

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“Diseño y construcción de un prototipo de banco de pruebas para  
un sistema de refrigeración termoeléctrica”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Eduardo Steven Beltrán Rodríguez

Ronald Alejandro Calle Ruiz

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, por la vida y salud que me ha concebido, a mis padres por el apoyo incondicional en las buenas y malas a lo largo de mi vida universitaria, a mi mujer e hijos por ser el motor e impulso diario que me permitieron llegar hasta este punto.

Eduardo Beltrán Rodríguez

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a todas las personas que me han ayudado a lo largo de mi carrera universitaria, así también a mi familia que siempre me ha apoyado en las buenas y en las malas, sin su ayuda no hubiera llegado hasta este punto.

Ronald Calle Ruiz

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme salud y fortaleza, a mis padres por los cuidados, orientaciones y respaldo a lo largo de mi vida quienes a través de sus consejos me supieron motivar para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco a mi mujer Johanna Loor quien supo comprenderme y entenderme a través de las diversas adversidades que atravesé como estudiante y persona.

Agradezco a mis hijos Liam y Allison por motivarme e impulsarme a dar mi mayor esfuerzo para salir adelante y lograr alcanzar una nueva etapa.

Agradezco a mis amigos Axel, Zinedine, Andrea y Ronald quienes atravesaron esta etapa junto a mí y me supieron dar su apoyo pese a las dificultades que atravesé para llegar aquí. Aquellos supieron hacer de mi vida universitaria una grata experiencia.

Eduardo Beltrán Rodríguez

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme determinación, salud y su bendición para ser la persona que soy.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica del Litoral que, gracias a sus docentes estoy culminando esta etapa importante en mi vida.

A mi padre y hermana ya que han sido pilares fundamentales con sus apoyos y consejos para saber atravesar las adversidades.

A mi familia y amigos, que han sido partícipes en este largo camino con su apoyo incondicional.

Ronald Calle Ruiz

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Eduardo Beltrán Rodríguez- Ronald Calle Ruiz* y 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”



Eduardo Steven  
Beltrán Rodríguez



Ronald Alejandro  
Calle Ruiz

## EVALUADORES



.....  
**PhD. Ángel Ramírez Mosquera**

PROFESOR DE LA MATERIA



.....  
**M.Sc. Jorge Duque Rivera**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo el diseño y construcción de un banco de pruebas para refrigeración termoeléctrica, enfocado de manera explícita a métodos didácticos para los diferentes colegios y universidades politécnicas del país.

Para el diseño del equipo se tomó en consideración las condiciones ambientales a las que estará expuesta ubicado así en la costa ecuatoriana. Eligiendo así un rango de temperatura de 8 a 5 [°C] como objetivo tomando en cuenta una temperatura ambiente de 32 [°C]. Los materiales tomados en cuenta se eligieron en base a su accesibilidad y bajo costo en el mercado ecuatoriano, siendo estos: madera, panel de aluminio compuesto, lamina de fibra de vidrio y Poliestireno expandido.

Para los equipos se seleccionaron celdas Peltier TEC 1-12706 ya que estas son de fácil acceso referente a su precio, así mismo, para el sistema de control se usó un módulo de temperatura con sensor W1209. Los resultados obtenidos mediante cálculos y experimentación del equipo fueron: espesor del aislante mínimo de 4 [cm] , carga térmica neta de 16 [W] , por lo que se requirieron 2 celdas Peltier y el tiempo de funcionamiento promedio de este sistema fue de 105 [min] , entonces , se concluye que el proyecto es viable para ámbitos educativos en centros de esta índole por estar dentro del rango de acción de las 2 horas , que son las horas de clase promedio en las universidades.

**Palabras Clave:** Termoelectricidad, celdas peltier, aislante, carga térmica

## **ABSTRACT**

*The objective of this degree project is the design and construction of a test bench for thermoelectric refrigeration, explicitly focused on didactic methods for the different polytechnic colleges and universities in the country.*

*For the design of the equipment, the environmental conditions to which it will be exposed located on the Ecuadorian coast were taken into consideration. Thus choosing a temperature range of 8 to 5 °C as a target, taking into account an ambient temperature of 32 °C. The materials taken into account were chosen based on their accessibility and low cost in the Ecuadorian market, being these: wood, aluminum composite panel, fiberglass sheet and expanded polystyrene.*

*For the equipment, Peltier cells TEC 1-12706 were selected since these are easily accessible regarding their price, likewise, for the control system a temperature module with sensor W1209 was used. The results obtained through calculations and experimentation of the equipment were: minimum insulation thickness of 4 cm, net thermal load of 16 W, so 2 Peltier cells were required and the average operating time of this system was 105 min, then, it is concluded that the project is viable for areas educational centers of this nature because they are within the range of 2 hours, which are the average class hours in universities.*

*Keywords: Thermoelectricity, peltier cells, insulator, thermal load*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Definición del Problema .....	1
1.2 Justificación del proyecto.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos .....	2
1.4 Marco teórico .....	2
1.4.1 Refrigeración .....	2
1.4.1.1 Refrigeración termoeléctrica.....	3
1.4.2 Termoelectricidad.....	3
1.4.2.1 Efecto Seebeck .....	3
1.4.2.2 Efecto Peltier .....	4
1.4.2.3 Efecto Thompson .....	5
1.4.2.4 Efecto Joule.....	5
1.4.3 Celda Peltier.....	5
1.4.3.1 Selección de celda Peltier .....	6

1.4.4	Conducción .....	7
1.4.5	Conductividad térmica .....	7
1.4.6	Aislante Térmico.....	8
1.4.7	Convección.....	8
1.4.8	Radiación .....	9
CAPÍTULO 2.....		10
2.	METODOLOGÍA .....	10
2.1	Metodología de diseño.....	10
2.2	Alternativas de solución al problema .....	11
2.2.1	Criterios y Restricciones .....	11
2.2.2	Alternativa 1 .....	12
2.2.3	Alternativa 2 .....	13
2.2.4	Alternativa 3 .....	14
2.3	Selección de mejor alternativa .....	16
2.4	Diseño de cámara de refrigeración .....	17
2.4.1	Materiales de diseño .....	17
2.4.2	Cálculo del espesor del aislante.....	18
2.4.2.1	Cálculo coeficiente externo .....	19
2.4.2.2	Calculo coeficiente interno .....	21
2.4.2.3	Cálculo del coeficiente de radiación .....	23
2.4.3	Cálculo de carga de productos a refrigerar .....	23
2.4.4	Cálculos de carga por transmisión .....	24
2.4.5	Cálculos de carga por infiltración .....	24
2.4.6	Cálculos de carga por equipos .....	25
2.4.7	Carga térmica neta .....	25
2.4.8	Resistencia térmica de los disipadores .....	25
2.4.9	Balance de energía en la cámara de refrigeración.....	26

CAPÍTULO 3.....	28
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	28
3.1 Resultados de la cámara de refrigeración .....	28
3.2 Caja externa.....	28
3.3 Convección interna .....	28
3.4 Convección externa .....	29
3.5 Radiación exterior equipo. ....	29
3.6 Espesor del aislante.....	29
3.7 Cálculo de cargas térmicas.....	30
3.7.1 Calor por transmisión entre las paredes.....	30
3.7.2 Carga por producto .....	31
3.7.3 Carga por infiltración .....	32
3.7.4 Carga por equipos.....	32
3.7.5 Carga térmica neta.....	32
3.8 Selección de celda Peltier.....	32
3.9 Resultado de disipadores .....	34
3.10 Balance de energía en la cámara de refrigeración .....	35
3.11 Sistema de control .....	36
3.11.1 Comprobación del sistema de control .....	36
3.12 Pruebas con carga y sin carga.....	37
3.13 Análisis de costos .....	40
3.14 Análisis de fabricación .....	41
CAPÍTULO 4.....	43
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
4.1 Conclusiones .....	43
4.2 Recomendaciones .....	43
BIBLIOGRAFÍA	

## APÉNDICES

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
ASHRAE	American Society for Heating, Refrigeration and Air Conditioning
COP	Coeficiente de desempeño
V	Voltio
cm	Centímetros
W	Watt
°C	Grados Celsius
<i>m</i>	Metro
s	Segundos
K	Grados Kelvin
N	Newton
<i>KJ</i>	Kilo Joules
<i>Kg</i>	Kilogramo

## SIMBOLOGÍA

$\frac{Q_t}{A}$	Pérdida de calor por unidad de área [W/m <sup>2</sup> ]
$T_{ext}$	Temperatura exterior o ambiente [°C]
$T_{int}$	Temperatura en el interior de la cámara [°C]
$h_{ext}$	Coefficiente convectivo exterior [W/m <sup>2</sup> ]
$h_{int}$	Coefficiente convectivo interior [W/m <sup>2</sup> ]
$h_{rad}$	Coefficiente por radiación [W/m <sup>2</sup> K]
$L_{pe}$	Espesor de capa de pintura exterior [m]
$L_{pi}$	Espesor de capa de pintura interior [m]
$K_p$	Coefficiente conductivo de la pintura [W/mK]
$L_m$	Espesor de plancha de madera [m]
$K_m$	Coefficiente conductivo de la madera [W/mK]
$L_{esp}$	Espesor del aislante [m]
$K_{esp}$	Coefficiente conductivo del aislante [W/mK]
$R_{conv}$	Resistencia convectiva [ $\frac{W}{k}$ ]
$h$	Coefficiente convectivo [ $\frac{W}{m^2}$ ]
$A$	Área de la pared [m <sup>2</sup> ]
$T_{fext}$	Temperatura de película exterior [°K]
$T_{ext}$	Temperatura ambiente del exterior [°K]
$T_{Sext}$	Temperatura de superficie exterior [°K]
$Pr_{ext}$	Número de Prandtl del exterior
$Gr_{ext}$	Número de Grashof del exterior
$g$	Gravedad [m/s <sup>2</sup> ]
$Cp_{ext}$	Calor específico del fluido exterior
$\mu_{ext}$	Viscosidad dinámica del fluido exterior
$K_{ext}$	Coefficiente conductivo del fluido
$\beta_{ext}$	Coefficiente de expansión del fluido exterior [K <sup>-1</sup> ]
$L$	Longitud característica [m]
$\nu_{ext}$	Viscosidad cinemática del fluido exterior [m <sup>2</sup> /s]
$T_{fint}$	Temperatura de película interior [°K]
$T_{int}$	Temperatura ambiente del interior [°K]

$T_{Sint}$	Temperatura de superficie interior [°K]
$Qv$	Flujo volumétrico del ventilador [m <sup>3</sup> /s]
$A_v$	Área del ventilador [m <sup>2</sup> ]
$V_{int}$	Velocidad del aire [m/s]
$D_h$	Diámetro hidráulico [m]
$A_m$	Área mojada [m]
$P_m$	Perímetro mojado [m]
$Re_{int}$	Número de Reynolds de la cámara
$\rho_{int}$	Densidad del fluido al interior de la cámara [Kg/m <sup>3</sup> ]
$V_{int}$	Velocidad del fluido al interior de la cámara [m/s]
$U_{int}$	Viscosidad dinámica del fluido al interior de la cámara [ N*s/m <sup>2</sup> ]
$D_h$	Diámetro hidráulico de la cámara [ m]
$\epsilon$	Emisividad de la pintura
$\sigma$	Constante de Boltzmann, cuyo valor es de $5.67*10^{-8}$ [W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ]
$Q_{producto}$	Calor removido [kJ]
$m$	Masa del producto [kg]
$C_p$	Calor específico del producto por encima de la congelación [kJ/(kg.K)]
$T_{ext}$	Temperatura ambiente del exterior [°K]
$T_{int}$	Temperatura del interior [°K]
$A$	Área de la puerta [m <sup>2</sup> ]
$t_{apertura}$	Tiempo de apertura [min]
$h_i$	Entalpía del aire de infiltración [kJ/kg]
$h_r$	Entalpía del aire refrigerado [kJ/kg]
$\rho_i$	Densidad del aire de infiltración [kg/m <sup>3</sup> ]
$H$	Altura de la puerta [m]
$X$	Porcentaje de calor de transmisión bloqueado
$\Delta T$	Diferencia entre la temperatura ambiente y la interior [°C]
$A_t$	Área de la superficie total [m <sup>2</sup> ]
$h$	Coefficiente de convección [W/m <sup>2</sup> K]
$\eta_o$	Eficiencia del arreglo de aletas
$N$	Número de aletas en el disipador
$A_f$	Área superficial del disipador[m <sup>2</sup> ]

$A_b$	Área primaria [m <sup>2</sup> ]
$w$	Ancho de la aleta en el disipador [m]
$L_c$	Longitud característica de las aletas [m]
$L$	Altura de la aleta [m]
$t$	Espesor de la aleta [m]
$S$	Espacio entre aletas [m]
$\eta_f$	Eficiencia de una aleta
$k_{al}$	Conductividad térmica del aluminio [W/mK]
$Q_h$	Calor disipado en la parte caliente de la Peltier [W]
$W$	Potencia requerida por la Peltier [W]
$I_{peltier}$	Corriente del Peltier [A]
$V_{peltier}$	Voltaje del Peltier [V]
$N_{peltier}$	Número de módulos Peltier
$T_{frío,peltier}$	Temperatura del lado frío del Peltier [°C]
$T_{caliente,peltier}$	Temperatura del lado caliente del Peltier [°C]

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema efecto Seebeck (Muñoz Zurdo) .....	4
Figura 1.2. Esquema de efecto Peltier (Muñoz Zurdo) .....	4
Figura 1.3. Celda Peltier esquema (Gomar, 2018) .....	6
Figura 1.4. Rango de conductividad térmica en algunos materiales a presión atmosférica y temperatura ambiente(Incropera, Fundamentals of heat and mass transfer, 2007). .....	8
Figura 2.1. Diagrama de bloques de la metodología usada (Grech, 2013). .....	10
Figura 2.2 Base de madera con pilares en “L” para alternativa 1 (propia).....	12
Figura 2.4. Ensamble completo de la alternativa 2 (propia).....	13
Figura 2.5. Base de la estructura en la alternativa 2 (propia) .....	13
Figura 2.6. Paredes interiores en la alternativa 2 (propia) .....	14
Figura 2.7. Paredes exteriores en la alternativa 2 (propia) .....	14
Figura 2.8. Ensamble completo de la alternativa 3 (propia) .....	15
Figura 2.9. Caja interior de la alternativa 3 (propia).....	15
Figura 2.10. Tablas exteriores de la alternativa 3 (propia) .....	16
Figura 2.11. Distribución de las paredes en la cámara de refrigeración termoeléctrica (propia) .....	18
Figura 2.12. Representación de las paredes en la cámara de refrigeración termoeléctrica mediante resistencias térmicas (propia).....	19
Figura 2.13. Esquema de los calores que entran y salen en la celda Peltier (propia) ...	26
Figura 3.1 Valores de corriente y voltaje de trabajo. (propia) .....	33
Figura 3.2 Curva de rendimiento para la celda Peltier (Godoy Vaca, 2016).....	34
Figura 3.3 Sensor de temperatura W1209 .....	37
Figura 3.4 Temperatura vs Tiempo en la cámara de refrigeración usando lamina de vidrio (propia).....	39
Figura 3.5 Temperatura vs Tiempo en la cámara de refrigeración usando Poliestireno expandido (propia).....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Matriz de decisión [Elaboración propia] .....	16
Tabla 2.2 Materiales para el equipo de refrigeración termoeléctrica (propia) .....	17
Tabla 2.3 Especificaciones del módulo Peltier (Heibei, 2014) .....	18
Tabla 3.1 Dimensiones de la caja interna (propia) .....	28
Tabla 3.2 Dimensiones de la caja externa (propia) .....	28
Tabla 3.3 Espesores de los aislantes (propia) .....	30
Tabla 3.4 Dimensiones de los disipadores frío y caliente (propia) .....	35
Tabla 3.5 Especificaciones técnicas del sistema de control (propia) .....	37
Tabla 3.6 Costos de fabricación (propia) .....	40

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Aislante lateral
PLANO 2	Aislante superior e inferior
PLANO 3	Disipador de calor
PLANO 4	Estructura Lateral
PLANO 5	Estructura Superior e Inferior
PLANO 6	Pared lateral interior
PLANO 7	Pared lateral exterior
PLANO 8	Pared superior e inferior exterior
PLANO 9	Pared superior e inferior interior
PLANO 10	Ventiladores
PLANO 11	Vista en extrusión del prototipo

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La refrigeración consiste en alcanzar y mantener la temperatura de una superficie (cuarto) por debajo de la temperatura de los alrededores, es decir que tiene como objetivo principal absorber el calor de un área determinada, logrando así que se disminuya la temperatura generando un confort térmico para un objeto, material o persona.

Una de las alternativas para la refrigeración es la refrigeración termoeléctrica, la cual utiliza el módulo Peltier como base de funcionamiento. Este a pesar de ser descubierto hace más de 150 años recién está teniendo una gran acogida gracias al avance tecnológico del siglo XXI pues, funciona aplicando corriente a través del módulo logrando que exista una diferencia de temperatura entre las caras opuestas de la celda Peltier.

Aunque su uso es limitado según la vida útil de la celda este tiene diversas aplicaciones tanto comerciales como industriales. sin embargo, este prototipo va orientado para estudiantes debido a que al ser un banco de pruebas su rol principal será concientizar y dar a conocer una alternativa a los sistemas de refrigeración.

### 1.1 Definición del Problema

En la rama de la ingeniería uno de los sistemas de refrigeración más estudiados es el basado en compresión de vapor debido a que presenta muchos usos. Sin embargo, a largo plazo se puede considerar dañino por liberar gases al medio ambiente. Por tal motivo, se buscan diversas alternativas como sustitutos optando así por la refrigeración termoeléctrica. Este sistema utiliza el efecto Peltier como base en su funcionamiento, siendo importante en varias aplicaciones que van desde la refrigeración de elementos electrónicos hasta refrigeradores portátiles con fines médicos. La ventaja de este sistema es que no necesita de un refrigerante ni de componentes que ocupan mucho espacio. Desde el punto de vista ambiental, al solo requerir de corriente eléctrica y menos componentes que un sistema de refrigeración convencional representa una alternativa más amigable con el medio ambiente y económica ya que es posible su funcionamiento con fuentes de energía

renovables. Para los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica es importante conocer en que consiste este sistema de manera teórica y práctica mediante el uso de un banco de pruebas.

## **1.2 Justificación del proyecto**

El laboratorio de termo fluidos de la Facultad de mecánica y ciencias de producción (FMCP) de la Escuela superior politécnica del litoral (Espol) no posee un equipo capaz de realizar dichas pruebas, lo cual sería beneficioso para este ya que, permitiría a los estudiantes entrar en contacto con un medio alternativo al sistema de refrigeración convencional permitiendo así que experimenten de primera mano su funcionamiento y les permitan analizar los componentes de este.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar, probar y construir un banco de pruebas didáctico de un sistema de refrigeración termoeléctrica para el Laboratorio de termofluidos de la ESPOL en la facultad FIMCP.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Diseñar a detalle los elementos CAD requeridos para dicho sistema.
2. Realizar un estudio económico y de viabilidad para la construcción del sistema de refrigeración.
3. Alcanzar en la cámara de refrigeración un rango de temperatura entre 5-8 grados centígrados dentro de un máximo de 120 minutos.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Refrigeración**

La refrigeración es una de las principales aplicaciones de la termodinámica, que tiene como objetivo absorber o transferir calor desde un cuarto hacia

un ambiente con temperatura superior, entre los principales ciclos más estudiados tenemos el de refrigeración por compresión de vapor, Absorción y en la actualidad una que está ganando mayor interés la refrigeración termoeléctrica (Cengel & Boles, 2012).

