. E. (1999). *Baldor Motor and Drives*. Fort Smith.
- Gallo, M. e. (2009 de Enero de 31). *Gallos y Gallina en Juaritos*. Recuperado el 2015 de Enero de 14, de <http://gallosenjuaritos.blogspot.com/2009/01/incubadora-casera-economica.html>
- Giancoli, D. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*. México: Pearson Educación.
- Haemig, P. (2011). *Ecología de los cóndores*. Recuperado el 23 de Octubre de 2014, de <http://www.xn--ecologa-dza.info/condor.htm>
- Huanan Special Steel Co., Ltd.* (s.f.). Recuperado el 2015 de Enero de 17, de <http://www.hnss-steel.com/Products/StainlessSteel/ASTM/A240/TP304/steelsheet.html>
- Incubadoras y nacedoras*. (2012). Recuperado el 08 de Enero de 2015, de <http://www.incubadorasynacedoras.com/tienda/criadoras/incubadora-pet-pavilion-unidad-de-cuidados-intensivos-TIN150010002.html>

- Incubator Warehouse*. (2014). Recuperado el 2015 de Enero de 15, de <http://incubatorwarehouse.com>
- J, R. G. (s.f.). *Representaciones G y J*. Recuperado el 2015 de Febrero de 2, de <http://representacionesgyj.com/portfolio.html>
- Lamberturcci, S. A. (2007). Biología y Conservación del Cóndor Andino (*Vultur Gryphus*) en Argentina . *Revista de Ornitología Neotropical*, 149-158.
- Material Specifications*. (s.f.). Recuperado el 2015 de Marzo de 04, de <http://pumps-motors.com/files/documents/material-composition.pdf>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (30 de Abril de 2013). *Ministerio del Ambiente*. Recuperado el 20 de Octubre de 2014, de <http://www.ambiente.gob.ec/mae-aplica-estrategia-para-conservacion-del-condor-andino/>
- Ortega, A. (08 de Octubre de 2014). *Tansferencia de Calor I IUTAG*. Recuperado el 31 de Marzo de 2015, de <http://transfcalor1iutag.blogspot.com/2014/10/paredes-planas.html>
- Plantamus*. (s.f.). Recuperado el 08 de Enero de 2015
- Poliuretano, E. d. (s.f.). Recuperado el 2015 de Febrero de 02, de CalzawebPeru: <http://www.calzawebperu.com/PDF/poliuretanos.pdf>
- Quito Zoo. (s.f.). *Quito Zoo en Guayllabamba*. Recuperado el 20 de Octubre de 2014, de <http://www.quitozoo.org/index.php/fze/conservacion/condor-andino>
- STEGO. (s.f.). *STEGO*. Recuperado el 2015 de Abril de 18, de <http://www.stego.de/es/productos/regulacion/reguladores/higrostat-electronico.html>
- Táchira, U. N. (s.f.). *Transferencia de calor*. Recuperado el 2015 de Febrero de 26, de [http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-165.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm)
- Vasco, J. (2004). *Propiedades térmicas de materiales*.



**Anexo A**

## A1: Cantidad de potencia para la criadora

Para calcular la cantidad de potencia que se necesita para llegar a la temperatura indicada en la criadora es realizar los siguientes cálculos:

La tabla A1.1 muestra las constantes usadas en este proyecto.

Constantes	Valor	Unidades
Densidad del aire a 20°C ( $\rho_0$ )	1.293	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Temperatura 0°C en grados Kelvin ( $T_0$ )	273.15	K
Temperatura ambiente de grados Kelvin (T)	293.15	K
Temperatura de incubación en grados Kelvin ( $T_1$ )	309.65	K
Presión atmosférica en Quito (P)	72000	Pa
Presión atmosférica a nivel del mar ( $P_0$ )	101325	Pa
Calor específico del aire a presión constante ( $C_p$ )	1005	$\frac{J}{\text{kg} * K}$
Volumen de la incubadora (V)	0.213	$\text{m}^3$

Tabla A. 1: Constantes usadas en este proyecto

Usando la ecuación (1), asumiendo que el aire se comporta como un gas ideal, se puede calcular la densidad del aire a la temperatura y presión deseada (T y P).

$$\rho = \rho_0 * \frac{T_0}{T} * \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

$$\rho = 1.293 * \frac{273.15}{293.15} * \frac{72000}{101325}$$

$$\rho = 0.856 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Según el número de CFM (Pies cúbicos por minuto) a los que funciona el ventilador se puede determinar la cantidad de aire que circula dentro de la criadora.

