

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño y construcción de una cámara de incubación para  
aplicaciones biológicas

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Elvis Reinaldo Carranza Mora

Lenin Kevin Guerrero Menoscal

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

## DEDICATORIA

A Dios, a mis Padres Lenin Guerrero y Amparo Menoscal por ser ejemplos de sacrificio y responsabilidad que me han motivado a seguir adelante y tomar decisiones correctas a lo largo de mi vida y a mis queridas hermanas por su constante apoyo incondicional.

**Lenin Kevin Guerrero Menoscal**

Dedico este trabajo a Dios por todas sus bendiciones, a mi madre por siempre creer en mí, a mi padre y hermanos por su apoyo incondicional

**Elvis Reinaldo Carranza Mora**

## **AGRADECIMIENTOS**

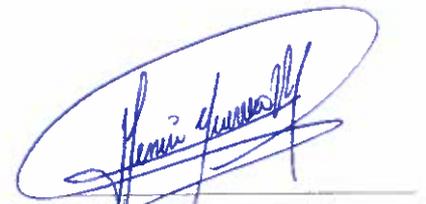
Agradecemos a todos los profesores que contribuyeron en nuestro crecimiento académico y formación profesional, a nuestros tutores PhD Juan Peralta y PhD Emérita Delgado por la ayuda constante brindada en este proyecto y al Ingeniero Daniel Contreras por su colaboración desinteresada.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Elvis Reinaldo Carranza Mora y Lenin Kevin Guerrero Menoscal damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

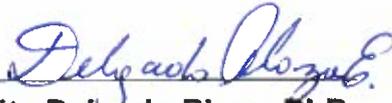


Elvis Carranza Mora



Lenin Guerrero Menoscal

## EVALUADORES



---

**Emérita Delgado Plaza, PhD.**

PROFESOR DE LA MATERIA



---

**Juan Peralta Jaramillo, PhD.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Ecuador, un país en vías de desarrollo aún carece de cierto tipo de industrias manufactureras y por ello se está obligado a la importación de algún producto específico, elevando su costo al momento de importarlo. De aquí surge la necesidad de diseñar y construir localmente para suplir esas necesidades del consumidor. El grupo de bioenergía de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil requiere de una incubadora para laboratorio para estudios de bacterias y microalgas, pero los costos de importación son elevados, es entonces donde surge el presente proyecto en colaboración con miembros de la ESPOL de diseñar y construir una incubadora para estudios de laboratorio.

Este proyecto se enfoca en construir una cámara de incubación que tenga un rango de operación de  $[25 - 50]$  °C y mantenga la temperatura deseada, además de incluir una pequeña agitación sobre las muestras que se van a analizar. Para cumplir estos requerimientos se realizó un proceso de diseño tanto de la parte térmica como mecánica, se usaron criterios de transferencia de calor y de diseño mecánico, mediante los cálculos teóricos se seleccionó la resistencia de calentamiento y con el uso de un software de simulación CFD se identificó el caudal de aire adecuado para crear homogeneidad dentro de la cámara.

En la simulación se obtuvo una uniformidad de calor dentro de la cámara de incubación teniendo un rango de temperaturas de entre  $[45 - 55]$  °C para una temperatura deseada de 50 °C, de esta manera se pudo llevar a cabo la construcción de la incubadora y luego mediante pruebas físicas se validó los resultados térmicos realizados en las simulaciones del prototipo, obteniendo un error del Bias equivalente a 2°C aproximadamente logrando de esta manera cubrir todos los objetivos propuestos.

Se demostró que este proyecto es viable y rentable ya que todos los materiales y componentes utilizados para esta construcción se encuentran en el mercado local y son de fácil acceso, generando un costo total de fabricación de \$ 595.05 dólares que hace injustificable una importación de una incubadora.

**Palabras Clave:** Trasterferencia de calor, Simulación CFD, Temperaturas, Uniformidad

## **ABSTRACT**

*Ecuador, a developing country, still lacks a certain type of manufacturing industry and for this reason it is obliged to import a specific product, raising its cost when importing it. Hence the need to design and build locally to meet those needs of the consumer. The bioenergy group of the Faculty of Natural Sciences of the University of Guayaquil requires a laboratory incubator for studies of bacteria and microalgae, but the import costs are expensive, this is where the present project arises in collaboration with members of ESPOL to design and build an incubator for laboratory studies.*

*This project focuses on building an incubation chamber that has an operating range of [25-50] °C and maintains this temperature, as well as including a small agitation on the samples to be analyzed. In order to meet these requirements, a thermal and mechanical design process was carried out, heat transfer and mechanical design criteria were used, through the theoretical calculations the heating resistance was selected and with the use of a CFD simulation software the appropriate air flow was identified to create homogeneity within the chamber.*

*In the simulation a uniformity of heat was obtained inside the incubation chamber having a temperature range of between [45-55] °C for a desired temperature of 50 °C, this way the construction of the incubator could be carried out and then, by means of physical tests, the thermal results made in the simulations of the prototype were validated, obtaining the bias error lower than 2°C, thus achieving to cover all the proposed objectives.*

*It was demonstrated that this project is viable and profitable since all the materials and components used for this construction are in the local market and are easily accessible, generating a total manufacturing cost of \$ 595.05 dollars that makes an importation of an incubator unjustifiable*

**Keywords:** *Heat transfer, CFD simulation, temperatures, uniformity*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Justificación del problema .....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Tipos de incubadora .....	3
1.4.2 Componentes generales del equipo .....	5
1.4.3 Sistemas de Control.....	8
CAPÍTULO 2.....	10
2. Metodología .....	10
2.1 Metodología de Diseño.....	10
2.2 Requerimientos de diseño.....	11
2.3 Alternativas de diseño .....	11
2.3.1 Selección del material de la estructura .....	11
2.4 Criterios para selección de la mejor alternativa .....	13
2.4.1 Material Aislante .....	13
2.4.2 Sistema de control .....	13
2.4.3 Sensor de temperatura .....	13
2.4.4 Fuente de calor .....	14

2.4.5	Plataforma .....	14
2.5	Matriz de selección de alternativa de diseño .....	14
2.6	Análisis Estructural .....	17
2.6.1	Carga Aplicada en la Plataforma .....	17
2.6.2	Cálculo de la carga aplicada en la plataforma .....	19
2.6.3	Análisis de la Carga Distribuida .....	20
2.6.4	Cálculo del Factor de seguridad de la plataforma.....	25
2.6.5	Esfuerzo en bases de aluminio .....	27
2.7	Análisis Transmisión de potencia .....	29
2.7.1	Cálculo de Torque en el tornillo .....	30
2.8	Análisis térmico .....	32
2.8.1	Pérdida de calor a través de la estructura .....	32
2.8.2	Carga térmica debido al flujo de aire .....	36
2.8.3	Carga térmica debido al producto .....	37
CAPÍTULO 3.....		39
3.	Resultados y análisis .....	39
3.1	Modelo final de Incubadora .....	39
3.2	Análisis térmico de la cámara de incubación.....	40
3.2.1	Modelos de simulación .....	41
3.2.2	Análisis de Modelos .....	43
3.3	Resultados Simulación CFD.....	45
3.4	Validación del modelo CFD .....	50
3.5	Construcción del equipo .....	53
3.5.1	Construcción y ensamble de carcasa .....	53
3.5.2	Ensamble y Control del movimiento de la plataforma .....	54
3.5.3	Ensamble del sistema de control de temperatura .....	56
3.6	Análisis de costos.....	57
3.6.1	Costos estructurales .....	57
3.6.2	Costos del sistema de movimiento de la plataforma.....	58
3.6.3	Sistema térmico .....	59
3.6.4	Otros costos.....	60
3.6.5	Costo final de incubadora .....	60

CAPÍTULO 4.....	61
4. Conclusiones y recomendaciones .....	61
4.1 Conclusiones.....	61
4.2 Recomendaciones.....	62
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
CFM	Pie Cúbico por Minuto
CFD	Computational Fluid Dynamics
CAE	Computer-Aided Engineering
LCD	Pantalla de Cristal Líquido
V-DC	Voltaje de Corriente Directa
V-AC	Voltaje de Corriente Alterna
RPM	Revoluciones por minuto
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PLC	Programmable Logic Controller

## SIMBOLOGÍA

W	Watt
m	Metro
cm	centímetro
gr	gramo
g	gravedad
N	Newton
°C	Grados Celsius
Hz	Hertz
$T$	Temperatura
K	Kelvin
PT	Platino
mm	milímetro
$h$	altura
$\rho$	densidad
$m$	masa
$Kg$	kilogramo
N/m	Newton metro
$M(x)$	Momento flector
$E$	Módulo de elasticidad
$\sigma_f$	Esfuerzo de flexión
$I$	Inercia
$\eta$	Factor de seguridad
$S_y$	Resistencia a la fluencia
$d_p$	Diámetro de paso
$\beta$	Coefficiente de expansión volumétrica
$\gamma$	Viscosidad cinemática
$Pr$	Numero de Prandtl
$Ra_L$	Número de Rayleigh
$Nu$	Número de Nusselt
$h$	Coeficiente de convección

$e$	Espesor
$Q$	Carga calorífica
$C_p$	Calor específico

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Formas de transferencia de calor en incubadora .....	4
Figura 1.2 Conduccion de calor a travez de pared plana .....	4
Figura 1.3 Convección entre una superficie y aire.....	5
Figura 1.4 Materiales aislantes y rangos de temperatura aplicable.....	6
Figura 1.5 Campo de medida de instrumentos de temperatura.....	7
Figura 1.6 Representación de un sistema lineal.....	9
Figura 2.1 Diagrama del Proceso de Diseno .....	10
Figura 2.2 Diseño de forma de alternativa 1 .....	15
Figura 2.3 Diseño de forma de alternativa 2.....	16
Figura 2.4 botella de vidrio .....	17
Figura 2.5 Dimensiones de botella de vidrio.....	18
Figura 2.6 Plataforma de incubacion .....	18
Figura 2.7 Arreglo Máximo de Botellas.....	20
Figura 2.8 Representacion de viga simplemente apoyada con carga distribuida .....	21
Figura 2.9 Diagrama de fuerzas puntuales en la viga .....	22
Figura 2.10 Seccion Transversal de la viga.....	23
Figura 2.11 viga prismatica simplemente apoyada.....	24
Figura 2.12 Deflexion en una viga por esfuerzo de flexion .....	25
Figura 2.13 Diagrama de Momento flector .....	26
Figura 2.14 Distancia C desde el Eje neutro .....	26
Figura 2.15 Dimensiones del tubo de Aluminio .....	29
Figura 2.16 Transmision de movimiento rotacional a lineal.....	30
Figura 2.17 Tabla de Tornillos ACME.....	31
Figura 2.18 Red de resistencia térmica .....	33
Figura 3.1 Modelo final de Incubadora para Laboratorio .....	39
Figura 3.2 Vista frontal de Incubadora para Laboratorio .....	40
Figura 3.3 Compartimientos de la Incubadora.....	40
Figura 3.4 Vista posterior del primer modelo de análisis .....	41
Figura 3.5 Vista Alámbrica del primer modelo de análisis .....	42
Figura 3.6 Vista Posterior del segundo modelo de análisis .....	42

Figura 3.7 Resistencia Tipo M.....	44
Figura 3.8 Ventilador seleccionado .....	44
Figura 3.9 Representación de temperatura con flechas dentro de la camara .....	45
Figura 3.10 Representación de líneas de flujo dentro de la camara .....	46
Figura 3.11 Vista frontal de simulación del modelo .....	47
Figura 3.12 Vista superior de simulación del modelo .....	47
Figura 3.13 Estabilización de la temperatura sin control automatico .....	48
Figura 3.14 Estabilizacion de la temperatura con control automatico.....	49
Figura 3.15 Transferencia de calor de las paredes de la camara.....	49
Figura 3.16 Puntos de toma de datos de temperatura .....	50
Figura 3.17 Ubicación de puntos de control de temperatura .....	51
Figura 3.18 Incubadora .....	53
Figura 3.19 Vista lateral del sistema de movimiento .....	54
Figura 3.20 Esquema del controlador A4988 .....	54
Figura 3.21 conexión electrónica del sistema de movimiento.....	55
Figura 3.22 Configuración ventilador-resistencia.....	56
Figura 3.23 Circuito electrónico térmico .....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Sensores de Temperatura .....	6
Tabla 1.2 Tipos de resistencias .....	8
Tabla 2.1 Matriz de decisión para selección de material de construcción .....	12
Tabla 2.2 alternativas de materiales aislantes.....	13
Tabla 2.3 Alternativa de solución # 1.....	14
Tabla 2.4 Alternativa de solución # 2.....	15
Tabla 2.5 Matriz de selección de diseño .....	17
Tabla 2.6 Áreas de paredes de estructura .....	36
Tabla 3.1 selección de equios .....	43
Tabla 3.2 Características del ventilador.....	45
Tabla 3.3 Coordenadas de control de temperatura .....	51
Tabla 3.4 Datos de temperatura experimentales.....	52
Tabla 3.5 Valores de temperaturas en simlacion.....	52
Tabla 3.6 Sesgo de los datos simulados y experimentales .....	52
Tabla 3.7 Conexión de pines del módulo A4988 .....	55
Tabla 3.8 Costos de materiales de estructura .....	57
Tabla 3.9 Costos de componentes para sistema de movimiento .....	58
Tabla 3.10 Costos de componentes de sistema térmico .....	59
Tabla 3.11 Otros costos .....	60
Tabla 3.12 costo total de incubadora biológica.....	60

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Vista isométrica

PLANO 2 Vistas frontal y lateral

PLANO 3 Vista en explosión

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema

El grupo de bioenergía de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil, en la búsqueda de nuevas alternativas de generación de energía actualmente se dedica al estudio de bacterias y microalgas. Entre sus actividades está el crecimiento y almacenamiento de cultivos bacterianos en un rango de temperatura entre 25 y 50°C en regímenes de operación establecidos por el usuario. Sin embargo, en su laboratorio no cuenta con una cámara de incubación que le permita el tratamiento y posterior escalamiento de muestras.

### 1.2 Justificación del problema

El Ecuador, un país en vías de desarrollo, se encuentra en la búsqueda de mejoras del proceso tecnológico a través de nuevas alternativas para el cambio de la matriz productiva. Una de estas alternativas es la diversificación de la matriz energética por medio del estudio de fuentes de energías renovables como la energía obtenida de biomasa, llamada también bioenergía. Las incubadoras biológicas son equipos de gran importancia en el estudio la biomasa, sin embargo, en el país existen sistemas de incubación enfocados en el área de la industria alimentaria mientras que los sistemas de incubación con características requeridas en el área de investigación de la bioenergía no tienen una mayor apertura volviéndose de difícil adquisición en el mercado nacional derivado a las complejidades de diseño y construcción. Las formas y tamaños de las incubadoras dependen de la aplicación que se le dará, por lo cual, pueden tener diferente valor monetario a nivel comercial aumentando significativamente su precio debido a la importación.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar una incubadora de laboratorio para muestra de cultivos microbiológicos de acuerdo con los requerimientos del grupo de bioenergía de la Facultad de ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar la estructura de contención y soporte de la incubadora para 12 muestras de laboratorio.
- Dimensionar el sistema de calentamiento y flujo de aire para el ambiente interior
- Diseñar el sistema de control de temperatura de la cámara de incubación
- Diseñar un sistema de agitación para las muestras.
- Construir el prototipo de incubadora para pruebas a nivel de laboratorio

### **1.4 Marco teórico**

Las incubadoras son equipos contruidos para operar a condiciones de temperatura y humedad deseada. Son diseñadas con la finalidad de emular condiciones en las que se desarrollan organismos como embriones de aves, bebes prematuros, aunque con el pasar del tiempo sus aplicaciones se han extendido a otras áreas como la investigación en microorganismos mediante cultivos bacterianos o celulares. (Zaragoza, La Habana, 2001)(OPS,2005)

Para la implementación de una incubadora se demanda del mejor diseño conforme a las condiciones de requerimiento, entre las más importantes se encuentran:

- Facilidad de manipulación
- Funcione a condiciones de temperatura y humedad deseada
- Materiales y construcción resistentes.
- Amplia visualización del contenido en su interior.
- Régimen térmico

### **1.4.1 Tipos de incubadora**

Las incubadoras de acuerdo con sus necesidades pueden ser clasificadas para aplicaciones médicas, producción industrial o con fines investigativos. (Erazo, 2015)

#### **1.4.1.1 *Incubadoras neonatales.***

Estas incubadoras son utilizadas para controlar niveles de oxígeno, humedad, ventilación y temperatura ideales para bebés neonatos. Tienen forma de cuna con cubiertas transparentes y orificios a los costados para guantes de gomas que permiten controlar y monitorear a los bebés.

#### **1.4.1.2 *Incubadoras para producción industrial.***

Son empleadas principalmente en la industria alimentaria para la incubación de huevos de aves de corral con el fin de abaratar costos y tiempo al reemplazar las aves de incubación por métodos de incubación artificial.

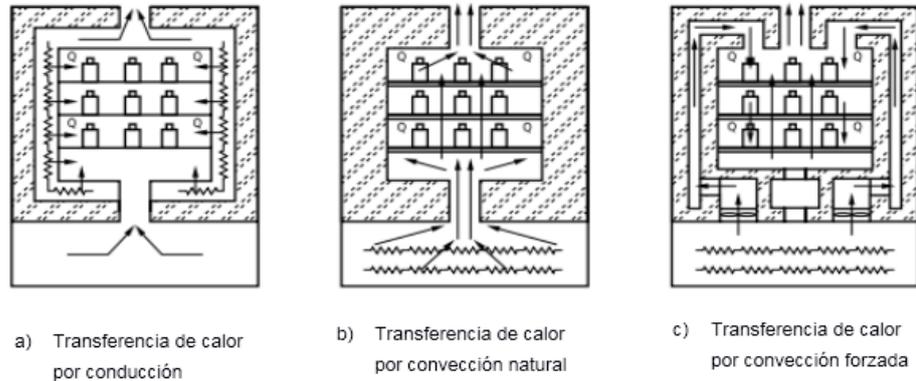
#### **1.4.1.3 *Incubadoras microbiológicas***

Como su palabra lo indica, son de uso para aplicaciones de biología, pueden usarse para el cultivo de organismos unicelulares y pluricelulares. En estudios farmacéuticos y hematológicos son utilizadas para identificar agentes patógenos, estudiarlos y buscar alternativas médicas para contrarrestarlos. También se las utiliza en el proceso de alimentos, estudios vegetales y animales e ingeniería genética.

