

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS DE CAPTURA Y
CONDENSACIÓN DE VAPOR DE AGUA PRESENTE EN EL AIRE
ATMOSFÉRICO.**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN COLECTOR DE AGUA
ATMOSFÉRICA MEDIANTE EL USO DE CELDAS PELTIER PARA
EL SECTOR DE SAN MIGUEL DE LOS BANCOS PARA EL
CONSUMO DOMÉSTICO DE AGUA DE UNA FAMILIA DE CLASE
MEDIA.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

JHOAN ALEXANDER MAFLA MAZA

jhoanmafla2011@gmail.com

DIRECTOR: SANTIAGO DAVID VACA JIMÉNEZ

santiago.vaca@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2023

CERTIFICACIONES

Yo, Jhoan Mafla declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Jhoan Mafla

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Jhoan Mafla, bajo mi supervisión.



Santiago Vaca
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.



Jhoan Mafla



Santiago Vaca

DEDICATORIA

A mi querida familia y amigos,

Quiero dedicar este trabajo de titulación a ustedes, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y motivación en todo momento. Gracias por su amor incondicional, su apoyo constante y su presencia en mi vida. A mi madre, gracias por ser mi ejemplo de perseverancia y fortaleza. Su dedicación y sacrificio han sido una inspiración para mí en todo momento. A mi padre, gracias por ser mi guía y mi apoyo en cada paso del camino. Su sabiduría y experiencia han sido fundamentales en mi vida. A mi hermana, gracias por su amistad y complicidad. Su compañía ha sido una fuente de alegría y energía en todo momento. A mis amigos, gracias por su lealtad y cariño. Su presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable que he valorado siempre. A todos ustedes, mi familia y amigos, les dedico este trabajo de titulación como una muestra de mi profundo agradecimiento y amor. Sin su apoyo, este logro no habría sido posible.

AGRADECIMIENTO

Estimados profesores, compañeros y amigos,

Hoy, en el día en que presento mi trabajo de titulación, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que me han apoyado en este proceso. En primer lugar, quiero dar las gracias a mis profesores por su guía y sabiduría a lo largo de estos años. Gracias por su paciencia, dedicación y compromiso con mi formación académica.

También quiero agradecer a mis compañeros de clase, quienes me han acompañado en este viaje de aprendizaje y crecimiento. Sus ideas, comentarios y sugerencias han sido fundamentales para el desarrollo de mi vida académica.

Agradezco especialmente a mi familia y amigos, quienes me han brindado su amor, apoyo y motivación en cada paso del camino. Sin su ayuda, este logro no habría sido posible.

Gracias a todos por su presencia en mi vida y por su apoyo en este importante logro.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE CONTENIDO	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	1
1.2 Objetivos específicos	1
1.3 Alcance	1
1.4 Marco teórico	1
2 METODOLOGÍA	2
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	3
3.1 Resultados	3
3.2 Conclusiones	4
3.3 Recomendaciones	5
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6
5 ANEXOS	7
ANEXO I	8

RESUMEN

El acceso a agua potable está lejos de ser universal, por lo que se han realizado esfuerzos en la generación de nuevas tecnologías que solventen esta problemática. En este trabajo se toma como base un diseño de captador de agua atmosférica propuesto previamente, al cual se le realizan adaptaciones para poder ser construido en el medio. Para los cálculos se utiliza el software de simulación de Kryotherm, fabricante de celdas Peltier y se construye el prototipo con los parámetros obtenidos. Se construyó el modelo teniendo en cuenta costos y procesos de manufactura. Se logró condensar una cantidad de agua que no es representativa para un hogar.

PALABRAS CLAVE: celdas Peltier, humedad relativa, temperatura de rocío, colector de agua.

ABSTRACT

Access to potable water is far from being universal, so a lot of efforts have been made to research new technologies to solve this problem. This work is based on a previously proposed design for an atmospheric water collector is taken as a basis, to which adaptations are made to be constructed under this environment conditions. Kryotherm's simulation software, manufacturer of TECs, is used for calculations and the prototype is built with the parameters obtained. The model was built with cost and manufacturing process in mind. However, the amount of water condensed was not enough to be representative for a household.

KEYWORDS: Kryotherm, TEC, dew point temperature, relative humidity, water harvesting.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En diversos lugares del país aún existe una marcada carencia de servicios básicos, entre ellos el servicio de agua potable. En las cercanías de la población de San Miguel de los Bancos, Pichincha – Ecuador, existen nuevas urbanizaciones en las que la falta de agua hace difícil su habitabilidad. Muchos métodos han sido investigados para intentar solventar la falta de este recurso. Entre estos varios métodos se encuentran los captadores de agua atmosférica [1]. Estos son dispositivos que toman la humedad que se encuentra en la atmósfera, en estado gaseoso, y la condensan mediante diversos métodos [2].

Este componente se enfocará en el diseño y la construcción de un modelo de captación de agua atmosférica mediante el uso de celdas Peltier, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y las necesidades de los usuarios de San Miguel de los Bancos.

1.1 Objetivo general

Diseñar y construir un colector de agua atmosférica mediante el uso de celdas Peltier para el sector de San Miguel de los Bancos para el consumo doméstico de agua de una familia de clase media.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre los colectores de agua atmosférica que usan celdas Peltier.
2. Caracterizar las condiciones climáticas relacionadas con el agua atmosférica en San Miguel de los Bancos.
3. Determinar las necesidades de consumo del lugar.
4. Diseñar un colector de agua atmosférica teniendo en cuenta las condiciones y necesidades del lugar.
5. Construir un prototipo en base al diseño propuesto.

1.3 Alcance

El alcance del componente tendrá cuatro fases:

1. La etapa de análisis de las condiciones ambientales y parámetros de diseño se enfocará en la obtención de los parámetros necesarios que deben ser considerados para la generación de un diseño adecuado.

2. En la etapa del diseño del colector de agua atmosférica se realizará un diseño tomando en cuenta los resultados de la etapa previa, para generar los planos de construcción.
3. Para la etapa de construcción del prototipo, se evaluará los materiales necesarios y se construirá en base a los planos obtenidos previamente.
4. La etapa de pruebas y análisis de resultados permitirá evaluar el diseño del prototipo y compararlo.

1.4 Marco teórico

Según la OMS, en el mundo hay 2000 millones de personas que no tienen acceso a fuentes de agua para uso diario [3]. La escasez de agua para el consumo humano se ha convertido en un grave problema que azota a los países y comunidades más desfavorecidas. Este problema lejos de solucionarse empeora con el pasar de los años debido a diversas causas, entre estas el crecimiento de la población y el cambio climático [3].

Los captadores de agua atmosférica se han planteado con el objetivo de combatir este problema. Estos dispositivos se diseñan para que aprovechen el agua presente en la atmósfera, es decir la humedad del aire [4]. Existen dos tipos de colectores de agua atmosférica: los captadores de niebla y de rocío. En la Figura 1.1 se muestra la clasificación de los captadores de agua más a detalle.

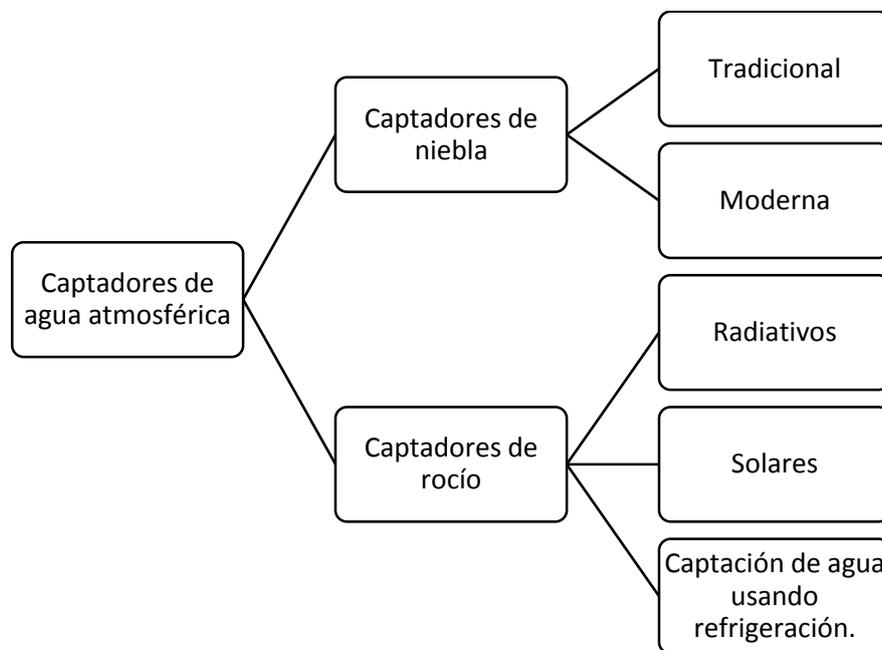


Figura 1.1. Tipos de captadores de agua atmosférica [1].

Los captadores de agua atmosférica de niebla o captadores de niebla, se colocan en sitios en los que existe alta presencia de neblina, su funcionamiento se basa en la colocación de una malla por la cual atraviesa la neblina con ayuda del viento [1]. Las partículas de agua ya condensadas bajan, por efecto de la gravedad, hacia un colector ubicado en la parte inferior de la malla (Figura 1.2).

Se pueden encontrar muchas variedades de este tipo de colectores, ya que es posible variar la geometría de las mallas, la forma de colocación, el material y demás parámetros según las condiciones de uso. Sin embargo, la niebla es un recurso escaso y no representa una solución a la escasez de agua fresca en muchos de los casos [1].