Suponiendo que el ventilador funciona en su carga máxima a 115 CFM se tiene que:

$$Q = \frac{115 \text{ pies}^3}{1 \text{ min}} = \frac{0.3048^3 \text{ m}^3}{1 \text{ pie}^3} = \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0.0542 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Para determinar la cantidad de masa de aire por unidad de tiempo se utiliza la ecuación (2).

$$\dot{m} = \rho * Q \quad (2)$$

$$\dot{m} = 0.0542 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 0.856 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.0464 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Utilizando la ecuación (3) para determinar la cantidad de calor se obtiene la cantidad de potencia que se necesita para calentar la criadora.

$$\dot{q} = \dot{m} * Cp * (T_1 - T) \quad (3)$$

$$\dot{q} = 0.0464 * 1005 * (309.65 - 293.15)$$

$$\dot{q} = 769.428 \text{ W}$$

## **A2: Cantidad de calor para la criadora**

Para determinar la cantidad de calor que se debe ingresar en la criadora según el volumen de la misma se determina de la siguiente manera.

Donde la masa de aire está dado por:

$$m = V * \rho \quad (4)$$

$$m = 0.213 * 0.856$$

$$m = 0.1824 \text{ kg}$$

Entonces utilizando la ecuación (3) se obtiene que,

$$q = 0.1823 * 1005 * (309.65 - 293.15)$$

$$q = 3022.99 J$$

### A.3 Pérdidas de potencia en la criadora

Para determinar la pérdida de potencia a través de las paredes de la criadora los cálculos se realizan como si se tratase de una pared compuesta. En este caso la pared tiene 2 láminas de Acero A240 TP 304 y una capa de Poliuretano. Se establecen las siguientes constantes en la tabla A1.2.

Constante	Valor	Unidades
Conductividad térmica del Acero A240 TP 304 ( $k_1$ )	23	$\frac{W}{m * k}$
Conductividad térmica del poliuretano ( $k_2$ )	0.028	$\frac{W}{m * k}$
Conductividad térmica del vidrio templado ( $k_3$ )	0.8	$\frac{W}{m * k}$
Coefficiente de convección natural ( $h_c$ )	10	$\frac{W}{m^2 * k}$
Espesor del Acero A240 TP 304 ( $L_1$ )	0.0015	m
Espesor del Poliuretano ( $L_2$ )	0.0254	m
Espesor del Vidrio templado ( $L_3$ )	0.003	m
Temperatura interna ( $T_{in,\infty}$ )	309.65	K
Temperatura externa ( $T_{out,\infty}$ )	293.15	K
Coefficiente de convección natural ( $h_a$ )	2	$\frac{W}{m^2 * k}$
Coefficiente de convección forzada del aire ( $h_c$ )	7.969	$\frac{W}{m^2 * k}$
Coefficiente de radiación ( $h_r$ )	0.4681	$\frac{W}{m^2 * k}$
Área de paredes laterales, superior, inferior, frontal y posterior según las dimensiones de cada pared		$m^2$

Tabla A.2: Constantes utilizadas en este proyecto

Se utiliza la ecuación (11) para determinar las pérdidas en las paredes laterales,

superior, inferior, posterior y la sección de acero de la puerta.

$$q = \frac{T_{int,\infty} - T_{out,\infty}}{\frac{1}{h_c * A} + \frac{L_1}{k_1 * A} + \frac{L_2}{k_1 * A} + \frac{L_1}{k_1 * A} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{h_a * A} + \frac{1}{h_r * A}}}} \quad (11)$$

- Se calcula las pérdidas de calor en las paredes laterales, superior e inferior utilizando la ecuación (11)

$$q_{lat} = \frac{309.65 - 293.15}{\frac{1}{7.969} + \frac{2 * 0.0015}{23} + \frac{0.00254}{0.028} + \frac{1}{0.4681 + 2}} * (0.6402 * 0.5216)$$

$$q = 8.86 W$$

- Se calcula las pérdidas de calor en la pared posterior utilizando la ecuación (11)

$$q_{post} = \frac{309.65 - 293.15}{\frac{1}{7.969} + \frac{2 * 0.0015}{23} + \frac{0.00254}{0.028} + \frac{1}{0.4681 + 2}} * (0.6402^2)$$

$$q = 10.88 W$$

- Se calcula las pérdidas de calor en la sección de acero de la puerta de la criadora.