#### **1.4.1.4 *Formas de transferencia de calor***

Los medios utilizados para el control ambiental y de temperatura para obtener las condiciones de operación en una incubadora son muy variados. Es común la disposición de resistencias eléctricas que funcionan de acuerdo con sensores de temperatura como termopares, termostatos o controladores electrónicos.

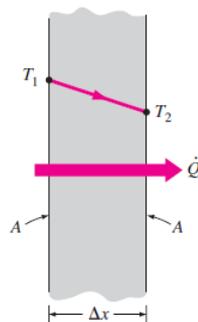
Los medios por el cual se transfiere el calor en incubadoras pueden ser por conducción y convección sea esta natural o forzada Figura 1.1 (OPS, 2005)



**Figura 1.1 Formas de transferencia de calor en incubadora (OPS, 2005)**

**1.4.1.5 Transferencia de calor por conducción térmica**

En la transferencia de calor por conducción la energía es transmitida por la interacción molecular directa, es decir entre los átomos, electrones o moléculas adyacentes, de manera que el calor fluye de las partes calientes ( $T_1$ ) a las más frías ( $T_2$ ) como se observa en la Figura 1.2. (Cengel, 2011)

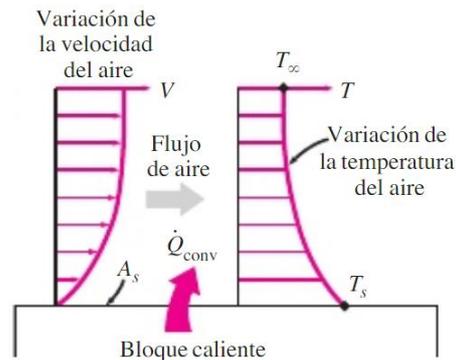


**Figura 1.2 Conduccion de calor a travez de pared plana (Cengel, 2011)**

**1.4.1.6 Transferencia de calor por convección.**

Esta forma de transferencia de energía se da entre una superficie sólida y un fluido adyacente en movimiento, sea este gas o líquido. (Cengel, 2011)

En las incubadoras que funcionan mediante convección térmica el aire es calentado por resistencias térmicas para luego ingresar por la parte inferior y calentar las muestras. La rapidez de transferencia de calor es proporcional al cambio de temperatura. (OPS, 2005).



**Figura 1.3 Convección entre una superficie y aire (Cengel, 2011)**

## 1.4.2 Componentes generales del equipo

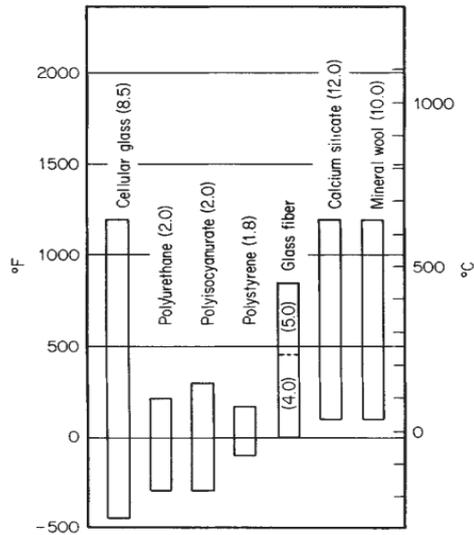
Los materiales con los que se construye la estructura de la cámara de incubación son principalmente

### 1.4.2.1 Estructura

Es el soporte que contiene todos los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos de una incubadora, generalmente se construye con acero inoxidable debido a su gran resistencia a la corrosión, resistencia mecánica y ductilidad. Su costo es más elevado que otros metales de construcción, (Groover, 2007) promoviendo la búsqueda de otras alternativas.

### 1.4.2.2 Aislantes térmicos

Son materiales que tienen como finalidad retardar la transferencia de calor entre dos medios, su origen y forma es diversa; pueden ser de tipo fibroso celular, mineral, orgánico, plásticos o metales reflectantes de calor. La selección del tipo de aislante depende de varios factores como las temperaturas de operación, costos, accesibilidad y propósito de su uso. (Perry, 2008). La Figura 1.4 muestra los rangos de temperatura en los que se puede aplicar distintos materiales aislantes.



**Figura 1.4 Materiales aislantes y rangos de temperatura aplicable (Perry, 2008)**

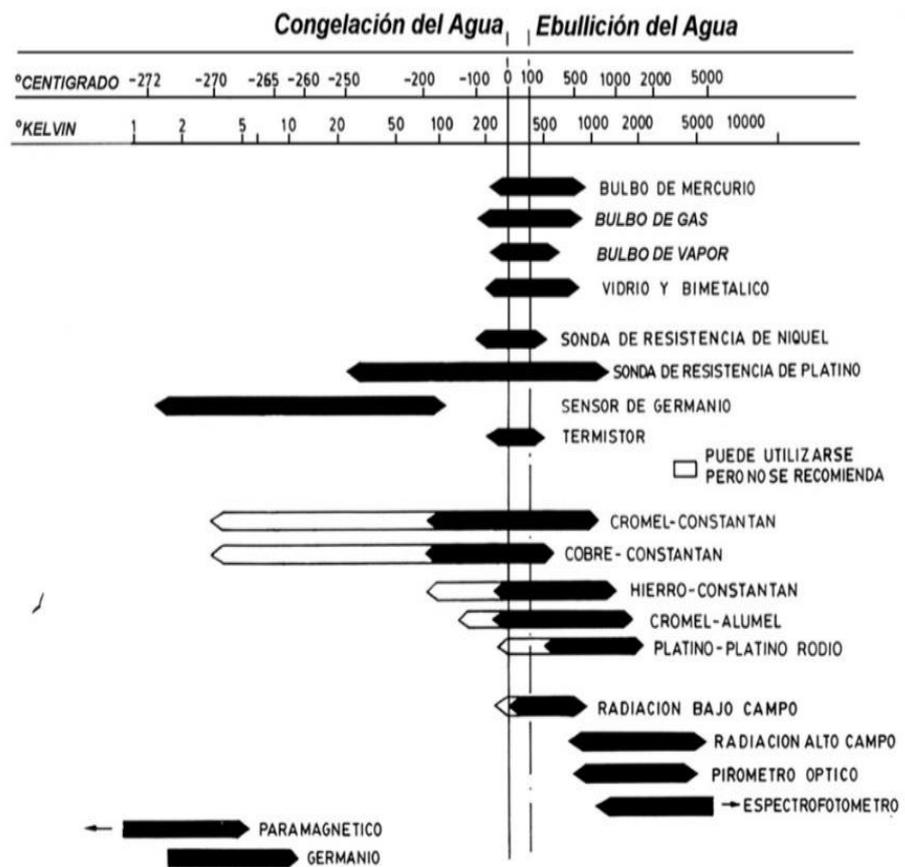
### 1.4.2.3 Sensores de temperatura

La temperatura es una variable importante cuya magnitud se desea conocer y controlar en procesos industriales (Creus, 2010). Existe diversidad de sensores de temperatura, los más comunes de enlistan en la Tabla 1.1

**Tabla 1.1 Sensores de Temperatura [Elaboración propia]**

FAMILIA	INSTRUMENTO	TEMPERATURA DE OPERACIÓN(°C)
Mecánico	Par bimetálico	-85 a +370
	Termómetro de bulbo y capilar	-35 a +400
Electrónico	Pirómetro infrarrojo	-18 a +538
	Termopares	-200 a +2315
Resistivo	Termistor	-100 a +300
	RTD(resistive temperatura device)	-200 a +650

La elección del sensor que se desee usar depende del uso que se le vaya a dar, rangos de temperatura de operación (Figura 1.5), precisión, entre otros.



**Figura 1.5 Campo de medida de instrumentos de temperatura (Creus, 2010)**

#### 1.4.2.4 Resistencias

También llamadas níquelinas son resistencias eléctricas generadores de calor. Su funcionamiento se basa en el efecto Joule que consiste en transformar en calor la energía eléctrica que circula a través de un material conductor.

Actualmente en el mercado existen una gran variedad de resistencias en función de su potencia eléctrica y de su forma como se detalla en la Tabla 1.2 Tipos de resistencia (Trullás, 2018)

**Tabla 1.2 Tipos de resistencias  
(Trullás, 2018)**

NOMBRE	FIGURA	APLICACIÓN
Resistencia tipo abrazadera		Industria del plástico, para calentamiento en sistemas
Resistencia de cartucho		Condiciones de altas temperaturas (superiores a 300°C) y vibraciones
Resistencias aleteadas		Calentamiento de aire y otros gases.
Resistencia sumergible		Calentamiento por inmersión
Resistencias de chapa plana		Para calentamiento uniforme en áreas reducidas
Resistencias espirales		Para temperaturas mayores a 1000°C

### 1.4.3 Sistemas de Control

Los sistemas de control son la unión de elementos que se enfocan en generar una configuración orientada a un sistema encargado de mostrar la respuesta que se quiere obtener. En incubadoras se cumple la teoría de sistema lineal debido a que están relacionados a una causa y efecto (C. Dorf & H. Bishop, 2005) en el control de la temperatura. Para incubadoras se puede usar los Sistemas de control de temperatura que usan los hornos eléctricos para llevar una señal analógica hasta la temperatura deseada en el horno.



**Figura 1.6 Representación de un sistema lineal**  
[Elaboración propia]

En la industria existe una gran variedad controladores dependiendo del diseño del sistema que se necesite controlar, el controlador que se diseña se lo realiza para una aplicación específica e individual y los tipos de controladores que se pueden diseñar son los: PD, PI y PID. (Kuo, 2010).

Las diferencias entre estos controladores se detallan en la Tabla 1.3

**Tabla 1.3 Sistemas de control**  
[Elaboración propia]

Sistemas de Control			
Controlador	Descripción	Ventajas	Desventajas
PD, PI, PID	Se usan en la industria y existe una gran variedad de controladores ya que cada controlador que se diseña se lo realiza para una aplicación específica e individual.	se pueden modificar y mejorar realizando las pruebas de los controladores en simuladores reales y en softwares.	Requieren resoluciones matemáticas complejas usando la teoría de los sistemas de control.
Innovación en Sistemas de Control			
Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
PLC	Es un controlador que actúa activando componentes en maquinarias para realizar operaciones que el ser humano las puede realizar de manera ineficiente	Usan un lenguaje de programación común en la mayoría de las modelos.	Usan softwares propios dependiendo del fabricante del PLC.
Arduino	Es una plataforma electrónica que usa hardware y software fáciles de usar	Usa Software libre.	Su confiabilidad es baja.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se definen las variables y restricciones del diseño, para esto se desarrolla un plan específico a seguir que organice el proceso de manera metódica, el diseñador siempre conlleva el desafío de ordenar problemas que están desfragmentados, por eso el proceso de diseñar siempre llega a ser iterativo (Norton, Diseño de Maquiaria, 2009).

### 2.1 Metodología de Diseño

Se establece una metodología para el diseño y construcción de una cámara de incubación para aplicaciones biológicas que consiste en una serie de pasos propuestos a seguir en todo el proceso de diseño.

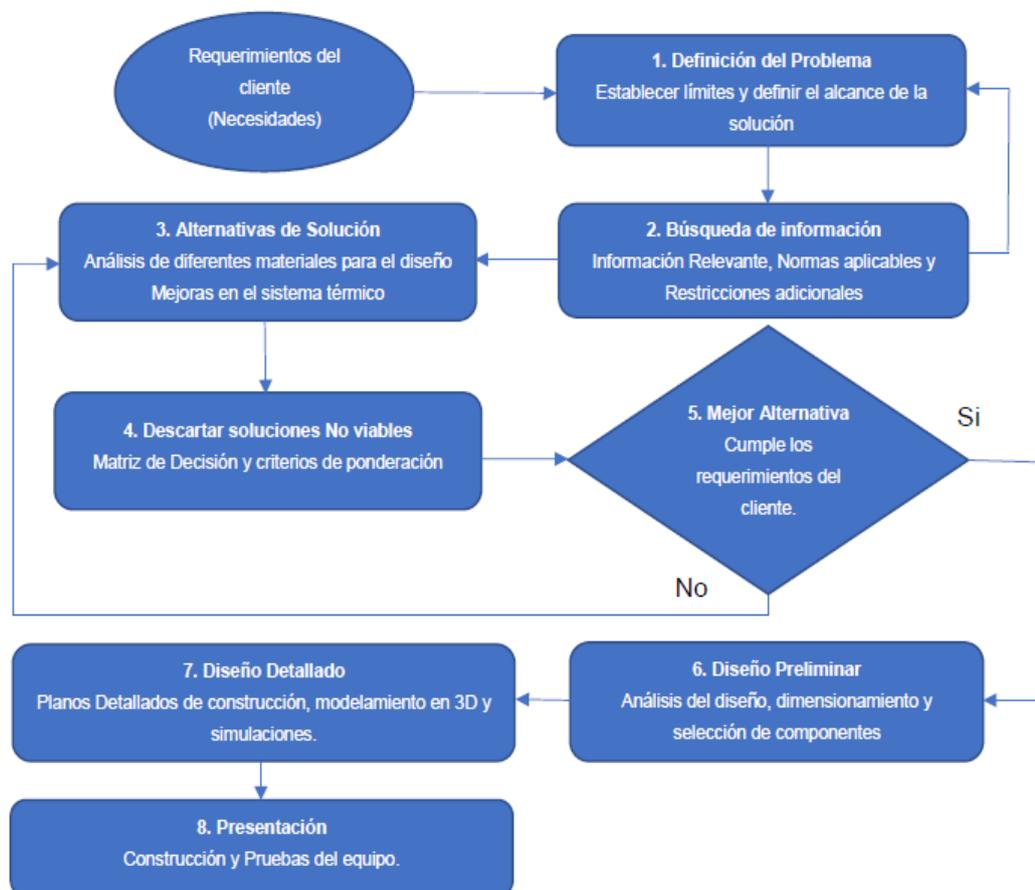


Figura 2.1 Diagrama del Proceso de Diseño  
[Elaboración propia]

## 2.2 Requerimientos de diseño

Las especificaciones de diseño a considerar son dadas por el cliente y son:

- Temperatura de operación de entre 25°C y 50 °C
- Capacidad para 12 probetas con diámetro de 7 cm y altura de 20.2 cm
- La construcción del equipo debe ser del menor costo posible
- Materiales utilizados deben de fácil limpieza y mantenimiento
- El equipo debe tener el menor peso posible
- El equipo debe tener la rigidez suficiente para soportar la carga estructural
- El equipo debe poseer estructura aislante para evitar pérdidas térmicas

## 2.3 Alternativas de diseño

Para la elaboración de la incubadora se considera un análisis comparativo entre varias alternativas de diseño. Para cada alternativa se describen los componentes internos y se selecciona la mejor propuesta de diseño a través de una matriz de selección.

La calificación de cada criterio de la matriz de selección está dada con valores entre 1 y 10, donde 1 es la menor puntuación y 10 es la máxima puntuación posible. El factor de ponderación de cada criterio está dado en la descripción. Independiente de la alternativa de diseño que se seleccione se ha decidido que el material de la estructura tenga su propio método de selección y se lo realiza en la siguiente sección.

### 2.3.1 Selección del material de la estructura

El sitio de operación de la incubadora será un laboratorio, por lo tanto, es un lugar donde la asepsia es importante. Los criterios considerados para la selección del material de la estructura son: asepsia, costo, durabilidad y manufactura.

**Durabilidad:** Se desea el mayor tiempo de vida útil posible de la incubadora, además que sea resistente a factores externos como caídas y golpes. A este criterio se le ha dado un factor de ponderación equivalente a 0.4.

**Costo:** Se considera los precios existentes en el mercado, el material más económico tendrá una calificación de 10 y el material de mayor costo tendrá un valor de 1. Para este parámetro el factor de ponderación asignado es de 0.20.

**Asepsia:** El material seleccionado debe proporcionar gran resistencia a la corrosión debido al lugar de trabajo (laboratorio biológico). Se le asigna un factor de ponderación de 0.30.

**Manufactura:** la alternativa de selección debe facilitar el proceso de fabricación de la estructura. La ponderación para la manufactura tiene un valor de 0.1.

Las alternativas consideradas son: acero inoxidable, acero galvanizado y acero negro.

Con los criterios expuestos se evalúa sobre una calificación de 10 puntos cada una de las alternativas y luego se multiplica con el correspondiente factor de ponderación como se aprecia en la matriz de selección de la Tabla 2.1. Con los resultados obtenidos se decide que el acero inoxidable es la alternativa que mejor se adapta a la necesidad del diseño

**Tabla 2.1 Matriz de decisión para selección de material de construcción**  
[Elaboración propia]

Alternativa \ Criterio	Durabilidad	Costo	Asepsia	Manufactura	Total
Factor de ponderación	0.40	0.20	0.30	0.10	1
Acero inoxidable	9 3.6	5 1.0	9 2.7	7 0.7	8.0
Acero galvanizado	7 2.8	7 1.4	8 2.4	7 0.7	7.3
Acero negro	5 2.0	8 1.6	6 1.8	7 0.7	6.1

## 2.4 Criterios para selección de la mejor alternativa

### 2.4.1 Material Aislante

La selección del aislante térmico se considera principalmente en su conductividad térmica y la protección contra el fuego. El aislante para la alternativa 1 es lana de vidrio y para la alternativa 2 es poliuretano, la tabla 2.2 describe las características para los materiales.