#### **1.4.1.1 Refrigeración termoeléctrica**

La refrigeración termoeléctrica llamada también como enfriador Peltier, es un componente electrónico basado en semiconductores que funciona como una pequeña bomba de calor. La aplicación de corriente por medio de una fuente de bajo voltaje DC ocasiona que el calor se mueva de un lado al otro del módulo, produciendo calor de un lado y frío del otro de manera simultánea. Siendo este fenómeno reversible ya que, invirtiendo la polaridad de la fuente ocasionaríamos que la cara que antes enfriaba ahora esté caliente y viceversa, es decir, un módulo Peltier se puede aplicar tanto para enfriar como calentar.

#### **1.4.2 Termoelectricidad**

La termoelectricidad es una de las ramas de la termodinámica que se superpone a la electricidad ya que, estudia la relación existente entre el calor y electricidad. Fue descubierta en el siglo XIX y su funcionamiento fue restringido en entornos controlados, sin embargo, al transcurrir el paso del tiempo se empezó a generar expectativas en el uso de este tipo de energía. Para entender el correcto funcionamiento de la termoelectricidad es necesario conocer cómo funcionan los diferentes métodos y efectos que esta posee entre los cuales consta el efecto Seebeck, Peltier, Thompson y Joule.

##### **1.4.2.1 Efecto Seebeck**

Fue descubierto en 1821 por el científico alemán Thomas Seebeck mientras realizaba experimentaciones con una lámina de cobre y otra de bismuto. Se dio cuenta que al unir los materiales en un circuito cerrado y calentar uno de estos se produciría una diferencia de tensión

entre ambos ocasionando un flujo de corriente de un extremo a otro y a su vez un cambio de temperatura entre las superficies de estos. Este efecto es inverso al Peltier. (Catalán Solsona , 2014)

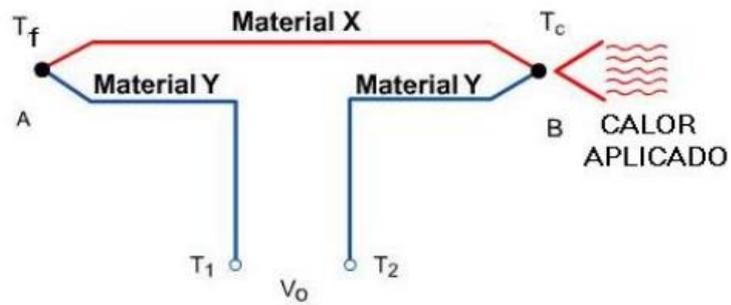


Figura 1.1. Esquema efecto Seebeck (Muñoz Zurdo).

#### 1.4.2.2 Efecto Peltier

Fue descubierto por el físico francés Jean Charles Peltier en el año de 1834 mediante realizaba sus investigaciones sobre la electricidad. Consiste en pasar corriente por un circuito compuesto de diferentes materiales cuyas uniones están en la misma temperatura ocasionando que se absorba calor de una unión y se desprenda de otra. Este fenómeno es reversible pues la absorción de calor depende de manera directa con la dirección de la corriente y el flujo de electrones tal que, si invertimos la polaridad ocasionaríamos que la cara que antes absorbía calor lo expulsa y viceversa siendo este inverso al Seebeck. (Lizárraga, 2001)

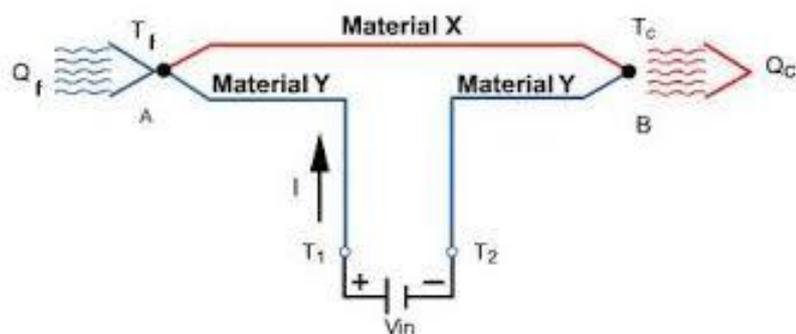


Figura 1.2. Esquema de efecto Peltier (Muñoz Zurdo).

#### **1.4.2.3 Efecto Thompson**

Fue descubierto en 1851 por William Thompson quien fue un físico y matemático británico. En sus investigaciones se determinó que, ambos efectos, tanto Seebeck como Peltier se encontraban correlacionados dando paso al descubrimiento de un nuevo efecto llamado Thompson en su honor.

Este consiste en la liberación o absorción de calor a través de un conductor homogéneo, pero a diferencia de los otros métodos este se lo puede realizar mediante la implementación de un solo material dependiendo únicamente de la dirección de la corriente y por consiguiente el gradiente de temperatura.

#### **1.4.2.4 Efecto Joule**

Fue descubierto por James Prescott Joule en el año de 1852, este método es el más conocido y fácil de identificar pues ocurre cuando una corriente circula a lo largo del conductor generando así que este cambie su temperatura. Es decir, el desprendimiento de calor provocado por el movimiento de electrones. (Rivera, 2015)

### **1.4.3 Celda Peltier**

El efecto Peltier fue descubierto hace más de 150 años, sin embargo, en la época moderna gracias al avance de la electrónica y la aplicación de materiales semiconductores ha sido posible crear un dispositivo conocido como celda Peltier capaz de aprovechar las ventajas de este efecto.

Las celdas Peltier se encuentran fabricadas por elementos semiconductores sobre una superficie cerámica. Esta celda contiene una serie de semiconductores unidos entre sí por un metal conductor que facilita la conversión de energía eléctrica a calorífica y viceversa.

Para su fabricación se utilizan dos semiconductores únicos, uno de tipo n y uno de p, porque necesitan tener densidades de electrones diferentes (Figura 1.1). Los elementos semiconductores de la celda Peltier se

encuentran, eléctricamente en serie, y en paralelo si se realiza un análisis térmico. Dichos semiconductores se unen con una placa conductora térmica por ambos lados. Al aplicar una diferencia de potencial entre los extremos libres de los semiconductores, se genera un flujo de corriente continua a través de estos causando así una diferencia de temperatura (Gomar, 2018).

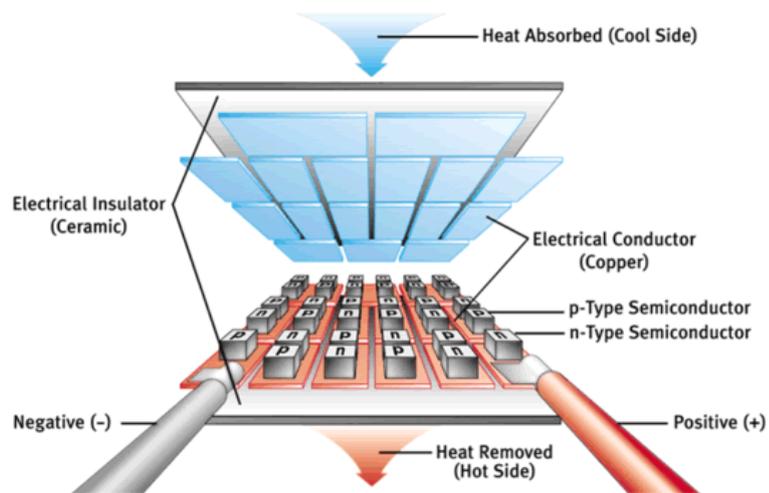


Figura 1.3. Celda Peltier esquema (Gomar, 2018)

#### 1.4.3.1 Selección de celda Peltier

En semejanza a un sistema de refrigeración convencional, al usar celdas Peltier es recomendable tener en cuenta ciertos parámetros como: Calor a absorber, diferencia de temperatura, pérdida de calor, dimensiones del sistema, entre otros.

Esto se debe a que, para poder realizar una correcta selección, se hace una comparación entre las curvas de rendimiento. Estas curvas son utilizadas mediante las relaciones existentes entre corriente, temperatura, voltaje y calor de operación del prototipo con respecto a las especificaciones máximas que indica el fabricante. Una vez encontrada tales relaciones se traza una línea de operación la cual se interceptará en un punto indicando así el rango de acción de la celda Peltier. Para obtener el calor que la celda peltier va a absorber, se

deben usar las curvas de rendimiento de dicho módulo, esto se explicará más a detalle en el capítulo 3.

Una vez escogida una celda Peltier según la gráfica, es necesario realizar una segunda revisión para saber si la selección es correcta. Esto se realiza mediante la implementación e interpretación de datos a través de software que proveen los diferentes fabricantes en sus páginas web.

#### **1.4.4 Conducción**

La conducción es un modo de transferencia de energía de partículas más energéticas de una sustancia hacia otras con menos energía debido a la interacción entre las mismas. En la conducción, la rapidez de transferencia de calor a través de un medio depende de tres factores: la geometría, su espesor y el material del que está hecho (Cengel & Ghajar , 2011).

#### **1.4.5 Conductividad térmica**

La conductividad térmica es una propiedad que permite medir la capacidad de un material para conducir calor la cual se define como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura (Cengel & Ghajar , 2011).

Valores elevados de conductividad térmica se traducen como un material conductor de calor y uno bajo como un aislante. La figura 1.5 muestra el rango de valores en las conductividades térmicas de ciertos materiales, siendo los más bajos los gases y los más altos los metales puros.

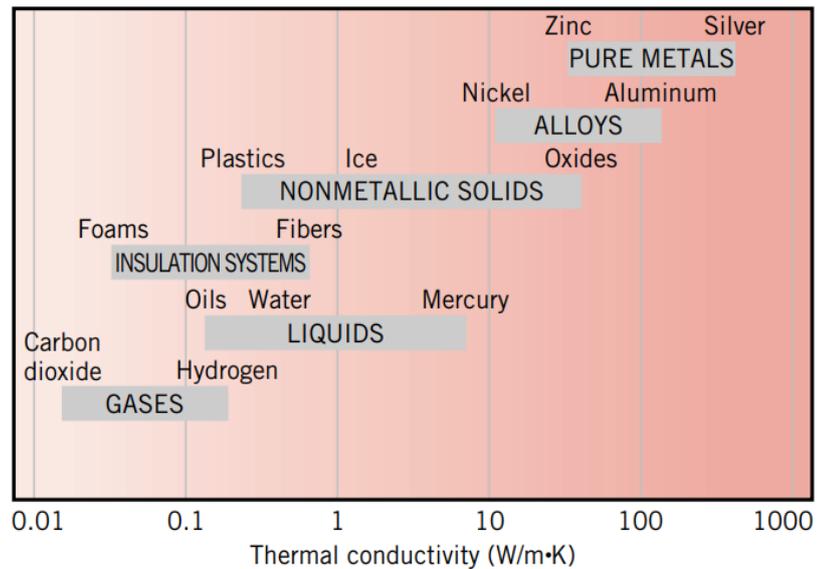


Figura 1.4. Rango de conductividad térmica en algunos materiales a presión atmosférica y temperatura ambiente (Incropera, Fundamentals of heat and mass transfer, 2007).

#### 1.4.6 Aislante Térmico

Un aislante térmico es un material que cumple con la función de disminuir la transmisión de calor entre objetos. Estos materiales se clasifican en tres tipos que van de acuerdo a la transferencia de calor por conducción, convección y radiación siendo los que más se diseñan aquellos que evitan el traspaso de calor por conducción entre materiales sólidos. El diseño de los aislantes para evitar la transmisión de calor por convección está basado en la limitación del movimiento del aire y para los de radiación se usan barreras del mismo nombre que reflejan el calor emanado (Mosquera & Valencia , 2014).

#### 1.4.7 Convección

La convección es uno de los modos de transferencia de calor en donde se ven involucrados una superficie sólida y un líquido adyacente en movimiento. Este tipo de transmisión se debe a una combinación entre los efectos de conducción y el movimiento de un fluido, mientras más velocidad adquiera el fluido, mayor será la transferencia de calor mediante convección. Si no existiera movimiento por parte del gas o fluido, solo

existiría conducción entre la superficie sólida y el gas (Cengel & Ghajar , 2011).

Existen dos tipos de convección que son natural y forzada, en la primera, el movimiento del fluido se debe a fuerzas de empuje causadas por una diferencia de densidades debido al cambio de temperatura en el fluido; en convección forzada, el fluido es obligado a subir mediante equipos externos tales como ventiladores o bombas.

#### **1.4.8 Radiación**

La radiación es la energía que emite un objeto mediante ondas electromagnéticas debido a un cambio de las configuraciones electrónicas en los átomos y moléculas. Debido a que estas partículas son aptas para propagarse en el vacío, la radiación no necesita un medio para trasladarse, siendo así el modo de transferencia de calor más rápido. Cualquier material, ya sea sólido, líquido o gas pueden emitir y absorber radiación debido a que es un fenómeno volumétrico, aunque, en el caso de los sólidos que son opacos a la radiación térmica dicho fenómeno se vuelve superficial , debido a que la radiación emitida por el interior en este tipo de material nunca llega a la superficie (Cengel & Ghajar , 2011).

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Metodología de diseño

Según ABET, el diseño de ingeniería se define como el proceso de creación de un sistema, componente o proceso que cumple con las expectativas esperadas. En dicho proceso las ciencias experimentales tales como, matemáticas y las ciencias de la ingeniería se ven envueltos para la toma de decisiones que, en ciertos casos, requiere una iteración con el fin de optimizar recursos para lograr los objetivos establecidos (Grech, 2013).

El diagrama de bloques usado para la realización del proyecto es el detallado en la figura 2.1 el cual va desde el problema hasta la documentación respectiva.

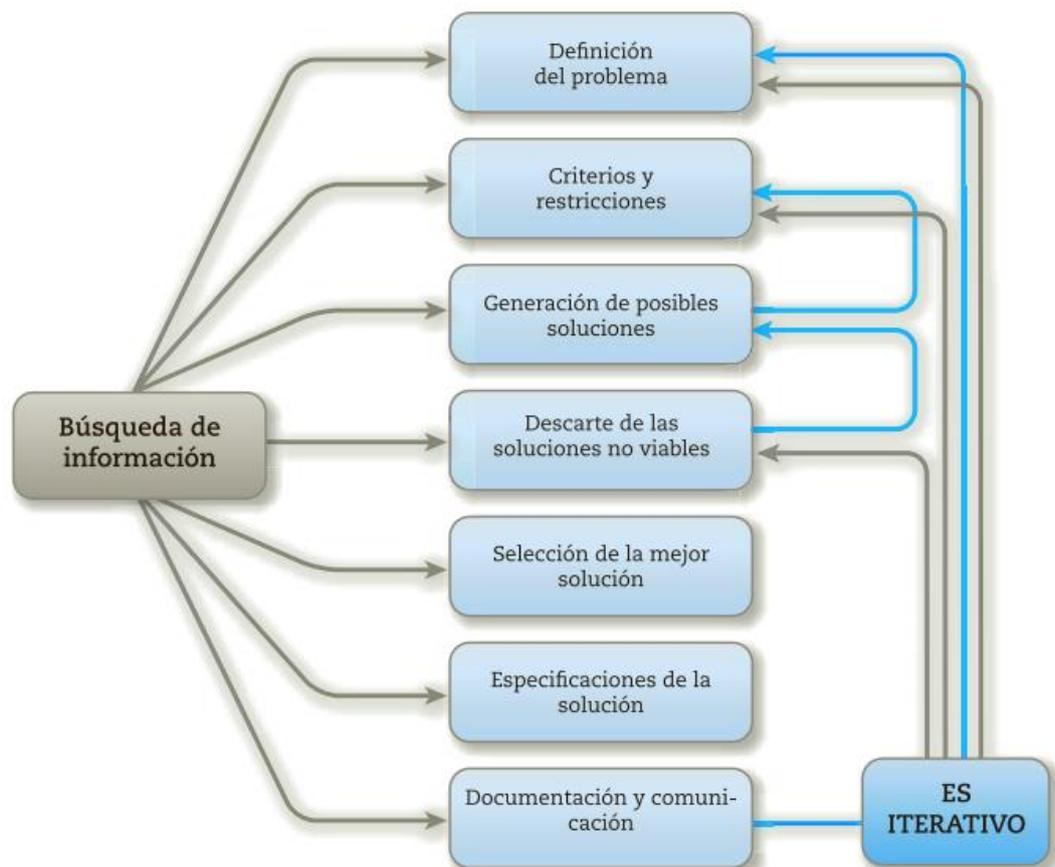


Figura 2.1. Diagrama de bloques de la metodología usada (Grech, 2013).

## **2.2 Alternativas de solución al problema**

### **2.2.1 Criterios y Restricciones**

Al ser un diseño propio se consideraron diversos factores entre los cuales destacan tamaño, peso, temperatura de cámara, tiempo de refrigeración, construcción, costos, sistema de control.

Se escogió que el tamaño de la cámara de refrigeración tenga dimensiones de 27x18x19 [cm] tal que, sea compacta y permita almacenar un volumen dentro del rango de 5-15 [L] siendo esta la capacidad mínima de las neveras pequeñas encontradas en el mercado (Núñez, 2020). Considerando también su fácil movilidad, este equipo no debe exceder los 15 [Kg] debido a que es el valor estándar para el manejo de carga entre mujeres y adultos mayores (Málaga, 2006).

El rango de temperaturas de funcionamiento de una nevera convencional varía entre 3-5 [°C] sin embargo, por consideraciones de diseño y al ser este un prototipo se escogió que el rango de acción de nuestro banco de pruebas varíe entre 5-8 [°C] para no exceder un error del 30% en sus temperaturas.

Este prototipo será utilizado en instituciones educativas, específicamente para el Laboratorio de termofluidos de la FIMCP. Por tal motivo, se limita que el tiempo promedio de operación esté dentro de los 120 [min] que duran las clases en la ESPOL.

Los materiales del diseño no deben exceder un total de \$200 pues son materiales relativamente económicos y fáciles de encontrar en el mercado ecuatoriano.

Se requiere que su construcción sea efectuada por los estudiantes de la presente titulación.

Se requiere la implementación de un sistema de control que regule la operatividad del equipo dentro de las temperaturas escogidas.

Respecto a la ubicación del módulo del Peltier con sus respectivos disipadores y ventiladores, se contempló la posibilidad de ubicarlos en la parte posterior del equipo, esto con el fin de tener un mayor y fácil acceso a la cámara de refrigeración. El tema de la fuente de alimentación con

voltaje variable de 12 V ya que una celda Peltier a usar será controla a dicha cantidad (Ferrotec, 2016).

### 2.2.2 Alternativa 1

Como primera alternativa se tiene la estructura como se ilustra en la figura 2.2, esta consta de una base sobre la cual irá sobrepuesto 4 soportes en forma de L. estos servirán para soportar dos cajas de madera interior y exterior dejando un espacio entre ellas disponible para el aislante.