$$q_{door} = \frac{309.65 - 293.15}{\frac{1}{7.969} + \frac{2 * 0.0015}{23} + \frac{0.00254}{0.028} + \frac{1}{0.4681 + 2}} * (0.6402^2 - (0.3 * 0.6))$$

$$q = 6.10 W$$

Se utiliza la ecuación (12) para calcular las pérdidas en el vidrio templado de la puerta

$$q = \frac{T_{int,\infty} - T_{out,\infty}}{\frac{1}{h_c * A} + \frac{L_3}{k_3 * A} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{h_a * A} + \frac{1}{h_r * A}}}} \quad (11)$$

$$q_{vid} = \frac{309.65 - 293.15}{\frac{1}{7.969} + \frac{2 * 0.003}{0.8} + \frac{1}{0.4681 + 2}} * (0.3 * 0.6)$$

$$q = 5.51 W$$

Se utiliza la ecuación (13) para calcular las pérdidas en el vidrio templado de la puerta

$$q = \frac{T_{int,\infty} - T_{out,\infty}}{\frac{1}{h_c * A} + \frac{L_1}{k_1 * A} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{h_a * A} + \frac{1}{h_r * A}}}} \quad (13)$$

$$q_{manos} = \frac{309.65 - 293.15}{\frac{1}{9.102} + \frac{0.0015}{23} + \frac{1}{0.47 + 2}} * \frac{\pi}{4} * 0.15^2$$

$$q = 0.54 W$$

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

$$\sum q_{perdidas} = 4 * q_{lat} + q_{post} + q_{door} + q_{vid} + 2 * q_{manos}$$

$$\sum q_{perdidas} = 58.51 W$$

#### A4: Humedad relativa de la criadora

Se utilizan los constantes de la Tabla A1.3 para realizar los siguientes cálculos.

Constante	Valor	Unidades
Presión atmosférica en Quito (P)	72	KPa
Temperatura promedio de bulbo seco ( $T_1$ )	36	°C
Temperatura promedio de bulbo húmedo ( $T_2$ )	29.5	°C
Capacidad calorífica del aire según la presión ( $C_p$ )	1.005	$\frac{KJ}{kg}$
Presión de saturación a 36.5 °C de bulbo seco ( $P_{g1}$ )	5.9803	KPa
Presión de saturación a 26 °C de bulbo húmedo ( $P_{g2}$ )	4.13919	KPa
Entalpía de evaporación a 26°C de bulbo húmedo ( $h_{fg}$ )	2430.99	$\frac{KJ}{kg}$
Entalpía de líquido saturado a 26°C de bulbo húmedo ( $h_{f2}$ )	123.649	$\frac{KJ}{kg}$
Entalpía de vapor de saturación a 36.5°C de bulbo seco ( $h_{g1}$ )	2568.16	$\frac{KJ}{kg}$

Tabla A.3: Constantes para cálculo de humedad relativa

- Humedad específica para aire húmedo

$$W_2 = \frac{0.622 * P_{g2}}{P_2 - P_{g2}}$$

$$W_2 = \frac{0.622 * 4.13919}{72 - 4.13919}$$

$$W_2 = 0.03793 \frac{kg H_2O}{kg aire seco}$$

- Humedad específica para aire seco

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

$$W_1 = \frac{1.005 * (29.5 - 36) + 0.03793 * 2430.99}{2568.16 - 123.649}$$

$$W_1 = 0.035048 \frac{kg H_2O}{kg aire seco}$$

- Humedad relativa del aire

$$\phi = \frac{W_1 * P_2}{(0.622 + W_1) * P_{g1}}$$

$$\phi = \frac{0.035048 * 72}{(0.622 + 0.035048) * 5.9803}$$

$$\phi = 0.642 * 100\% = 64.2\%$$



**Anexo B**

















## **Anexo C**

## C1: Diseño del circuito

En el circuito se encuentra detallado todos los Outputs que se utilizan para realizar todas las conexiones eléctricas. Este circuito está integrado al microcontrolador Arduino Mega y a las vez alimenta al motor paso a paso, la pantalla lcd, la salida al driver que controla el motor, los selectores y los microswitches.