**Tabla 2.2 alternativas de materiales aislantes**  
[Elaboración propia]

Características	Lana de vidrio	Poliuretano
Protección contra el fuego	si	no
Conductividad térmica $\left(\frac{W}{mK}\right)$	0.035	0.028

### 2.4.2 Sistema de control

La selección del sistema de control se fundamenta en la economía de implementación y la programación. Las propuestas que se tiene son el uso de PLC o Arduino, la descripción de estos se lo presentó en el capítulo 1, tabla 1.3

### 2.4.3 Sensor de temperatura

Tienen la función de monitorear la temperatura en el interior de la incubadora, los sensores para cada alternativa son los siguientes.

#### 2.4.3.1 LM 35

Es un sensor electrónico efectivo para la temperatura de operación de la incubadora, de bajo costo, no requiere calibración externa ya que provee una salida en voltaje proporcional a la temperatura. Posee Precisiones de  $\pm \frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$  a temperatura ambiente

#### 2.4.3.2 PT 100

Sensor tipo RTD, de uso común en la industria debido a su gran exactitud, se puede comunicar con muchos controladores programables,

precisión de +/- 0.1 °C, como inconveniente se tiene su costo considerable

#### 2.4.4 Fuente de calor

Entre las alternativas a considerar se encuentran; la alternativa 1 que utiliza resistencia eléctrica como fuente de calor y como alternativa 2 se usa lámpara incandescente

#### 2.4.5 Plataforma

La plataforma es la base donde se colocan las probetas, tienen una capacidad máxima de 12 botellas, para la alternativa 1 tendrá forma cuadrada y para la alternativa 2 será de forma circular, ambas alternativas cuentan con el mismo sistema de agitación.

### 2.5 Matriz de selección de alternativa de diseño

La alternativa 1, según detalla la tabla 2.3, tiene lana de vidrio como recubrimiento aislante, el sistema de control es tipo Arduino, sensor de temperatura LM 35, su fuente de calor es una resistencia y la plataforma es tipo rectangular. El diseño de forma de esta alternativa se muestra en la figura 2.2

**Tabla 2.3 Alternativa de solución # 1**  
**[Elaboración propia]**

Componente	Tipo
Material de estructura	Acero inoxidable
Material aislante	Lana de vidrio
Sistema de control	Arduino Uno
Sensor de temperatura	LM 35
Fuente de calor	Resistencia
Plataforma	Rectangular

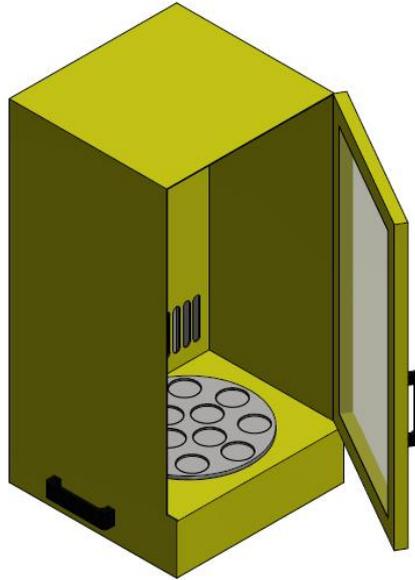


**Figura 2.2 Diseño de forma de alternativa 1**  
[Elaboración propia]

Para la alternativa 2, los componentes usados se muestran en la tabla 2.4, usa poliuretano como aislante térmico, el sistema de control es PLC S7-1200, como sensor de temperatura un termopar Pt100, su fuente de calor es de lámpara incandescente y la plataforma es circular. El diseño de forma de esta alternativa se muestra en la figura 2.2

**Tabla 2.4 Alternativa de solución # 2**  
[Elaboración propia]

Componente	Tipo
Material de estructura	Acero inoxidable
Material aislante	poliuretano
Sistema de control	PLC S7-1200
Sensor de temperatura	Termopar PT-100
Fuente de calor	Lámpara incandescente
Plataforma	Circular



**Figura 2.3 Diseño de forma de alternativa 2**  
[Elaboración propia]

Los criterios analizados en esta selección son: manufactura, costo de componentes.

**Maniobrabilidad/ manipulación:** El diseño de la incubadora debe ser de fácil manipulación, además el acceso de las botellas hacia la incubadora debe ser intuitivo, su factor de ponderación será de 0.35

**Costo de componentes:** Se refiere a la inversión económica que implica la compra e implementación de cada uno de los componentes de las alternativas. El mayor puntaje será asignado a la alternativa de diseño que tenga menor valor monetario. El factor de ponderación para este criterio es de 0.40

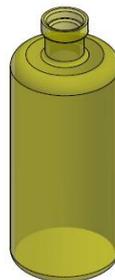
**Construcción:** La manufactura y montaje de los componentes no deberá ser de complejidad extrema, se desea un diseño que resalte a la vista pero que no sea de construcción compleja, su factor de ponderación asignado es de 0.25

**Tabla 2.5 Matriz de selección de diseño**  
[Elaboración propia]

Alternativa \ Criterio	Maniobrabilidad	Costos	Construcción	Total
Factor de ponderación	0.35	0.4	0.25	1
Alternativa # 1	8 2.8	7 2.8	6 1.5	7.1
Alternativa # 2	7 2.45	6 2.4	8 2	6.85

## 2.6 Análisis Estructural

En esta sección se analizan las características mecánicas de la incubadora en donde se obtienen las restricciones de diseño para la plataforma y el mecanismo de transmisión de movimiento para la plataforma de alojamiento de muestras, la incubadora trabaja con cultivos microbiológicos que se colocan en botellas de vidrio que va a contener la muestra para su incubación, la botella se muestra en la figura 2.4

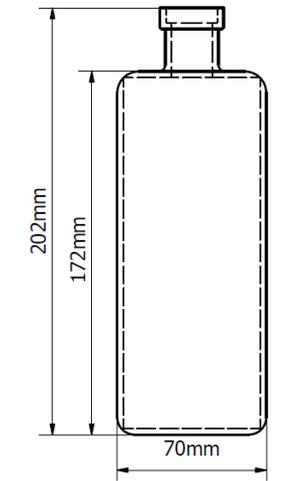


**Figura 2.4 botella de vidrio**  
[Elaboración propia]

### 2.6.1 Carga Aplicada en la Plataforma

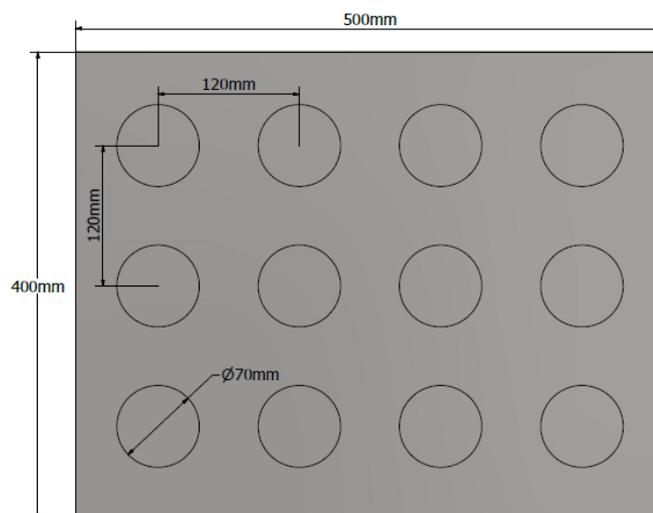
La carga que soportara la plataforma está limitada por el peso de las botellas y el peso del contenido de las muestras, además se definió en los

requerimientos de diseño que debe de alojar máximo 12 botellas, las dimensiones de la botella se muestran en la figura 2.5



**Figura 2.5 Dimensiones de botella de vidrio**  
[Elaboración propia]

Con las dimensiones de la botella se dimensiona el tamaño de la plataforma para una capacidad de 12 botellas dando un espaciado de 5 cm entre botellas. Con esta estimación se realizó una plataforma de 50x40 cm como se muestra en la figura 2.6



**Figura 2.6 Plataforma de incubacion**  
[Elaboración propia]

Con la distribución uniforme de las botellas sobre toda la plataforma, se puede modelar el peso como una carga distribuida sobre la plataforma. En la carga a calcular ese asume el caso crítico que es cuando las botellas están completamente llenas de agua que es el líquido que generalmente se usa en las muestras microbiológicas.

Conociendo la densidad del agua, a través de la ecuación 2.1 que relaciona el volumen que aloja cada botella se puede obtener el valor de la masa usada para determinar el peso de las 12 botellas que será la fuerza que actúe en la plataforma.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.1)$$

### 2.6.2 Cálculo de la carga aplicada en la plataforma

Usando la ecuación 2.1 se obtiene la carga, para ello se usa la densidad del agua y usando la ecuación 2.2 del volumen de un cilindro que se ajusta al volumen de la botella asumiendo que esta se llena hasta los 172mm para así obtener la masa aproximada de líquido y luego obtener.

$$v_{cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (2.2)$$

$$r = \text{radio de la botella}$$

$$h = \text{altura de la botella}$$

$$v_{cilindro} = (0.00125m^2) * \pi * (0.172 m)$$

$$v_{cilindro} = 0.000662 m^3$$

Con el volumen de cada botella se obtiene la masa del líquido para una botella, usando la densidad del agua:

$$m_{liquido} = \rho_{H_2O} * v_{cilindro}$$

$$m_{liquido} = \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) (0.000662 m^3)$$

$$m_{liquido} = 0.662kg$$

Como son 12 botellas entonces se tiene una masa de:

$$m_{total\ líquido} = 12 * (0.6619kg)$$

$$m_{total\ líquido} = 7.94\ kg$$

Para conocer la carga total se debe de sumar la masa que aportan las botellas y cada botella tiene una masa de 0.3kg respectivamente, entonces en las 12 botellas tenemos:

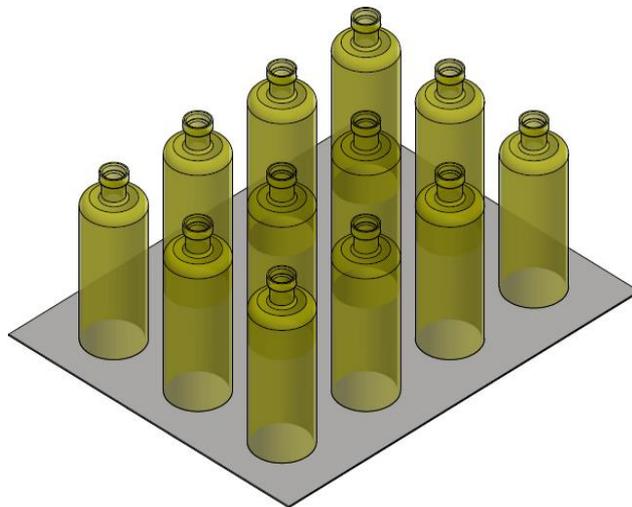
$$m_{12\ botellas} = 12 * (0.3kg)$$

$$m_{12\ botellas} = 3.6\ kg$$

La masa total de las 12 botellas con las muestras da un valor de 11.54kg y se asume en 12 kg siendo esta la masa que está actuando en la plataforma.

### 2.6.3 Análisis de la Carga Distribuida

Para el análisis de la carga distribuida se tiene 12 botellas como se muestra en la figura 2.7 ubicadas de la misma manera y espaciadas 5cm para realizar el respectivo análisis con una carga distribuida.



**Figura 2.7 Arreglo Máximo de Botellas**  
[Elaboración propia]

El peso que soporta la plataforma son los 12 kg multiplicados por la aceleración de la gravedad como se muestra:

$$m_{12botellas} = 12\ kg$$

$$w_{12botellas} = (12kg) \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$w_{12botellas} = 117.6 N$$

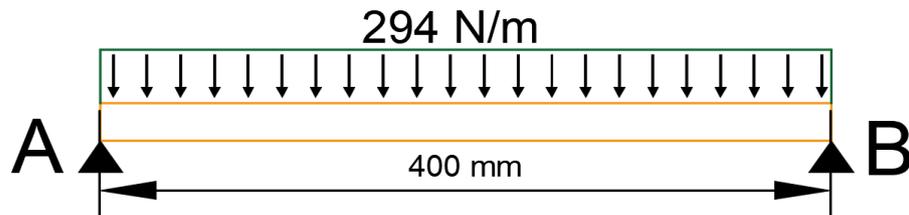
La carga distribuida que sufre la plataforma se obtiene al dividir este peso por la longitud del claro que sufrirá la deflexión

$$w_{Distribuida} = \left(\frac{w_{12botellas}}{L}\right)$$

$$w_{Distribuida} = \left(\frac{117.6}{0.4}\right)$$

$$w_{Distribuida} = 294 N/m$$

Con el arreglo de la figura 2.7 se representa la carga distribuida en toda la plataforma y se lo ilustra de manera estática como se muestra en la figura 2.8, teniendo una división del peso de manera uniforme en toda la longitud transversal de la plataforma.



**Figura 2.8 Representación de viga simplemente apoyada con carga distribuida**  
[Elaboración propia]

Con la ayuda de la figura 2.8 se determina la máxima deflexión de la viga, para ello se debe de obtener la ecuación de la elástica de la viga que es la que representa la curvatura que sufre al momento de deformarse (Pytel & L.Singer, 2008), es usa el método de la doble integral ecuación 2.3.

$$\frac{M}{EI} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (2.3)$$

Siendo:

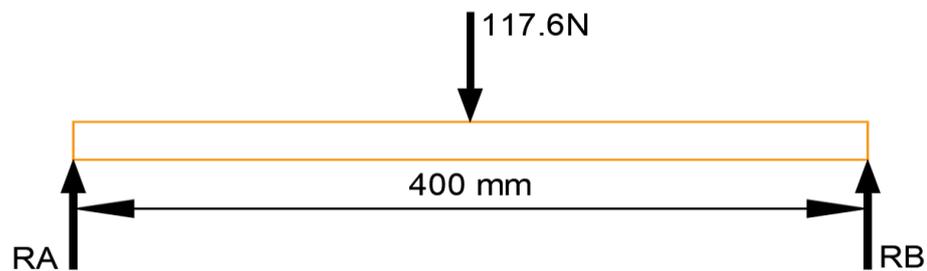
$$\frac{d^2y}{dx^2} = \text{segunda derivada de la función } y(x)$$

$M =$  Momento flector de la viga

$E =$  Módulo de elasticidad

$\frac{d^2y}{dx^2} =$  Momento de inercia de la sección transversal de la viga

Para encontrar la ecuación de la elástica primero se definen todas las fuerzas involucradas en la viga como se muestra en la figura 2.9



**Figura 2.9 Diagrama de fuerzas puntuales en la viga**  
[Elaboración propia]

Se realiza una sumatoria de fuerzas y de momentos para obtener las reacciones RA y RB las que quedan igual a:

$$RA = RB = 58.8 \text{ N}$$

Se plantea la ecuación de momento con el método de la doble integral

$$M = RA(X) - (294 \text{ N/m}) \left( \frac{X^2}{2} \right) \quad [N \cdot m] \quad (2.4)$$

Luego se integra 2 veces la ecuación 2.4 para obtener la ecuación de la elástica  $y(x)$ .

$$EIy = \frac{58.8x^3}{6} - \frac{147x^4}{12} + c_1x + c_2 \quad [N \cdot m^3] \quad (2.5)$$

Luego se plantean las ecuaciones de frontera de la viga

$$x = 0 \rightarrow y = 0$$

$$x = L \rightarrow y = 0$$

Con las ecuaciones de frontera definidas, se calcula las constantes  $c_1$  y  $c_2$

$$\begin{aligned}c_1 &= -0.784 \\c_2 &= 0\end{aligned}$$

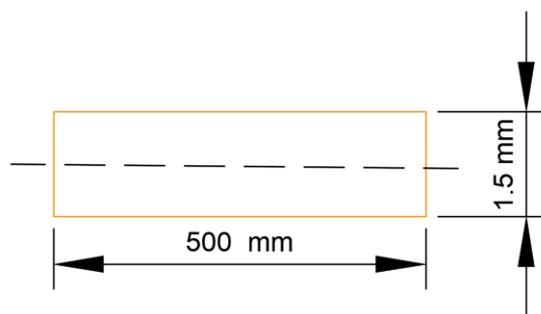
Como la viga tiene reacciones en los apoyos iguales y nuestra carga es puntual en el centro, la deflexión máxima se encuentra en el centro de la viga a  $x=25\text{cm}$  y se calcula la deformación máxima de la viga con la ecuación 2.5

$$EIy = \frac{58.8x^3}{6} - \frac{147x^4}{12} - 0.784x \quad (2.6)$$

Para calcular la deformación máxima se calcula el momento de inercia con la ecuación 2.5 y se tiene el módulo de Young para el acero inoxidable, el espesor de la plataforma es 1.5mm.

$$I = \frac{1}{12} b * h^3 \quad (2.7)$$

Las dimensiones de  $b$  y  $h$  se toman de la sección transversal de la viga como se muestra en la figura 2.10



**Figura 2.10 Sección Transversal de la viga**  
[Elaboración propia]

Entonces el momento de inercia es:

$$\begin{aligned}I &= \frac{1}{12} * (0.50 \text{ m}) * (0.0015 \text{ m})^3 \\I &= 1.40625 \times 10^{-10} \text{ m}^4\end{aligned}$$

El módulo de elasticidad del acero inoxidable AISI 304 se encuentra entre 190 y 210 GPa, se toma el valor del acero A36 para ser conservadores.

$$E = 200 \text{ GPa}$$

Con el valor del momento de inercia y el módulo de elasticidad, se calcula la deformación máxima de la viga en  $x=0.20$  m mediante la ecuación 2.4 debido a que la máxima deformación se presenta en la mitad de la viga.

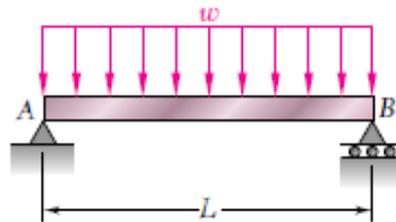
$$EIy = \frac{58.8(0.20)^3}{6} - \frac{117.7(0.20)^4}{12} - 0.784(0.20)$$

$$EIy = -0.098$$

$$y_{max} = \frac{-0.098 [N \cdot m^3]}{(200 \text{ GPa})(1.41 \times 10^{-10} \text{ m}^4)}$$

$$y_{max} = -3.47 \text{ mm}$$

Este análisis se comprueba con la ecuación 2.8 del análisis de deformación en vigas del modelo de solución figura 2.11 enunciado en (Beer, Jhonston, Dewolf, & Mazurek, 2009) como se muestra.