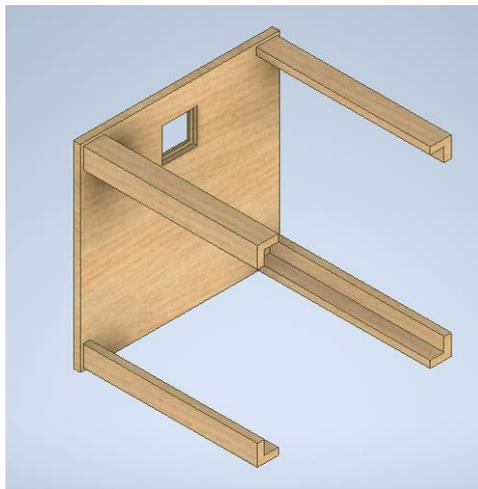


Figura 2.2 Base de madera con pilares en “L” para alternativa 1. (propia)

La caja exterior será desmontable de tal manera que facilite el intercambio del aislante a escoger figura 2.3 siendo este a su vez su limitante ya que, sin importar que tipo de aislante se escoja este deberá tener un espesor estandar para su uso.

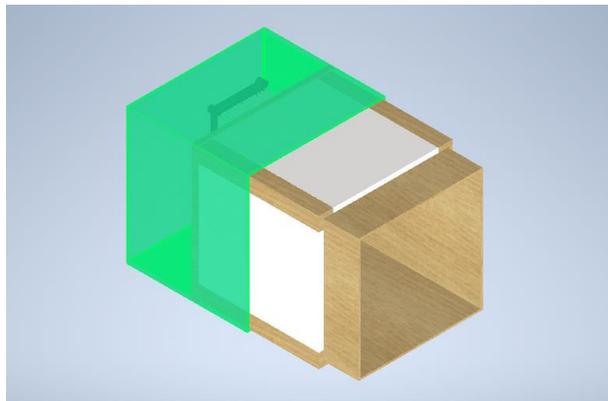


Figura 2.3. Ensamble completo de la alternativa 1. (propia)

### 2.2.3 Alternativa 2

Esta alternativa tal como se ilustra en la figura 2.4 constará de 4 piezas: Base posterior, pared interior, pared exterior y aislante.

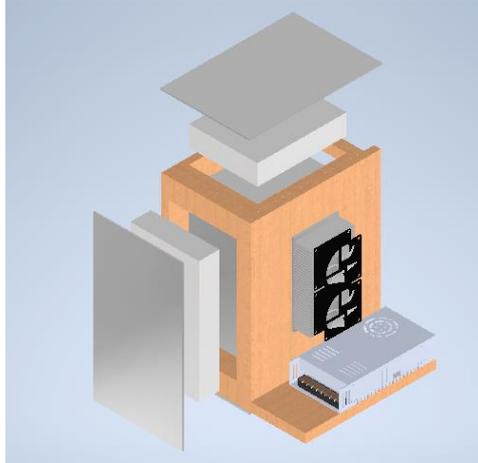


Figura 2.4. Ensamble completo de la alternativa 2. (propia)

La base del diseño constará con pequeños agujeros como ilustra la figura 2.5 de tal manera que las paredes interiores encagen en ellos a presión y mantenga la estabilidad.

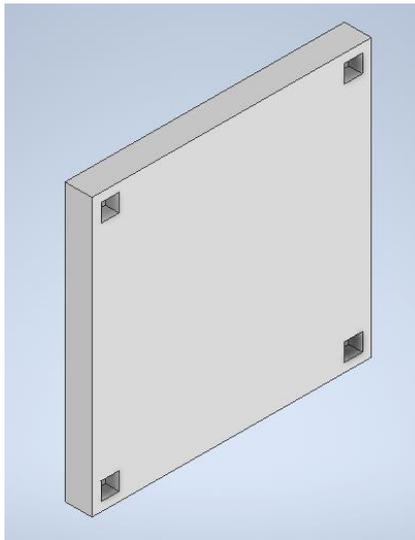
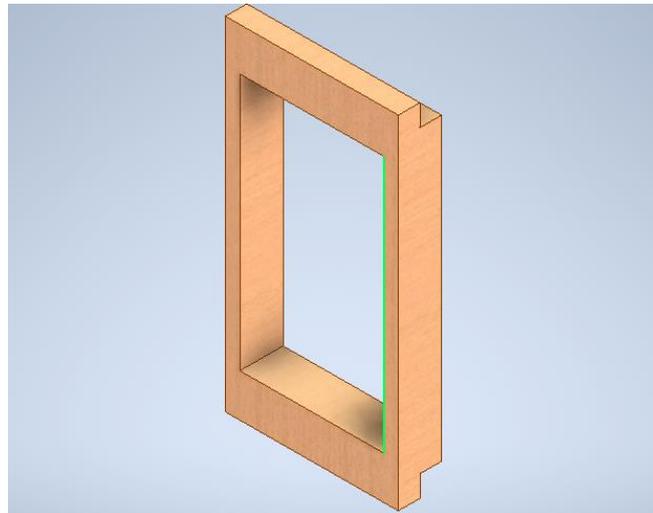


Figura 2.5. Base de la estructura en la alternativa 2. (propia)

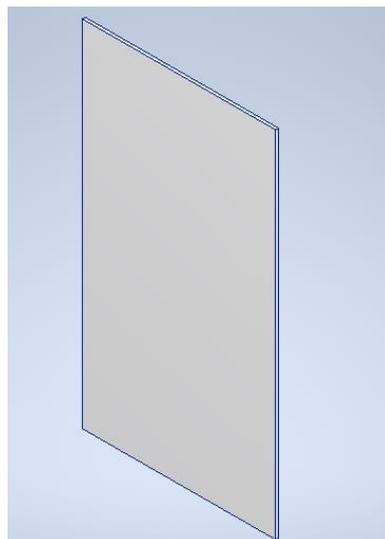
Las paredes interiores contarán con un canal sobre el cual se deberá poner el aislante, este canal tendrá un tope de alrededor de 3 mm de espesor de

tal manera que el aislante descance en el. Además, los extremos de estas tendrán un ángulo de 90° tal como muestra la figura 2.6 ta que permita la unión de varias paredes para dar forma de caja.



**Figura 2.6. Paredes interiores en la alternativa 2. (propia)**

Las paredes exteriores serán de panel de aluminio compuesto ajustando así al espesor del aislante que escojamos figura 2.7.



**Figura 2.7. Paredes exteriores en la alternativa 2. (propia)**

### **2.2.4 Alternativa 3**

La tercera alternativa consta de una caja interior de dimensiones fijas con perforaciones circulares las cuales harán la función de colocar el aislante a

presión con la ayuda de las tablas de madera exteriores como se muestra en la figura 2.8.



**Figura 2.8. Ensamble completo de la alternativa 3. (propia)**

Las perforaciones, tanto de las paredes exteriores, interiores y en el aislante es de 2 mm, serán un total de 4 agujeros en cada cara de la caja interior a excepción de la posterior debido a que en esta irá ubicado el módulo Peltier, tal como se muestra en la figura 2.9.



**Figura 2.9. Caja interior de la alternativa 3. (propia)**

La figura 2.10 muestra que las tablas exteriores tendrán unos pequeños tucos de madera con un diámetro igual al de las perforaciones de la caja

interior y aislante. Con este diseño se podrá usar cualquier material como aislante térmico sin importar que el espesor del mismo sea menor o mayor.

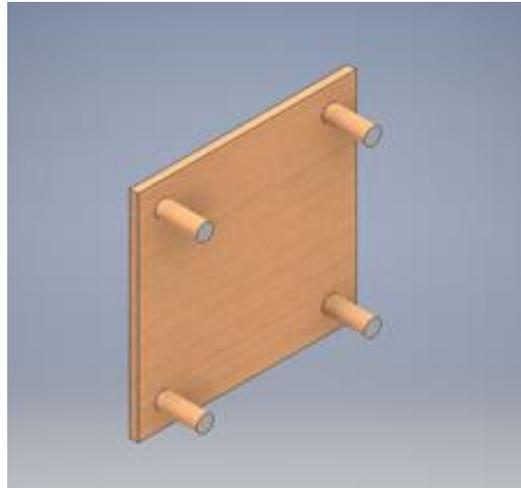


Figura 2.10. Tablas exteriores de la alternativa 3 (propia)

### 2.3 Selección de mejor alternativa

Seleccionar la mejor alternativa de entre aquellas que han sido propuestas requiere del uso de una matriz de decisión, por ende, se consideraron aquellos factores que intervienen en el diseño y construcción de esta.

A continuación, se nombran aquellos factores:

**Mantenimiento:** En el equipo se deben realizar tanto mantenimiento correctivo como preventivo en los componentes de este. Su valor de ponderación es del 20%.

**Costo:** Al ser un equipo con fines educativos, se espera que el prototipo presente un precio asequible, dando así una ponderación del 30%.

**Estética:** Factor que no es tan relevante, dándole así un valor del 10%.

**Operatividad:** Se espera que el equipo sea fácil de operar, debido a que sería utilizado en prácticas de laboratorio. Su ponderación es del 20%.

**Ensamblaje:** Este criterio hace referencia a cuán fácil será el montaje y desmontaje del equipo. Dicho factor tiene una ponderación del 20%.

Tabla 2.1 Matriz de decisión [Elaboración propia]

Ponderación	20%	30%	10%	20%	20%	100%
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	------

Factores	Mantenimiento	Costo	Estética	Operatividad	Ensamblaje	Total
Alternativa 1	7	8	8	8	8	7.8
Alternativa 2	8	7	7	9	9	8
Alternativa 3	7	8	5	6	8	7.1

La alternativa con mayor puntaje dentro de las analizadas fue la primera, la cual consistía en una celda Peltier con sus disipadores y ventiladores ubicados en la parte posterior del equipo para una mayor accesibilidad a la cámara de refrigeración permitiendo así poder separarla de la parte de sistema de control. La fuente de alimentación será una de voltaje variable de 12 V ya que las celdas Peltier seleccionadas trabajarán a esa potencia.

## 2.4 Diseño de cámara de refrigeración

### 2.4.1 Materiales de diseño

Los materiales usados para el diseño y construcción del banco de pruebas se detallan en la tabla 2.2

**Tabla 2.2 Materiales para el equipo de refrigeración termoeléctrica (propia)**

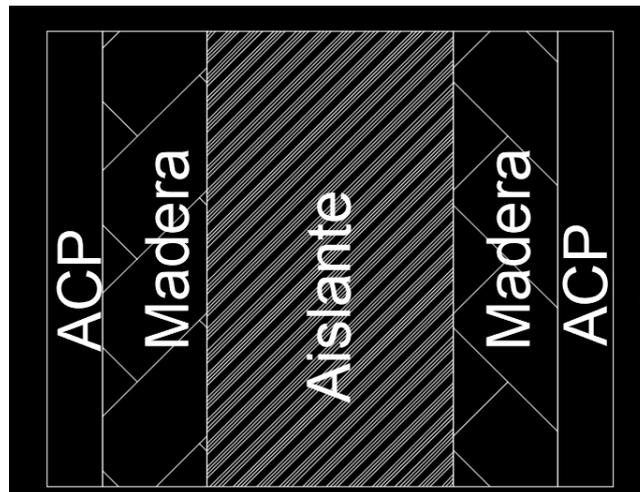
Material	Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]	Conductividad Térmica[W/mK]
Poliestireno-expandido	16	0.033
Madera	350	0.14
Panel Aluminio Compuesto (ACP)	1510	0.221
Lámina fibra de vidrio	72	0.04

La celda Peltier a usar será la TEC1-12706 cuyas especificaciones técnicas se detallan en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Especificaciones del módulo Peltier (Heibei, 2014)**

Temperatura del lado caliente [°C]	25	50
Calor máximo [W]	50	57
Diferencia de temperatura máxima	66	75
Corriente máxima [A]	6.4	6.4
Voltaje máximo [V]	14.4	14.4
Resistencia del módulo [ohms]	1.98	2.30

La pared de la cámara de refrigeración compuesta de varios materiales configurados en serie térmicamente se demuestra en la figura 2.11.



**Figura 2.11. Distribución de las paredes en la cámara de refrigeración termoeléctrica. (propia)**

#### **2.4.2 Cálculo del espesor del aislante**

Para el espesor del aislante se utilizó el método de resistencias térmicas de una pared compuestas, se tomó en consideración diversos factores que afectan de manera significativa al diseño.

En la cámara va a existir pérdidas de calor por las paredes sean estas por conducción y convección por lo cual se necesita encontrar un espesor mínimo que garantice el mínimo posible de pérdidas.

Para el análisis de conducción a través de un sólido se emplea la siguiente ecuación.

$$R_{cond} = \frac{L}{KA} \quad (2.1)$$

Para el análisis de convección entre las paredes y el aire circundante en los alrededores se utiliza:

$$R_{conv} = \frac{1}{hA} \quad (2.2)$$

Para este análisis del sistema se plantea un proceso de conducción uniforme a través de pared plana y se reconoce al sistema como una red de resistencias térmicas (la cual se detalla en la figura 2.12 actuando en serie, es decir, el flujo de calor a través de la pared se mantiene constante).

$$\frac{Q_t}{A} = \frac{T_{ext} - T_{int}}{\frac{1}{h_{ext} + h_{rad}} + \frac{L_{pe}}{K_p} + \frac{L_m}{K_m} + \frac{L_{esp}}{K_{esp}} + \frac{L_m}{K_m} + \frac{L_{pi}}{K_p} + \frac{1}{h_{int}}} \quad (2.3)$$

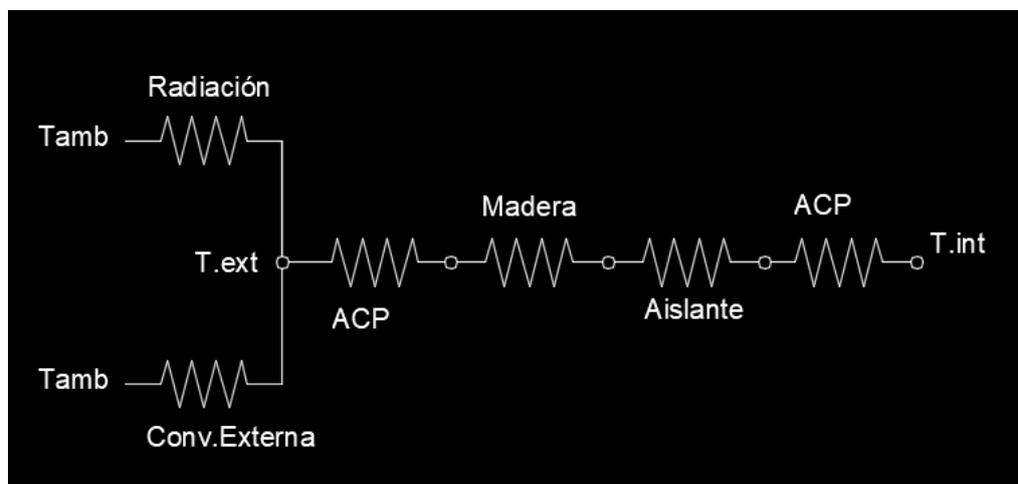


Figura 2.12. Representación de las paredes en la cámara de refrigeración termoeléctrica mediante resistencias térmicas (propia)

#### 2.4.2.1 Cálculo coeficiente externo

Para el cálculo del coeficiente convectivo externo se debió tomar en consideración la máxima temperatura presentada en el 2019 tal que, sirva como referencia para poder encontrar las diversas variables necesarias. Esta se encontró en el mes de marzo cuando llego a alcanzar un valor de 32.2°C (weather-atlas, 2019).

Además, se tiene que asumir una temperatura de superficie para la pared exterior, esta debe ser próxima a la temperatura ambiente con una leve variación en sus grados. Por lo tanto, se asumió una disminución en 2°C con respecto a la temperatura exterior es decir una temperatura de 30.2 °C.

Una vez encontradas la temperatura del ambiente y superficie exterior se emplea la ecuación 2.4 para así encontrar la temperatura de película y mediante esta se procede a encontrar las diferentes variables que nos permitirán encontrar el Nusselt y posteriormente el coeficiente convectivo externo.

$$T_{fext} = \frac{T_{ext} - T_{s ext}}{2} \quad (2.4)$$

Con la temperatura de película hallada, ahora se pueden buscar las propiedades del fluido en el exterior necesarias, con el objetivo de encontrar los diferentes números adimensionales que facilitarán los cálculos para encontrar el coeficiente convectivo.

$$Pr_{ext} = \frac{c_{p ext} * \mu_{ext}}{K_{ext}} \quad (2.5)$$

$$Gr_{ext} = \frac{g * \beta_{ext} * (T_{ext} - T_{fext}) * L^3}{\nu_{ext}^2} \quad (2.6)$$

Una vez encontrado los números adimensionales de Prandtl y Grashof estos se utilizan para encontrar otro parámetro adimensional. El número de Rayleigh, mediante la siguiente ecuación.

$$Ra_{ext} = Pr_{ext} * Gr_{ext} \quad (2.7)$$

Este sirve para lograr encontrar el respectivo número de Nusselt, este dependerá según la orientación de la pared tal como indican las siguientes ecuaciones.

- Pared horizontal ( $Nu_{Hext}$ )

Cuando  $10^4 < Ra_{ext} < 10^7$

$$Nu_{Hext} = 0.54 * Ra_{ext}^{\frac{1}{4}} \quad (2.8)$$

Cuando  $10^7 < Ra_{ext} < 10^{11}$

$$Nu_{Hext} = 0.15 * Ra_{ext}^{\frac{1}{3}} \quad (2.9)$$

- Pared vertical ( $Nu_{Vext}$ )

Flujo Laminar ( $Ra_{ext} < 10^9$ )

$$Nu_{Vext} = 0.68 + \frac{0.67 * Ra_{ext}^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr_{ext}}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \quad (2.10)$$

Flujo turbulento ( $Ra_{ext} > 10^9$ )

$$Nu_{Vext} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 * Ra_{ext}^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr_{ext}}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (2.11)$$

Una vez encontrado los respectivos valores de Nusselt, se procede a encontrar los respectivos valores de coeficiente convectivo en las diferentes paredes y orientaciones a disposición. Esto se realiza empleando la siguiente ecuación.

$$h_{ext} = \frac{Nu_{Vext} * K_{ext}}{L} \quad (2.12)$$

#### 2.4.2.2 Calculo coeficiente interno

Para el coeficiente en el interior de la cámara de refrigeración se asumió una temperatura de 5°C puesta esta es la temperatura mínima de operación de nuestro prototipo, es decir debe cumplir esta característica. Con respecto a las paredes al igual que las exteriores se asume una diferencia de temperatura con respecto al entorno.