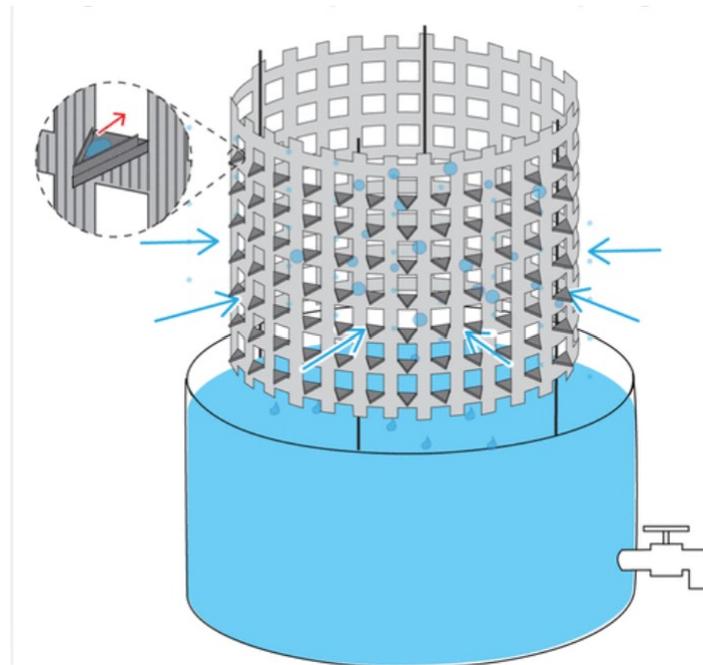


Figura 1.2. Sistema de captación de agua pasiva [5].

Los captadores de agua atmosférica de rocío, se caracterizan por bajar la temperatura de una superficie por debajo del punto de rocío del agua para que, sobre esta superficie, se condensen gotas de agua [1]. Existen 3 tipos principales de colectores de agua de rocío, los radiativos, los solares y los activos.

Los colectores de agua radiativos se basan en un principio físico que se observa naturalmente en las plantas. Dependiendo de las condiciones climáticas, por las mañanas se pueden observar que gotas de agua se forman en las superficies de las hojas. Esto sucede debido al fenómeno de radiación de las superficies (hojas). Esta forma de recolección de agua no necesita de energía externa [1].

Por otro lado, los condensadores de agua solares tienen como principio de funcionamiento la absorción de agua, por la noche, en 'camas desecantes' desde la humedad del aire, para después usar la radiación solar para extraer el agua de las camas y posteriormente condensar el vapor generado para ser almacenado (Figura 1.3) [1].

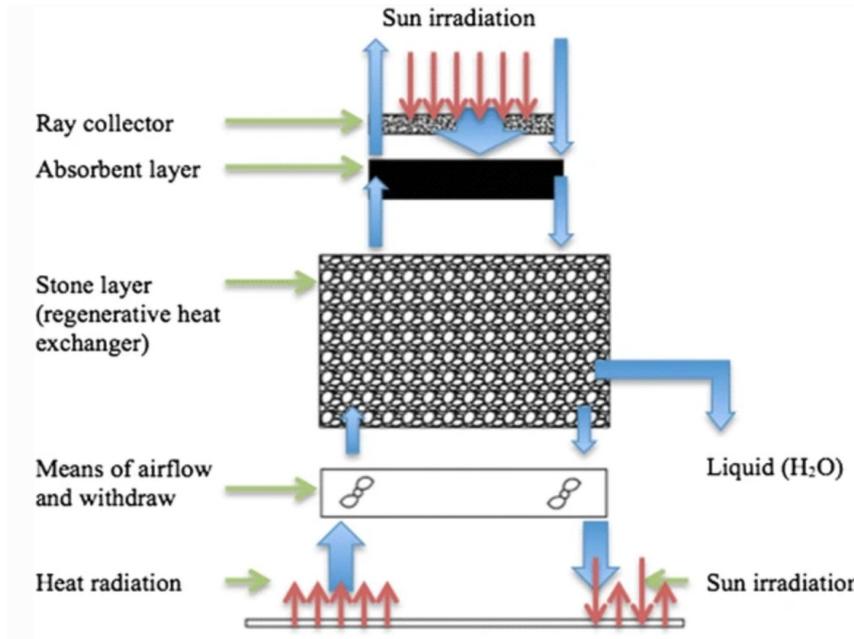


Figura 1.3. Sistema de captación de agua solar [6].

La otra categoría de colectores de agua de rocío son los que usan refrigeración activa, es decir, usan energía externa, principalmente energía eléctrica. La energía se usa para extraer calor de las superficies por donde pasa el aire húmedo. Por lo general, este tipo de colectores superan de forma significativa la recolección de agua de las alternativas mencionadas previamente, pero así mismo el consumo de energía puede ser significativo [1].

Entre estas alternativas, el uso de dispositivos refrigerantes termoeléctricos ha sido investigado como una alternativa a los sistemas ya conocidos. Las células Peltier, también conocidos como refrigerador en estado sólido o refrigerador termoeléctrico (TEC, por sus siglas en inglés), son dispositivos que mueven el calor de la placa fría a la caliente mediante energía eléctrica proporcionada por una fuente [7]. El principio de funcionamiento de las celdas Peltier se basa en el efecto Peltier. El efecto Peltier consiste en la absorción de la energía térmica de una junta de semiconductores tipo n y tipo p a la junta diferente según el sentido de la corriente como se observa en el esquema de la Figura 1.4 [8].

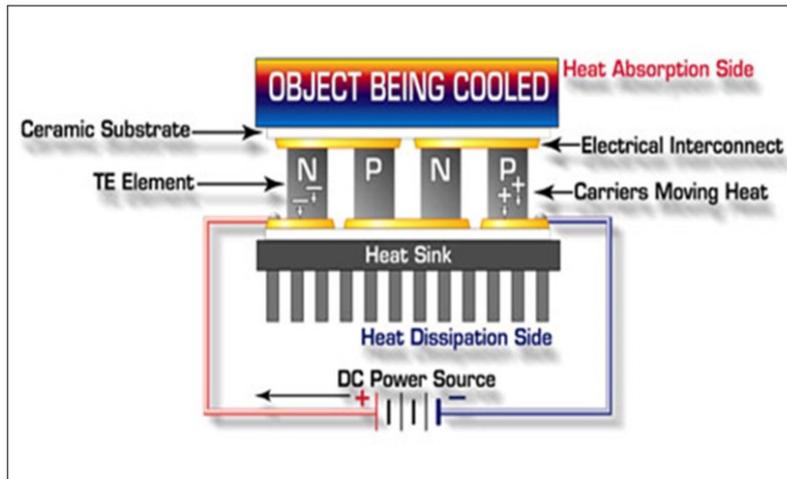


Figura 1.4. Principio de funcionamiento de las celdas Peltier [9].

La aplicación de estos elementos en refrigeración tiene como ventaja principal la creación de un flujo de condensado solo mediante el uso de electricidad, dejando de lado los fluidos refrigerantes y demás componentes que se deberían usar en esos casos [7].

Las celdas Peltier se encuentran compuestas principalmente por semiconductores tipo n, semiconductores tipo p, dos cubiertas cerámicas que funcionan como aislantes y los cables de salida (Figura 1.5) [8].

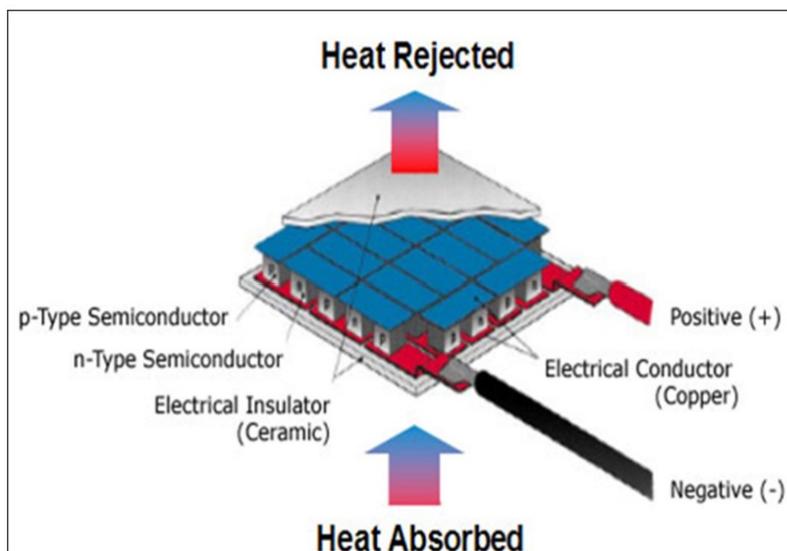


Figura 1.5. Partes de una celda Peltier [10].

Para lograr condensar el vapor de agua presente en el aire es necesario generar una temperatura inferior a la temperatura ambiente, esta es conocida como punto de rocío, y es determinada usando las variables de temperatura ambiente y humedad relativa [11].

2 METODOLOGÍA

El caso de estudio de este proyecto se centra en una familia de 4 personas en San Miguel de los Bancos, donde el acceso a agua potable es limitado. Este cantón de la provincia de Pichincha se ubica a 94 km de la ciudad de Quito [12]. El clima del cantón es bastante lluvioso y nublado debido a su ubicación en una ceja de montaña (Figura 2.1) con una humedad promedio de 94% y una temperatura de entre 23°C y 25°C [13].

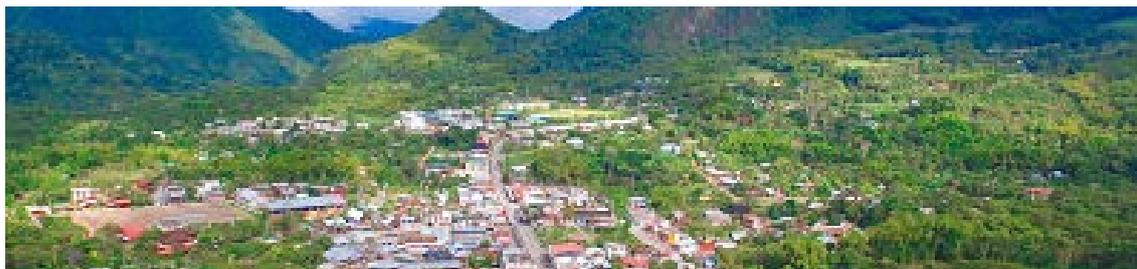


Figura 2.1. San Miguel de los Bancos [12].

El gobierno local de San Miguel de los Bancos entrega un servicio intermitente de agua potable, por lo que hay ocasiones en las que este recurso escasea. Es por esta razón, que un sistema alternativo de provisión de agua podría ser fundamental para solventar las necesidades de esta familia.

Necesidades de consumo.