**Figura 2.11 viga prismática simplemente apoyada (Beer, Jhonston, Dewolf, & Mazurek, 2009)**

$$y_{max} = \frac{5WL^4}{384EI} \quad (2.8)$$

Donde:

$$y_{max} = \frac{5(294 \text{ N/m})(0.40 \text{ m})^4}{384(200 \text{ GPa})(1.406 \times 10^{-10} \text{ m}^4)}$$

$$y_{max} = 0.003484 \text{ m}$$

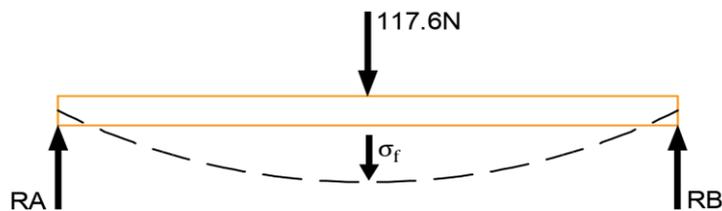
$$y_{max} = 3.48 \text{ mm}$$

Se aprecia que el resultado de la deformación es la misma que el obtenido por el método de la integración doble de la ecuación 2.6 para una plancha de acero inoxidable de 50 x 40 cm y de espesor 1.5 mm.

#### 2.6.4 Cálculo del Factor de seguridad de la plataforma

En esta sección se realiza el cálculo del factor de seguridad de la plataforma para asegurar no va a fallar por la carga que se aplica, para ello se debe calcular los esfuerzos a los que está sometido, la plataforma se la modela como una viga simplemente apoyada figura 2.8 como se indicó en la sección 2.6.3.

Debido a la carga que se encuentra sobre la plataforma esta sufre un único esfuerzo, el cual debido al sentido y ubicación de la carga es un esfuerzo de flexión como se representa en la deflexión de la viga de la figura 2.12.



**Figura 2.12 Deflexion en una viga por esfuerzo de flexion**  
[Elaboracion propia]

El esfuerzo de flexión está definido por la ecuación 2.9 como se muestra a continuación.

$$\sigma_f = \frac{M_x C}{I} \quad (2.9)$$

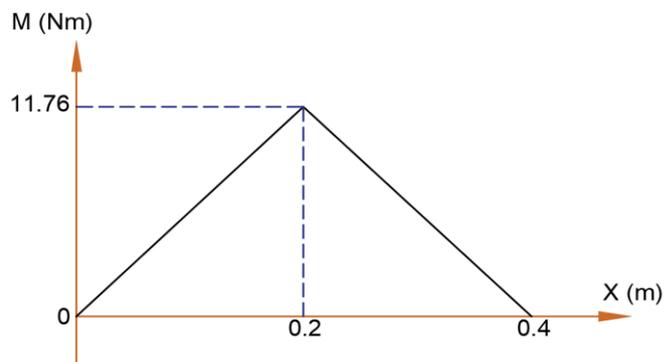
Siendo:

$M_x$  = Momento flector de la viga en la posición  $x$

$C$  = Distancia desde el eje neutro a la fibra exterior

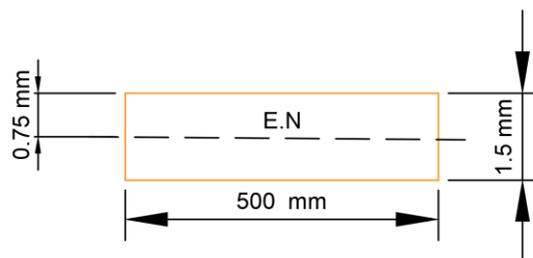
$I$  = Inercia con respecto al eje de referencia

El momento se calcula en la posición  $x=25\text{cm}$  porque la acción de la fuerza está en esa posición, para esto se grafica el diagrama de momento flector de la viga para obtener el valor en la posición  $x$  como se muestra a continuación en la figura 2.13.



**Figura 2.13 Diagrama de Momento flector**  
[Elaboración propia]

La distancia  $C$  se la toma desde el eje neutro hasta la fibra exterior de la sección transversal de la viga como se muestra a continuación en la figura 2.14



**Figura 2.14 Distancia C desde el Eje neutro**  
[Elaboración propia]

Después de obtener el momento flector y la distancia  $c$ , se debe calcular el momento de inercia de la viga como se realizó en la sección 2.6, en el cual se calculó y se tiene el valor de:

$$I = 1.40625 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

Con los tres valores calculados se realiza el cálculo del esfuerzo de flexión de la viga usando la ecuación 2.8.

$$\sigma_f = \frac{(11.76 \text{ Nm})(0.75 \times 10^{-3} \text{ m})}{(1.40625 \times 10^{-10} \text{ m}^4)}$$
$$\sigma_f = 62.72 \text{ MPa}$$

Calculado el valor del esfuerzo de flexión de la viga se encuentra el factor de seguridad de la plataforma que relaciona la resistencia a la fluencia del material y el esfuerzo de flexión como se muestra en la ecuación 2.10

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_f} \quad (2.10)$$

Siendo  $S_y = 241 \text{ MPa}$  la resistencia a la fluencia por tensión para el acero inoxidable 304 (Norton, Diseño de Maquinas, 2011) se determina el factor de seguridad  $\eta$ .

$$\eta = \frac{241 \text{ MPa}}{62.72 \text{ MPa}}$$

$$\eta = 3.8$$

### 2.6.5 Esfuerzo en bases de aluminio

Las bases de la plataforma que permiten el soporte para el deslizamiento de la carga son de tubos de aluminios de (2 x 1.5) in, se conoce el esfuerzo permisible del aluminio (Norton, Diseño de Maquinas, 2011)

$$\sigma_{perm} = 240 \text{ Mpa}$$

Estas bases están apoyadas sobre el piso y se encuentran sometidas solo a esfuerzo de compresión. Para el cálculo del esfuerzo se debe de obtener la carga total que actúa en os tubos de aluminio, para ello se tiene la masa de las 12 botellas con las muestras biológicas que es de 12kg y en esta sección consideramos la masa de la plataforma de acero inoxidable que lo calculamos usando la ecuación 2.1:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v_{Plataforma} = A_{base} * h$$

$A_{base}$  = Area de la base

$h$  = espesor de la plataforma

$$v_{Plataforma} = (0.4 \text{ m} * 0.5 \text{ m})(0.0015 \text{ m})$$

$$v_{Plataforma} = 0.0003 \text{ m}^3$$

Con el volumen de la plataforma y la densidad del acero inoxidable 7930kg/m<sup>3</sup> se obtiene la masa de la plataforma.

$$m_{plataforma} = \rho_{inox} * v_{Plataforma}$$

$$m_{plataforma} = 7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.0003 \text{ m}^3$$

$$m_{plataforma} = 2.379 \text{ kg}$$

Con la masa de la plataforma se obtiene la masa total que es la suma de la masa de las 12 botellas y de la plataforma.

$$m_{total} = m_{plataforma} + m_{12 \text{ botellas}}$$

$$m_{total} = 2.379 + 12 \text{ kg}$$

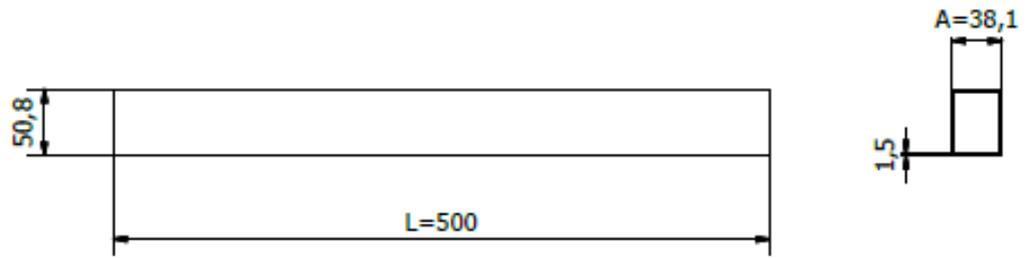
$$m_{total} = 14.38 \text{ kg}$$

La masa total da un valor de 14.38 kg que por efectos de diseño se aproxima a 15 kg y esta masa corresponde a la carga total que actúa en los tubos de aluminio.

$$W = m_{total} * \left(9.8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}\right)$$

$$W = 147 \text{ N}$$

Como tiene dos bases, cada base soporta la mitad del peso total obteniendo el peso individual de 73.5 N. El área de tubo corresponde a la superficie de contacto que es la superficie entre la plataforma y el tubo, esta área se la obtiene al multiplicar el ancho A por la longitud L.



**Figura 2.15 Dimensiones del tubo de Aluminio**  
[Elaboración propia]

El esfuerzo de aplastamiento está definido por la ecuación 2.11 como se muestra a continuación.

$$\sigma_{comp} = \frac{F_{comp}}{A} \quad (2.11)$$

Siendo:

$\sigma_{comp}$ : *esfuerzo de compresión*

$F_{comp}$ : *fuerza de compresión* = 73.5 N

$A$ : *área de contacto del tubo* = 0.01905 m<sup>2</sup>

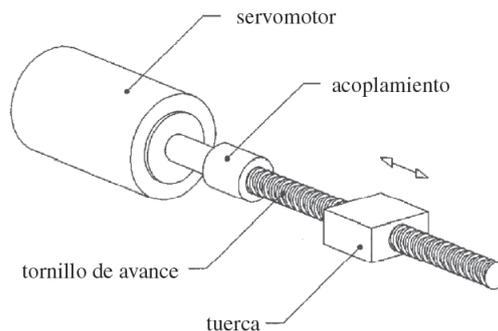
$$\sigma_{ap} = \frac{73.5 \text{ N}}{0.01905 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{ap} = 3.8 \text{ KPa}$$

El esfuerzo de compresión es mucho menor al esfuerzo admisible, razón por la cual se puede usar este tipo de tubos sin ningún inconveniente.

## 2.7 Análisis Transmisión de potencia

En esta sección se analiza el movimiento de agitación que se realizara en la plataforma de soporte de las muestras y cuyo propósito es el de un mezclado uniforme en el contenido de las muestras para evitar sedimentación. Para realizar esta operación se usa un mecanismo de transmisión de movimiento rotacional a movimiento lineal como se muestra en la figura 2.16



**Figura 2.16 Transmisión de movimiento rotacional a lineal (Norton, Diseño de Maquinas, 2011)**

El sistema de transmisión de movimiento de la figura 2.16 se diseña calculando el torque que necesita el tornillo para mover una carga ubicada en la tuerca y con el torque calculado se selecciona el motor que pueda vencer el torque requerido por el tornillo.

### 2.7.1 Cálculo de Torque en el tornillo

Para el análisis del torque en el tornillo se usa la teoría de tornillos de potencia que se enfoca en las ventajas mecánicas que brindan al elevar o mover cargas grandes (Norton, Diseño de Maquinas, 2011).

Para calcular el torque en el tornillo se usa la ecuación 2.12 que corresponde al torque de subida en tornillos de potencia con cuerda ACME, con enfoque en un diseño conservador se decide utilizar la ecuación para torque de subida ya que es mayor al torque de bajada en un tornillo de potencia.

$$T_{Su} = \frac{Pd_p(\mu\pi d_p + L \cos \alpha)}{2(\pi d_p \cos \alpha - \mu L)} \quad (2.12)$$

Donde

$P =$  Carga axial

$d_p =$  Diámetro de paso

$\mu =$  Coeficiente de fricción

$L =$  Avance de la cuerda

$\alpha =$  ángulo de la cuerda

El tornillo que se usa es un ACME de 8mm de diámetro con avance de 4 cuerdas y paso de 2 mm, para un conjunto cuerda-tuerca se tiene un coeficiente de fricción de 0.15 y el ángulo  $\alpha = 14.5$  (Norton, Diseño de Maquinas, 2011).

Para el tornillo de 8 mm su equivalente es 0.314 in, pero se toma el valor superior de 0.375 in de la figura 2.17 para ser más conservador.

Diámetro mayor (in)	Cuerdas por pulgada	Paso de la cuerda (in)	Diámetro de paso (in)	Diámetro menor (in)	Área de esfuerzo por tensión (in <sup>2</sup> )
0.250	16	0.063	0.219	0.188	0.032
0.313	14	0.071	0.277	0.241	0.053
0.375	12	0.083	0.333	0.292	0.077
0.438	12	0.083	0.396	0.354	0.110
0.500	10	0.100	0.450	0.400	0.142
0.625	8	0.125	0.563	0.500	0.222
0.750	6	0.167	0.667	0.583	0.307
0.875	6	0.167	0.792	0.708	0.442
1.000	5	0.200	0.900	0.800	0.568
1.125	5	0.200	1.025	0.925	0.747
1.250	5	0.200	1.150	1.050	0.950
1.375	4	0.250	1.250	1.125	1.108
1.500	4	0.250	1.375	1.250	1.353
1.750	4	0.250	1.625	1.500	1.918
2.000	4	0.250	1.875	1.750	2.580
2.250	3	0.333	2.083	1.917	3.142
2.500	3	0.333	2.333	2.167	3.976
2.750	3	0.333	2.583	2.417	4.909
3.000	2	0.500	2.750	2.500	5.412
3.500	2	0.500	3.250	3.000	7.670
4.000	2	0.500	3.750	3.500	10.321
4.500	2	0.500	4.250	4.000	13.364
5.000	2	0.500	4.750	4.500	16.800

**Figura 2.17 Tabla de Tornillos ACME (Norton, Diseño de Maquinas, 2011)**

Para el cálculo del torque se debe de obtener la carga P que actúa en la tuerca, esta carga P es el peso total que se calculó en la sección 2.6.5 que nos dio un valor de 147N. Con la carga P se completan todas las variables para el cálculo del torque de subida, donde las variables conocidas son:

$$P = 33.0469lbf$$

$$d_p = 0.333in$$

$$\mu = 0.15$$

$$L = 0.315 \text{ in}$$

$$\alpha = 14.5$$

Con las variables conocidas y el uso de la ecuación 2.7 se calcula el torque necesario del tornillo de potencia para mover la carga.

$$T_{Su} = \frac{(33.0469 \text{ lbf})(0.333 \text{ in})((0.15)\pi(0.333 \text{ in}) + (0.315 \text{ in}) \cos 14.5)}{2(\pi(0.333 \text{ in}) \cos 14.5 - (0.15)(0.315 \text{ in}))}$$

$$T_{Su} = 2.63 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

$$T_{Su} = 0.30 \text{ N} \cdot \text{m}$$

## 2.8 Análisis térmico

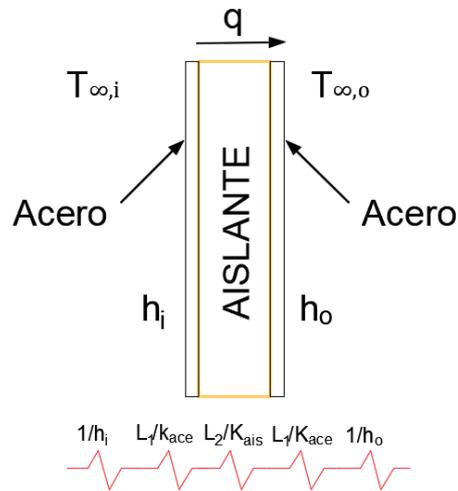
En esta sección se determinan las pérdidas de calor en el equipo, el flujo en el interior del equipo y el producto para luego seleccionar la potencia necesaria de la resistencia que cumpla con los requerimientos de desempeño.

### 2.8.1 Pérdida de calor a través de la estructura

Para el análisis térmico en las paredes se considera una temperatura externa de 25°C mientras que la temperatura dentro de la cámara será la temperatura máxima de operación de 50°C.

En el cálculo de las pérdidas térmica a través de cada pared de la cámara de incubación se consideró la convección tanto en la superficie exterior como en la interior y conducción a través de las capas de acero inoxidable y lana de vidrio.

La configuración de la resistencia térmica se observa en la figura 2.18, la ecuación de transferencia de calor está dada por la ecuación 2.13. Es necesario calcular los coeficientes de convección en el interior y exterior de la incubadora.