Asumimos que las paredes se encuentran a 6 grados haciendo una diferencia de 1°C. Una vez obtenida las temperaturas entre ambiente y paredes. Se procede a encontrar la temperatura de película para posteriormente encontrar Nusselt y así el coeficiente interno. Para realizar este proceso se emplea la ecuación 2.13. Primero se procede a encontrar la temperatura de película para poder encontrar las propiedades de los fluidos circundantes. Esto se realiza empleando la siguiente ecuación.

$$T_{fint} = \frac{T_{int} - T_{sint}}{2} \quad (2.13)$$

Una vez encontrada la temperatura de película se procede a encontrar las propiedades del fluido en el interior. Se inicia encontrando la velocidad a la cual se moverá el fluido en el interior ya que en este existirá un flujo forzado debido al ventilador que dispone la cámara para redistribuir el aire. El dato de caudal se lo obtiene de la data sheet del ventilador el cual se encuentra en el apéndice sección A.

$$V_{int} = \frac{Q_v}{A_v} \quad (2.14)$$

Una vez encontrada la velocidad dentro de la cámara de refrigeración se procede a calcular el diámetro hidráulico que esta presenta empleando la siguiente ecuación.

$$D_h = \frac{4 * A_m}{P_m} \quad (2.15)$$

Una vez se ha encontrado tanto el diámetro hidráulico como la velocidad se procede a encontrar las propiedades del fluido asumiendo una temperatura. Luego se calcula el número de Reynolds aplicando la siguiente ecuación.

$$Re_{int} = \frac{\rho_{int} * V_{int} * D_h}{U_{int}} \quad (2.16)$$

Una vez encontrado el número de Reynolds, se deberá verificar que este se encuentre en régimen turbulento ya que existe convección forzada en

el interior de la cámara.

Una vez establecido esto procedemos a encontrar el Nusselt respectivo empleando la ecuación.

$$Nu_{int} = 0.023 * Re_{int}^{\frac{4}{5}} * Pr_{int}^{0.4} \quad (2.17)$$

Una vez encontrado el valor correspondiente al Nusselt, procedemos mediante la ecuación a encontrar el coeficiente convectivo del interior de la cámara.

$$h_{int} = \frac{Nu_{int} * K_{int}}{L_c} \quad (2.18)$$

#### 2.4.2.3 Cálculo del coeficiente de radiación

La radiación presente en el ambiente se la puede encontrar mediante la aplicación de la siguiente ecuación.

$$h_{rad} = \epsilon * \sigma * (T_{ext} - T_{Sext})(T_{ext}^4 - T_{Sext}^4) \quad (2.19)$$

#### 2.4.3 Cálculo de carga de productos a refrigerar

Según la normativa ASHRAE para refrigeración de productos que se encuentran en el espacio refrigerado, las cargas térmicas son (1) el calor eliminado para enfriar desde la temperatura inicial a una un poco más baja, pero por encima del punto de congelación (2) el calor eliminado para enfriar desde la temperatura inicial hasta el punto de congelación del producto (3) el calor removido para congelar el producto (4) el calor eliminado desde el punto de congelamiento hasta un punto por debajo de la temperatura de congelamiento (ASHRAE, 2010). En el caso de nuestro proyecto usamos solo el primer calor ya que el producto a refrigerar solo será aire a una

temperatura por encima de su congelación, para lo cual se usa la ecuación 2.20.

$$Q_{producto} = m * C_p * (T_{ext} - T_{int}) \quad (2.20)$$

#### 2.4.4 Cálculos de carga por transmisión

Las cargas por transmisión son aquellas producidas por las pérdidas de calor entre las paredes. Se emplea la ecuación 2.21 la cual muestra una relación entre el calor por transmisión, la diferencia de temperatura y la resistencia equivalente.

$$Q = \frac{T_{amb} - T_{int}}{R_{eq}} \quad (2.21)$$

En este prototipo a pesar de emplear un aislante y estar sellado por completo es imposible evitar esas pérdidas por lo cual se aplica la ecuación 2.3 para hallar el espesor del aislante, con este se puede obtener la resistencia equivalente en la red de resistencias térmicas y así con la ecuación 2.21 se puede hallar el calor que se transmite por las paredes (laterales, superior e inferior). La carga total por transmisión se calcula con la ecuación 2.22.

$$Q_T = 4Q_{lat} + 2Q_{sup} \quad (2.22)$$

#### 2.4.5 Cálculos de carga por infiltración

La infiltración ocurre por el cambio de diferencias de densidad del aire entre las habitaciones. En un caso típico la masa de aire que entra es igual a la masa de aire que sale menos la humedad condensada, la habitación debe estar sellada excepto en la abertura, si esto no ocurre el aire es capaz de fluir a través de la puerta. La ecuación para hallar el calor es la 2.23 (BOHN, 2005)

$$Q_{inf} = \frac{[4.88 * \sqrt{H} * (\frac{A}{2}) * t_{apertura} * \sqrt{\Delta T} * (h_i - h_r)] [1 - X]}{1/\rho_i} \quad (2.23)$$

#### 2.4.6 Cálculos de carga por equipos

Es la potencia que disipan equipos tales como motores, ventiladores, etc. Para este caso se usarán ventiladores, así que la potencia que disipan se calcula con la ecuación 2.24.

$$Q_{equipos} = N * V_{equipo} * I_{equipo} \quad (2.24)$$

#### 2.4.7 Carga térmica neta

$$Q_{neta} = (Q_{total,transmisión} + Q_{producto\ total} + Q_{inf} + Q_{equipos}) * 115\% \quad (2.25)$$

El porcentaje del 115% de la ecuación 2.25 se debe a un factor de seguridad, el cual ASHRAE recomienda que sea del 15 % para permitir posibles discrepancias entre el criterio de diseño seleccionado y su operación (ASHRAE, 2010).

#### 2.4.8 Resistencia térmica de los disipadores

Para determinar dicha propiedad, se usan las siguientes ecuaciones:

$$R_t = \frac{1}{\eta_o * h * A_t} \quad (2.26)$$

Para hallar  $A_t$  se debe usar la siguiente ecuación:

$$A_t = NA_f + A_b \quad (2.27)$$

Para hallar  $A_f$  se debe usar la siguiente ecuación:

$$A_f = 2wL_c \quad (2.28)$$

Para hallar  $L_c$  se debe usar la siguiente ecuación:

$$L_c = L + \frac{t}{2} \quad (2.29)$$

Para hallar  $A_b$  se debe usar la siguiente ecuación:

$$A_b = N * w * S \quad (2.30)$$

Para hallar  $\eta_o$  se debe usar la siguiente ecuación:

$$\eta_o = 1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) \quad (2.31)$$

Para hallar  $\eta_f$  se debe usar la siguiente ecuación:

$$\eta_f = \frac{\tanh mL_c}{mL_c} \quad (2.32)$$

Para hallar  $mL_c$  se debe usar la siguiente ecuación:

$$mL_c = \left( \frac{2h}{k_{alt}} \right)^{0.5} L_c \quad (2.33)$$

#### 2.4.9 Balance de energía en la cámara de refrigeración

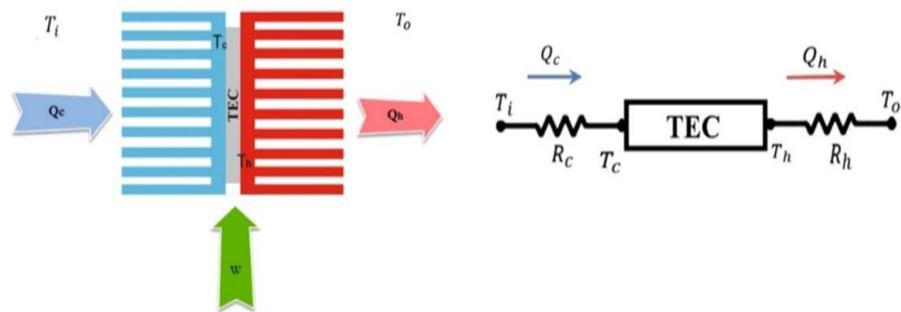


Figura 2.13. Esquema de los calores que entran y salen en la celda Peltier. (propia)

Según la figura 2.13, realizando un balance de energía tenemos que:

$$Q_{neta} + W = Q_h \quad (2.34)$$

$$W = I_{peltier} * V_{peltier} * N_{peltier} \quad (2.35)$$

Para obtener las resistencias del lado frío y caliente de la Peltier usamos las siguientes ecuaciones:

$$R_c = \frac{T_{int} - T_{frio, peltier}}{Q_{neto}} \quad (2.36)$$

$$R_h = \frac{T_{caliente, peltier} - T_{ext}}{Q_h} \quad (2.37)$$

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Resultados de la cámara de refrigeración

Aquí se tomaron en consideraciones las dimensiones del interior del producto las cuales fueron escogidas según los requerimientos del usuario.

**Tabla 3.1 Dimensiones de la caja interna (propia)**

	Valor	Unidad
Ancho	0.19	<i>m</i>
Alto	0.27	<i>m</i>
Profundidad	0.18	<i>m</i>

### 3.2 Caja externa

En este apartado se eligieron las dimensiones exteriores de la caja la cual contendrá la cámara de refrigeración y el aislante a utilizar.

**Tabla 3.2 Dimensiones de la caja externa (propia)**

	Valor	Unidad
Ancho	0.20	<i>m</i>
Alto	0.32	<i>m</i>
Profundidad	0.20	<i>m</i>

### 3.3 Convección interna

Estos valores fueron obtenidos considerando las condiciones ambientales y de trabajo a la cuales iba a ser expuesta la cámara interior del prototipo. Para esto se tomó en consideración las propiedades del fluido en el interior y empleando las ecuaciones 2.17 y 2.18 se procedieron a encontrar los valores del Nusselt y coeficiente convectivo interno respectivamente.

$$Nu_{int} = 155,019$$

$$h_{int} = 15,068 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

### 3.4 Convección externa

Al igual que la convección interna se consideró las propiedades al exterior del prototipo, tomando de referencia la temperatura más elevada que presentó la ciudad de Guayaquil en el año 2019, Así mediante el uso de las ecuaciones 2.11 y 2.12 se encontraron el número de Nusselt y coeficiente convectivo externo.

$$Nu_{V_{ext}} = 18,599$$

$$h_{ext} = 1,956 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

### 3.5 Radiación exterior equipo.

Aplicando la constante de Boltzmann y las diferencias de temperaturas que presenta la superficie exterior con la temperatura ambiente se encontró el coeficiente de radiación existente en el exterior del equipo.

$$h_{rad} = 6,010 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

### 3.6 Espesor del aislante

Según varios autores recomiendan que el flujo de calor por la conducción en las paredes debe ser de  $9.28 \frac{W}{m^2}$  para los casos de refrigeración (Melgarejo, 2000). De igual forma, las superficies de las paredes al no tener un área constante se realiza el cálculo con un área promedio, tanto para las superficies superior e inferior, así como las laterales. Dichos valores son:

$$A_{lat,int} = 0.049 [m^2]$$

$$A_{lat,ext} = 0.064 [m^2]$$

$$A_{sup,int} = 0.034 [m^2]$$

$$A_{sup,ext} = 0.043 [m^2]$$

Ahora con el uso de la ecuación 2.3 se obtienen los espesores de los aislantes laterales, superiores e inferiores con los materiales de Poliestireno expandido y lámina de fibra de vidrio cuyos valores son:

**Tabla 3.3 Espesores de los aislantes (propia)**

	Poliestireno expandido	Lámina de fibra de vidrio	Unidades
Laterales	3.2	3.6	cm
Superiores e inferiores	3.8	4.0	cm

Para la construcción de la caja se tomó el valor más alto de espesores ya que nuestro prototipo al contar con un canal en donde irá insertado el aislante, dicha profundidad será fija.

### 3.7 Cálculo de cargas térmicas

#### 3.7.1 Calor por transmisión entre las paredes

Ya con los valores de los aislantes encontrados, podemos obtener los valores de calor por transmisión en las paredes laterales, superiores e inferiores del equipo. Usando la ecuación 2.21 que relaciona la resistencia térmica equivalente con la diferencia de temperatura entre la cámara interior y el ambiente, los valores de estos calores son:

Para el Poliestireno expandido

$$Q_{lat} = 1.03 [W]$$

$$Q_{lat,total} = 1.02 * 4 = 4.14 [W]$$

$$Q_{sup} = 0.74 [W]$$

$$Q_{sup,total} = 0.32 * 2 = 1.49 [W]$$

Así con la ecuación 2.22 se obtuvo el calor total por transmisión en las paredes.

$$Q_{total,transmisión} = 5.63 [W]$$

Para lámina fibra de vidrio

$$Q_{lat} = 1.08 [W]$$

$$Q_{lat,total} = 1.08 * 4 = 4.32 [W]$$

$$Q_{sup} = 0.85[W]$$

$$Q_{sup,total} = 0.85 * 2 = 1.7 [W]$$

$$Q_{total,transmisión} = 6.02W]$$

En este caso, usamos el valor mayor para así incluir los calores totales de ambos aislantes.

### 3.7.2 Carga por producto

Se usa la ecuación 2.20 para saber la cantidad de calor necesaria para llevar el volumen de aire para refrigerar y la carga, que en este caso serán 100 ml de agua, a la temperatura deseada y a un tiempo aproximado de una hora.

$$Q_{producto\ sin\ carga} = 0.081 [W]$$

$$Q_{producto\ con\ carga} = 3.12 [W]$$

$$Q_{\text{producto total}} = 3.20 [W]$$

### 3.7.3 Carga por infiltración

La ecuación 2.23 fue usada para hallar dicha carga cuyo valor es de:

$$Q_{\text{inf}} = 0.17 [W]$$

### 3.7.4 Carga por equipos

Con la ecuación 2.24 se halló el valor de disipación producido por los dos ventiladores usados dentro de la cámara de refrigeración.

$$Q_{\text{equipos}} = 2 * 12 * 0.18 = 4.32 [W]$$

### 3.7.5 Carga térmica neta

Con los valores de cargas térmicas obtenidos, se pudo hallar la carga térmica total necesaria para la selección de las celdas Peltier. Con la ayuda de la ecuación 2.25 da un valor de:

$$Q_{\text{neto}} = (6.02 + 3.20 + 0.17 + 4.32) * 115\% = 15.77 [W]$$

## 3.8 Selección de celda Peltier

Según la tabla dada por el Data sheet encontrada en el apéndice sección A, podemos obtener el amperaje y voltaje de trabajo de nuestra celda peltier, para saber esto debemos primero trazar una línea horizontal en el calor absorbido por la celda, en nuestro caso será de 16 [W], dicho esto, ahora se traza una línea vertical para definir la diferencia de temperatura entre la cara fría y caliente, siendo dicho valor 30 [°C]. Como muestra la figura 3.1, vemos que los valores del voltaje y amperaje son de aproximadamente 10[V] y 3.8 [A] respectivamente.

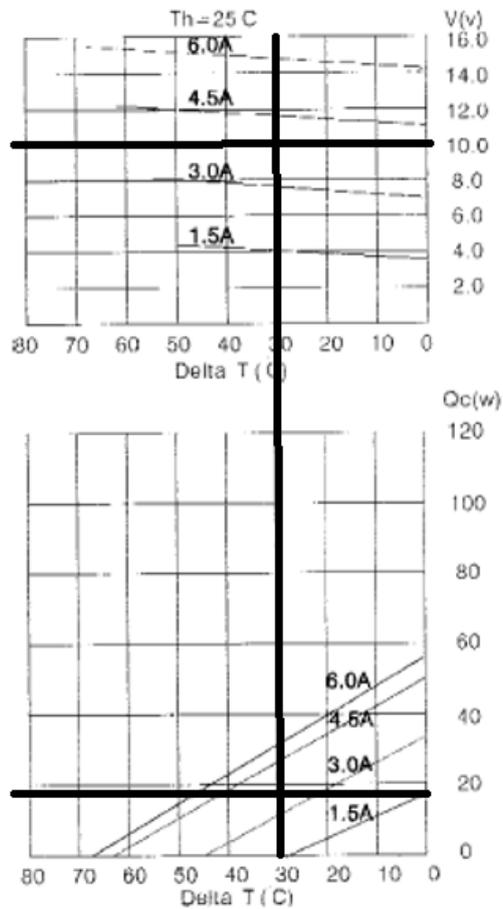


Figura 3.1 Valores de corriente y voltaje de trabajo. (propia)

Los valores máximos de voltaje, amperaje, diferencia de temperatura y calor absorbido se encuentran en las especificaciones técnicas del módulo Peltier en el apéndice sección A. Gracias a lo anterior mencionado, con la figura 3.2 que representa la curva de rendimiento de la celda Peltier, se puede obtener el calor que es capaz de absorber este elemento mediante la razón entre la corriente a usar y la máxima cuyo valor es de 0.5 y la razón entre la diferencia de temperatura deseada y la diferencia de temperatura máxima que soporta un módulo, cuyo valor es de aproximadamente 0.5, obteniendo así una razón de 0.25 entre el calor de disipación y el calor de disipación máxima de la Peltier. Con dichos valores, el calor absorbido en un solo módulo será de 12.5 [W], por lo que se debieron usar 2 módulos. El valor del calor absorbido máximo por la celda se toma del datasheet siendo de 50 [W] y este se

encuentra en la sección A del apéndice (especificaciones técnicas de la celda Peltier).

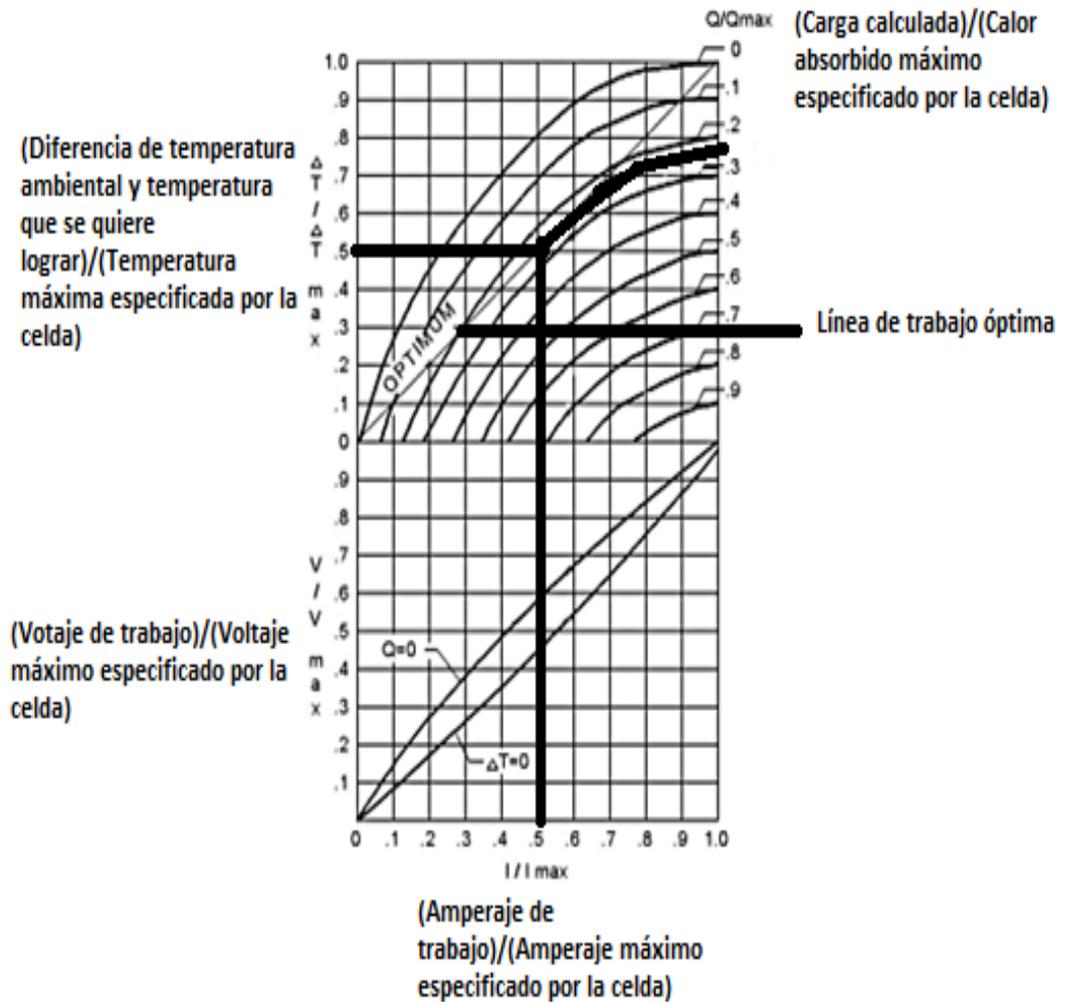


Figura 3.2 Curva de rendimiento para la celda Peltier (Godoy Vaca, 2016).

$$Q_{celda} / Q_{m\acute{a}x\ absorbido\ celda} = 0.25$$

$$Q_{celda} = 0.25 * 50 = 12.5 [W]$$

### 3.9 Resultado de disipadores

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones y propiedades del disipador usado para la cara caliente y fría del Peltier.