En julio de 2010 la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció que el acceso al agua y el saneamiento es un derecho humano [3]. Se concilió que todos los seres humanos necesitan de mínimo 100 litros de agua potable por persona de forma diaria para cubrir necesidades de consumo y de higiene, esta agua tiene que ser segura, aceptable y asequible.

En este caso se estudia un hogar de 4 personas, por lo que se prevé un consumo de 400 litros diarios en este hogar.

Condiciones climáticas relacionadas con el agua atmosférica en San Miguel de los Bancos

Los datos meteorológicos del lugar de estudio son fundamentales para el diseño de un sistema activo de captación de agua atmosférica. La obtención de estos datos se hará mediante el uso de la base de datos del INAMHI, tomando la estación La Concordia como referencia, la cual se encuentra a menos de 70 km de Los Bancos y presenta condiciones ambientales similares [13].

Se tomaron los datos disponibles, siendo estos los del 2020, los datos se obtuvieron por hora, por lo que fueron tabulados y se obtuvo un promedio mensual que se muestra en la Figura 2.2 y Figura 2.3.

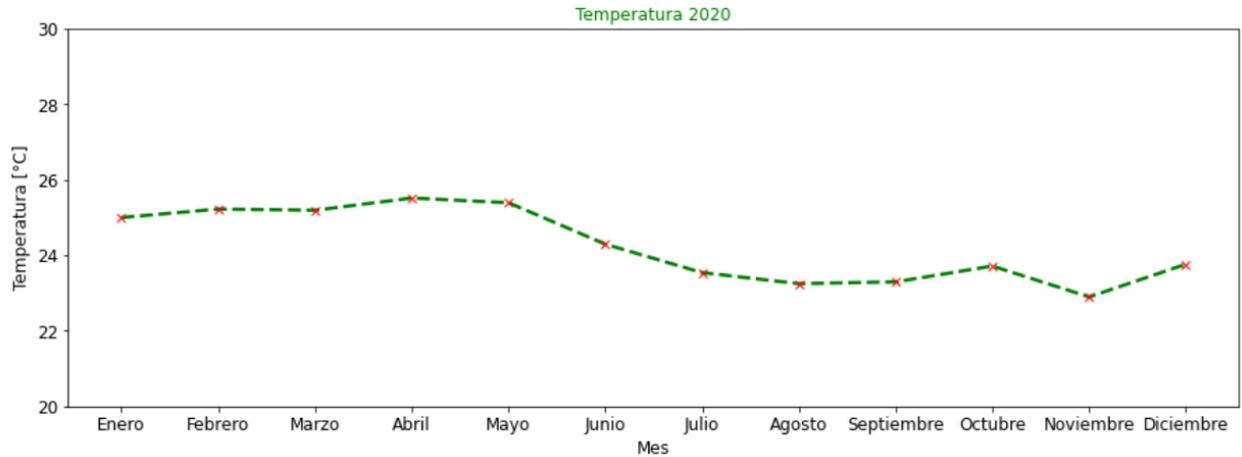


Figura 2.2. Temperatura promedio mensual.

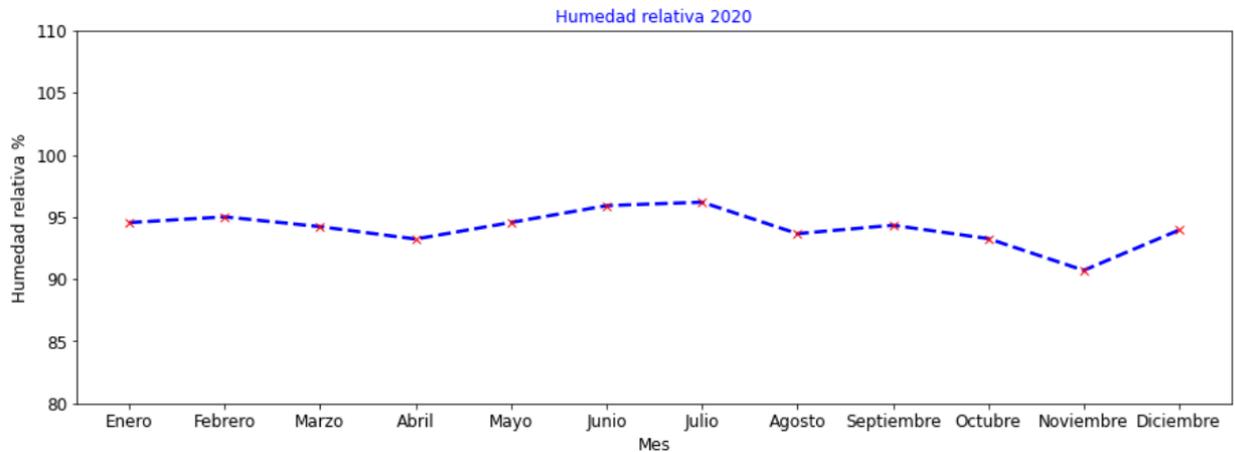


Figura 2.3. Humedad relativa promedio mensual.

De esta manera con los datos promedio del año 2020 se realiza el cálculo del punto de rocío de cada mes, usando la Ecuación 2.1.

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{H}{100} * [112 + (0.9 * T)] + (0.1 * T) - 112}$$

Ecuación 2.1. Ecuación del punto de rocío.

Pr: Punto de rocío.

H: Humedad relativa.

T: Temperatura ambiente.

Este parámetro es el más representativo e importante, ya que es la temperatura objetivo de las celdas Peltier, es decir, que el agua va a condensar siempre y cuando la temperatura conseguida en el lado frío de las celdas Peltier sea inferior a la temperatura de rocío.

Determinación de los parámetros de diseño

Los parámetros de diseño serán: la temperatura ambiente promedio mensual y la humedad relativa promedio mensual que se muestran en la Figura 2.2 y Figura 2.3.. Mientras que las características que definen al TEC que va a ser usado para la construcción del prototipo serán la corriente máxima I_{max} , voltaje máximo V_{max} , diferencia de temperatura entre los lados de la celda ΔT_{max} y el calor máximo transferido Q_{max} [14]. Datos que pueden ser obtenidos del fabricante [15] y se muestran en la Tabla 2.1. Características de la celda Peltier

Tabla 2.1. Características de la celda Peltier

Parámetros de diseño	
I_{max}	4.5 [A]
V_{max}	12 [V]
ΔT_{max}	58.8 [°C]
Q_{max}	50-60 [W]

Software de cálculo

Para el cálculo se utilizará un software de simulación generado por Kryotherm, fabricante de módulos Peltier, el modelo generado en el software considera, la disposición de las celdas Peltier, las características del módulo Peltier, las dimensiones del disipador de calor y su material, la temperatura ambiente y el aislamiento del lado frío (Figura 2.4).

El diseño que se simula en el modelo base se realiza con 5 celdas Peltier conectadas en serie, estas están cubiertas por disipadores de calor. Se decidió hacer la construcción del dispositivo con 5 celdas Peltier debido al costo de estas (aproximadamente 8\$ cada una) y también para generar un prototipo con dimensiones que permita ser movilizado sin problemas para la realización de las pruebas.

Thermoelectric System Calculation

Select module Connection Calculate Rh Calculate Rc Insulation Calculate system Print File Options Help Close

FROST-73 I_{max} (Amps)= 6.2 Q_{max} (Watts)= 64 U_{max} (Volts)= 16.5 dT_{max} (K)= 73

Module determination...

Select module Number of modules n = 5

Connection
 series ns = 5
 parallel np= 1
 series-parallel

Power source
 Voltage Current
 U (V)= 12

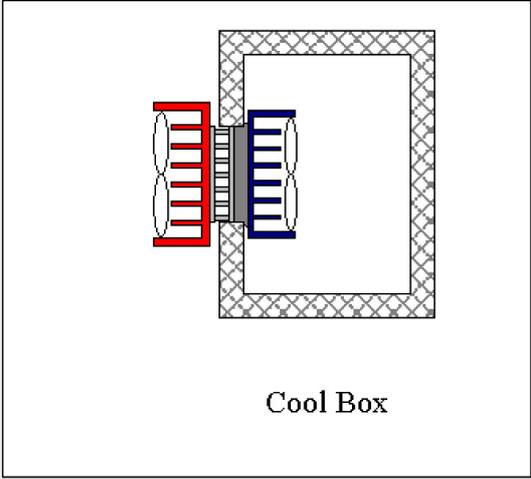
Ambient ...
 Ta (°C) = 14

Object heat rejected ...
 Wob (W) = 0.00

Hot side parameters ...
 Rh (KW) = 2.117

Cold side parameters ...
 Rc (KW) = 2.117

Insulation ...
 Rins (KW) = 1.89 Ideal Calculate



Parameters...
 per module per system

I (A) =	0.72
U (V) =	12.00
W (W) =	8.61
Qc (W) =	5.08
Qh (W) =	13.69

COP = 0.589

Main result

Object temperature
 Tob (°C) = 4.4

Temperatures (°C)	Temperature differences (°C)
Th = 19.8	Th-Ta = 5.8
Ta = 14.0	Ta-Tob = 9.6
Tob = 4.4	Tob-Tc = 2.1
Tc = 2.3	Th-Tc = 17.5

Figura 2.4. Software de Kryotherm.

Para la realización de la simulación el primer paso consiste en la selección del módulo que va a ser utilizado en la pestaña Select Module (Figura 2.5) , para la selección de este módulo hay que seleccionar el modelo que se apegue a las características de las celdas Peltier disponibles, tomando en cuenta también las dimensiones físicas de estos componentes.