**Figura 2.18 Red de resistencia térmica  
[Elaboración propia]**

$$Q = \frac{T_{ext} - T_{int}}{\sum \text{Resistencias}} \quad (2.13)$$

### 2.8.1.1 Cálculo de coeficiente convectivo en el interior de la incubadora

Se asume una  $T_{inf} = 45^\circ\text{C}$ , para la temperatura de las paredes de considera la máxima temperatura que puede alcanzar la incubadora  $T_s = 50^\circ\text{C}$ . La temperatura de película será:

$$T_f = \frac{T_{inf} \cdot T_s}{2} \quad (2.14)$$

$$T_f = 47.5 \text{ } ^\circ\text{C} = 320.5 \text{ K}$$

De la tabla A4 (Incropera, 2011) e interpolando se obtienen las propiedades del aire a la temperatura de película

$$Pr = 0.704$$

$$k = 27.82 \times 10^{-3} \text{ W/mk}$$

$$\gamma = 17.9510^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Con estos valores se determina el número de Reynold para placa plana mediante la ecuación 2.15 considerando la longitud de la plataforma  $L=0.4 \text{ m}$  y la velocidad del aire  $v = 5\text{m/s}$

$$Re = \frac{v \cdot L}{\gamma} \quad (2.15)$$

$$Re = 1.11 \cdot 10^5$$

Este número de Reynold es de régimen laminar, la ecuación 2.16 determina el número de Nusselt promedio y despejando de la misma ecuación se obtiene el valor del coeficiente convectivo en el interior de la cámara de incubación

$$\overline{Nu}_L = \frac{\overline{h}_{int} \cdot L}{k} = 0.664 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad Pr \geq 0.6 \quad (2.16)$$

$$\overline{Nu}_L = 196.79 = \frac{\overline{h}_{int} \cdot L}{k}$$

$$\overline{h}_{int} = 13.68 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

### 2.8.1.2 Cálculo de coeficiente convectivo externo

La temperatura en el laboratorio se estima de  $T_{inf} = 25^\circ\text{C}$  y la temperatura superficial  $T_s = 35^\circ\text{C}$ , de la ecuación 2.10 se obtiene una temperatura de película  $T_f = 30^\circ\text{C}$ , las propiedades del aire a esta temperatura son:

$$Pr = 0.7282$$

$$k = 0.02588 \frac{W}{mK}$$

$$\gamma = 1.608 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$\beta = \frac{1}{303 K}$$

Se analiza el sistema como placa vertical en convección libre y su longitud  $L = 0.42$  m equivalente a la altura de la cámara de incubación. Con la ecuación 2.17 se obtiene el número de Rayleigh.

$$Ra_L = \frac{g * \beta * (T_s - T_{inf}) * L^3}{\gamma^2} * Pr \quad (2.17)$$

Donde

$g$ : aceleración gravitacional  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

$\beta$ : coeficiente de expansión volumétrica

$T_s$ : temperatura superficial de la pared ( $^{\circ}C$ )

$T_{inf}$ : temperatura del aire ( $^{\circ}C$ )

$L$ : longitud de la pared (m)

$\gamma$ : viscosidad cinemática del aire  $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

$Pr$ : número de Prandtl

Reemplazando los valores se obtiene un número de Rayleigh:

$$Ra_L = 6.75 * 10^7$$

Entonces se usa la ecuación 2.18 (Cengel, 2011) para calcular el número de Nusselt y el coeficiente convectivo externo.

$$Nu = 0.59Ra^{1/4}; 10^4 < Ra < 10^9 \quad (2.18)$$

$$Nu = 90.64 = \frac{h_{ext} \cdot L}{k}$$

$$h_{ext} = 5.58 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

Se utilizarán láminas de acero inoxidable de 1 mm de espesor, mientras que la lana de vidrio tendrá un espesor de 10 mm, se considera suficiente este espesor para la aplicación requerida. Con esta información se obtendrá la carga térmica por medio de la ecuación 2.19 que es una variante de la ecuación 2.13.

$$Q = \frac{T_{ext} - T_{int}}{\frac{1}{h_{ext} \cdot A} + \frac{e_{acero}}{k_{acero} \cdot A} + \frac{e_{lv}}{k_{lv} \cdot A} + \frac{e_{acero}}{k_{acero} \cdot A} + \frac{1}{h_{int} \cdot A}} \quad (W) \quad (2.19)$$

Donde

Espesor lamina de acero inoxidable  $e_{acero} = 0.001 \text{ m}$

Espesor de lana de vidrio  $e_{lv} = 0.010 \text{ m}$

$$\text{Coeficiente de convección externo } h_{ext} = 9.26 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

$$\text{Coeficiente de convección interno } h_{int} = 13.68 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

$$\text{Temperatura exterior } T_{ext} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura interior (máxima) } T_{int} = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$K \text{ acero inoxidable} = 14.9 \left( \frac{W}{m \cdot K} \right) \text{ (Cengel, 2011)}$$

$$K \text{ lana de vidrio} = 0.035 \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$$

Las áreas para cada una de las paredes se dan en la tabla 2.6

**Tabla 2.6 Áreas de paredes de estructura**  
[Elaboración propia]

ÁREA	DIMENSIÓN (m <sup>2</sup> )	Q (W)
Área lateral	0.20	9.30
Área posterior	0.30	13.93
Área base	0.33	15.33

Se debe tener en cuenta que la incubadora tiene forma prismática rectangular, entonces la carga térmica total es el doble de la calculada debido a que existen 6 caras.

$$Q_{estructura} = 77.12 \text{ (W)}$$

### 2.8.2 Carga térmica debido al flujo de aire

El cálculo de la carga calorífica necesaria para calentar la masa de aire es realizado con la ecuación 2.20

$$Q_{air} = m_{air} \cdot C_{p_{air}} \cdot (\Delta T) \tag{2.20}$$

Donde

$$C_{p_{air}}: \text{ calor específico del aire} = 1007 \left( \frac{J}{Kg \cdot K} \right)$$

Si el volumen a calentar es de  $V = 0.140 \text{ m}^3$  y la densidad del aire es  $\rho = 1.184 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$ , entonces la masa de aire es  $m_{air} = 0.165 \text{ Kg}$ .

Se considera la temperatura máxima de operación de  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  y la temperatura externa de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , además el tiempo para calentar esta masa de aire se estima de 30 minutos entonces la potencia requerida es de:

$$Q_{air} = \frac{Q_{air}}{t} = \frac{4177.6 \text{ J}}{1800} 2.32 \text{ (W)} \quad (2.21)$$

### 2.8.3 Carga térmica debido al producto

El cálculo de la carga térmica para el producto es similar al cálculo realizado para el aire y se determina a partir de la ecuación 2.22

$$Q_{prod} = m_{prod} \cdot Cp_{prod} \cdot (\Delta T) \quad (2.22)$$

Se modela el producto como agua, cuya masa total es  $7.94 \text{ kg}$  que se aproxima a los  $8 \text{ kg}$  según se determino en la sección 2.6.2

El calor específico del producto es  $Cp_{prod} = 4180 \left(\frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}\right)$  (Cengel, 2011), la temperatura con la que ingresa a la incubadora es de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  y la temperatura máxima a la que se desea llegar es de  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . reemplazando estos valores y resolviendo la ecuación 2.22 se tiene :

$$Q_{prod} = 836000 \text{ (J)}$$

Si el tiempo para alcanzar la temperatura máxima se considera de 1 hora con el fin de evitar choques térmicos debido al calentamiento brusco, entonces la potencia necesaria será:

$$Q_{prod} = \frac{836000 \text{ (J)}}{3600 \text{ (s)}} = 232.2 \text{ (W)}$$

Una vez calculado las cargas térmicas debido a la estructura, al fluido y al producto se obtiene la potencia total consumida por el sistema que es el equivalente a la suma de las pérdidas antes mencionada.

$$Q_{total} = 311.6 (W)$$

Se le asigna un factor de seguridad de 1.28 a la potencia requerida, causados por pérdidas diversas y se obtiene la potencia final de operación de la incubadora.

$$Pot_{incubadora} = 400 (W)$$

Se requerirá una resistencia con esta potencia para la cámara de incubación, la tensión de operación de la resistencia es de  $V = 110 \text{ v}$  y la temperatura máxima de operación es de  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  .

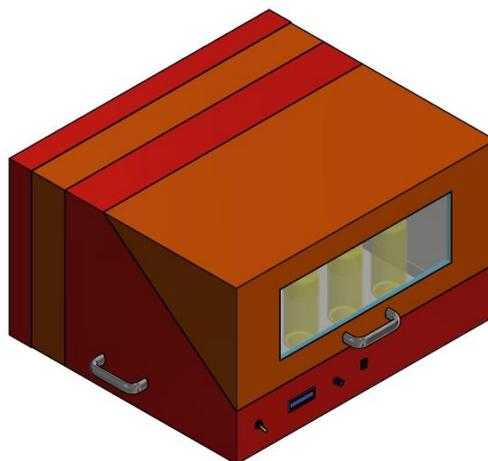
# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

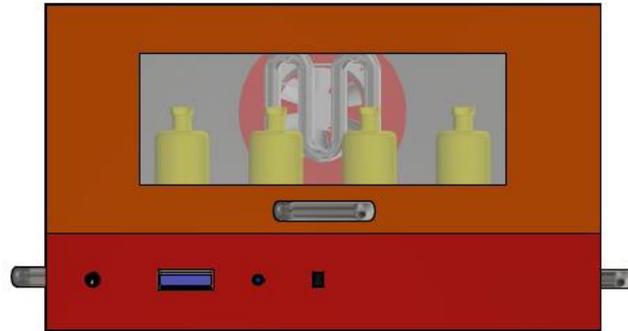
En esta sección se muestra el prototipo construido en pruebas de operación y una simulación experimental, se presenta la comparación de los datos que se obtienen de pruebas en la incubadora contra los datos de la simulación. Además, se presentará el análisis de los costos que generó la realización de este proyecto, detallando los gastos de mano de obra y de materiales con el propósito de realizar una evaluación del presupuesto requerido para la construcción de este prototipo con proyección en implementarlo como una actividad comercial en el futuro.

### 3.1 Modelo final de Incubadora

La incubadora para laboratorio que se muestra en la figura 3.1 y 3.2, se construyó basándose en el diseño de forma 1 que se presentó en la sección 2.5, que se desarrolló por medio de la simulación, el prototipo tiene la capacidad para soportar 12 botellas de vidrio espaciadas uniformemente sobre su plataforma. Posee un sistema de agitación que hace que la plataforma realice un movimiento lineal para dar el movimiento al contenido de las botellas y poder evitar sedimentación de las muestras, el sistema térmico es controlable manualmente.

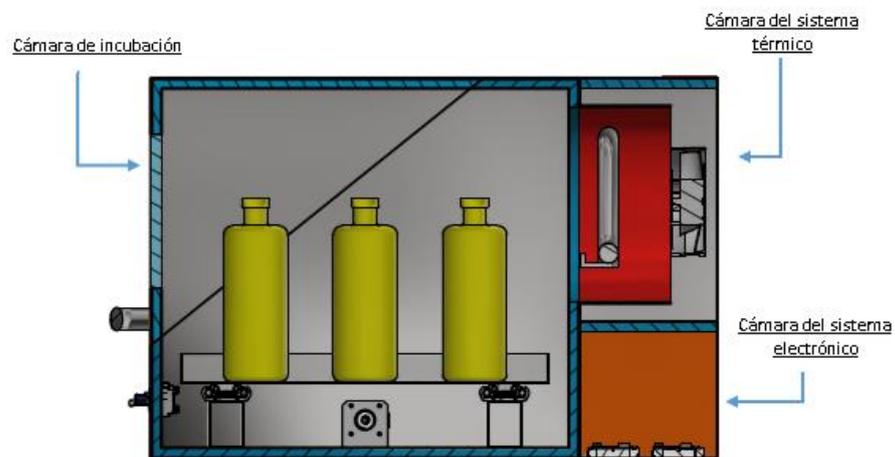


**Figura 3.1 Modelo final de Incubadora para Laboratorio**  
[Elaboración propia]



**Figura 3.2 Vista frontal de Incubadora para Laboratorio**  
[Elaboración propia]

Su estructura cuenta con tres compartimientos térmicamente aislados para evitar pérdidas de calor hacia el exterior de la incubadora. Los tres compartimientos son: cámara de incubación, cámara del sistema térmico y cámara del sistema electrónico como se muestra en la figura 3.3



**Figura 3.3 Compartimientos de la Incubadora**  
[Elaboración propia]

### 3.2 Análisis térmico de la cámara de incubación

En esta sección se presentan los respectivos análisis de simulación realizados sobre el prototipo final para asegurar sus condiciones de operación, en la sección 2.8.3 se muestra el cálculo de la potencia necesaria que deberá tener la resistencia con el fin de lograr la carga térmica de trabajo dentro de la incubadora considero previo a la simulación. Para la selección

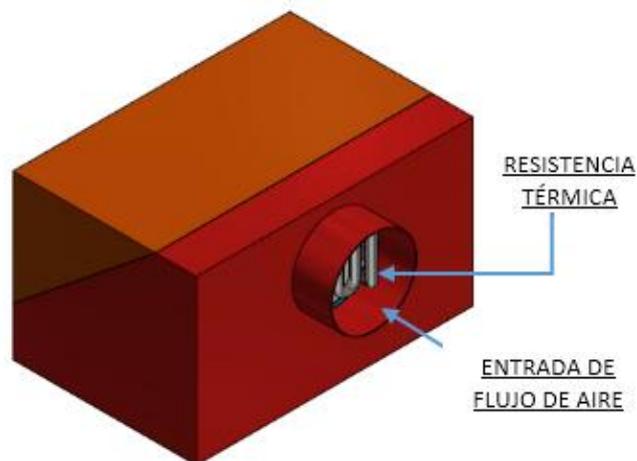
del ventilador se simuló con el software CAE el cual presenta diferentes caudales de ventilación. En la simulación se identificó y selecciono el caudal con mayor uniformidad en las líneas de flujo dentro de la cámara y mejor distribución en todo el volumen de control de la cámara mientras mantenía la temperatura dentro de los parámetros de operación.

### 3.2.1 Modelos de simulación

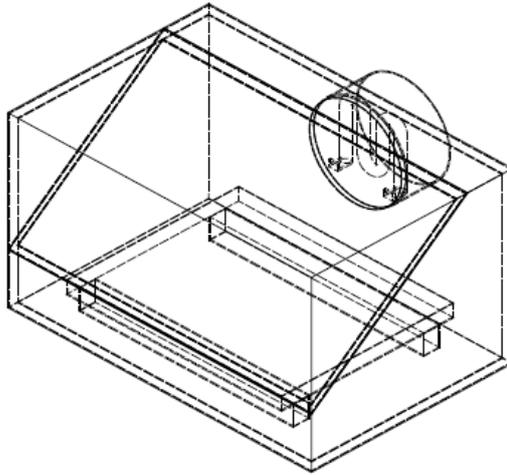
Para la aprobación de la incubadora y construcción del sistema de calentamiento se probaron dos modelos mediante la simulación CAE con la finalidad de comprobar cual modelo era de mayor beneficio en cuanto a costo-eficiencia mientras cumplía con los requerimientos deseados

#### 3.2.1.1 Primer Modelo

El primero modelo de simulación cuenta con una entrada de aire y una resistencia de calentamiento (figura 3.4), se simuló una entrada de flujo de aire de un ventilador para que actúe sobre la resistencia, calentando el fluido que ingresa a la incubadora. La simulación se realizó sin botellas en la plataforma como se muestra en la figura 3.5 debido a que el objetivo es asegurar que la cámara se mantenga a una sola temperatura.



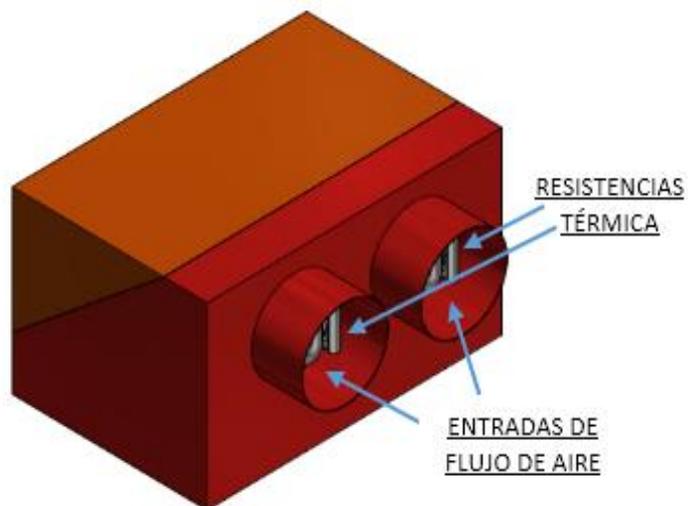
**Figura 3.4 Vista posterior del primer modelo de análisis  
[Elaboración propia]**



**Figura 3.5 Vista Alámbrica del primer modelo de análisis  
[Elaboración propia]**

### **3.2.1.2 Segundo Modelo**

Las condiciones para la simulación de este modelo fueron similares a las del modelo 1 pero con la variación de que se usaron dos entradas de flujo de aire y dos resistencias de la misma potencia como se muestra en la figura 3.6.



**Figura 3.6 Vista Posterior del segundo modelo de análisis  
[Elaboración propia]**

### 3.2.2 Análisis de Modelos

Las simulaciones del comportamiento térmico en el interior de la incubadora para cada modelo fueron realizadas durante intervalos 10 minutos de operación hasta completar 1 hora. Para cada simulación se varió el flujo volumétrico de los ventiladores para comprobar el caudal idóneo que distribuya mejor el calor necesario dentro de la cámara de incubación. Mediante estas simulaciones se descartó el modelo 2 ya que al poseer dos flujos volumétricos entrando a la cámara estos generaban mayor turbulencia impidiendo una temperatura estable dentro de la cámara, además que al usar dos entradas de aire generan un mayor costo en el diseño ya que requiere dos ventiladores y dos resistencias térmicas. El análisis en el software CAE que se muestra en esta sección solo es para el modelo 1 ya que este modelo si mantenía los parámetros de diseño estables, la potencia y el flujo volumétrico de aire con los que se estabilizó la temperatura se muestra en la tabla 3.1

**Tabla 3.1 selección de equipos**  
**[Elaboración propia]**

	Potencia (W)	Caudal (CFM)
Resistencia	400	----
Ventilador	----	21

El modelo de la resistencia que se uso fue de tipo M de sección tubular con disipadores en toda su estructura para mejorar la transferencia de calor como se muestra en la figura 3.7



**Figura 3.7 Resistencia Tipo M**  
[Elaboración propia]

El ventilador que se uso fue de tipo axial y se lo selección con el caudal requerido de la simulación el cual fue de 21 CFM como se indicó en la tabla 3.1, el ventilador seleccionado se muestra en la figura 3.8