**Tabla 3.4 Dimensiones de los disipadores frío y caliente (propia)**

Datos del disipador frío y caliente		
Conductividad térmica del aluminio	209.3	$\frac{W}{mK}$
convección externa	1,957	$\frac{W}{m^2K}$
convección interna	15,068	
Longitud de la base	0,17	m
Anchura de la base	0,095	
Anchura de las aletas w	0,095	
Espesor de las aletas t	0,002	
Longitud de las aletas L	0,035	
Numero de aletas N	32	

Con las ecuaciones 2.32 hasta 2.26 se obtuvieron los valores necesarios para obtener la resistencia térmica de los dos disipadores, cuyos valores fueron:

$$R_{t,ext} = 2.241 \left[ \frac{K}{W} \right]$$

$$R_{t,int} = 0.28 \left[ \frac{K}{W} \right]$$

### 3.10 Balance de energía en la cámara de refrigeración

Con la ecuación 2.34 y 2.35 se pudo obtener el valor del calor disipado en la cara caliente y la potencia que requiere la celda Peltier cuyos valores fueron de 92.57 y 76.8 W respectivamente. Con estos valores y gracias a las

ecuaciones 2.36 y 2.37 se obtuvieron los valores de las resistencias térmicas que requieren las celdas Peltier, cuyos valores fueron de 0.19 para la cara caliente y 0.32 para la parte fría. Si comparamos estos datos con las resistencias de los disipadores, vemos que la selección de los mismos fue la correcta debido a que sus valores de resistencia deben ser mayores en comparación a las resistencias requeridas por las caras de la celda Peltier.

### **3.11 Sistema de control**

Para el control de nuestro equipo, se usó el módulo de sensor digital de temperatura W1209, cuya imagen se muestra en la figura 3.1.

Este sensor permitirá que el sistema (Celda Peltier y ventiladores) se apague a una temperatura de 5 [°C] y se vuelva a encender cuando este supere los 8 [°C]. El sensor funciona mediante el seteo de las temperaturas mínima y máxima de funcionamiento del prototipo ya que, presenta un relé que funciona como interruptor cortando y permitiendo el paso de corriente al sistema. Según nuestros requerimientos de diseño, se escogió un sistema de control básico de encendido/apagado de todo el sistema de refrigeración.

#### **3.11.1 Comprobación del sistema de control**

Durante la instalación del sistema de control, no se pudo esperar al ensamblaje total del equipo por tal motivo, las pruebas del sistema de control se realizaron al inicio del ensamblaje de la estructura con el propósito de revisar que este funcione de manera correcta. Esto se realizó fijando las temperaturas de operación en el sensor y mediante el uso de una cubeta con hielo se marcó la temperatura y verificó que el sensor marque su valor y se apague una vez superado el valor del set, posteriormente se retiró el sensor del hielo y se dejó al ambiente hasta que este superó su valor máximo de seteo encendiendo así todo el sistema comprobado así el correcto funcionamiento del sensor.



Figura 3.3 Sensor de temperatura W1209.

En la tabla 3.5 se detallan las especificaciones técnicas del módulo de medición de temperatura.

**Tabla 3.5 Especificaciones técnicas del sistema de control (propia)**

Rango de funcionamiento	-50 a 110	°C
Resolución	0.1	
Precisión de la medición	0.1	
Histéresis	0.1	
Frecuencia de actualización	0.5	s
Voltaje de entrada	12	V
Sensor	NTC (10k 0.5%)	

### 3.12 Pruebas con carga y sin carga

Para la elaboración del prototipo, se tomaron en cuenta los siguientes materiales: 2 celdas Peltier, 2 disipadores, madera, panel de aluminio

compuesto, sensor de temperatura, 2 ventiladores, así también la fibra de vidrio y el Poliestireno expandido como aislantes.

Para efectuar las pruebas se siguió el siguiente procedimiento:

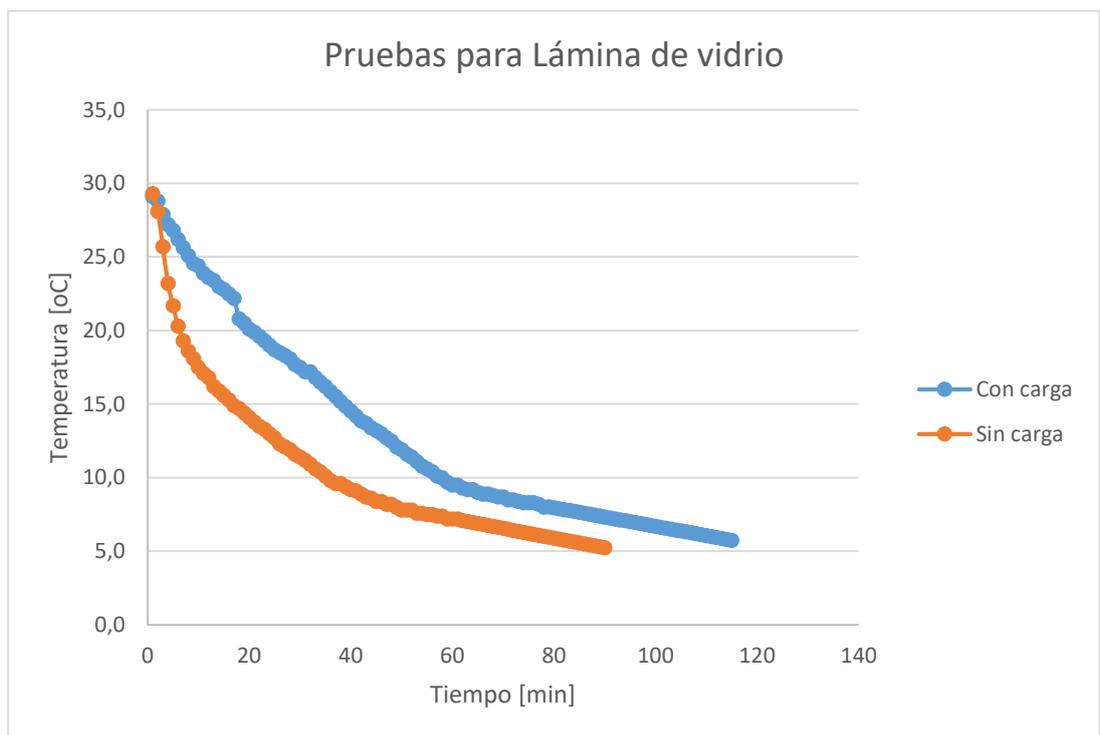
- Ensamble del equipo: se procede a unir la estructura sobre la cual irán los componentes ya mencionados.
  - Se instala el módulo Peltier con los ventiladores y disipadores en la parte posterior del prototipo.
  - Colocación del sensor de temperatura en el interior de la cámara de refrigeración
  - Se realizan las conexiones eléctricas pertinentes, tanto para la fuente conmutada como para el sistema de control.
  - Se comprueba que las conexiones son correctas encendiendo el equipo, viendo que todos los componentes se encuentren funcionando, en el caso del sistema de control se fija una temperatura por debajo a la del ambiente para saber si dicho componente cumple su función, la cual es apagar el sistema a una temperatura especificada y encenderla cuando supere el rango de acción.
  - Se instalan los aislantes en las paredes del equipo.
  - Para efectuar la prueba sin carga, solo se debe encender el equipo y setear el sistema de control a los 5 [°C] establecidos, lo único que se debe reemplazar son los aislantes para las pruebas con diferentes materiales.
  - Para efectuar la prueba con carga se ingresa un volumen de agua correspondiente a 250 [ml] a temperatura ambiente y el sensor estará ubicado en dicho producto, marcando así la temperatura a la cual se encontrará el agua.
  - Se realiza la respectiva toma de datos, tanto para pruebas con carga y sin carga con diferentes materiales aislantes.

Para las diferentes pruebas con carga y sin carga se realizaron en base a la temperatura ambiente, una vez alcanzado los 5 [°C], se procede a abrir el equipo tal que la cámara de refrigeración alcance la temperatura

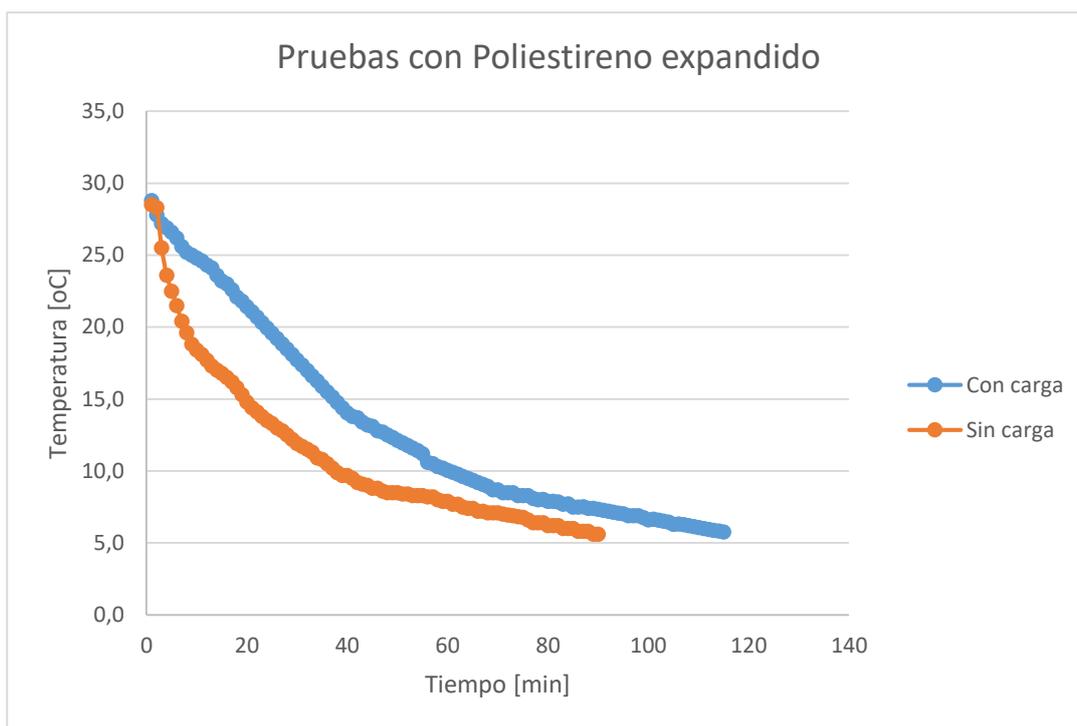
ambiente. Una vez se alcance dicho valor, se procede a ingresar un vaso con 250 [ml] de agua y así realizar la prueba con carga examinando el comportamiento y la diferencia que hay entre ambas a partir de la temperatura ambiental.

Como se observa en la gráfica 4.1 vemos que el equipo si alcanza el rango entre los 10 a 5 grados centígrados en un tiempo aproximado de 88 minutos sin carga y con carga el tiempo aumenta hasta los 115 minutos. En la gráfica 4.2 vemos que los cambios no son tan significativos entre diferentes aislantes debido a que su conductividad térmica es parecida.

En el apéndice sección C se encuentran los datos obtenidos para la realización de estas gráficas.



**Figura 3.4 Temperatura vs Tiempo en la cámara de refrigeración usando lamina de vidrio (propia)**



**Figura 3.5 Temperatura vs Tiempo en la cámara de refrigeración usando Poliéstireno expandido (propia)**

### 3.13 Análisis de costos

En la tabla 3.6 se detallan los costos en la elaboración del prototipo, cabe recalcar que los costos en la madera y el panel de aluminio compuesto se pueden reducir debido a que en el mercado no se encontraron precios para las medidas necesarias para nuestro proyecto, en cambio se realizó la compra de una plancha de medidas de 1.22\*2.44 metros, lo cual resulta excesivo para la construcción del prototipo.

**Tabla 3.6 Costos de fabricación (propia)**

Costos			
Materiales	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Celda Peltier	2	5,6	11,2
Ventiladores 3 in	4	1,9	7,6
Pasta térmica	3	2	6
Fuente conmutada	1	25	25
Disipadores	2	5	10
Sensor W1209	1	12,5	12,5

Rollo fibra de vidrio	1	3,5	3,5
Poliestireno expandido	6	0,6	3,6
Plancha madera	1	40,9	40,9
Panel de Aluminio Compuesto	1	30,5	30,5
1 metro cable	2	0,6	1,2
Tornillos 5/3	12	0,05	0,6
Estilete	1	0,5	0,5
		Total	153,1

### 3.14 Análisis de fabricación

Para la fabricación del prototipo se realizaron las siguientes actividades:

- Uso de herramientas de corte tales como taladros y caladora para realizar los cortes y cavidades donde van los aislantes.
- Uso de instrumentos como destornilladores, flexómetro, nivel para unir las piezas y para trazar las guías de referencias para los cortes respectivamente.
- Uso de elementos de fijación como tornillos, cola blanca, resina epóxica, pernos y tuercas para fijar las piezas de madera entre sí y también para sujetar el sistema de refrigeración (ventiladores, Peltier y disipadores) a la estructura de la cámara de refrigeración.

Durante el proceso de fabricación del banco de pruebas se presentaron diferentes inconvenientes tales como:

- Acabado de los cortes (no se pudo realizar un corte lineal perfecto en las cavidades debido al uso de caladora, ya que la cuchilla de esta herramienta no genera un corte preciso).
- En el ensamble del equipo, las paredes laterales no estaban completamente alineadas con la estructura, habiendo fugas del aire refrigerado debido al acabado de los cortes ya mencionados.
- El uso excesivo de tornillos no dejaba un fácil desmontaje de las paredes exteriores.

Debido a los inconvenientes ya mencionados, el resultado final de la construcción del prototipo presentaba imperfecciones por desajuste entre las

paredes y estructura del equipo, las cuales fueron solucionadas mediante la aplicación de silicona en los bordes para evitar fugas mayores en la cámara de refrigeración.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se cumple el objetivo principal del presente proyecto de titulación ya que, se logró diseñar y analizar el comportamiento de la temperatura en la cámara de refrigeración mediante prácticas, las cuales serán puestas a disposición del tutor para que sirvan como guía en una futura práctica de laboratorio.
- Al ser esto un banco de pruebas diseñado específicamente para experimentación de estudiantes, se cumple el objetivo de descender dentro del rango de temperatura indicado de 5-8 grados en un tiempo promedio aproximado de 105 [min], por lo tanto, los estudiantes serán capaces de realizar una práctica de laboratorio para entender así el funcionamiento que este sistema de refrigeración posee.
- El funcionamiento de este sistema de refrigeración depende netamente de la capacidad que este posea para conservar su temperatura. Por lo tanto, se requiere un espesor mínimo de 0.04 [m] de aislante de lámina de vidrio para que nuestro prototipo funcione correctamente.
- Se concluye que este es un prototipo de bajo costo de fabricación con un valor de \$158.7 en sus materiales siendo así de fácil acceso no solo para universidades y colegios sino para cualquier persona en general que desee adquirir el equipo y realizar experimentos con ella. Logrando así que adquiera conocimiento sobre este tipo de sistema y genera que poco a poco las personas vayan conociendo más de la refrigeración termoeléctrica.

### 4.2 Recomendaciones

- En vista que este prototipo será utilizado en prácticas de laboratorio será necesario disminuir el tiempo que a este equipo le toma alcanzar la

temperatura requerida en la experimentación por tanto se recomienda la aplicación de una celda Peltier adicional aumentando así la capacidad de remoción de calor que el equipo posee.

- Este equipo es pequeño y fácil de transportar, sin embargo, en caso de desear volverlo más ligero, se recomienda implementar materiales de poco peso como el plástico debido a que todos estos materiales se consiguen con facilidad dentro del mercado ecuatoriano.
- Se recomienda realizar los cortes de las cavidades mediante el uso de corte a laser ya que este ofrece un mejor acabado y precisión a la hora de realizar el corte cosa que el ajuste de las paredes laterales y la estructura sea preciso evitando fugas en la cámara de refrigeración y que el equipo se vea estético ya que el factor humano no se ve involucrado.
- Se recomienda el uso de un sistema de control más avanzado, que permita calcular el calor que se pierde por las paredes, además de obtener valores de corriente, voltaje y energía consumida por el sistema en tiempo real con la ayuda de un equipo de adquisición de datos.

# BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE. (2010). *ASHRAE Handbook Refrigeration* . Atlanta: ASHRAE.
- BOHN. (2005). *Manual de ingeniería* . México D.F.
- Catalán Solsona , J. A. (2014). Materiales termoelectricos, aplicaciones para la refrigeración y generación de electricidad. (*Tesis de grado*). Universidad Zaragoza, Zaragoza.
- Cengel , Y., & Ghajar , A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Santa Fe: McGraw Hill.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Ferrotec. (2016). *Thermoelectric Modules*. Bedford: RoHS.
- Godoy Vaca, L. F. (2016). *Diseño, construcción y evaluación energética de una cámara con celdas Peltier para refrigeración de vacunas*. Quito.
- Gomar, J. (16 de Octubre de 2018). *Que es la célula Peltier y cómo funciona*. Obtenido de profesionalreview: <https://www.profesionalreview.com/2018/10/16/que-celula-peltier/>
- Grech, P. (2013). *Introducción a la Ingeniería* . Bogotá: Pearson.
- Heibei. (2014). *Peltiermodules* .
- Incropera, F. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer*. United States of America: John Wiley & Sons.
- Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México: Pearson.
- Lizárraga, W. B. (28 de Septiembre de 2001). *Efecto Peltier*. Obtenido de cetronic: <http://descargas.cetronic.es/EstudioPeltier.pdf>
- Málaga, U. d. (2006). *Manipulación Manual de Cargas*. Málaga: Sepruma.
- Melgarejo. (2000). *Análisis de transferencia de calor de un material para aislamiento térmico*. Cali.
- Mosquera , I., & Valencia , J. (2014). *Análisis de transferencia de calor de un material para aislamiento térmico de bebidas refrigeradas en envases o en empaques cilíndricos*. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Muñoz Zurdo, R. (s.f.). *Diseño de un sistema termoeléctrico aprovechando características geotérmicas*. *Tesis de grado*. Universidad politecnica de Cataluña, Cataluña.