Thermoelectric Modules Catalogue

FROST-73 I_{max} (Amps)= 6.2 Q_{max} (Watts)= 64 U_{max} (Volts)= 16.5 dT_{max} (K)= 73

Micro Single Stage TEM | Standard Single Stage TEM | High Effective Single Stage TEM | Special TEM | Multistage TEM

Module	I_{max}	Q_{max}	U_{max}	dT_{max}	A	B	C	D	H
(-)	(Amps)	(Watts)	(Volts)	(K)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
SNOWBALL-71	3.6	36	16.1	71	30.0	30.0	30.0	30.0	3.6
STORM	3.6	34.5	15.7	69	40.0	40.0	40.0	40.0	3.6
STORM-71	3.6	36	16.1	71	40.0	40.0	40.0	40.0	3.6
RIME-74	3.8	39	16.7	74	40.0	40.0	40.0	40.0	4.8
FROST-71	6.1	61	16.1	71	40.0	40.0	40.0	40.0	3.9
FROST-72	6.2	62	16.3	72	40.0	40.0	40.0	40.0	3.9
FROST-73	6.2	64	16.5	73	40.0	40.0	40.0	40.0	3.9
FROST-74	6.3	65	16.7	74	40.0	40.0	40.0	40.0	3.9
ICE-71	8.0	80	16.1	71	40.0	40.0	40.0	40.0	3.4
HAIL	7.9	76	15.7	69	48.0	48.0	48.0	48.0	3.4
HAIL-71	8.0	80	16.1	71	48.0	48.0	48.0	48.0	3.4
GLACIER-20	4.6	59	20.6	72	40.0	44.0	40.0	40.0	4.3

Return

Figura 2.5. Selección del módulo Peltier.

Con el módulo seleccionado, en la sección de Module determination se procede a colocar el número de celdas Peltier que van a ser utilizadas, a elegir el tipo de conexión que se va a realizar con estas y a seleccionar el tipo de fuente de voltaje (Figura 2.6).

Module determination...

Select module

Number of modules n = 5

Connection

series ns = 5

parallel np = 1

series-parallel

Power source

Voltage Current

U (V) = 12

Figura 2.6. Determinación del módulo.

En la sección de Ambient Figura 2.7, se coloca la temperatura ambiental del lugar en el que va a funcionar el prototipo, para este caso se uso la temperatura promedio mensual más baja del año 2022 de San Miguel de los Bancos (23 °C).

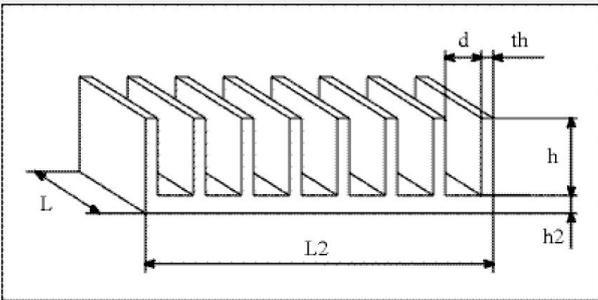
Ambient ...

Ta (°C) =

Figura 2.7. Parámetros ambientales.

Se calculan las resistencias térmicas de los lados frío y caliente. Existe la opción de colocarlos directamente, o que el propio software realice el cálculo por nosotros, para esto se abren la pestaña Calculate Rh para ingresar los parámetros del lado caliente. Se deben ingresar los parámetros geométricos del dissipador de calor y el material del dissipador de calor (Figura 2.8).

Calculation parameters of heat exchanger



Number of fins =

Fin thickness: th (mm) =

Fin height h (mm) =

Heat sink base thickness h2 (mm) =

Clearance between fins d (mm) =

Heat sink material:

Thermal Conductivity (W/(m·K)) =

Density (kg/m³) =

Volume (cm³) =

Mass (gm) =

Length L (mm) = Width L2 (mm) =

Heat emission coefficient (W/(m²·°C)) =

Base irregularity coefficient =

Area of heat-exchange surface (cm²) = Finning efficiency coefficient =

Area of heat sink base (cm²) = Finning coefficient =

Thermal resistance of finned surface (K/W) = Thermal resistance of the heat sink base (K/W) =

Heat exchanger thermal resistance (K/W) =

Figura 2.8. Cálculo de los parámetros del lado caliente.

Los parámetros fueron seleccionados para obtener la mayor área de transferencia de calor considerando las limitaciones que se pueden presentar en su construcción y las herramientas disponibles (Tabla 2.2). La fresa más pequeña disponible es de ¼ de pulgada por lo que no se puede realizar más aletas, lo que sería ideal. Otra opción tomada en cuenta fue realizar la fabricación mediante fundición, esta opción se descartó, ya que,

debido a la geometría de la pieza no se podía realizar la fundición mediante molde de arena y el costo de la realización de una matriz se veía muy elevado.

Se decidió construir el disipador de calor con aluminio, debido su alta conductividad térmica (237 W/(K-m)), a su facilidad para maquinarse, y que es un material que se puede encontrar fácilmente.

Tabla 2.2. Parámetros geométricos del disipador de calor.

Parámetros usados en el cálculo	
L	280 [mm]
L2	45 [mm]
ta	3 [mm]
h	25 [mm]
tb	5 [mm]

Para el lado frío se abre la misma ventana y se realiza los cálculos de manera similar, también existe la opción de colocar si los disipadores de calor van a ser enfriados por convección natural o forzada, o si van a ser enfriados usando algún fluido (Figura 2.9).

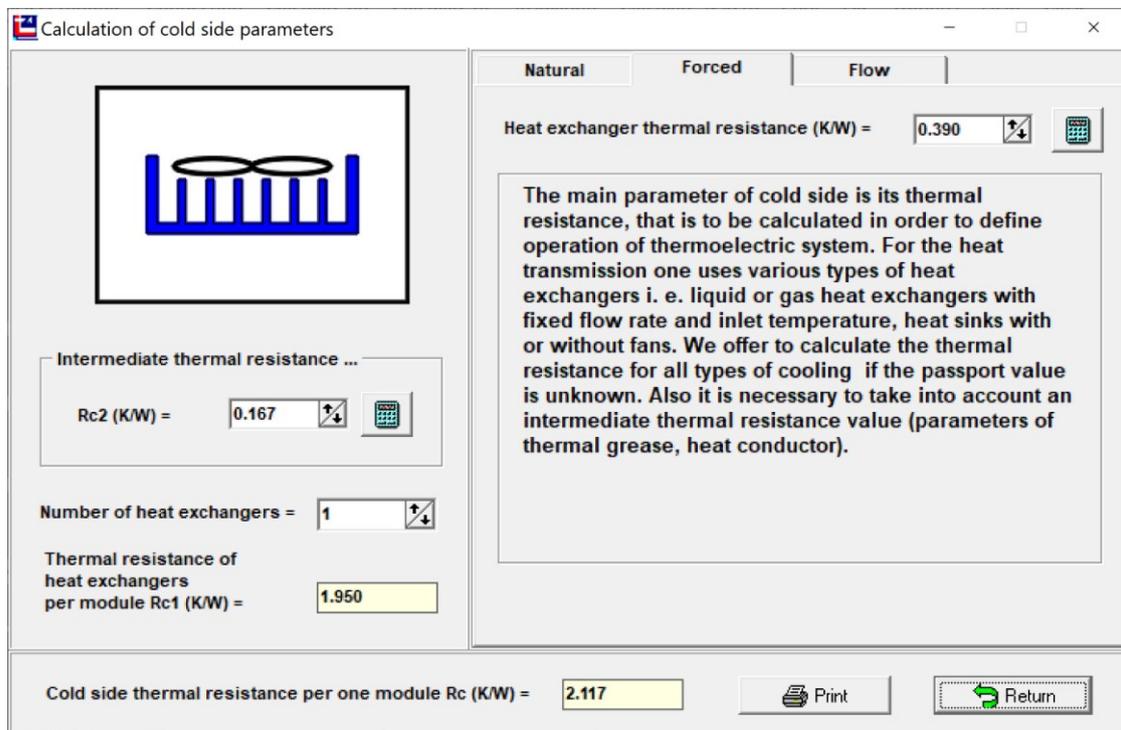


Figura 2.9. Parámetros del lado frío.

Ya que se usa los mismos disipadores de calor para los dos lados estos parámetros tendrán los mismos valores.

Con estos parámetros calculados solo queda el cálculo del aislamiento del lado frío que se realiza en la pestaña Insulation. Se despliega una ventana en donde es posible colocar las dimensiones geométricas y el material que va a ser utilizado para el aislamiento (Figura 2.10).

Calculation parameters of insulation

Form ...
 Box
 Cylinder

Internal dimensions...
Width: W_i (mm) = 80.0
Height: H_i (mm) = 80.0
Length: L_i (mm) = 320.0

Insulation...
Thickness: th (mm) = 5.0
Material of insulation: Polyurethane Foam
Thermal Conductivity (W/(m*K)) = 0.035

Result ..
Rins (K/W) = 1.89
Internal volume (litres) = 2.0
Total volume (litres) = 2.7
Inner surface (dm²) = 11.5
Outer surface (dm²) = 13.5

External dimensions...
Width: W_e (mm) = 90.0
Height: H_e (mm) = 90.0
Length: L_e (mm) = 330.0

Print Return

Figura 2.10. Parámetros de aislamiento.

En este caso, para el aislamiento se utilizará poliestireno expandido de 10 mm de espesor, esto por su alta disponibilidad y bajo costo.

Después de haber llenado todos los campos se realiza el cálculo y el software entrega varias temperaturas y diferencias entre estas como resultados (Figura 2.11), siendo la más importante para el desarrollo de este proyecto la temperatura T_{ob} , que hace referencia a la temperatura que se generará en el espacio interior del lado frío del dispositivo y que debe ser inferior al compararse con la temperatura de punto de rocío usada para el diseño.

Temperatures (°C)	Temperature differences (°C)
Th = 19.8	Th-Ta = 5.8
Ta = 14.0	Ta-Tob = 9.6
Tob = 4.4	Tob-Tc = 2.1
Tc = 2.3	Th-Tc = 17.5

Figura 2.11. Resultados del cálculo.

El software de Kryotherm ha sido usado también en diversos estudios previos en las Ref. [14] y [16].

Diseño mecánico

Para el diseño mecánico se toma como base el diseño propuesto en la Ref. [14] en donde se plantea un diseño con dos canales interconectados, en el medio se colocan las placas Peltier y se cubren con disipadores de calor, el aire ingresa por el lado del canal frío de las celdas Peltier y recircula para enfriar el lado caliente, se usa un ventilador para mover el aire (Figura 2.12).