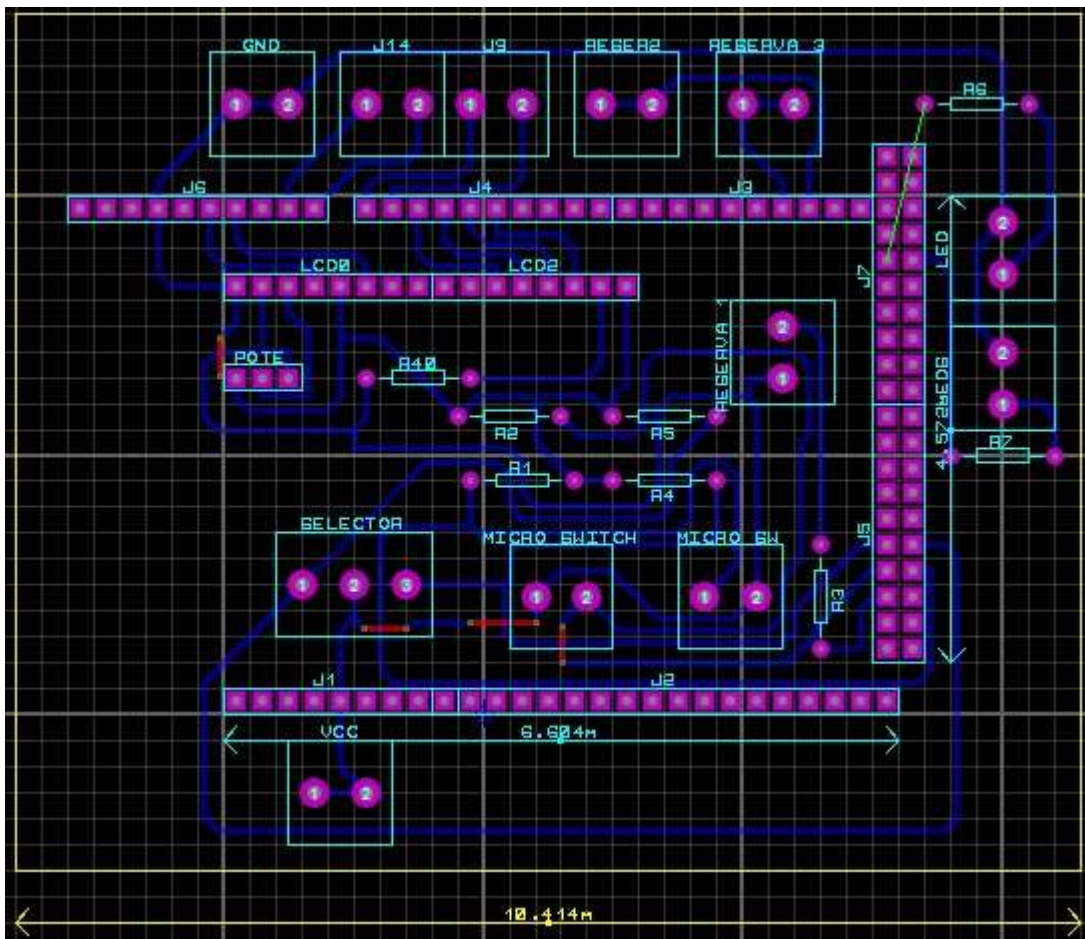


Figura C. 1: Circuito

## **Anexo D**

## **Incubadora y Criadora**

**USFQ**



**Manual de Operación**

En la incubadora existen 3 componentes que deben ser controlados:

1. IncuKit XL™ Advanced
2. HumidiKit
3. Sistema de rotación

En la criadora existen 2 componentes que deben ser controlados:

1. IncuKit XL™ Advanced
2. HumidiKit

Para la operación de IncuKit XL™ Advanced y HumidiKit se otorga los manuales realizados por el fabricante INCUBATOR WAREHOUSE.COM

Para mayor información o soporte técnico de estos 2 componentes se puede contactar a: [service@incubatorwarehouse.com](mailto:service@incubatorwarehouse.com)