Núñez, A. (24 de Marzo de 2020). *TicBeat*. Obtenido de <https://www.ticbeat.com/salud/como-saber-temperatura-perfecta-congelador-nevera/>

propia, E. (s.f.).

Rivera, N. (24 de Mayo de 2015). *Qué es el efecto Joule y por qué se ha convertido en algo trascendental para nuestras vidas*. Obtenido de Hipertextual: <https://hipertextual.com/2015/05/efecto-joule>

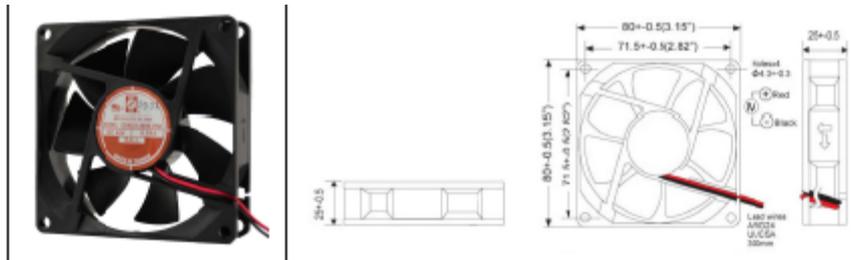
Solís, C. (2005). *Características del Poliestireno Expandido*. KNAUF Miret.

weather-atlas. (2019). *weather-atlas*. Obtenido de El mes más calido 2019: <https://www.weather-atlas.com/es/ecuador/guayaquil-clima#:~:text=El%20mes%20m%C3%A1s%20c%C3%A1lido%20>

# APÉNDICES

# Apéndice A (Datasheets)

## Especificaciones técnicas del ventilador



Frame	PBT, UL94 V-0 plastic	<b>Operating Temperature</b> -15°C ~ +65°C	
Impeller	PBT, UL94 V-0 plastic	<b>Storage Temperature</b> -25°C ~ +70°C	
Connection	2x lead wires 24 AWG	<b>Life Expectancy</b> 60,000 hours (L10 at 45°C)	
Motor	Brushless DC, Auto Restart, Polarity Protected, Electronically Protected, IP68	<b>Available Options</b> Tachometer Alarm PWM 5V Available	
Bearing System	Dual Ball Bearings	Weight: 0.19 lbs n0	
Dielectric Strength	500VAC/min		
Insulation Resistance	10M ohm between leadwires and frame (500 VDC)		

Part Number	Rated Voltage	Input Power	Rated Current	Rated Speed (RPM)	Airflow (CFM)	Noise Level (dB)	Max. Static Pressure
OD8025-12HHBP68	12 VDC	2.2 W	0.18 A	3800	48	35	0.26" $H_2O$
OD8025-12HBFP68	12 VDC	2.2 W	0.18 A	3300	40	33	0.23" $H_2O$
OD8025-12MBFP68	12 VDC	1.8 W	0.15 A	2700	32	28	0.16" $H_2O$
OD8025-12LBFP68	12 VDC	1.4 W	0.12 A	2000	22	21	0.10" $H_2O$
OD8025-24HHBP68	24 VDC	2.9 W	0.20 A	3800	48	35	0.26" $H_2O$
OD8025-24HBFP68	24 VDC	2.9 W	0.12 A	3300	40	33	0.23" $H_2O$
OD8025-24MBFP68	24 VDC	2.4 W	0.10 A	2700	32	28	0.16" $H_2O$

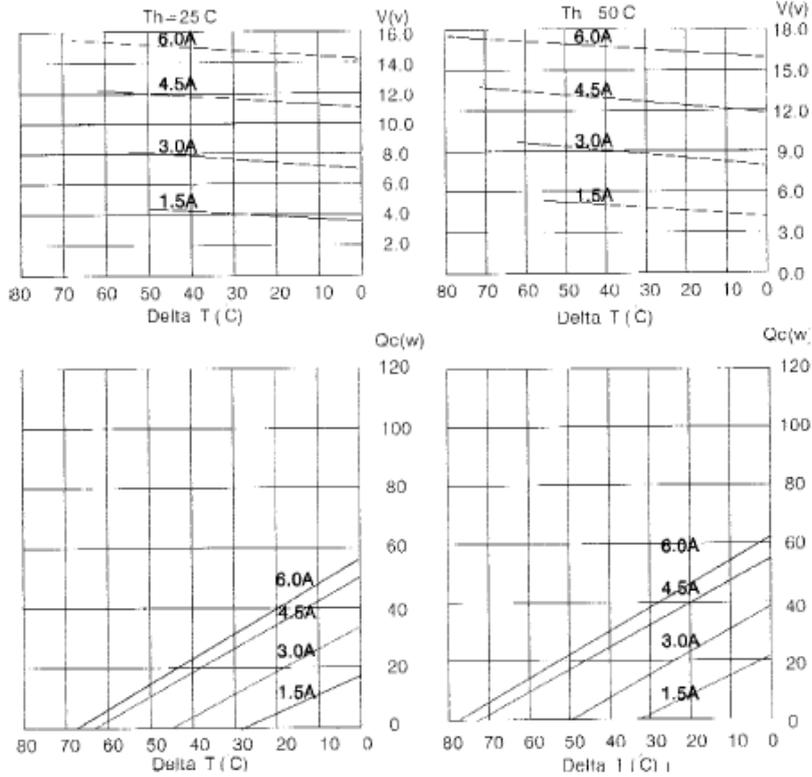
# Especificaciones técnicas del módulo Peltier

## Performance Specifications

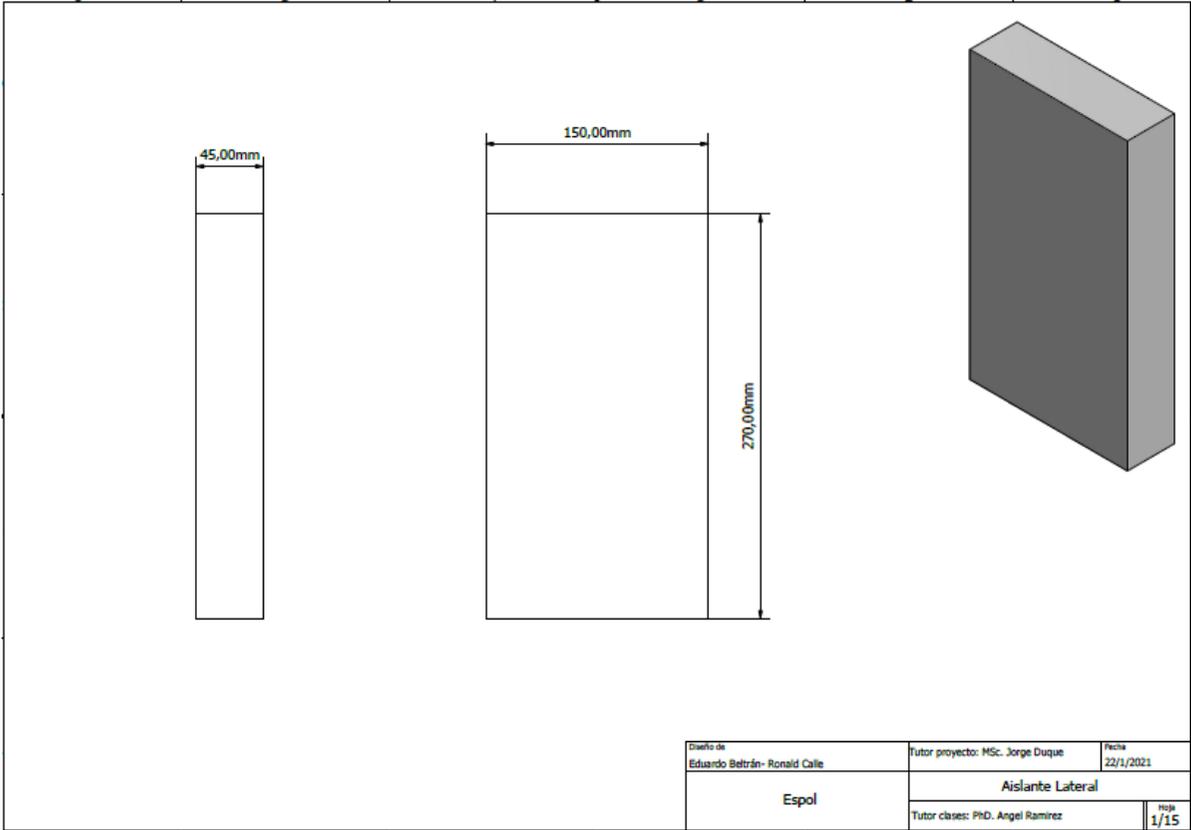
Hot Side Temperature (° C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (° C)	66	75
I <sub>max</sub> (Amps)	6.4	6.4
V <sub>max</sub> (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30



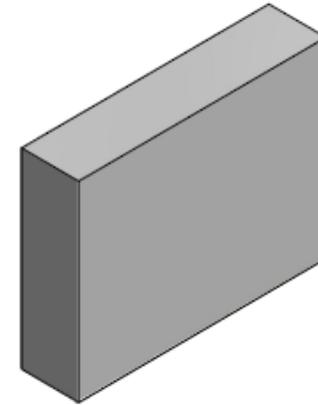
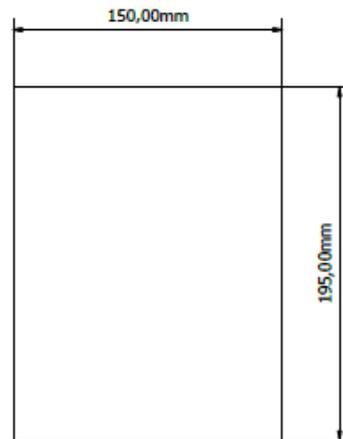
Performance curves:



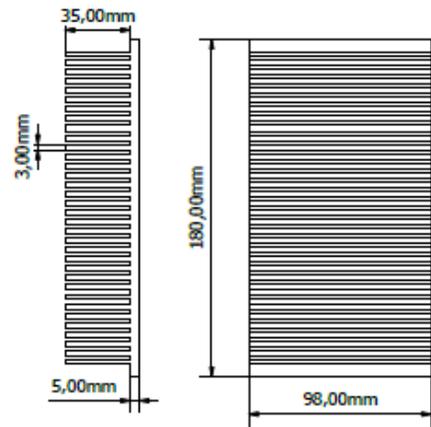
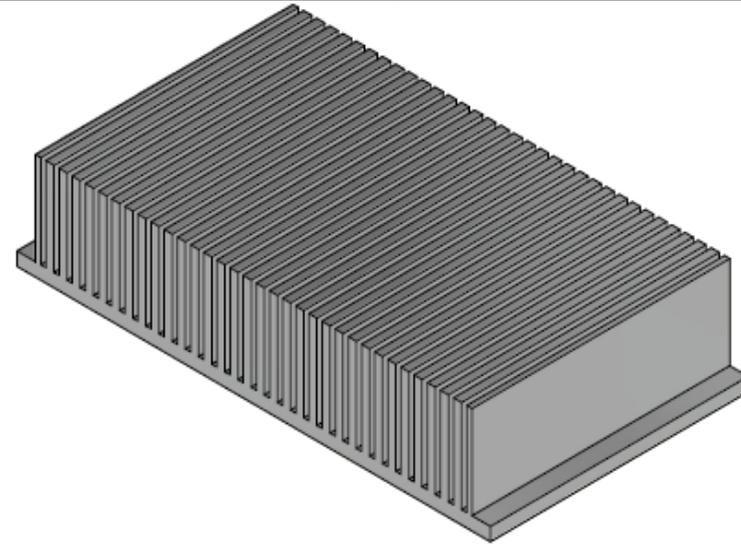
# Apéndice B (Planos)



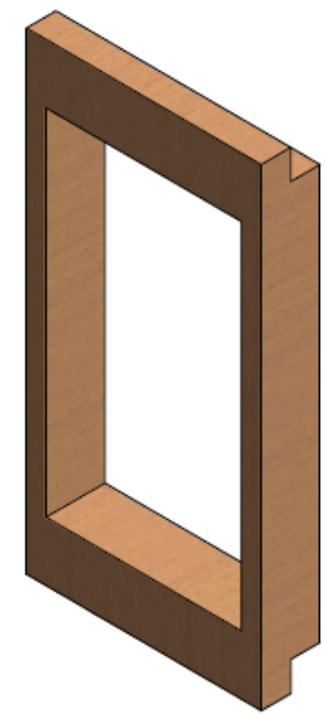
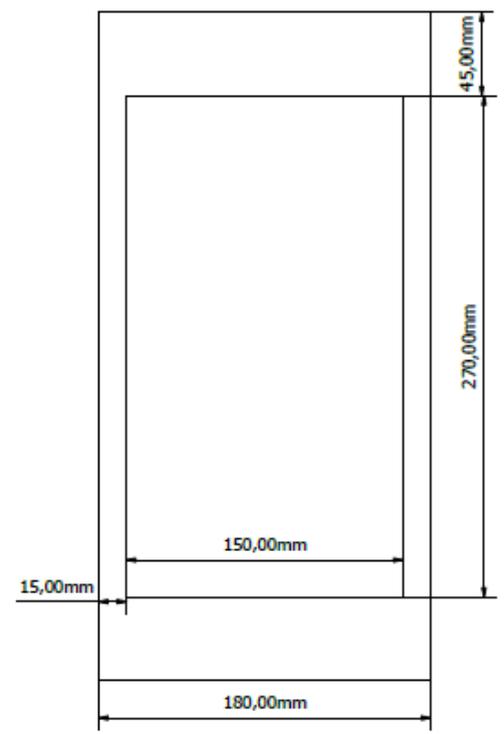
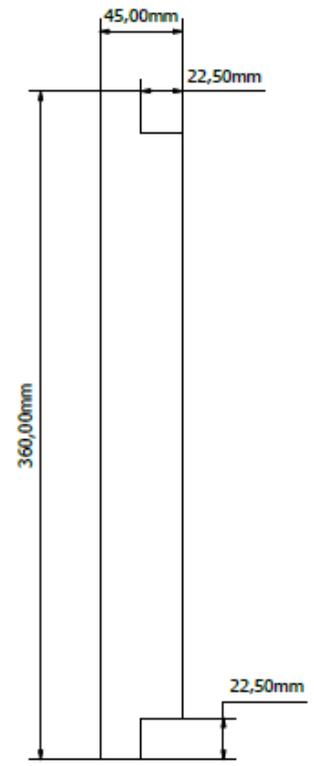
Diseño de Eduardo Beltrán- Ronald Calle	Tutor proyecto: MSc. Jorge Duque	Fecha 22/1/2021
Espol	Aislante Lateral	
	Tutor clases: Ph.D. Angel Ramirez	Hoja 1/15



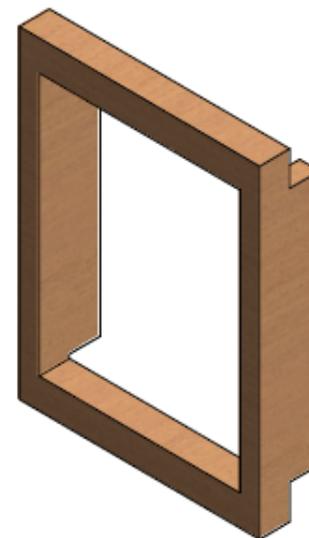
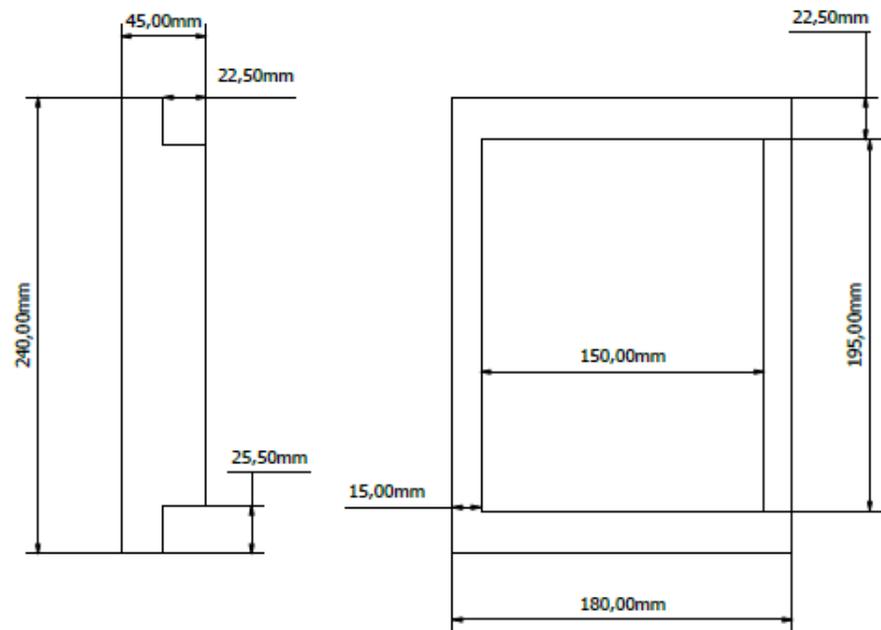
Diseño de Eduardo Beltrán- Ronald Calle	Tutor proyecto: MSc. Jorge Duque	Fecha 22/1/2021
Espol	Aislante Sup-Inf	
	Tutor clases: Ph.D. Angel Ramirez	Hoja 2