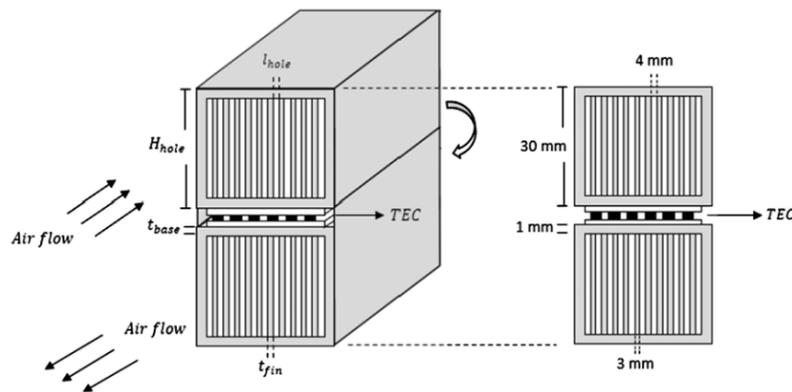


Figura 2.12. Esquema del sistema.

En el estudio se realiza un modelamiento y una simulación del sistema, no obstante, el modelo tomado como base no se construyó, por lo que no se tomó en cuenta las dificultades que se podrían presentar para su construcción. La recolección del agua generada presenta un problema si los canales se interconectan. De la misma manera, la producción de los disipadores de calor de esas características es muy complicada.

Para el diseño de los disipadores de calor (Figura 2.13) se usará el software Inventor, en el cuál, también se generarán los planos de taller para construcción de las piezas. El método elegido para la fabricación de los disipadores de calor es el de arranque de viruta

con una fresa a partir de un tocho de duraluminio. Este proceso fue elegido debido a la facilidad y rapidez con la que puede ser realizado.

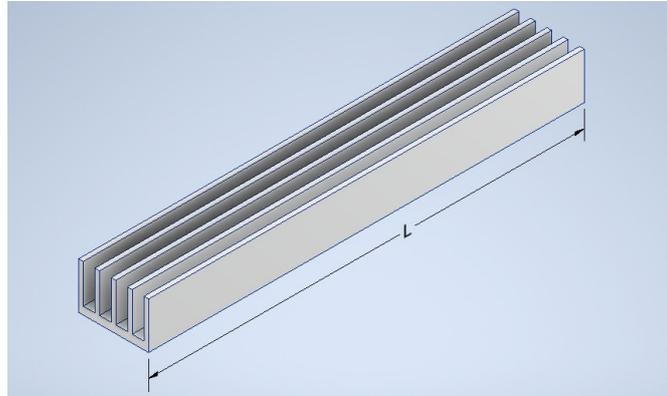


Figura 2.13. Disipador de calor.

El soporte donde ubicaran las placas Peltier y la base del sistema se realizará mediante impresión 3D, debido a su forma complicada. El software utilizado para la generación del código G que acepta la impresora es Ultimaker Cura (Figura 2.14). Este software permite la selección de la impresora que se va a usar que será la Creality Ender 3 cuyas características se muestran en el Anexo I y viene con los parámetros predeterminados para lograr impresiones aceptables sin mayores modificaciones.

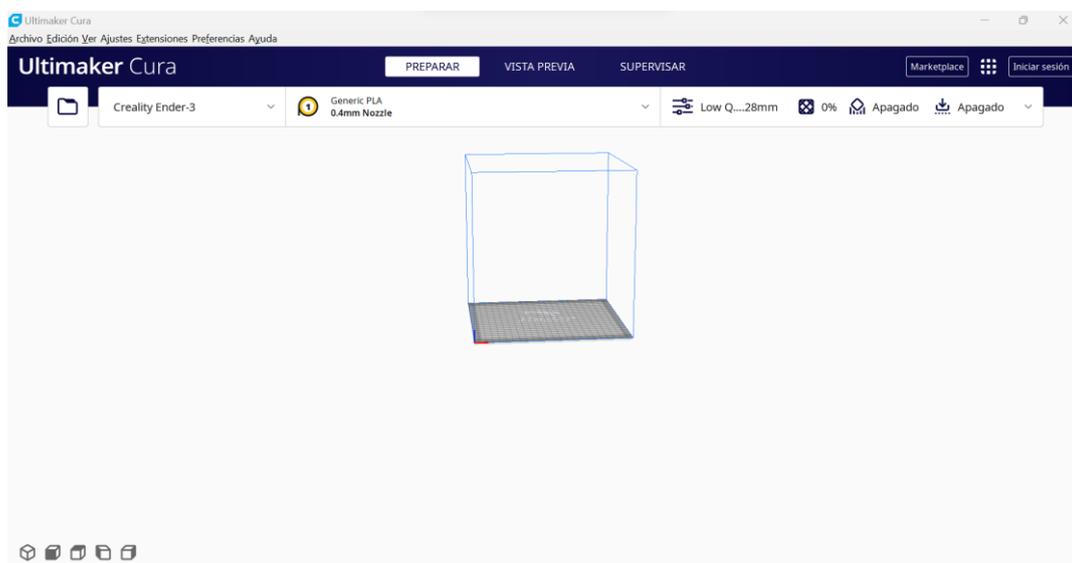


Figura 2.14. Pantalla inicial de Cura.

El material que se va a usar será PLA (Anexo II), este material es el más común en este tipo de proceso de manufactura y por tanto hace más fácil la selección de los parámetros de impresión (Figura 2.15). Se selecciono la calidad standard y el único parámetro que se modifiko fue el del relleno. Para la impresión del soporte donde se colocan las celdas Peltier

se colocó un relleno del 100%, esto debido a que su pequeño espesor (4mm). Para la base del sistema por otra parte se decidió no colocar relleno, esto debido a que el peso del dispositivo no hace necesario una base muy robusta.

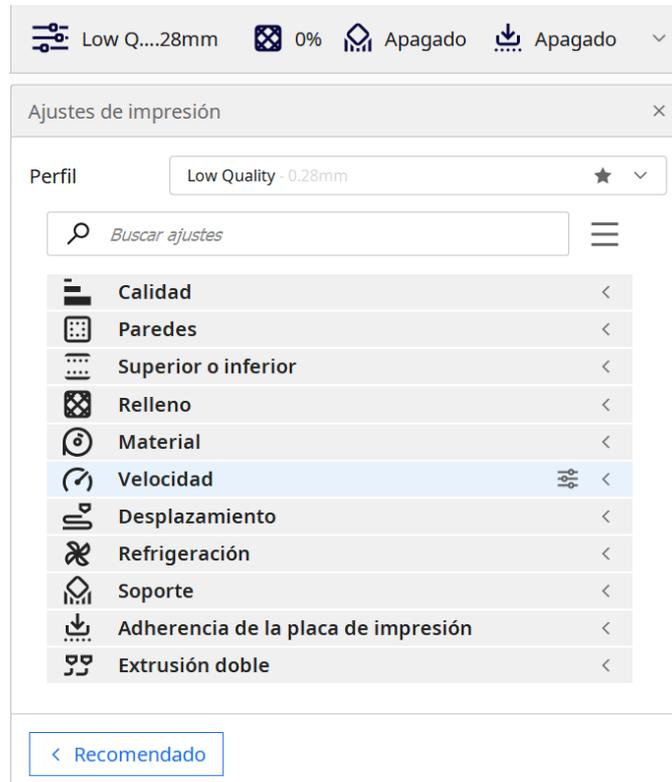


Figura 2.15. Parámetros de impresión.

Protocolo de pruebas

Se realizará las prueba del dispositivo encendiéndolo por un tiempo de 10 horas desde las 11:00 horas hasta las 21:00 al aire libre bajo sombra. El voltaje de alimentación se dejará fijo en 12 V y con los ventiladores encendidos durante toda la prueba. Se observará la temperatura ambiental y la humedad relativa durante la prueba. Al final de la prueba se medirá el volumen de agua recogida en el recipiente.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

3.1.1 Punto de rocío

Con los datos recopilados se encuentra la temperatura de rocío promedio mensual. En la Figura 3.1 se observa variaciones menores en el período de un año. Por lo que se tomó el promedio para el diseño.

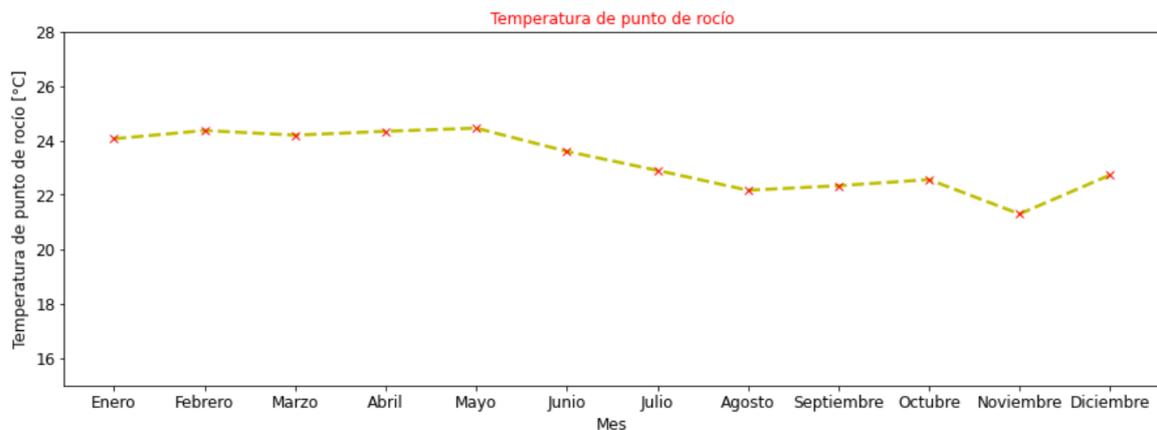


Figura 3.1. Temperatura de rocío.

3.1.2 Diseño mecánico

El sistema considerado en el diseño se muestra en la Figura 3.2, consiste en cinco módulos Peltier conectados en serie colocados como se ve en la Figura 3.2, cubiertos por disipadores de calor en sus dos lados. El lado frío estará aislado y se hará circular el aire mediante un ventilador para optimizar la transferencia de calor, así como se muestra en la Figura 3.3. A diferencia del modelo base (Figura 2.12), el lado caliente estará dispuesto al aire libre pero también contará con un ventilador para mantener la temperatura controlada y evitar que el calor empiece a circular hacia el lado frío de las celdas Peltier [14].