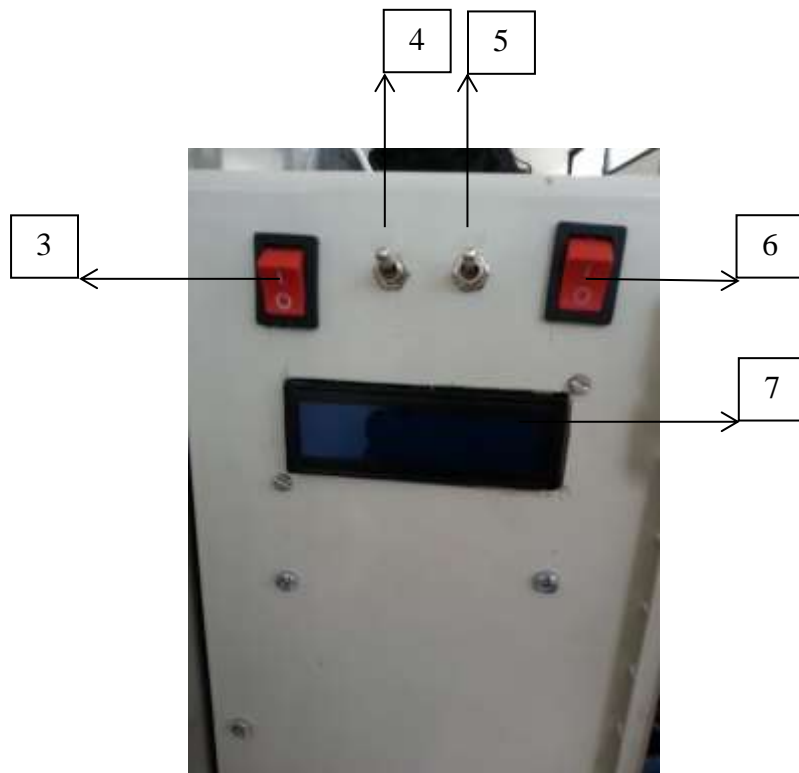
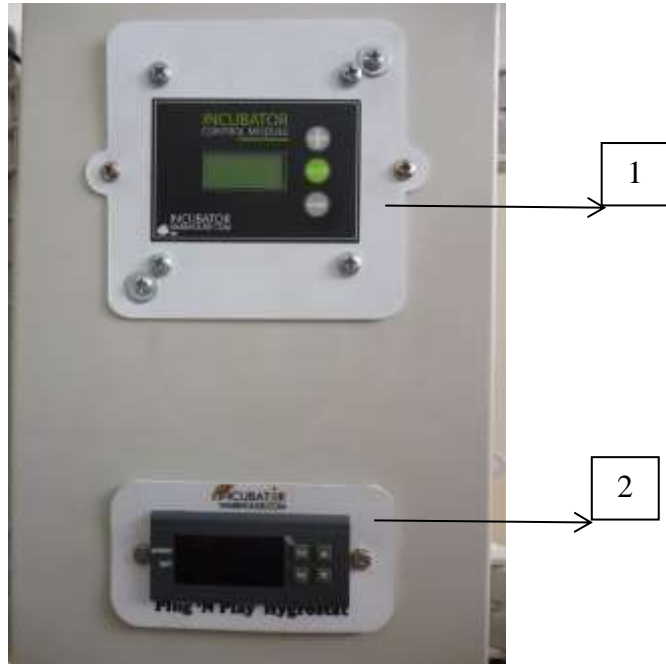
Las máquinas funcionan con una conexión de corriente de 110V AC

## Componentes internos



1. Canastillas de huevos
2. Calentador IncuKit XL™ Advanced
3. Foco
4. Sensor de humedad
5. Termocupla
6. Micro switch

### Caja de control



1. Termostato IncuKit XL™ Advanced
2. Higrostatto HumidiKit
3. Switch encendido de foco
4. Selector de 3 posiciones
5. Selector de 2 posiciones
6. Switch de encendido general de la incubadora
7. Display

### **Modo de operación**

1. Conectar el enchufe a un tomacorriente de 110 V.
2. Activar el switch de encendido general del sistema.
  - a. El switch general activa el IncuKit XL™ Advanced, el HumidiKit, el switch de encendido del foco y el Sistema de rotación.
3. Una vez encendida la máquina, los 3 displays presentes en la caja de control se activan.

### **Sistema de rotación**

1. Para controlar el sistema de rotación es necesario manipular solo los selectores de posiciones.
2. El selector de 3 posiciones posee 3 opciones:
  - a. Posición I: Incubación

El sistema de rotación se activa, este realiza rotación de 180° cada 8 horas.

- b. Posición 0: Seleccione



El sistema de rotación espera a la activación de la posición I o II.

**c. Posición II: Manipulación**

El sistema de rotación se desactiva, es posible realizar rotación manual en esta opción.

**3. El selector de 2 posiciones posee 2 opciones:**

**a. Posición 0: Apagado**

El tiempo que se presenta en el display está apagado.

**b. Posición I: Prendido**

Inicia a correr el tiempo, cada 8 horas se reinicia después de cada rotación.

En caso de ser necesaria una reprogramación del sistema, es necesario contactar una persona especializada en programación de microcontrolador Arduino.

**Advertencia:**

No encender por más de 1 minuto el foco porque puede causar cambios térmicos que pueden afectar al proceso de incubación.