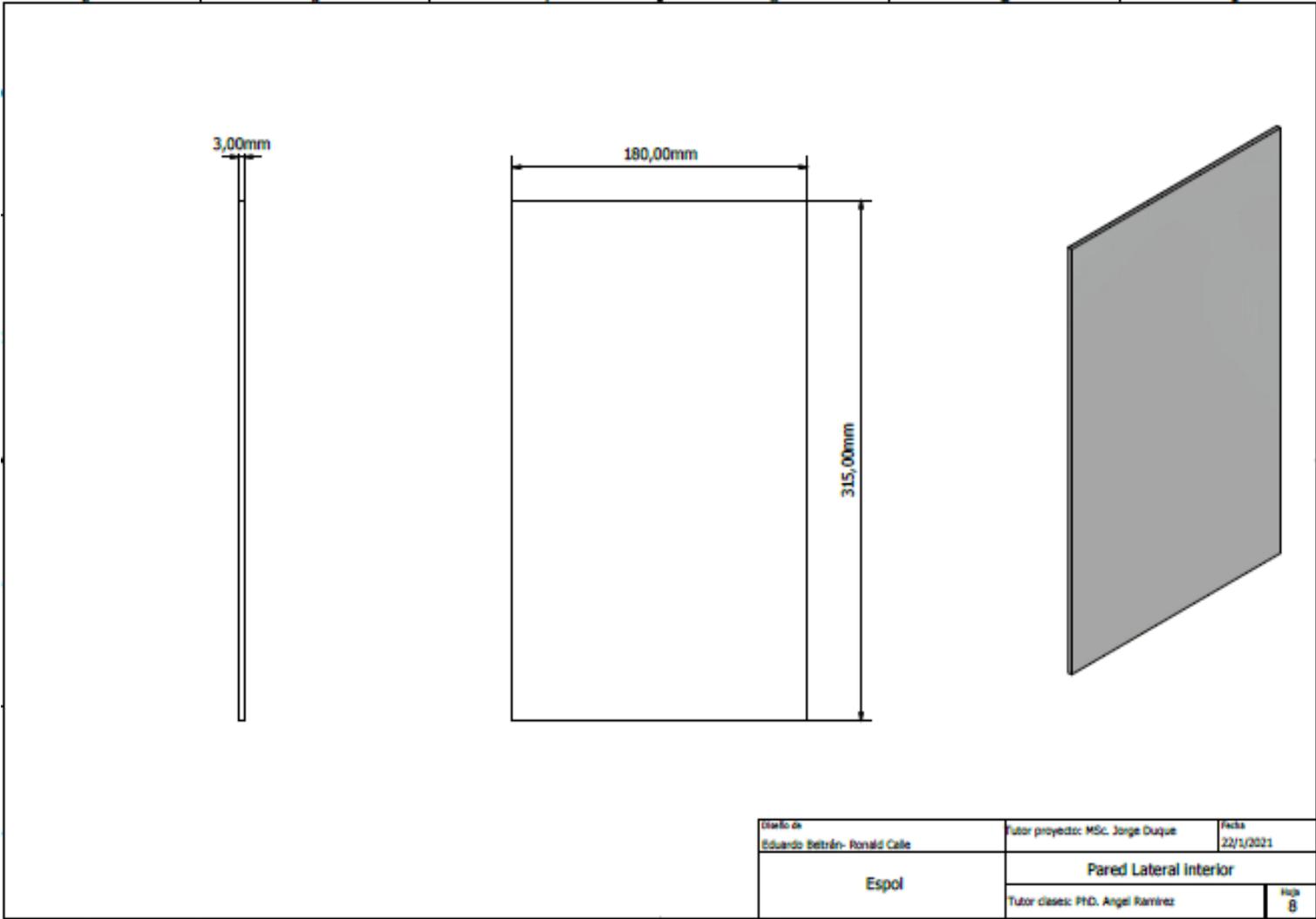
Diseño de Eduardo Beltrán- Ronald Calle	Tutor proyecto: MSc. Jorge Duque	Fecha 22/1/2021
Espol	Disipador de calor	
	Tutor clases: PhD. Angel Ramirez	Hoja 3



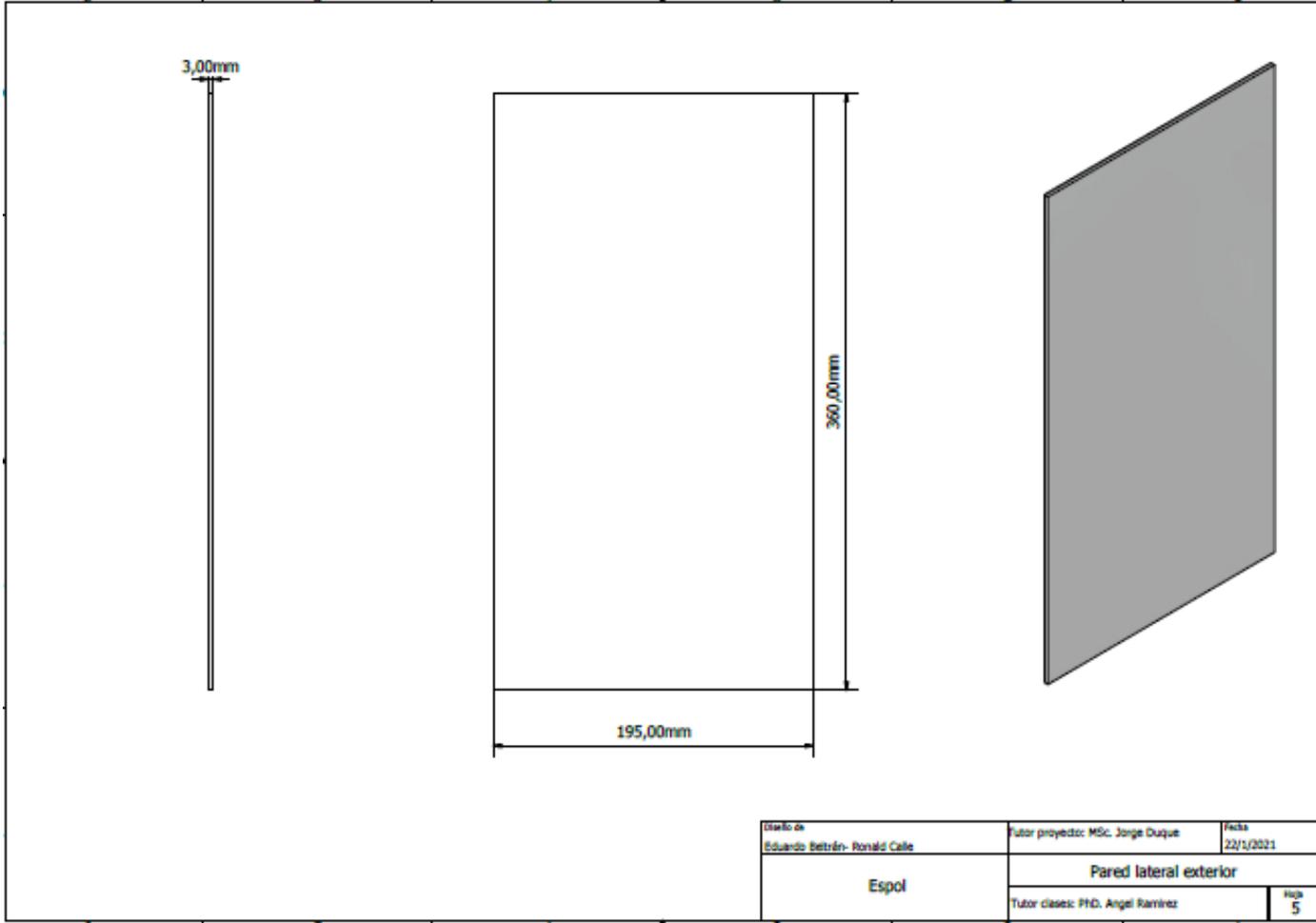
Diseño de Eduardo Beltrán- Ronald Calle	Tutor proyecto: MSc. Jorge Duque	Fecha 22/1/2021
Espol	<b>Estructura Lateral</b>	
	Tutor clases: Ph.D. Angel Ramirez	Hoja 7

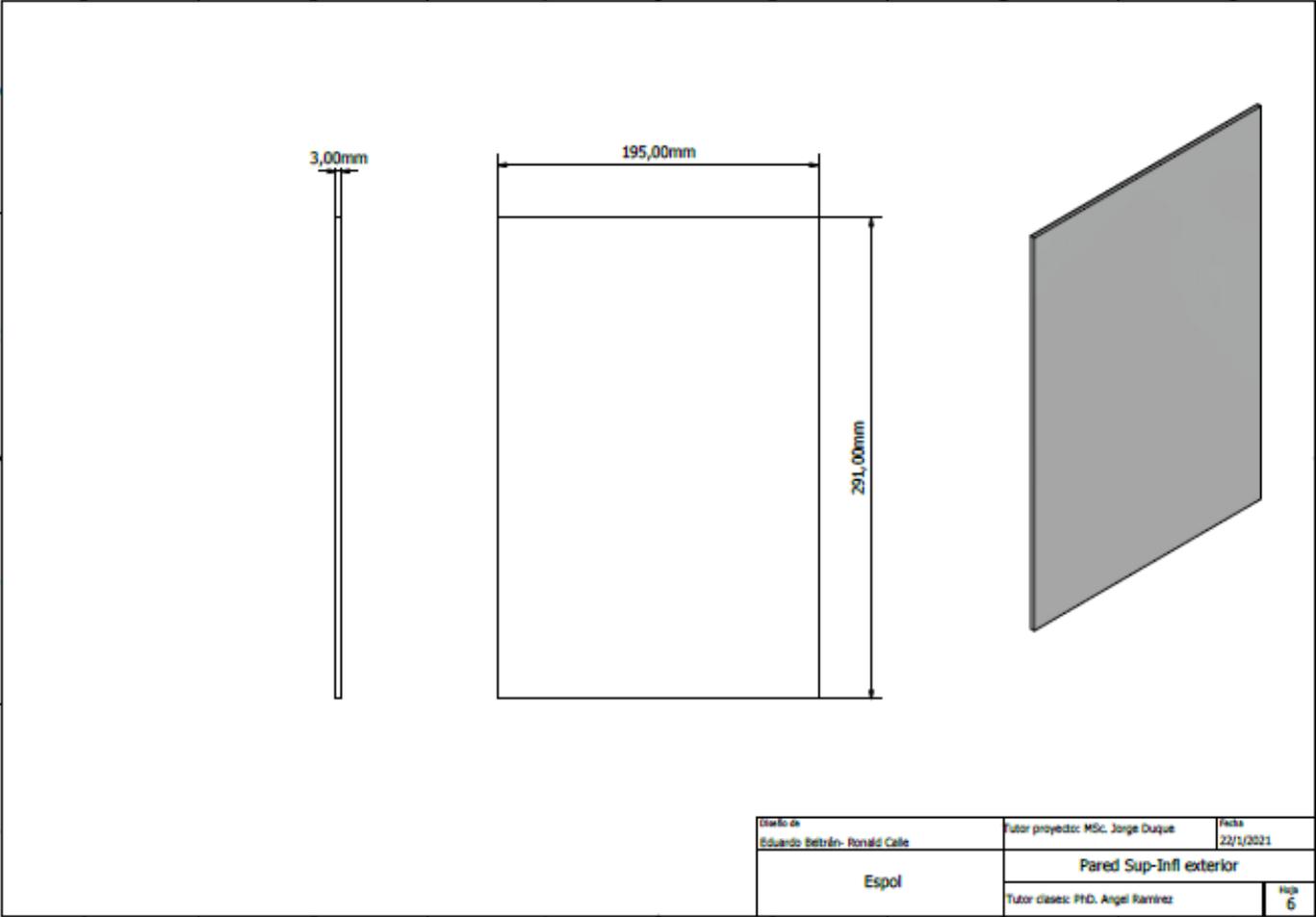


Diseño de Eduardo Beltrán- Ronald Calle	Tutor proyecto: MSc. Jorge Duque	Fecha 22/1/2021
Espol	Estructura Sup-Inf	
	Tutor clases: PHD. Angel Ramirez	Hoja 10

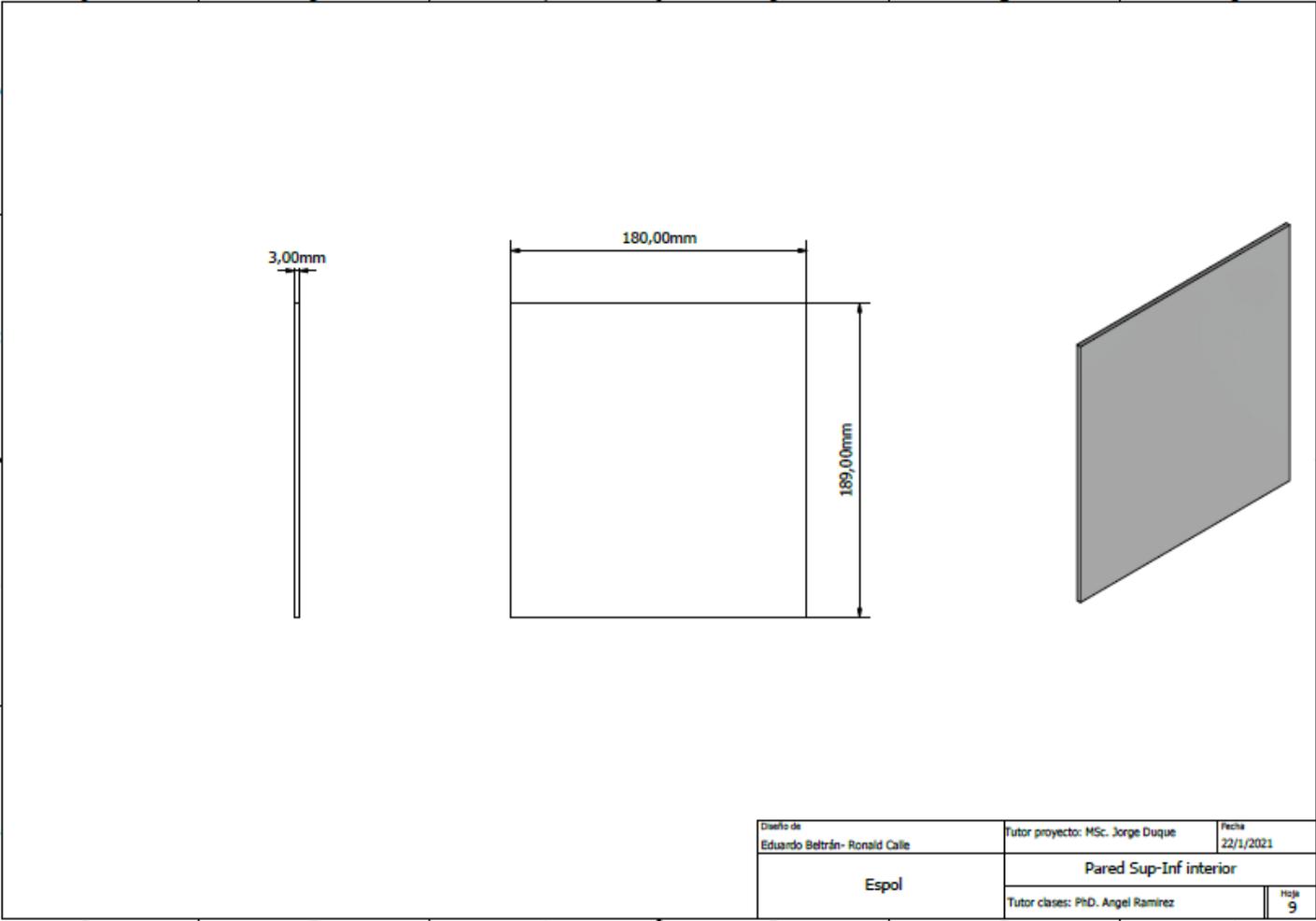


Diseño de Eduardo Betrán- Ronald Calle	Tutor proyecto: MSc. Jorge Duque	Fecha 22/1/2021
Espol	Pared Lateral Interior	
	Tutor clases: PhD. Angel Ramirez	Hoja 8

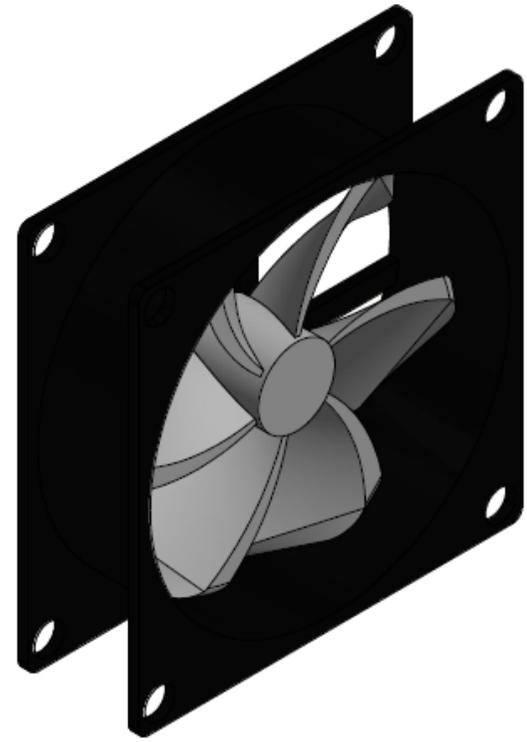
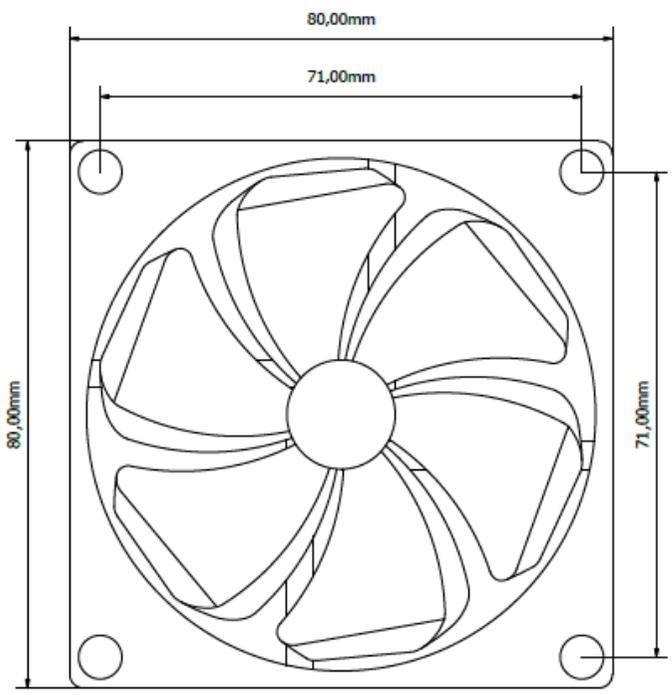




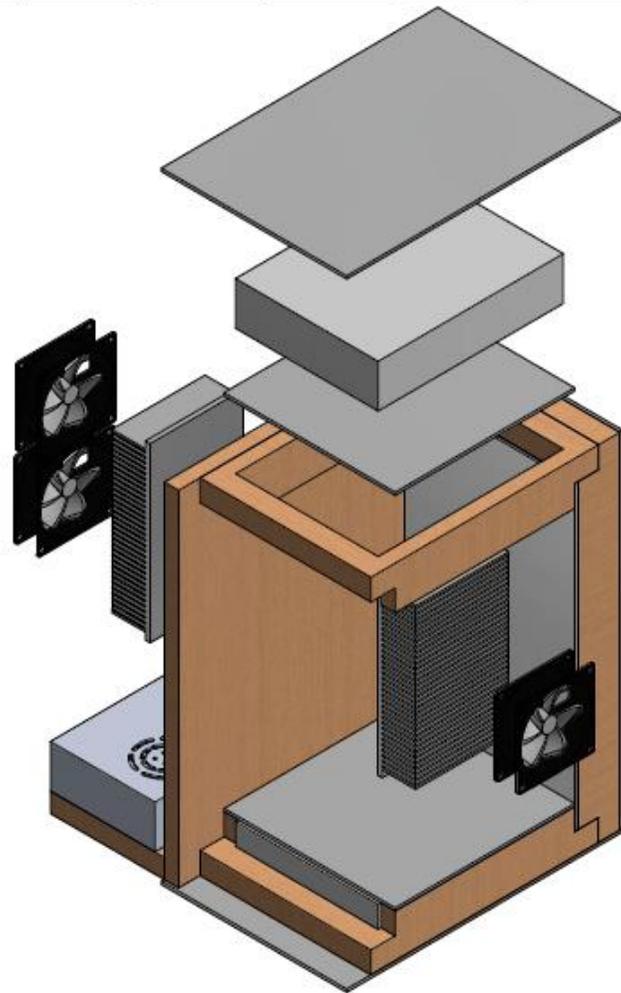
Diseño de Eduardo Betrán- Ronald Calle	Tutor proyectos: MSc. Jorge Duque	Fecha 22/1/2021
Espol	Pared Sup-Inf exterior	
	Tutor clases: PhD. Angel Ramirez	Hoja 6