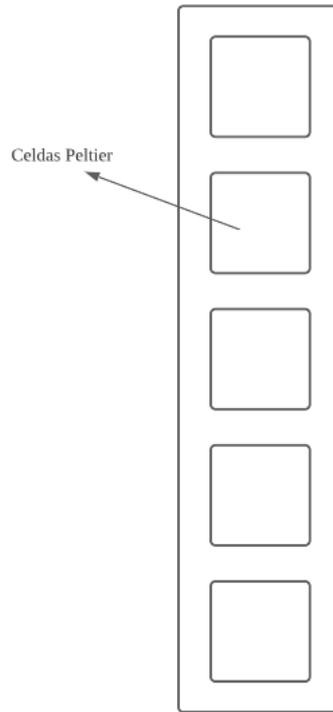


Figura 3.2. Disposición de las celdas.

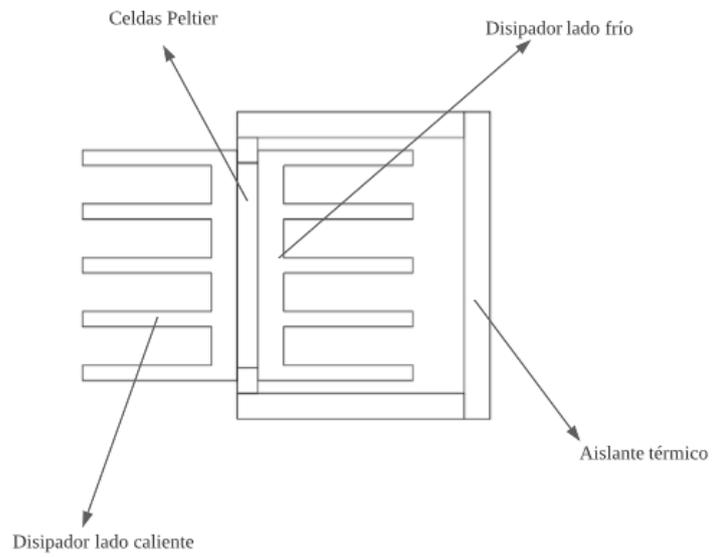


Figura 3.3. Vista superior del sistema.



Figura 3.4. Esquema del sistema.

Del software de Kryotherm se obtiene la temperatura interior del lado frío y el COP que se muestran en la Tabla 3.1, esta temperatura es considerablemente menor a la temperatura de rocío, por lo que el prototipo funcionará sin problemas. El COP se muestra bajo, esto debido a que las celdas Peltier son dispositivos que no presentan un rendimiento tan alto como los sistemas de compresión de vapor y sus coeficientes de desempeño en el mejor de los casos llegan a 1.25 en función del voltaje suministrado y la cantidad de calor que puedan disipar del lado caliente [17].

Tabla 3.1. Resultados simulación Kryotherm.

Resultados obtenidos de Kryotherm	
t_{int}	13.1 [°C]
COP	0.614

A partir de esto se realizó el modelado en Inventor de cada una de las piezas para posteriormente realizar el ensamble y poder visualizar el modelo final a ser construido (Figura 3.5).

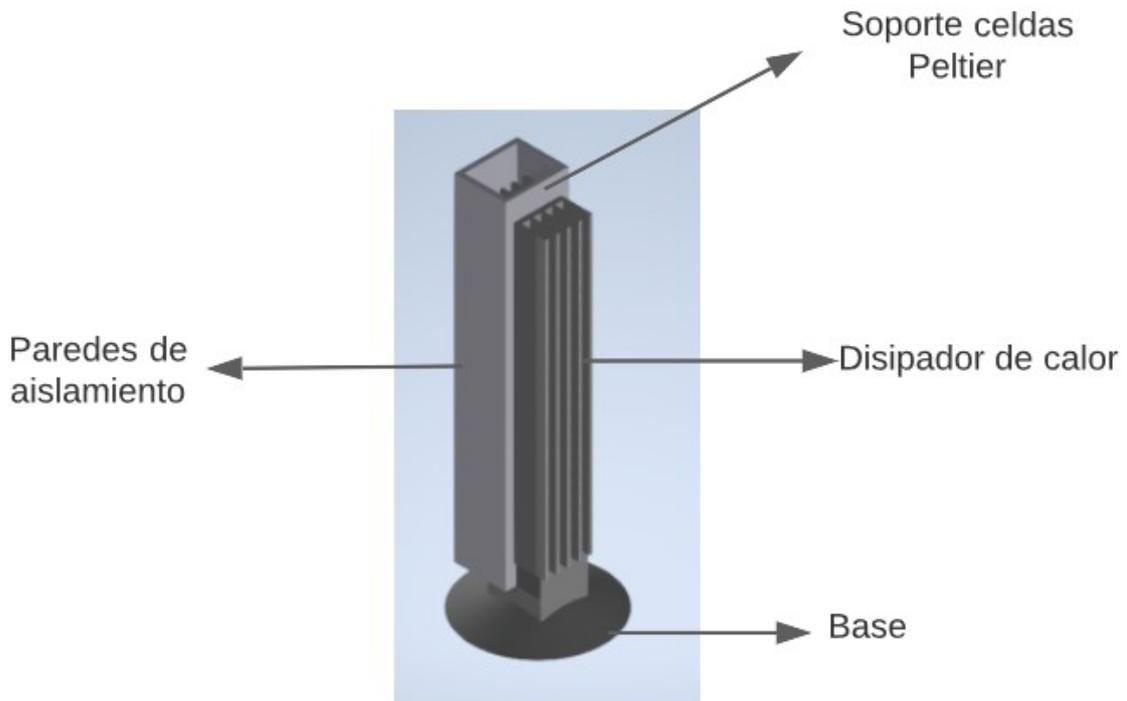


Figura 3.5. Modelo final.

La fabricación del soporte se realizó mediante un proceso de impresión 3D en una impresora Ender 3 usando como material PLA, un material de fácil manejo y bajo costo. La impresión tomó alrededor de 4 horas debido a las características de relleno y geometría. Su impresión se realizó en dos partes (Figura 3.6) como se muestra en el Anexo III, debido a condicionamientos de tamaño de la impresora.

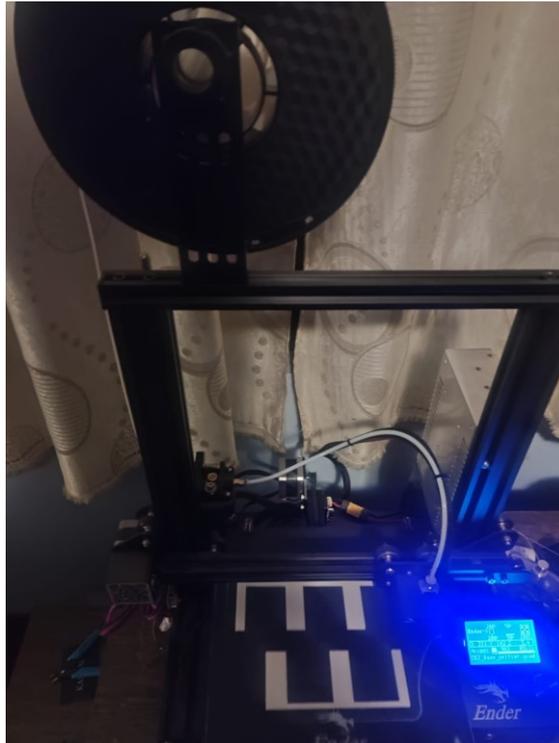


Figura 3.6. Impresión del soporte.

Los disipadores de calor se fabricaron a partir de tochos de duraluminio de 30x45x260 mm (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Figura 3.7), mediante un proceso de arranque de viruta con una fresa de ¼ pulgadas, con 25 pasadas con 1mm de avance.



Figura 3.7. Maquinado de los disipadores.

En el Anexo IV se muestra el plano de taller para la construcción del disipador de calor que es la pieza que presentó mayor complejidad, debido al material y proceso.

Para el funcionamiento del sistema eléctrico se adquirió una fuente de 12 V y 5 A, que cumple con las especificaciones de las celdas Peltier (Figura 3.8).



Figura 3.8. Fuente de alimentación.

Fue necesario, también, el desarrollo de una base para el sistema, ya que debido al peso de los componentes no permitía el equilibrio del prototipo. El soporte fue diseñado en Inventor y fue impreso en 3D en PLA, su impresión tomó alrededor de 4:30 horas(Figura 3.9). La base se realizó también tomando en cuenta que esta pueda ser colocada en baldes u ollas disponibles en cualquier hogar (Anexo V).

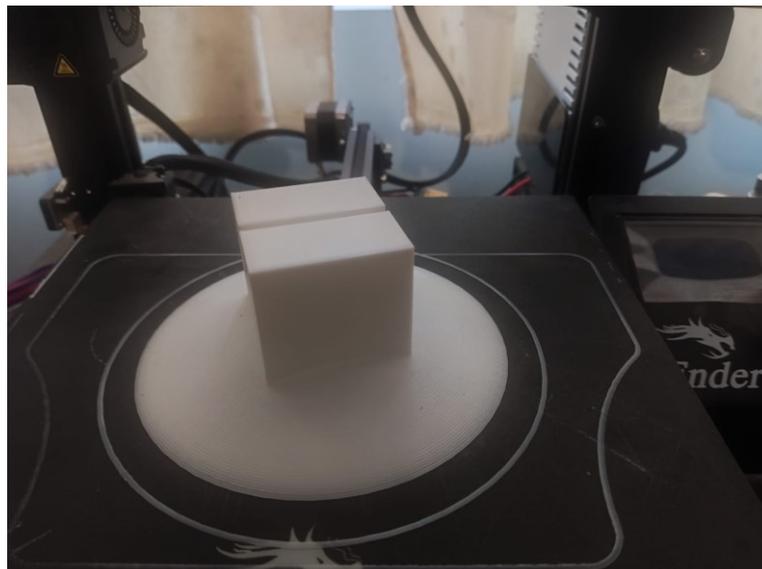


Figura 3.9. Base del dispositivo.