**Figura 3.8 Ventilador seleccionado**  
[Elaboración propia]

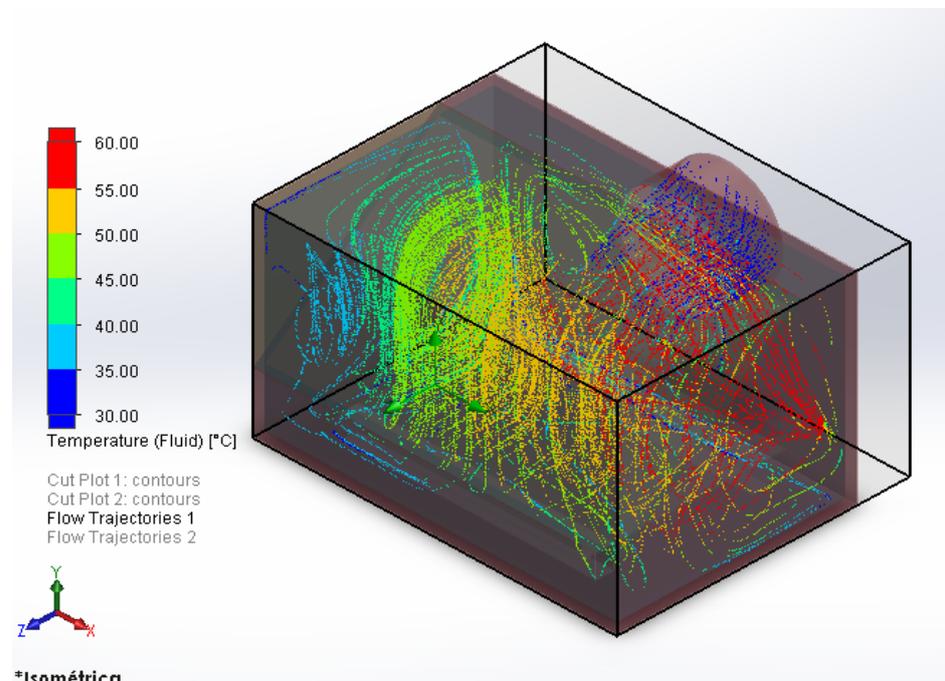
Las características del ventilador seleccionado se muestran en la tabla 3.2

**Tabla 3.2 Características del ventilador**  
[Elaboración propia]

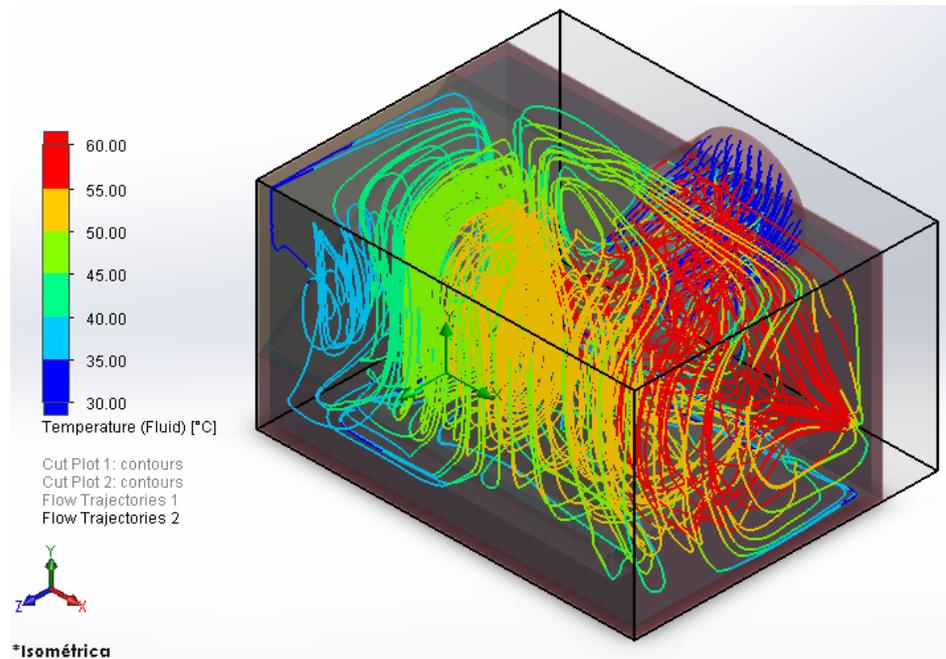
Modelo	Voltaje (V-AC)	Frecuencia (Hz)	Velocidad (rpm)	Flujo de aire (CFM)	Peso (gr)
SF11580AT	115	50/60	2300/2750	17/21	260

### 3.3 Resultados Simulación CFD

En esta sección se presentan los gráficos de la simulación realizada al modelo 1 que fue el que presento mejor distribución de líneas de flujo y un mejor calentamiento dentro de la cámara de incubación.



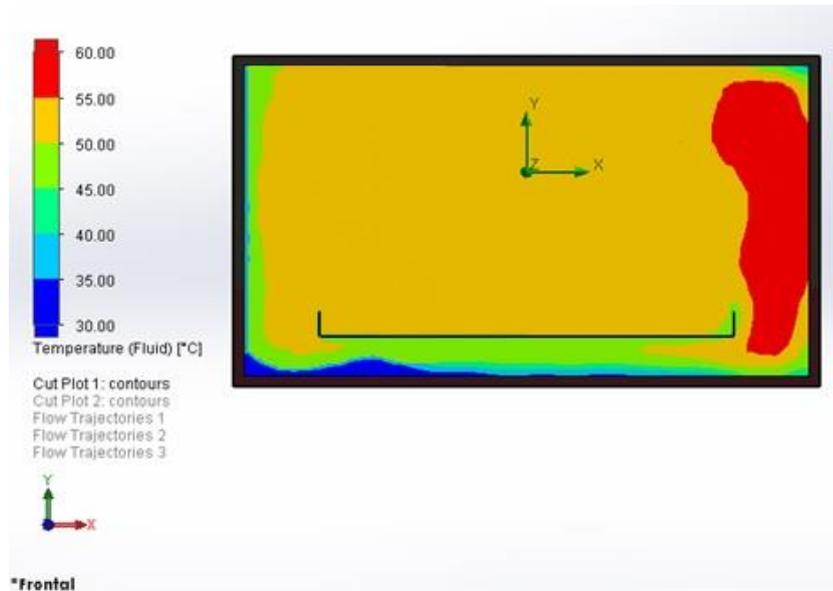
**Figura 3.9 Representación de temperatura con flechas dentro de la cámara**  
[Elaboración propia]



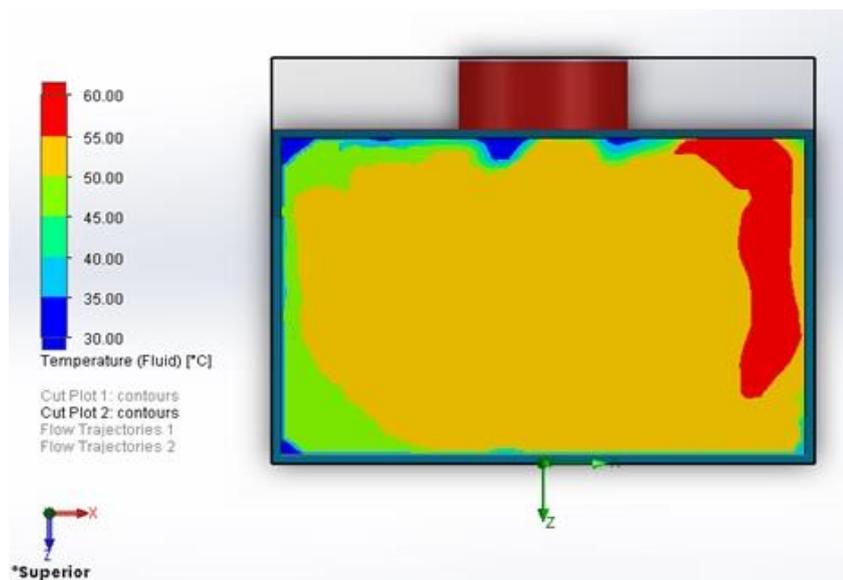
**Figura 3.10 Representación de líneas de flujo dentro de la cámara  
[Elaboración propia]**

Las figuras 3.9 y 3.10 representan el comportamiento de las líneas de flujo de aire dentro de la cámara para una operación de 1 hora, en la figura 3.9 las líneas de flujo están representadas como flechas para observar la trayectoria de las líneas y en la figura 3.10 se representa con líneas sólidas para observar la densidad de líneas dentro de la cámara, ambas se muestran en vista isométrica y se aprecia una temperatura entre los rangos de [30 – 60] °C en la cual domina la temperatura de operación de 50 °C que se encuentra distribuida en toda la zona central de la cámara, asegurando que las muestras se mantendrán a la temperatura requerida para la incubación, siendo 50 °C la temperatura que se desea alcanzar y mantener para un proceso de incubación, con estas figuras se demuestra que el flujo del ventilador SF11580AT que se seleccionó si cumple con el requerimiento de ingresar el flujo de aire necesario hacia la cámara y asegurar la recirculación del aire dentro de la cámara y realizar el cambio de temperatura, en las figuras 3.11 y 3.12 se representan los planos de corte

de temperatura para la posición central de la incubadora tanto en vista frontal como en vista superior.

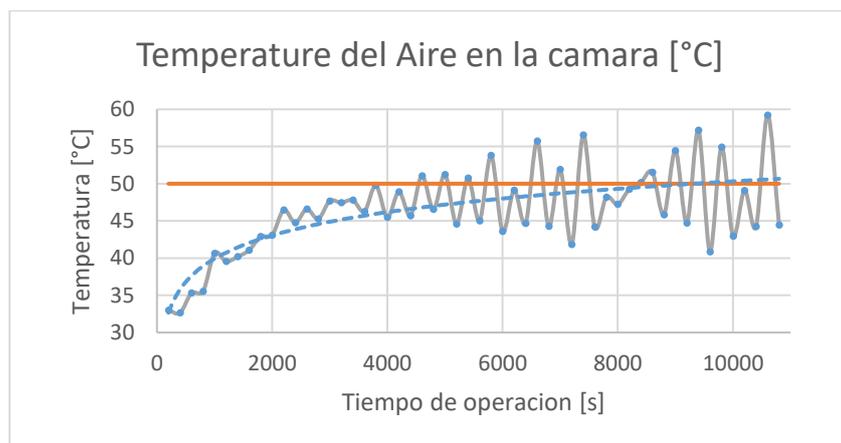


**Figura 3.11 Vista frontal de simulación del modelo  
[Elaboración propia]**



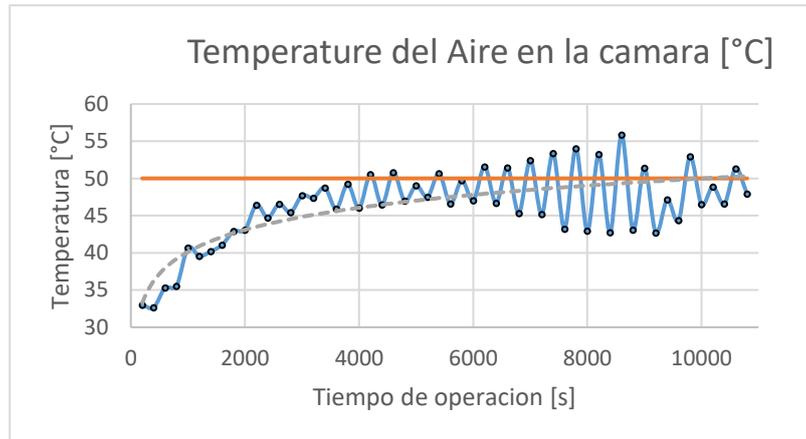
**Figura 3.12 Vista superior de simulación del modelo  
[Elaboración propia]**

Las figuras 3.11 y 3.12 muestran la vista frontal y superior de la temperatura esperada de 50 °C que se estima tendrá la cámara de incubación, se aprecia una barra de tonalidades de temperatura entre los rangos de [30 – 60] °C lo cual se justifica la temperatura de operación mayor en la parte central de la cámara debido a que existe solo una salida de flujo de aire y es allí donde se genera la mayor temperatura siendo en la salida de la resistencia hacia la cámara, esto provoca el calor empieza desde la parte central y se transfiera hacia sus alrededores, sin embargo la temperatura no se estabiliza y eleva la temperatura más de la estimada de 50 °C en un tiempo de operación mayor que esta entre las 2 a 4 horas sin un control automático de temperatura como se muestra en la figura 3.13.



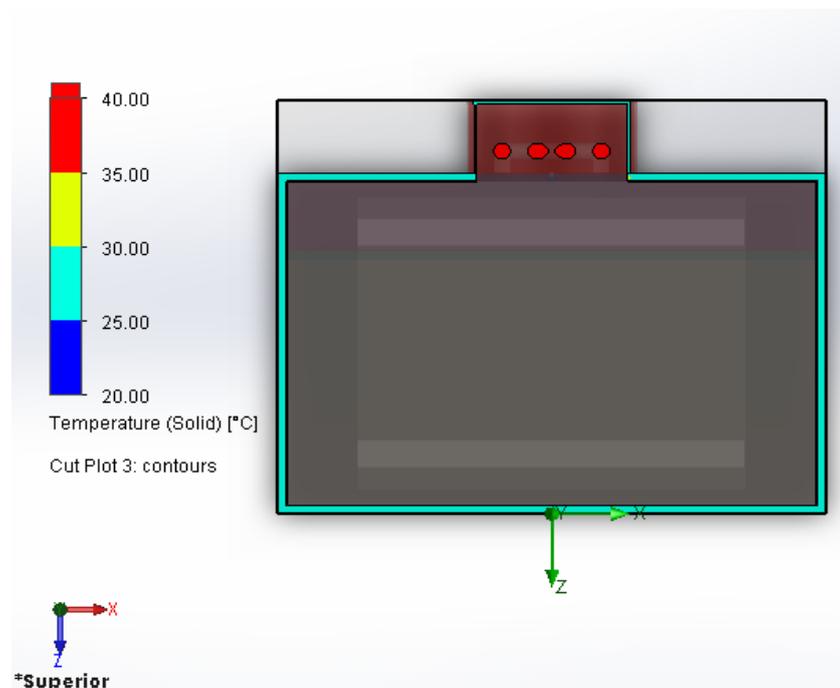
**Figura 3.13 Estabilización de la temperatura sin control automático [Elaboración propia]**

La simulación CAE nos permite realizar una restricción en el sistema la cual simula un control de temperatura que crea una condición que si se sobrepasa la temperatura deseada este automáticamente apaga el sistema térmico para mantener la temperatura y no elevarla más, por ello se observa una uniformidad en la temperatura como se muestra en la figura 3.14 donde existe una estabilización de la temperatura y no se dispara de su valor establecido a diferencia de la figura 3.13 que no usa el control de temperatura y hace que la temperatura se eleven sin control.



**Figura 3.14 Estabilizacion de la temperatura con control automatico [Elaboracion propia]**

En la figura 3.15 se muestra la transferencia de calor en las paredes en donde se observa la barra temperaturas que nos indican que la temperatura máxima que alcanza esta entre  $[25 - 30]$  °C cumpliendo de esta manera el aislamiento del calor de la cámara.

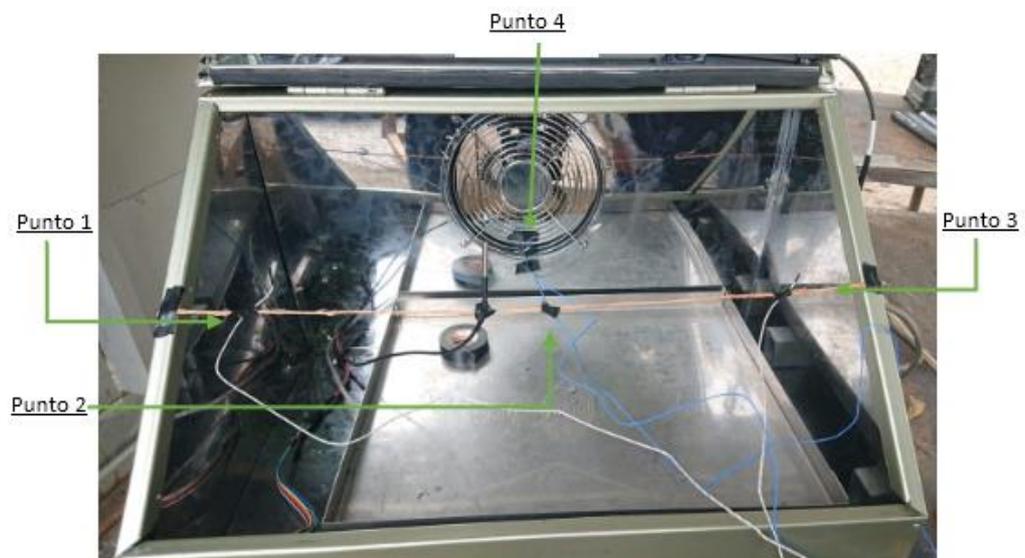


**Figura 3.15 Transferencia de calor de las paredes de la camara [Elaboración propia]**

### 3.4 Validación del modelo CFD

En esta sección se muestran las pruebas realizadas al prototipo construido con el sistema de control implementado para obtener la uniformidad del calor dentro de la cámara y cumplir con el objetivo de mantener la temperatura deseada en toda la cámara.

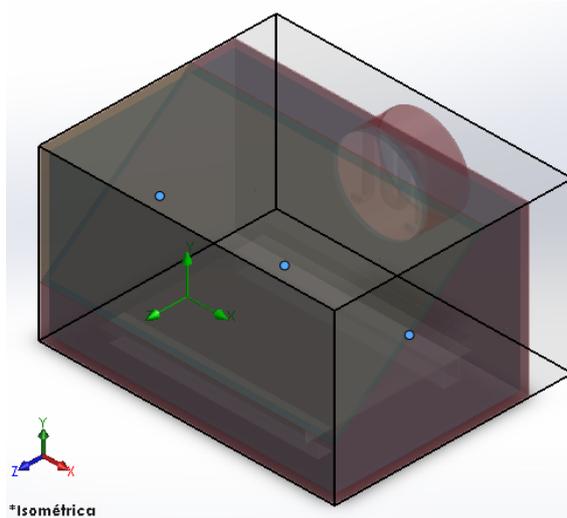
Para validar nuestro modelo construido con el simulado se realizaron pruebas en el modelo real y se realizó una lectura de temperaturas en 4 puntos distintos con un termómetro termopar de 4 canales ubicando cada canal dentro de la cámara de incubación para compararlos con la simulación y analizar la desviación, en la figura 3.16 se muestran los puntos de control de temperatura que se usaron para la toma de datos.



**Figura 3.16 Puntos de toma de datos de temperatura**  
[Elaboración propia]

La ubicación de los puntos de toma de temperaturas fue en la posición central de la cámara de manera horizontal como vertical para asegurar que la toma de datos realizada sea en la zona de operación donde se ubicaran las botellas cuando se ponga en operación la incubadora, en la figura 3.17 se representa

el esquema de los puntos de ubicación de los termopares del modelo real como el simulado.