Diseño de Eduardo Beltrán- Ronald Calle	Tutor proyecto: MSc. Jorge Duque	Fecha 22/1/2021
Espol	Pared Sup-Inf interior	
	Tutor clases: Ph.D. Angel Ramirez	Hoja 9



Diseño de Eduardo Beltrán- Ronald Calle	Tutor proyecto: MSc. Jorge Duque	Fecha 22/1/2021
Espol	Ventilador	
	Tutor clases: Ph.D. Angel Ramirez	Hoja 11



Diseño de Eduardo Beltrán- Ronald Calle	Tutor proyector: MSc. Jorge Duque	Fecha 22/1/2021
Espol	Vista en estrución del prototipo armado	
	Tutor clases: PhD. Angel Ramirez	Hoja 12

## Apéndice C (Datos)

Prueba sin carga (Lámina de vidrio)					
Tiempo (min)	Temperatura (oC)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Módulos Peltier	Potencia consumida (W)
1	29,3	3,2	12	2	76,8
2	28,1	3,2	12	2	76,8
3	25,7	3,2	12	2	76,8
4	23,2	3,2	12	2	76,8
5	21,7	3,2	12	2	76,8
6	20,3	3,2	12	2	76,8
7	19,3	3,2	12	2	76,8
8	18,6	3,2	12	2	76,8
9	18,1	3,2	12	2	76,8
10	17,5	3,2	12	2	76,8
11	17,1	3,2	12	2	76,8
12	16,8	3,2	12	2	76,8
13	16,2	3,2	12	2	76,8
14	15,9	3,2	12	2	76,8
15	15,6	3,2	12	2	76,8
16	15,3	3,2	12	2	76,8
17	14,9	3,2	12	2	76,8
18	14,7	3,2	12	2	76,8
19	14,4	3,2	12	2	76,8
20	14,1	3,2	12	2	76,8
21	13,8	3,2	12	2	76,8
22	13,5	3,2	12	2	76,8
23	13,3	3,2	12	2	76,8
24	13	3,2	12	2	76,8
25	12,7	3,2	12	2	76,8
26	12,3	3,2	12	2	76,8
27	12,1	3,2	12	2	76,8
28	11,9	3,2	12	2	76,8
29	11,6	3,2	12	2	76,8
30	11,4	3,2	12	2	76,8
31	11,2	3,2	12	2	76,8
32	10,9	3,2	12	2	76,8
33	10,6	3,2	12	2	76,8
34	10,4	3,2	12	2	76,8
35	10,1	3,2	12	2	76,8
36	9,8	3,2	12	2	76,8
37	9,6	3,2	12	2	76,8
38	9,6	3,2	12	2	76,8

39	9,4	3,2	12	2	76,8
40	9,2	3,2	12	2	76,8
41	9,1	3,2	12	2	76,8
42	8,9	3,2	12	2	76,8
43	8,7	3,2	12	2	76,8
44	8,6	3,2	12	2	76,8
45	8,4	3,2	12	2	76,8
46	8,4	3,2	12	2	76,8
47	8,2	3,2	12	2	76,8
48	8,2	3,2	12	2	76,8
49	8	3,2	12	2	76,8
50	7,8	3,2	12	2	76,8
51	7,8	3,2	12	2	76,8
52	7,8	3,2	12	2	76,8
53	7,6	3,2	12	2	76,8
54	7,6	3,2	12	2	76,8
55	7,5	3,2	12	2	76,8
56	7,5	3,2	12	2	76,8
57	7,4	3,2	12	2	76,8
58	7,4	3,2	12	2	76,8
59	7,2	3,2	12	2	76,8
60	7,2	3,2	12	2	76,8
61	7,2	3,2	12	2	76,8
62	7,1	3,2	12	2	76,8
63	7,0	3,2	12	2	76,8
64	7,0	3,2	12	2	76,8
65	6,9	3,2	12	2	76,8
66	6,8	3,2	12	2	76,8
67	6,8	3,2	12	2	76,8
68	6,7	3,2	12	2	76,8
69	6,6	3,2	12	2	76,8
70	6,6	3,2	12	2	76,8
71	6,5	3,2	12	2	76,8
72	6,4	3,2	12	2	76,8
73	6,4	3,2	12	2	76,8
74	6,3	3,2	12	2	76,8
75	6,2	3,2	12	2	76,8
76	6,2	3,2	12	2	76,8
77	6,1	3,2	12	2	76,8
78	6,0	3,2	12	2	76,8
79	6,0	3,2	12	2	76,8
80	5,9	3,2	12	2	76,8
81	5,8	3,2	12	2	76,8
82	5,8	3,2	12	2	76,8

83	5,7	3,2	12	2	76,8
84	5,6	3,2	12	2	76,8
85	5,6	3,2	12	2	76,8
86	5,5	3,2	12	2	76,8
87	5,4	3,2	12	2	76,8
88	5,4	3,2	12	2	76,8
89	5,3	3,2	12	2	76,8
90	5,2	3,2	12	2	76,8

Prueba sin carga (Poliestireno expandido)					
Tiempo (min)	Temperatura (oC)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Módulos Peltier	Potencia consumida (W)
1	28,5	3,2	12	2	76,8
2	28,3	3,2	12	2	76,8
3	25,5	3,2	12	2	76,8
4	23,6	3,2	12	2	76,8
5	22,5	3,2	12	2	76,8
6	21,5	3,2	12	2	76,8
7	20,4	3,2	12	2	76,8
8	19,6	3,2	12	2	76,8
9	18,8	3,2	12	2	76,8
10	18,4	3,2	12	2	76,8
11	18,1	3,2	12	2	76,8
12	17,7	3,2	12	2	76,8
13	17,3	3,2	12	2	76,8
14	17	3,2	12	2	76,8
15	16,8	3,2	12	2	76,8
16	16,5	3,2	12	2	76,8
17	16,2	3,2	12	2	76,8
18	15,8	3,2	12	2	76,8
19	15,3	3,2	12	2	76,8
20	14,8	3,2	12	2	76,8
21	14,4	3,2	12	2	76,8
22	14,1	3,2	12	2	76,8
23	13,8	3,2	12	2	76,8
24	13,5	3,2	12	2	76,8
25	13,3	3,2	12	2	76,8
26	13	3,2	12	2	76,8
27	12,8	3,2	12	2	76,8
28	12,5	3,2	12	2	76,8
29	12,2	3,2	12	2	76,8
30	11,9	3,2	12	2	76,8
31	11,7	3,2	12	2	76,8
32	11,5	3,2	12	2	76,8
33	11,3	3,2	12	2	76,8
34	10,9	3,2	12	2	76,8
35	10,8	3,2	12	2	76,8
36	10,5	3,2	12	2	76,8
37	10,2	3,2	12	2	76,8
38	9,9	3,2	12	2	76,8
39	9,7	3,2	12	2	76,8
40	9,7	3,2	12	2	76,8
41	9,5	3,2	12	2	76,8

42	9,2	3,2	12	2	76,8
43	9,1	3,2	12	2	76,8
44	9	3,2	12	2	76,8
45	8,8	3,2	12	2	76,8
46	8,8	3,2	12	2	76,8
47	8,6	3,2	12	2	76,8
48	8,5	3,2	12	2	76,8
49	8,5	3,2	12	2	76,8
50	8,5	3,2	12	2	76,8
51	8,4	3,2	12	2	76,8
52	8,4	3,2	12	2	76,8
53	8,3	3,2	12	2	76,8
54	8,3	3,2	12	2	76,8
55	8,3	3,2	12	2	76,8
56	8,2	3,2	12	2	76,8
57	8,2	3,2	12	2	76,8
58	8	3,2	12	2	76,8
59	7,9	3,2	12	2	76,8
60	7,9	3,2	12	2	76,8
61	7,7	3,2	12	2	76,8
62	7,7	3,2	12	2	76,8
63	7,5	3,2	12	2	76,8
64	7,4	3,2	12	2	76,8
65	7,4	3,2	12	2	76,8
66	7,2	3,2	12	2	76,8
67	7,2	3,2	12	2	76,8
68	7,1	3,2	12	2	76,8
69	7,1	3,2	12	2	76,8
70	7,1	3,2	12	2	76,8
71	7,0	3,2	12	2	76,8
72	6,9	3,2	12	2	76,8
73	6,9	3,2	12	2	76,8
74	6,8	3,2	12	2	76,8
75	6,8	3,2	12	2	76,8
76	6,6	3,2	12	2	76,8
77	6,4	3,2	12	2	76,8
78	6,4	3,2	12	2	76,8
79	6,4	3,2	12	2	76,8
80	6,2	3,2	12	2	76,8
81	6,2	3,2	12	2	76,8
82	6,2	3,2	12	2	76,8
83	6,0	3,2	12	2	76,8
84	6,0	3,2	12	2	76,8
85	6,0	3,2	12	2	76,8

86	5,8	3,2	12	2	76,8
87	5,8	3,2	12	2	76,8
88	5,8	3,2	12	2	76,8
89	5,6	3,2	12	2	76,8
90	5,6	3,2	12	2	76,8

Prueba con carga (Lamina de vidrio)					
Tiempo (min)	Temperatura (oC)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Módulos Peltier	Potencia consumida (W)
1	29,1	3,2	12	2	76,8
2	28,8	3,2	12	2	76,8
3	27,9	3,2	12	2	76,8
4	27,2	3,2	12	2	76,8
5	26,8	3,2	12	2	76,8
6	26,2	3,2	12	2	76,8
7	25,7	3,2	12	2	76,8
8	25,1	3,2	12	2	76,8
9	24,6	3,2	12	2	76,8
10	24,4	3,2	12	2	76,8
11	23,9	3,2	12	2	76,8
12	23,6	3,2	12	2	76,8
13	23,4	3,2	12	2	76,8
14	23,0	3,2	12	2	76,8
15	22,8	3,2	12	2	76,8
16	22,5	3,2	12	2	76,8
17	22,2	3,2	12	2	76,8
18	20,8	3,2	12	2	76,8
19	20,5	3,2	12	2	76,8
20	20,1	3,2	12	2	76,8
21	19,9	3,2	12	2	76,8

22	19,6	3,2	12	2	76,8
23	19,3	3,2	12	2	76,8
24	19,0	3,2	12	2	76,8
25	18,7	3,2	12	2	76,8
26	18,5	3,2	12	2	76,8
27	18,3	3,2	12	2	76,8
28	18,1	3,2	12	2	76,8
29	17,7	3,2	12	2	76,8
30	17,5	3,2	12	2	76,8
31	17,2	3,2	12	2	76,8
32	17,2	3,2	12	2	76,8
33	16,8	3,2	12	2	76,8
34	16,5	3,2	12	2	76,8
35	16,2	3,2	12	2	76,8
36	15,9	3,2	12	2	76,8
37	15,5	3,2	12	2	76,8
38	15,2	3,2	12	2	76,8
39	14,9	3,2	12	2	76,8
40	14,5	3,2	12	2	76,8
41	14,2	3,2	12	2	76,8
42	13,9	3,2	12	2	76,8
43	13,7	3,2	12	2	76,8
44	13,4	3,2	12	2	76,8
45	13,2	3,2	12	2	76,8
46	13	3,2	12	2	76,8
47	12,7	3,2	12	2	76,8
48	12,5	3,2	12	2	76,8
49	12,1	3,2	12	2	76,8
50	11,9	3,2	12	2	76,8
51	11,6	3,2	12	2	76,8
52	11,4	3,2	12	2	76,8
53	11,1	3,2	12	2	76,8
54	10,8	3,2	12	2	76,8
55	10,6	3,2	12	2	76,8
56	10,4	3,2	12	2	76,8
57	10,1	3,2	12	2	76,8
58	10	3,2	12	2	76,8
59	9,7	3,2	12	2	76,8
60	9,5	3,2	12	2	76,8
61	9,5	3,2	12	2	76,8
62	9,3	3,2	12	2	76,8
63	9,2	3,2	12	2	76,8
64	9,2	3,2	12	2	76,8
65	9	3,2	12	2	76,8

66	8,9	3,2	12	2	76,8
67	8,9	3,2	12	2	76,8
68	8,8	3,2	12	2	76,8
69	8,7	3,2	12	2	76,8
70	8,7	3,2	12	2	76,8
71	8,5	3,2	12	2	76,8
72	8,5	3,2	12	2	76,8
73	8,4	3,2	12	2	76,8
74	8,3	3,2	12	2	76,8
75	8,3	3,2	12	2	76,8
76	8,3	3,2	12	2	76,8
77	8,2	3,2	12	2	76,8
78	8	3,2	12	2	76,8
79	8,0	3,2	12	2	76,8
80	8,0	3,2	12	2	76,8
81	7,9	3,2	12	2	76,8
82	7,8	3,2	12	2	76,8
83	7,8	3,2	12	2	76,8
84	7,7	3,2	12	2	76,8
85	7,7	3,2	12	2	76,8
86	7,6	3,2	12	2	76,8
87	7,5	3,2	12	2	76,8
88	7,5	3,2	12	2	76,8
89	7,4	3,2	12	2	76,8
90	7,3	3,2	12	2	76,8
91	7,3	3,2	12	2	76,8
92	7,2	3,2	12	2	76,8
93	7,1	3,2	12	2	76,8
94	7,1	3,2	12	2	76,8
95	7,0	3,2	12	2	76,8
96	7,0	3,2	12	2	76,8
97	6,9	3,2	12	2	76,8
98	6,8	3,2	12	2	76,8
99	6,8	3,2	12	2	76,8
100	6,7	3,2	12	2	76,8
101	6,6	3,2	12	2	76,8
102	6,6	3,2	12	2	76,8
103	6,5	3,2	12	2	76,8
104	6,5	3,2	12	2	76,8
105	6,4	3,2	12	2	76,8
106	6,3	3,2	12	2	76,8
107	6,3	3,2	12	2	76,8
108	6,2	3,2	12	2	76,8
109	6,1	3,2	12	2	76,8

110	6,1	3,2	12	2	76,8
111	6,0	3,2	12	2	76,8
112	5,9	3,2	12	2	76,8
113	5,9	3,2	12	2	76,8
114	5,8	3,2	12	2	76,8
115	5,8	3,2	12	2	76,8
Prueba con carga (Poliestireno expandido)					
Tiempo (min)	Temperatura (oC)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Módulos Peltier	Potencia consumida (W)
1	28,8	3,2	12	2	76,8
2	27,8	3,2	12	2	76,8
3	27,2	3,2	12	2	76,8
4	26,9	3,2	12	2	76,8
5	26,6	3,2	12	2	76,8
6	26,2	3,2	12	2	76,8
7	25,6	3,2	12	2	76,8
8	25,2	3,2	12	2	76,8
9	25,0	3,2	12	2	76,8
10	24,8	3,2	12	2	76,8
11	24,6	3,2	12	2	76,8
12	24,3	3,2	12	2	76,8
13	24,1	3,2	12	2	76,8
14	23,6	3,2	12	2	76,8
15	23,2	3,2	12	2	76,8
16	23,0	3,2	12	2	76,8
17	22,6	3,2	12	2	76,8
18	22,1	3,2	12	2	76,8
19	21,8	3,2	12	2	76,8
20	21,4	3,2	12	2	76,8
21	21,1	3,2	12	2	76,8
22	20,7	3,2	12	2	76,8
23	20,3	3,2	12	2	76,8
24	20,0	3,2	12	2	76,8
25	19,6	3,2	12	2	76,8
26	19,2	3,2	12	2	76,8
27	18,8	3,2	12	2	76,8
28	18,5	3,2	12	2	76,8
29	18,1	3,2	12	2	76,8
30	17,7	3,2	12	2	76,8
31	17,4	3,2	12	2	76,8
32	17,0	3,2	12	2	76,8
33	16,6	3,2	12	2	76,8
34	16,3	3,2	12	2	76,8
35	15,9	3,2	12	2	76,8
36	15,5	3,2	12	2	76,8

37	15,1	3,2	12	2	76,8
38	14,8	3,2	12	2	76,8
39	14,4	3,2	12	2	76,8
40	14,0	3,2	12	2	76,8
41	13,8	3,2	12	2	76,8
42	13,7	3,2	12	2	76,8
43	13,4	3,2	12	2	76,8
44	13,2	3,2	12	2	76,8
45	13,1	3,2	12	2	76,8
46	12,8	3,2	12	2	76,8
47	12,7	3,2	12	2	76,8
48	12,5	3,2	12	2	76,8
49	12,3	3,2	12	2	76,8
50	12,1	3,2	12	2	76,8
51	12,0	3,2	12	2	76,8
52	11,8	3,2	12	2	76,8
53	11,6	3,2	12	2	76,8
54	11,4	3,2	12	2	76,8
55	11,2	3,2	12	2	76,8
56	10,6	3,2	12	2	76,8
57	10,5	3,2	12	2	76,8
58	10,3	3,2	12	2	76,8
59	10,2	3,2	12	2	76,8
60	10,1	3,2	12	2	76,8
61	9,9	3,2	12	2	76,8
62	9,8	3,2	12	2	76,8
63	9,6	3,2	12	2	76,8
64	9,5	3,2	12	2	76,8
65	9,4	3,2	12	2	76,8
66	9,2	3,2	12	2	76,8
67	9,1	3,2	12	2	76,8
68	8,9	3,2	12	2	76,8
69	8,7	3,2	12	2	76,8
70	8,7	3,2	12	2	76,8
71	8,5	3,2	12	2	76,8
72	8,5	3,2	12	2	76,8
73	8,5	3,2	12	2	76,8
74	8,3	3,2	12	2	76,8
75	8,3	3,2	12	2	76,8
76	8,3	3,2	12	2	76,8
77	8,1	3,2	12	2	76,8
78	8	3,2	12	2	76,8
79	8,0	3,2	12	2	76,8
80	7,9	3,2	12	2	76,8

81	7,9	3,2	12	2	76,8
82	7,8	3,2	12	2	76,8
83	7,7	3,2	12	2	76,8
84	7,7	3,2	12	2	76,8
85	7,5	3,2	12	2	76,8
86	7,5	3,2	12	2	76,8
87	7,5	3,2	12	2	76,8
88	7,4	3,2	12	2	76,8
89	7,4	3,2	12	2	76,8
90	7,3	3,2	12	2	76,8
91	7,3	3,2	12	2	76,8
92	7,2	3,2	12	2	76,8
93	7,1	3,2	12	2	76,8
94	7,1	3,2	12	2	76,8
95	7,0	3,2	12	2	76,8
96	6,9	3,2	12	2	76,8
97	6,9	3,2	12	2	76,8
98	6,9	3,2	12	2	76,8
99	6,8	3,2	12	2	76,8
100	6,6	3,2	12	2	76,8
101	6,6	3,2	12	2	76,8
102	6,6	3,2	12	2	76,8
103	6,5	3,2	12	2	76,8
104	6,5	3,2	12	2	76,8
105	6,3	3,2	12	2	76,8
106	6,3	3,2	12	2	76,8
107	6,3	3,2	12	2	76,8
108	6,2	3,2	12	2	76,8
109	6,1	3,2	12	2	76,8
110	6,1	3,2	12	2	76,8
111	6,0	3,2	12	2	76,8
112	5,9	3,2	12	2	76,8
113	5,9	3,2	12	2	76,8
114	5,8	3,2	12	2	76,8
115	5,8	3,2	12	2	76,8