Los ventiladores que van a ser utilizados funcionan con 12 V y a 0.09 A, se eligen estos debido a que son los únicos que pueden ser utilizados debido a las dimensiones del sistema (Figura 3.10).



Figura 3.10. Ventiladores del sistema.

3.1.3 Prototipo final.

Con todas las partes completas se realizó el armado del prototipo (Figura 3.11.) y mediante el uso de un protoboard, se comprobó las conexiones para verificar que todo funcione de forma adecuada. Las celdas Peltier y los ventiladores funcionaron sin ningún problema con la fuente de 12 V y 5 A.

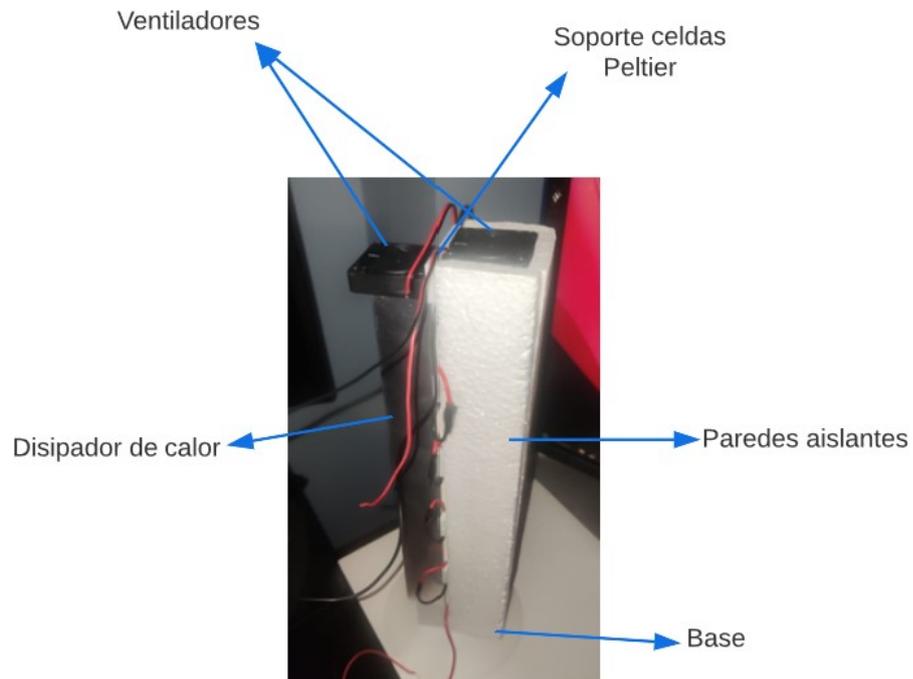


Figura 3.11. Prototipo armado.

3.1.4 Prueba

Se realizó una prueba de funcionamiento del dispositivo. La temperatura promedio de estas 10 horas estuvo en los 18 °C, esta se encontraba por encima de la temperatura que se iba a generar según los cálculos en la simulación, por lo que el prototipo podría funcionar sin problemas. La humedad relativa que se indicaba era del 100%. El clima en general se encontraba nublado y con mucho viento.

El dispositivo se mantuvo prendido por 10 horas, después de alrededor de 30 minutos se pudo observar una pequeña cantidad de diminutas gotas formándose en las aletas del disipador de calor del lado frío (Figura 3.12).



Figura 3.12. Funcionamiento del sistema.

Después de las 4 horas se pudo notar que el lado frío del sistema subió su temperatura. Al final de las prueba, se midió la cantidad de agua generada, siendo esta de 200 ml.

3.1.5 Discusión

El sistema debería funcionar de la misma forma siempre y cuando existan condiciones climáticas similares a las del lugar del estudio. Mientras la diferencia entre la temperatura de rocío y la generada por las celdas Peltier sea mayor, se obtienen mejores resultados [14].

Los resultados obtenidos se muestran muy por debajo de los esperados y de los logrados en la Ref. [14]. Las celdas Peltier después de horas de funcionar empiezan a perder efectividad en la disipación de calor y el lado frío sube de temperatura dificultando la condensación de agua. La calidad de los componentes y su manejo pueden repercutir en los resultados ya que estos elementos tienen un tiempo de vida útil determinado.

Este prototipo fue construido teniendo en cuenta las limitaciones económicas, y por tanto se optimizó los recursos usando materiales económicos y de fácil acceso. Esto hace que la construcción del dispositivo sea sencilla, a diferencia del modelo tomado como referencia, el cual presentaba muchas dificultades para la recolección del líquido generado.

Por otra parte, se puede mejorar mucho el dispositivo propuesto, sobre todo en el área de los intercambiadores de calor. Construir intercambiadores de calor con un mayor número

de aletas haría que el área de transferencia de calor se incremente y se facilite la condensación de líquido.

El uso del software de Kryotherm también puede generar incertidumbres, ya que si bien todos las celdas Peltier funcionan bajo el mismo principio y su fabricación se basa en parámetros específicos, los componentes varían entre si y mucho más entre diferentes fabricantes. El software está diseñado principalmente para la simulación de los componentes fabricados por Kryotherm, y esto puede generar incertidumbres en los resultados.

Las condiciones climáticas obtenidas también pueden ser objeto de incertidumbres, ya que, al no existir una estación climática en el lugar de estudio, se tomó los datos de una estación cercana y que si bien la región tiene el mismo clima, por las condiciones geográficas del país, siempre existen variaciones climáticas en distancias cortas. Asimismo, la información disponible se limitaba a la del año 2022, cuando en este tipo de análisis es recomendable analizar la información de múltiples años.

3.2 Conclusiones

1. Se realizó una amplia revisión bibliográfica sobre los colectores de agua atmosférica de todo tipo con un enfoque en los de captación activa en la que se encontró que los COP de estos dispositivos son bajos en comparación con otros métodos de enfriamiento funcionando en un rango de 0.5 a 1.25.
2. Se diseñó el colector de agua atmosférica tomando como base un diseño y intentando reducir costos y usando procesos de manufactura de fácil acceso como la impresión 3D para la generación de piezas de geometrías complejas.
3. Los resultados no fueron los esperados si se compara con los obtenidos en simulaciones y experimentos realizados previamente resumidos en la Ref. [14], no obstante, hay que tener en cuenta que el COP de un sistema conectado en serie se incrementa con un mayor número de celdas Peltier y la mayoría de los experimentos se realizan con más de 10.
4. La cantidad de líquido generada por el dispositivo no es representativa para su uso en el hogar, es necesario el uso de más celdas Peltier para generar cantidades que sean aprovechables en un hogar.

3.3 Recomendaciones

1. Se recomienda realizar los cálculos del punto de rocío con un mayor número de datos, tomando en cuenta más años, para tener resultados más confiables.

2. Es recomendable el uso de una fuente de poder de parámetros variables para analizar la mejor configuración que varía dependiendo de las condiciones en las que se desempeñe el prototipo.
3. Realizar una serie de pruebas durante varios días y épocas del año para evaluar el desenvolvimiento del sistema bajo distintas condiciones y en diferentes escenarios.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Jarimi, R. Powell, y S. Riffat, "Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting", *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 15, núm. 2. 2020. doi: 10.1093/ijlct/ctz072.
- [2] M. Kumar y A. Yadav, "Experimental investigation of solar powered water production from atmospheric air by using composite desiccant material 'CaCl₂ /saw wood'", *Desalination*, vol. 367, pp. 216–222, jul. 2015, doi: 10.1016/j.desal.2015.04.009.
- [3] OMS, "Agua para consumo humano", el 21 de marzo de 2022.
- [4] R. Tu y Y. Hwang, "Reviews of atmospheric water harvesting technologies", *Energy*, vol. 201, p. 117630, jun. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117630.
- [5] B. Bhushan, "Design of water harvesting towers and projections for water collection from fog and condensation", *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 378, núm. 2167, p. 20190440, mar. 2020, doi: 10.1098/rsta.2019.0440.
- [6] Groth W y Hussman P, "Process and system for recovering water from the atmosphere.", US Patent No. 4146372, 1979
- [7] C. Rubio Ramírez, G. M. Lizarazo, y E. Vera Duarte, "Termoelectricidad: uso de las celdas peltier en el campo de la refrigeración y sus principales aplicaciones", *INVENTUM*, vol. 12, núm. 22, pp. 9–16, nov. 2017, doi: 10.26620/uniminuto.inventum.12.22.2017.9-16.
- [8] A. C. Sulaiman, N. A. M. Amin, M. H. Basha, M. S. A. Majid, N. F. bin M. Nasir, y I. Zaman, "Cooling Performance of Thermoelectric Cooling (TEC) and Applications: A review", *MATEC Web of Conferences*, vol. 225, p. 03021, nov. 2018, doi: 10.1051/mateconf/201822503021.
- [9] Ferrotec USA, "Thermoelectric Modules".
- [10] "Peltier_Effect".
- [11] A. L. Bautista-Olivas y F. C. Bautista, "Estimacion Del Potencial De Captura De Agua Atmosferica En Guásimas, Sonora", *European Scientific Journal, ESJ*, vol. 14, núm. 9, 2018, doi: 10.19044/esj.2018.v14n9p68.
- [12] GADMSMB, "SAN MIGUEL DE LOS BANCOS".

- [13] INAMHI, "Reporte INAMHI".
- [14] M. Eslami, F. Tajeddini, y N. Etaati, "Thermal analysis and optimization of a system for water harvesting from humid air using thermoelectric coolers", *Energy Convers Manag*, vol. 174, pp. 417–429, oct. 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.08.045.
- [15] DIYMORE, "TEC112706 Thermoelectric Cooler Peltier 12V Semiconductor Refrigeration Heatsink Plate Module".
- [16] S. Lineykin y S. Ben-Yaakov, "Analysis of Thermoelectric Coolers by a Spice-Compatible Equivalent-Circuit Model", *IEEE Power Electronics Letters*, vol. 3, núm. 2, pp. 63–66, jun. 2005, doi: 10.1109/LPEL.2005.846822.
- [17] N. P. Bayendang, M. T. Kahn, V. Balyan, I. Draganov, y S. Pasupathi, "A Comprehensive Thermoelectric Cooler (TEC) Modelling", *SSRN Electronic Journal*, 2020, doi: 10.2139/ssrn.3735378.