**Figura 3.17 Ubicación de puntos de control de temperatura  
[Elaboración propia]**

En la tabla 3.3 se presentan las coordenadas de ubicación de los puntos tanto del modelo real como el de la simulación con respecto a el sistema de coordenadas mostrado en la figura 3.17.

**Tabla 3.3 Coordenadas de control de temperatura  
[Elaboración propia]**

Puntos	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	-0,3	-0,05	0,23
2	0	-0,05	0,23
3	0,3	-0,05	0,23

En la tabla 3.4 se muestran las temperaturas obtenidas mediante la lectura de los 4 puntos de los termopares en una operación de la incubadora de 1 hora y las tomas de datos se realizaron cada 10 min.

**Tabla 3.4 Datos de temperatura experimentales**  
[Elaboración propia]

Temperatura Tiempo (min)	set	Tambiente	punto 1	punto 2	punto 3
10	40	31	39,6	39,3	40,3
20	40	31	40,3	40,6	41,2
30	40	31	39,4	38,8	39,2
40	40	31	41,1	41,2	41,9
50	40	31	40,1	40,1	40,3
60	40	31	39,6	39,1	39,4

En la tabla 3.5 se muestran los datos obtenidos para la simulación de una operación de 1 hora para una temperatura de set de 40 °C .

**Tabla 3.5 Valores de temperaturas en simulación**  
[Elaboración propia]

Tiempo(s)	set	Punto 1	Punto 2	Punto 3
600	40	37,91	40,79	31,57
1200	40	43,59	49,76	36,21
1800	40	43,84	64,12	33,46
2400	40	42,73	45,96	35,70
3000	40	42,51	42,96	34,15
3600	40	40,04	41,45	39,82

Para la validación del modelo de la simulación se analiza los datos de la simulación y los experimentales que existen entre los datos simulados y los reales, obteniendo así el valor Bias y el RMSE de todos los datos como se muestra en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6 Sesgo de los datos simulados y experimentales**  
[Elaboración propia]

Intervalos	Bias	RMSE
1	-2,97186413	-227,332159
2	2,4882523	208,735137
3	7,96654084	686,980369
4	0,06358409	5,26880518
5	-0,29402579	-23,5336206
6	1,06916706	85,322205
Promedio:	1,3869424	11,0712897

Los valores obtenidos del Bias y RMSE indican el promedio de los valores de análisis, el Bias nos indica que la temperatura varía aproximadamente en 2 °C pero el RMSE muestran una baja precisión en el modelo de la simulación y para mejorar estas estimaciones se debe de usar un mejor mallado en la simulación que hace que los datos sean más precisos y con menos sesgo.

### **3.5 Construcción del equipo**

En esta sección se describe la construcción y ensamble de las partes de la incubadora. Las fotos de la construcción del equipo se muestran en el anexo A y los planos se muestran en el anexo C.

#### **3.5.1 Construcción y ensamble de carcasa**

La carcasa de la incubadora consta de tres recamaras unidas entre sí y separadas por medio de una capa de lana de vidrio. Su construcción inició con el corte y doblado de las láminas de acero a las medidas deseadas para cada una de las caras de la carcasa. Luego se colocó lana de vidrio entre las caras y se las traslapó. Finalmente se ensambló y remachó las partes.



**Figura 3.18 Incubadora  
[Elaboración propia]**

### 3.5.2 Ensamble y Control del movimiento de la plataforma

Se construyó una plataforma contenedora de muestras (las dimensiones se encuentran en el anexo C, bajo esta plataforma se acopló un riel a cada extremo.

El movimiento de la plataforma es de un grado de libertad, de traslación y es transmitido por un tornillo sin fin que a su vez es accionado a través de un motor de paso NEMA 17 como se muestra en la figura 3.19.

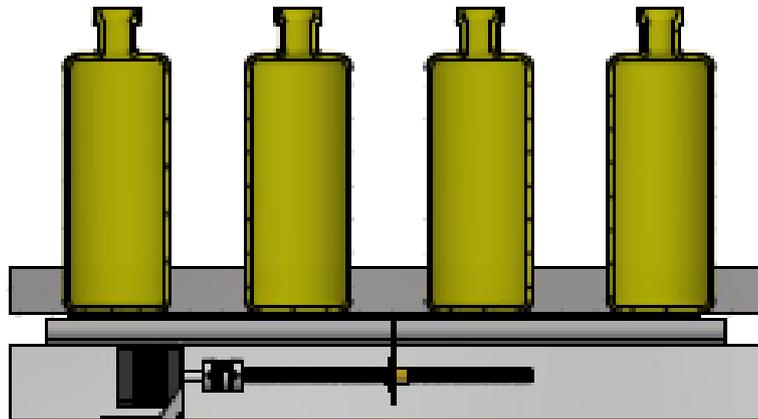


Figura 3.19 Vista lateral del sistema de movimiento  
[Elaboración propia]

El motor utilizado es alimentado por medio de una fuente de 12 VDC- 1A, este motor necesita un controlador para la comunicación con Arduino. El controlador utilizado es el A 4988 que se muestra en la figura 3.20

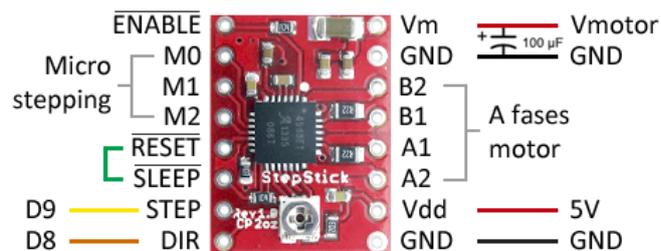
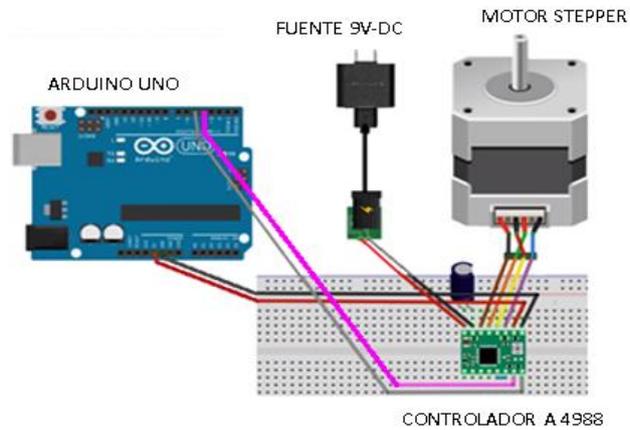


Figura 3.20 Esquema del controlador A4988  
[Elaboración propia]

El movimiento es controlado por un Arduino Uno, el diagrama de la conexión electrónica se muestra en la figura 3.21



**Figura 3.21 conexión electrónica del sistema de movimiento**  
[Elaboración propia]

La tabla 3.7 detalla la conexión entre los pines del controlador, Arduino, fuente de poder y motor que, en conjunto dan el movimiento del sistema

**Tabla 3.7 Conexión de pines del módulo A4988**  
[Elaboración propia]

Controlador A 4988	Arduino Uno
VDD	5V
GND	GND
STEP	PIN DIGITAL 4
DIR	PIN DIGITAL 5
Controlador A 4988	Motor stepper
A2	Cable azul
A1	Cable rojo
B1	Cable verde
B2	Cable negro
Controlador A 4988	Fuente de poder
GND	+ En paralelo con capacitor
VM	- En paralelo con capacitor

El código utilizado para controlar la velocidad del sistema está disponible en la sección de anexos B.

### 3.5.3 Ensamble del sistema de control de temperatura

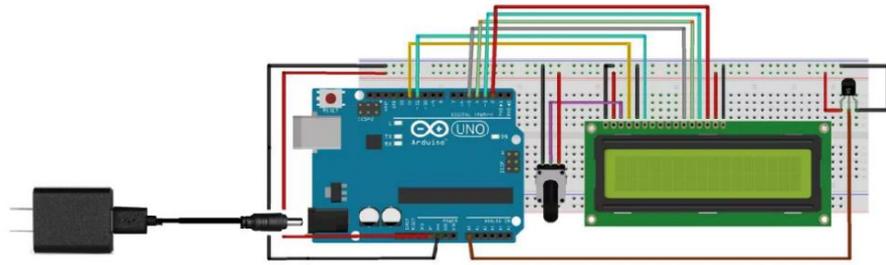
La temperatura interna de la incubadora es suministrada por medio de la resistencia de níquel-cromo ubicada en una recámara posterior de la incubadora como se muestra en la figura 3.22, detrás de la resistencia se instaló un ventilador axial que suministra un flujo de 21 CFM hacia el interior de la incubadora calentando su interior por convección forzada.



**Figura 3.22 Configuración ventilador-resistencia**  
[Elaboración propia]

La temperatura es medida por un sensor LM 35 y enviada a la tarjeta Arduino, este lo procesa y presentada en la pantalla LCD ubicada en la parte frontal izquierda. Para calibrar la temperatura de operación deseada en el interior de la incubadora se emplea un potenciómetro conectado a Arduino, la tarjeta interpreta y compara la temperatura real medida por el sensor contra la temperatura seteada con el potenciómetro y en función de estos valores enciende o apaga la resistencia por medio de un relé.

La resistencia eléctrica y el ventilador operan a un potencial de 120 V, para proteger los componentes electrónicos se empleó un relé bobina de 120 V, el esquema de la conexión del sensor de temperatura se muestra en la figura 3.23



**Figura 3.23 Circuito electrónico térmico  
[Elaboración propia]**

El código correspondiente al control térmico se encuentra en la sección de apéndices.

### 3.6 Análisis de costos

En esta sección se detalla los costos invertidos en materiales y componentes que en conjunto proporcionaron la implementación del equipo.

#### 3.6.1 Costos estructurales

En la tabla 3.8 se detalla los gastos de inversión que conllevó la construcción de la estructura de la incubadora

**Tabla 3.8 Costos de materiales de estructura  
[Elaboración propia]**

Cantidad	Descripción	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
2	Plancha Acero inoxidable AISI 304 1220 x 2440 x 1mm	130	260
1	Tubo cuadrado de aluminio 2"x 2mm x 1m	5	5
1	Acrílico transparente 3mm x	6	6
3	Agarraderas	2.50	7.50
2	Bisagras	0.50	1
1	Juego de patas de goma	2.40	2.40
3	Lana de vidrio 1 m x 25mm	7	21
100	Remaches de aluminio 5mm x 12mm	0.02	2
1	galón de pintura anticorrosivo verde	25	25
<b>Total</b>			<b>\$ 329.90</b>

El costo que conllevó la construcción de la cámara fue de \$ 329.90 dólares americanos.

### 3.6.2 Costos del sistema de movimiento de la plataforma

Corresponde a los costos de los componentes utilizados para dar movimiento a la plataforma contenedora de las muestras se muestra en la tabla 3.9.

**Tabla 3.9 Costos de componentes para sistema de movimiento  
[Elaboración propia]**

Cantidad	Descripción	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
1	Motor stepper Nema 17 2A, 59 N-cm	21	21
1	Adaptador 12vdc, 1A	4,5	4,5
1	Driver A 4988	3	3
1	Tornillo sin fin + tuerca Ø 8 mm, 4 entradas	12	12
1	Acople flexible 5 A 8 mm	2	2
1	Chumacera para rodamiento 608 RS	10	10
1	Rodamiento 608 RS	2	2
1	Arduino uno R3	15	15
1	Case Arduino uno	4	4
1	Adaptador 9V-1A	4,3	4,3
1	Protoboard 1 regleta 400 puntos	2	2
1	Pack cables Jumper macho-macho	2,5	2,5
1	Sistema riel	4	4
1	Bornera para adaptador DC	0,5	0,5
1	Capacitor 100 µF, 35 V	0,1	0,1
<b>Total</b>			<b>\$ 86,90</b>

El costo final de todos los componentes e implementación es de \$ 86.90 dólares americanos.

### 3.6.3 Sistema térmico

Los costos necesarios para medir y calibrar la temperatura se desglosan en la tabla 3.10

**Tabla 3.10 Costos de componentes de sistema térmico  
[Elaboración propia]**

Cantidad	Descripción	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
1	Arduino Uno R3	21	21
1	Adaptador 9V-1A	4.30	4.30
1	Case Arduino uno	4	4
1	Pantalla LCD 16x2	5	5
1	Pack cables Jumper macho-macho	2.5	2.5
1	Pack cables Jumper macho-hembra	2.5	2.5
1	Sensor LM 35	2	2
1	Protoboard 1 regleta 400 puntos	2	2
2	Potenciómetro con perilla	0.75	1.50
2	Metro de Cable UTP CAT5E	0.35	0.70
1	Switch tipo ojo de cangrejo	1.25	1.25
1	Resistencia térmica 600 W, 120 V	56	56
1	Módulo relé 1 canal	2.50	2.50
1	Sensor LM35	2.30	2.30
1	Ventilador de 29 CFM	22	22
<b>Total</b>			<b>\$ 98.25</b>

La inversión total en el sistema térmico fue de \$ 98.25 dólares americanos.

### 3.6.4 Otros costos

El costo de la mano de obra de ciertas actividades se da en la tabla 3.11, estos valores incluyen los costos de las máquinas y herramientas utilizadas en cada operación. Cabe acotar que no se consideró los emolumentos ingenieriles en este proyecto.

**Tabla 3.11 Otros costos  
[Elaboración propia]**

Actividad	Tiempo (horas)	Costo /hora (USD)	Costo total (USD)
Doblado de lata para estructura	5	10	50
Pintado	2	15	30
<b>Total</b>			<b>\$ 80</b>

### 3.6.5 Costo final de incubadora

El costo final invertido se muestra en la tabla 3.12

**Tabla 3.12 costo total de incubadora biológica  
[Elaboración propia]**

Descripción	Costo (USD)
Estructura	329.90
Sistema térmico	98.25
Sistema de movimiento	86.9
Mano de obra	80
<b>Costo total</b>	<b>\$ 595.05</b>

El costo final para la implementación de la cámara de incubación fue de \$ 595.05 dólares americanos.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- La construcción de la incubadora para aplicaciones biológicas fue diseñada e implementada con base en los requerimientos del cliente de forma exitosa cumpliendo con los objetivos propuestos.
- Con el propósito de mitigar errores en la construcción se usaron herramientas de diseño como software CAD para apreciar el modelo final, mientras que para corroborar el adecuado funcionamiento del sistema de calentamiento en el interior de la incubadora se utilizó herramientas CFD.
- La incubadora consta de tres recámaras térmicamente aisladas con la finalidad de proteger los componentes y al usuario.
- Se diseñó el sistema térmico con base en las cargas térmicas requeridas, se consideró las paredes de la cámara, el producto a calentar y el flujo de aire. Los cálculos dieron una potencia requerida de 311.6 W, pero considerando un factor de seguridad se utilizó una resistencia de 400 W. El mecanismo de transferencia de calor fue la convección forzada y se empleó un ventilador de 21 CFM para el flujo de aire caliente.
- Para el sistema de agitación la plataforma para las muestras fue montada sobre rieles y se le acoplo un motor a pasos que es el encargado de generar el movimiento. La programación fue implementada con software Arduino. La velocidad del movimiento es regulable por medio del código adjunto en el apéndice B

- Una vez construido el equipo se realizó pruebas de funcionamiento ubicando termopares en puntos estratégicos dentro de la incubadora con la finalidad de medir la temperatura y comprobar si existe un calentamiento uniforme; se obtuvo variaciones menores a 2°C, esta variación es aceptable para el uso que se le dará.
- En la construcción de la incubadora se utilizó componentes de fácil adquisición en el mercado local; si se desea replicar el modelo, el tiempo y costos de construcción es significativamente menor al que llevaría comprar un equipo con características similares.
- Con el fin de abaratar costos en la construcción de la cámara de incubación se usó la tarjeta Arduino Uno para el sistema de control de temperatura y de agitación.

## **4.2 Recomendaciones**

- Con la finalidad de mejorar el transporte y la maniobrabilidad se recomienda instalar ruedas en lugar de los soportes de piso en la incubadora.
- Se recomienda para una futura construcción de una incubadora revisar el diseño del sistema de agitación con la finalidad de mejorar el acceso a los componentes ensamblados para su mantenimiento o reemplazo.
- Con la finalidad de producir una mayor agitación de las muestras se recomienda aumentar los grados de libertad de la plataforma contenedora.
- Para el sistema de control es recomendable utilizar tarjetas embebidas o un PLC ya que Arduino es una tarjeta que presenta perturbaciones y ruidos eléctricos considerables que afectan su funcionamiento.

- Si se desea mayor precisión en el rango de temperatura es recomendable usar un controlador PID como un pirómetro digital
- Como alternativa del sensor de temperatura se recomienda usar un sensor con mejor recepción de la señal y mayor sensibilidad como un termopar.
- Para la manipulación de la lana de vidrio se debe usar equipo de protección y evitar el contacto con la piel ya que produce irritación
- La incubadora fue diseñada para operar hasta una temperatura pico de 50 °C, sin embargo, si existiera la necesidad de operación a temperaturas más elevadas es posible intercambiar la resistencia por una de mayor potencia

# BIBLIOGRAFÍA

- Beer, F., Jhonston, R., Dewolf, J., & Mazurek, D. (2009). *Mecanica de Materiales*. Mexico: McGraw-Hill.
- C. Dorf, R., & H. Bishop, R. (2005). *Sistemas de Control Moderno*. Madrid: Pearson Education, S.A.
- Cengel, Y. A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico,D.F: McGraw-Hill.
- Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial*. México, D. F.: Alfaomega.
- Erazo, L. (2015). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA INCUBADORA AUTOMÁTICA PARA HUEVOS DE CODORNIZ. (*Proyecto de titulación de ingeniería*). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. Mexico,D.F: McGraw-Hill.
- Incropera, F. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Jefferson City: JOHN WILEY & SONS.
- Kuo, B. (2010). *Automatic Control Systems*. United State of America: WILEY.
- Norton, R. L. (2009). *Diseño de Maquiaria*. Mexico. D.F: Mc Graw Hill.
- Norton, R. L. (2011). *Diseño de Maquinas*. Mexico: Prentice Hall.
- OPS. (2005). *Manual de mantenimiento para equipo de laboratorio*. washington, D.C.: Organizacion Panamericana de la Salud.
- Perry, R. (2008). *Perry's Chemical Engineeer's Handbook* (8th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Pytel, A., & L.Singer, F. (2008). *Resistencia de Materiales*. Mexico: Alfaomega.
- Trullás, A. (2018, octubre 30). *Resistencias Eléctricas Industriales*. Retrieved from [http://www.alberttrullas.com/catalogo\\_tre.pdf](http://www.alberttrullas.com/catalogo_tre.pdf)
- Zaragoza, Y. G. (La Habana, 2001). Diseño y construcción de un prototipo de incubadora controlada por lógica difusa. *Memorias II Congreso Latinoamericano de ingeniería Biomédica*.