5 ANEXOS

ANEXO I

Product Parameters			
Machine model	Ender-3	File format	STL, OBJ, AMF
Molding technology	FDM(Fused Deposition Molding)	Slicing software	Cura, Repetier-Host, simplify3D
Printing size	220*220*250mm	Power supply	input: AC 115V/230V output: DC 24V 270W
Printing speed	≤180mm/s, normal 30-60mm/s	Filament	PLA, ABS, TPU, wood, copper, gradient, etc.
Printing precision	±0.1mm	N.W.	6.62kg
Nozzle diameter	standard 0.4mm, can be in 0.3 or 0.2mm	Machine size	440*440*465mm
Hotbed temperature	≤100°C	G.W.	8.1kg
File transfer	Online or SD card offline	Packaging size	570*380*205mm

Figura 5.1. Características de la impresora Ender 3.

ANEXO II

Property	Value
Heat Deflection Temperature (HDT)	126 °F (52 °C)
Density	1.24 g/cm ³
Tensile Strength	50 MPa
Flexural Strength	80 MPa
Impact Strength (Unnotched) IZOD (J/m)	96.1
Shrink Rate	0.37-0.41% (0.0037-0.0041 in/in)

Figura 5.2. Características del PLA.

ANEXO III

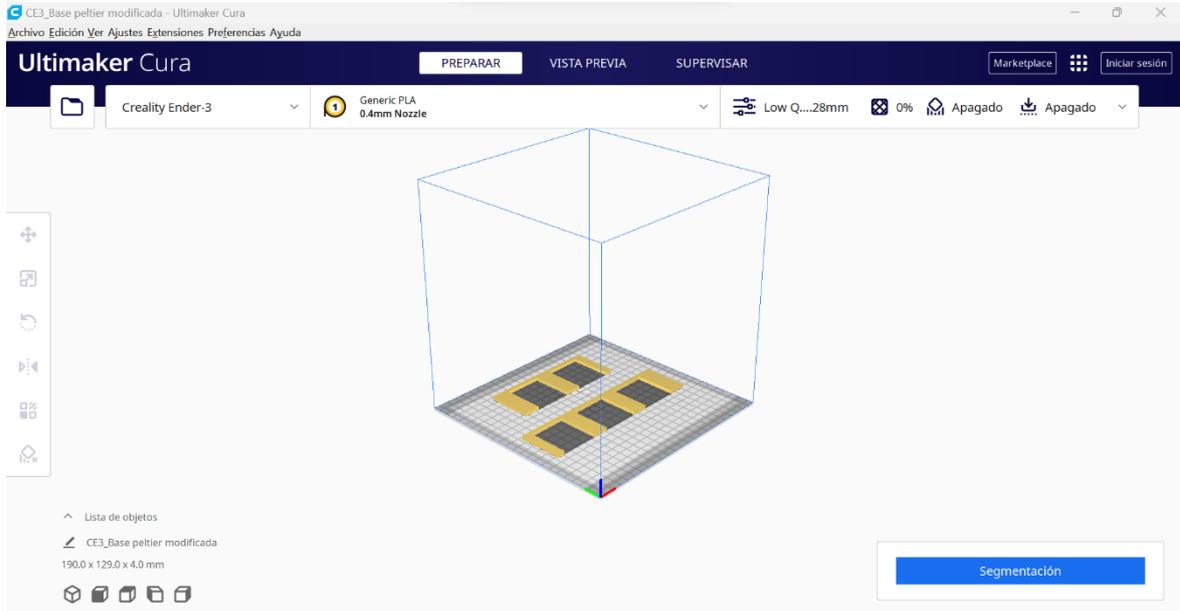
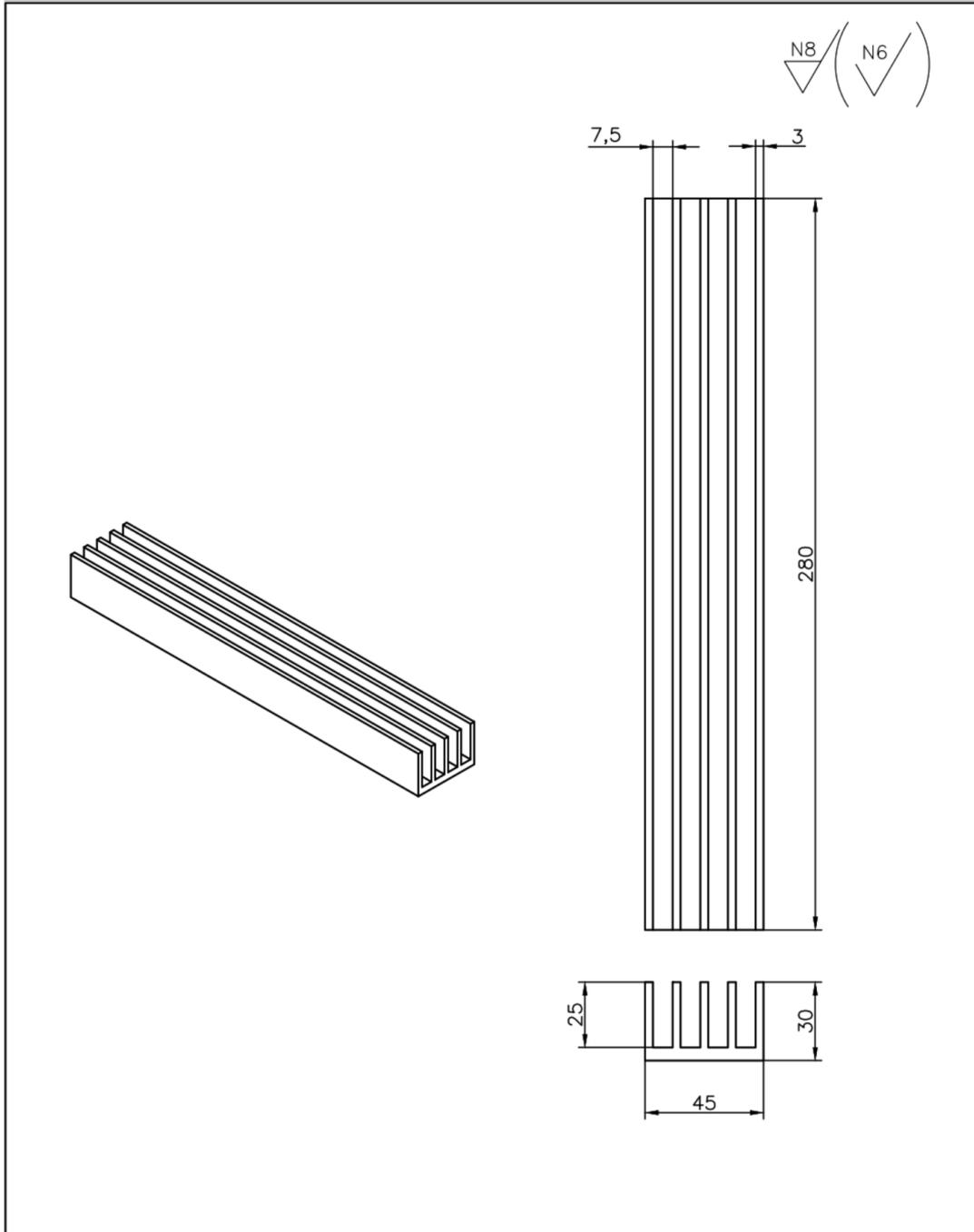


Figura 5.3. División del soporte de las celdas Peltier.

ANEXO IV



TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Jhoan Mafla
MATERIAL:	Duraluminio	TOL. GRAL.:	ESCALA:	DIS.:
		0.1	1:2	Jhoan Mafla
				REV.:
DISIPADOR DE CALOR		ANEXO I		FECHA: 10-02-23

ANEXO V

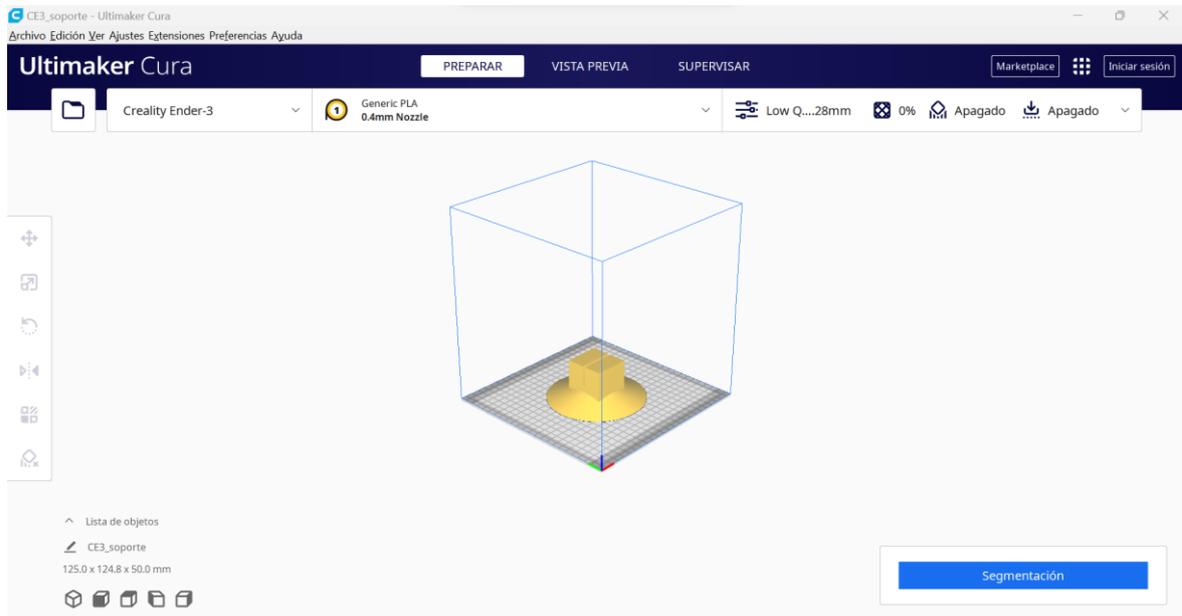


Figura 5.4. Modelo del soporte en Cura.