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

### Construcción y prueba del equipo



Figura A. 1 Doblado de lámina de acero



Figura A. 2 ubicación de capa de lana de vidrio



**Figura A. 3 Traslapado entre cara exterior e interior de la cámara**



**Figura A. 4 Perforación para resistencia térmica**



**Figura A. 5 Plataforma y rieles del tren de movimiento**



**Figura A. 6 Cámara de incubación sin tapa**



**Figura A. 7 sistema de control**



**Figura A. 8 Vista frontal de incubadora**



**Figura A. 9 Temperatura Ambiente**

# APÉNDICE B

## Códigos del sistema de control

### Código del sistema de movimiento

```
*/

#define STEP 4          // pin STEP de A4988 a pin 4
#define DIR 5          // pin DIR de A4988 a pin 5

void setup()
{
  pinMode(STEP, OUTPUT);    // pin 4 como salida
  pinMode(DIR, OUTPUT);     // pin 5 como salida
}

void loop()
{
  digitalWrite(DIR, HIGH);  // giro en un sentido
  for(int i = 0; i < 200; i++){ // 200 pasos para motor de 0.9 grados de angulo
de paso
    digitalWrite(STEP, HIGH); // nivel alto
    delay(10);                // por 10 mseg
    digitalWrite(STEP, LOW);  // nivel bajo
    delay(10);                // por 10 mseg
  }
  delay(2000);                // demora de 2 segundos

  digitalWrite(DIR, LOW);    // giro en sentido opuesto
  for(int i = 0; i < 200; i++){
    digitalWrite(STEP, HIGH);
    delay(10);
    digitalWrite(STEP, LOW);
    delay(10);
  }
  delay(2000);                // demora de 2 segundos
}
```

## Código del control de temperatura

```
// La librería Wire.h es para I2C
#include <Wire.h>
// La librería para el LCD 16x2 I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Pin donde se conecta el bus 1-Wire
const int pinDatosDQ = 9;
const int Potenciom=0;

// Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

// Nuestro LCD se comunica en la dirección 27h, e inicializamos la librería para 16x2
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

void setup() {
  // Inicializamos el display
  lcd.begin();

  // Prendemos el backlight
  lcd.backlight();

  sensorDS18B20.begin();
  pinMode(6,OUTPUT);
}

void loop() {

  lcd.setCursor(0,1);
  // Mandamos comandos para toma de temperatura a los sensores
  sensorDS18B20.requestTemperatures();
  int Temp_Real=sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
  int Value=analogRead(Potenciom);
  int Setpoint=((Value*4)/67)+20;
```

```
if (Setpoint>Temp_Real) {
    digitalWrite (6, LOW);
}

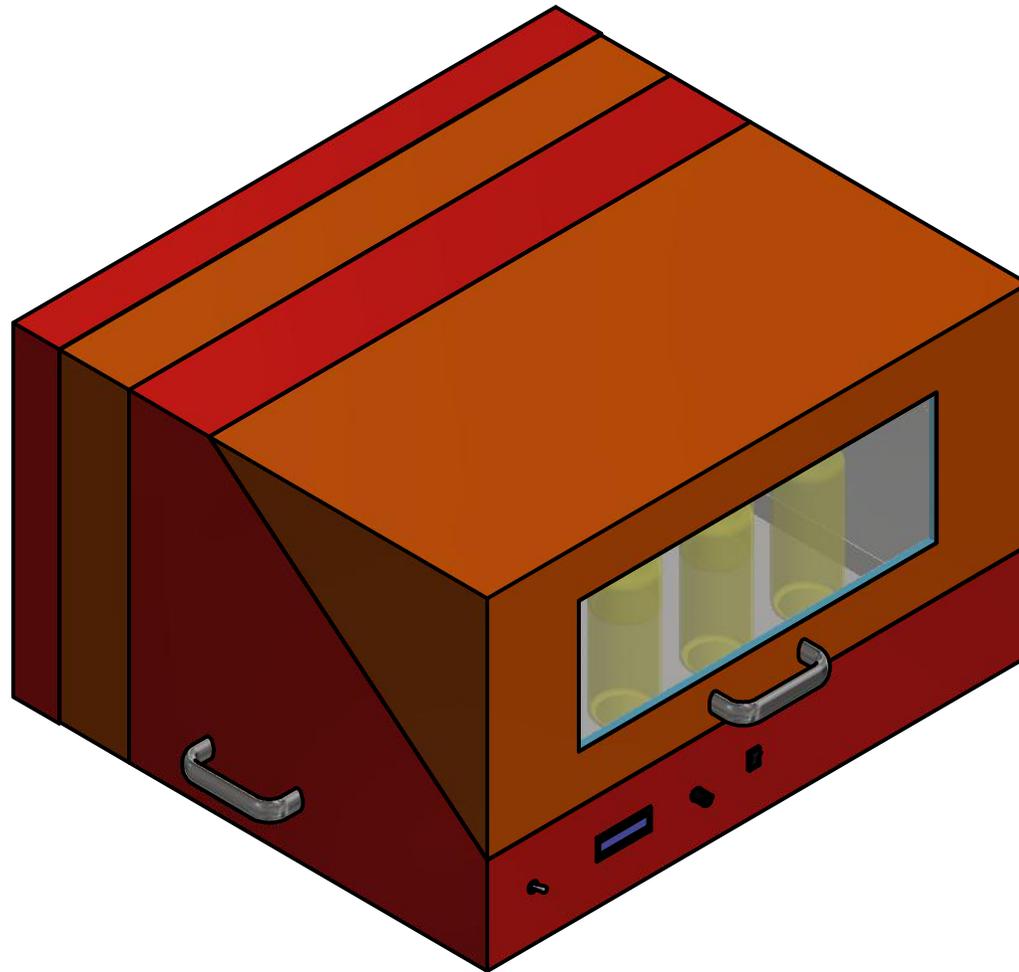
else {
    digitalWrite (6, HIGH);
}

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(Temp_Real);
lcd.print("C  REAL");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(Setpoint);
lcd.print("C  SET");

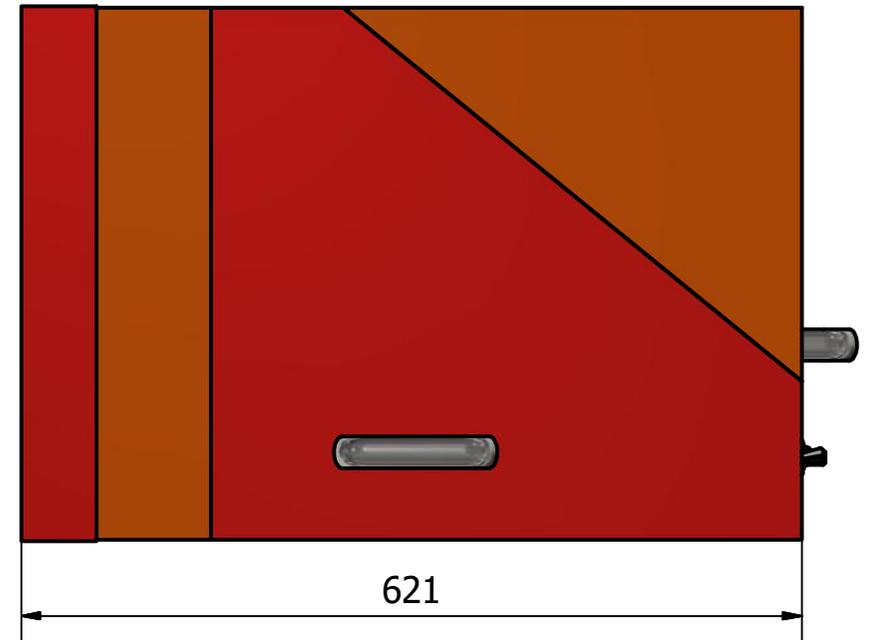
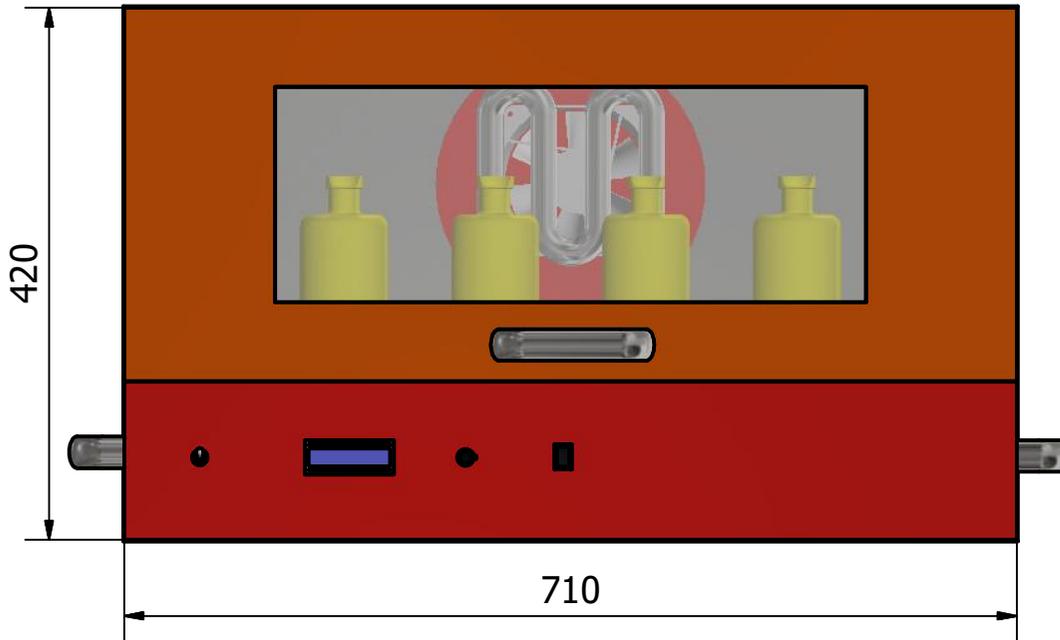
delay(2000);

}
```

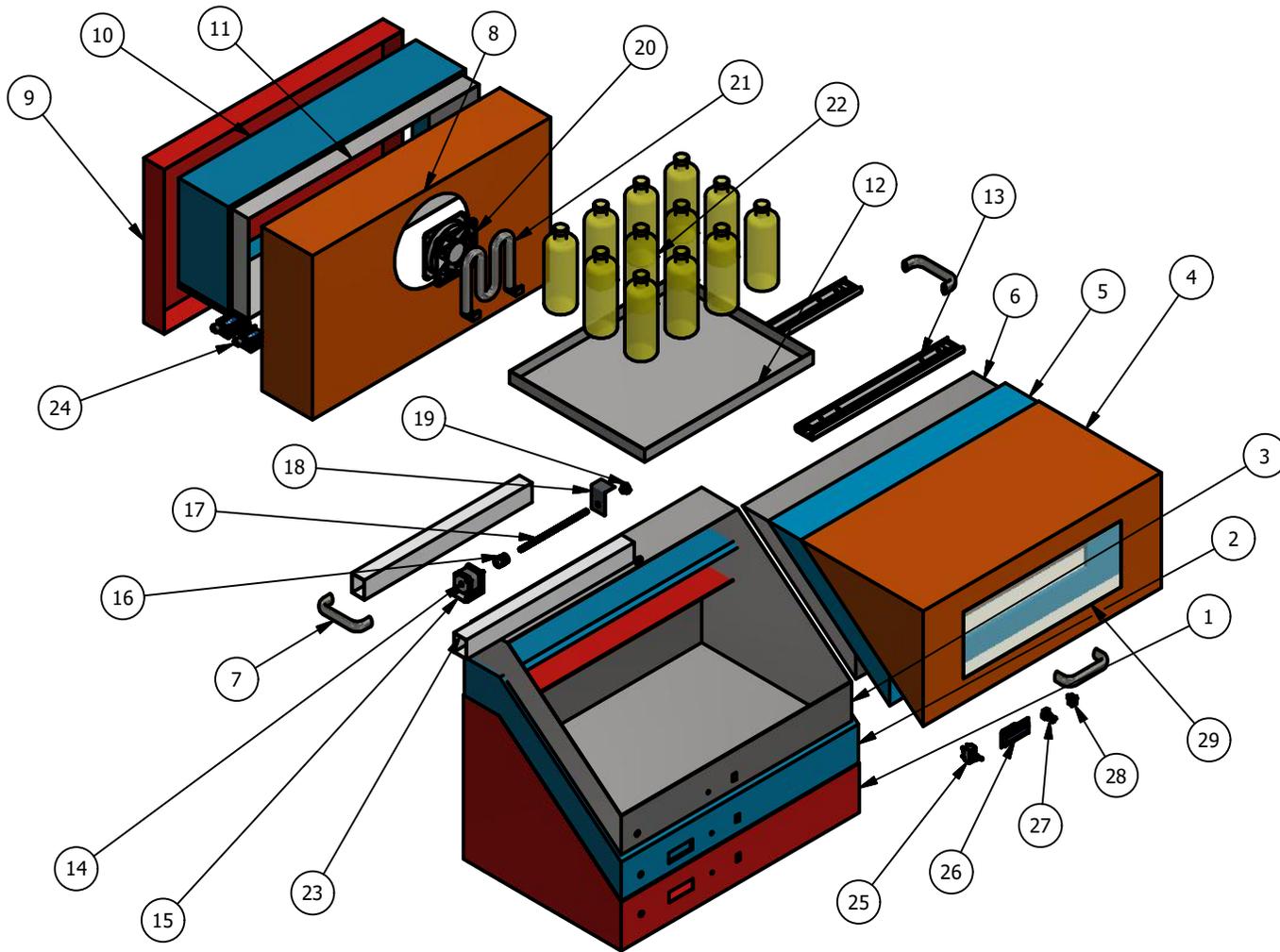
**APÉNDICE C**  
**PLANOS DE CONSTRUCCIÓN**



TODAS LAS MEDIDAS TIENE TOLERANCIAS DE $\pm 0.1$ mm Y ANGULOS CON TOLERANCIA DE $\pm 0^\circ 20''$ , A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO		PLANO N°: 1	MAQUINA: INCUBADORA PARA LABORATORIO	CANTIDAD: 1	ESCALA: 1 : 7	<b>ESPOL</b>
REVISIONES	NOMBRE DEL ELEMENTO: VISTA ISOMETRICA	MATERIAL: Varios	<b>FIMCP</b>			
OBSERVACIONES	DISEÑADO POR: Lenin Kevin Guerrero Menoscal Elvis Reinaldo Carranza Mora	FECHA: 20-01-2019				
Vista Isometrica del modelo final para la contruccion	REVISADO POR: PhD Juan Peralta PhD Emerita Delgado	FECHA: 21-01-2019				



TODAS LAS MEDIDAS TIENE TOLERANCIAS DE $\pm 0.1$ mm Y ANGULOS CON TOLERANCIA DE $\pm 0^\circ 20'$ , A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO		PLANO N°: 2	MAQUINA: INCUBADORA PARA LABORATORIO	CANTIDAD: 1	ESCALA: 1:6	FIMCP  ESPOL
REVISIONES	NOMBRE DEL ELEMENTO: MEDIDAS DE INCUBADORA DE LABORATORIO	MATERIAL: Varios		FIMCP		
OBSERVACIONES	DISEÑADO POR: Lenin Kevin Guerrero Menoscal Elvis Reinaldo Carranza Mora	FECHA: 20-01-2019				
Vista Frontal y Lateral de Incubadora de Laboratorio con medidas de construccion	REVISADO POR: PhD Juan Peralta PhD Emerita Delgado	FECHA: 21-01-2019				



LISTA DE PIEZAS		
ELMTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Carcaza Exterior
2	1	Aislante Interior
3	1	Carcaza Interior
4	1	Tapa Exterior
5	1	Aislante Tapa
6	1	Tapa Interior
7	1	Agarradera
8	1	Carcaza Trasera
9	1	Tapa
10	1	Aislante Carcaza Trasera
11	1	Lamina Interior Trasera
12	1	Plataforma
13	2	Rieles Moviles
14	1	Motor Nema 17
15	1	Soporte Motor Nema 17
16	1	Acople Flexible
17	1	Tornillo ACME
18	1	Acople
19	1	Tuerca
20	1	Ventilador
21	1	Resistencia
22	12	Botellas
23	2	Tubos de Aluminio
24	2	Arduino UNO
25	1	Switch ojo de Cangrejo
26	1	Pantala LCD
27	1	Potenciometro
28	1	Switch ON - OFF
29	1	Acrilico

TODAS LAS MEDIDAS TIENE TOLERANCIAS DE  $\pm 0.1$  mm Y ANGULOS CON TOLERANCIA DE  $\pm 0^\circ 20'$ , A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO

PLANO N°:

3

MAQUINA:

INCUBADORA PARA LABORATORIO

CANTIDAD:

1

ESCALA:

1:15

REVISIONES

NOMBRE DEL ELEMENTO:

MATERIAL:

OBSERVACIONES

DESPIECE DE COMPONENTES

Varios

Vista en Explosion de la Incubadora para Laboratorio

DISEÑADO POR:

Lenin Kevin Guerrero Menoscal  
Elvis Reinaldo Carranza Mora

FECHA:

20-01-2019

REVISADO POR:

PhD Juan Peralta  
PhD Emerita Delgado

FECHA:

21-01-2019

FIMCP

ESPOL