



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE HERMOSILLO

## DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

### GENERADOR DE AGUA MEDIANTE EL USO CELDAS PELTIER Y ENERGÍA SOLAR

#### TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ingeniería Electrónica  
Ing. Luis Eduardo Rascón Barceló

Director  
M.C. José Manuel Chávez

Revisores:

M.C. Fredy Alberto Hernández Aguirre

M.C. Rafael Armando Galaz Bustamante

Hermosillo, Sonora

Junio de 2020





Dedicado a  
mi hermano Rubén,  
por ser mi mejor amigo,  
consejero y ejemplo a seguir.

## **AGRADECIMIENTOS**

Son demasiadas personas las que han contribuido en el proceso de este trabajo brindándome su apoyo y su amistad.

Primeramente, mi agradecimiento a quien ha forjado mi camino y me dirigirá toda mi vida, Dios, el que en todo momento estará conmigo ayudándome a aprender de mis errores y a no cometerlos nuevamente.

Gracias al Instituto Tecnológico de Hermosillo, por abrirme una vez más sus puertas y brindarme una nueva etapa en mi formación académica y laboral. Las grandes oportunidades nacen de haber sabido aprovechar las pequeñas, siempre estaré agradecido con mi casa, ITH.

Dicen que no es mejor maestro el que más sabe, sino el que mejor enseña; quiero agradecer al M.C. José Manuel Chávez, mi maestro y mi amigo, quien me apoyó desde el momento que deseaba ingresar al posgrado hasta este momento en que concluyo mi formación. Usted me permitió ir más allá de un posgrado, siempre con la visión hacia el campo laboral y profesional.

Dicen que la mejor herencia que nos pueden dejar los padres son los estudios, mis padres me han permitido trazar mi camino y caminar con mis propios pies. Todo lo que logre hacer será por el reconocimiento a su fortaleza, virtudes y valores inculcados en mí. Gracias Mirna Patricia y Luis Rubén.

A mis colegas y amigos M.C. Fredy Alberto Hernández Aguirre y M.C. Rafael Armando Galaz Bustamante, quienes por segunda ocasión, compartieron de sus conocimientos y me impulsaron a ser cada día mejor, siempre les estaré agradecido por su labor.

Gracias a Dios por permitirme tener una familia que siempre creyó en mí y gracias por ser la motivación para cada día llegar más lejos en mi vida, en especial a mi novia, por motivarme y no permitirme desistir en los momentos difíciles, por su fé, amor y confianza en mí, con el deseo de convertirme en una mejor persona.

A mis compañeros de posgrado, MIE, MII, MCC, con quienes he forjado una gran amistad, gracias por sus enseñanzas y consejos que me han brindado, demostrándome que el éxito se puede alcanzar trabajando día con día.

Finalizo agradeciendo a esas personas quienes forman un gran pilar de apoyo dentro del posgrado del Tecnológico, M.C.O. Rosa Irene Sánchez Fermín, Dr. Fernando Javier Carrasco Guigón, Dr. Rafael Murrieta Yescas, felicitándolos por su labor y deseándoles que continúen apoyando a las próximas generaciones.

## **RESUMEN**

En la actualidad, las temporadas de sequía son más prolongadas a consecuencia del calentamiento global, lo cual ha generado escases y racionamiento de agua, dichas condiciones se convierten en el principal problema en los poblados alejados a las zonas urbanas y con poca infraestructura. México cuenta con 653 acuíferos en todo su territorio, 106 están sobreexplotados debido a actividades agrícolas, mineras, industriales y urbanas, lo que proyecta al país un posible agotamiento y contaminación de su líquido vital [1]. Por tal motivo, con el fin de contribuir con una solución a la problemática de la escases de agua, al aplicar un sistema de control a la tecnología que utilizan las celdas de Peltier se genera un flujo moderado de agua, ya que condensa las partículas de agua suspendidas en el aire. De esta manera se implementará un arreglo de celdas de Peltier para obtener la mayor cantidad de agua posible bajo factores ambientales, como humedad y temperatura. Además, al tratarse de zonas donde la distribución de energía eléctrica es inaccesible, el uso de fuentes de energía de tipo fotovoltaico servirá para alimentar al sistema generador de agua de una manera autosustentable aprovechando la radiación solar.

## **PALABRAS CLAVE**

- Sistema fotovoltaico.
- Energías renovables.
- Condensación de agua.
- Microcontroladores.
- Sensores de humedad y temperatura.
- Celdas de Peltier.

## **ABSTRACT**

At present, the times of drought are more prolonged as a result of global warming, which has generated scarcity and rationing of water, these conditions become the main problem in towns far from urban areas and with little infrastructure. Mexico, with 653 aquifers throughout its territory, 106 are overexploited due to agricultural, mining, industrial and urban activities, which projects the country with a possible depletion and contamination of its vital liquid [1]. For this reason, in order to contribute a solution to the problem of water scarcity, a moderate flow of water is generated by applying a control system to the technology used by Peltier cells, as it condenses the particles of water suspended in the air. In this way an array of Peltier cells will be implemented to obtain as much water as possible under environmental factors, such as humidity and temperature. In addition, since they are areas where the distribution of electrical energy is inaccessible, the use of photovoltaic energy sources will serve to feed the water generating system in a self-sustaining way, taking advantage of solar radiation.

## **KEYWORDS**

- Photovoltaic system.
- Renewable energy.
- Water condensation.
- Microcontrollers.
- Humidity and temperature sensors.
- Peltier cells.



## **CONTENIDO**

1. Introducción.....	16
1.1 Antecedentes.....	16
1.2 Planteamiento del Problema.....	16
1.3 Justificación del Tema de Tesis.....	17
1.4 Hipótesis.....	17
1.5 Objetivos Generales y Particulares.....	17
1.5.1 Objetivo General.....	17
1.5.2 Objetivos Particulares.....	17
1.6 Metas y Alcances.....	18
1.7 Organización del Documento.....	18
2. Marco Conceptual y Antecedentes del Caso de Estudio.....	19
2.1 Antecedentes del Caso de Estudio.....	19
2.1.1 Planet's Water Co.....	19
2.1.2 Eole Water.....	20
2.1.3 ZeroMass Water.....	21
2.1.4 SunGlacier.....	23
2.2 Marco Conceptual.....	25
2.2.1 Efectos Termoeléctricos.....	25
2.2.1.1 Efecto Seebeck.....	26
2.2.1.2 Efecto Peltier.....	27
2.2.1.3 Efecto Thomson.....	28
2.2.2 Punto de Rocío.....	29
2.2.2.1 Humedad Relativa y Humedad Absoluta.....	31
2.2.2.2 Parámetros Ambientales en Hermosillo, Sonora.....	31
2.2.3 Energía Solar en el Mundo.....	34
2.2.3.1 Energía Solar en México.....	35
2.2.3.2 Sistema Fotovoltaico Autónomo.....	36
2.3 Requerimientos necesarios.....	37
2.3.1 Arduino.....	37
2.3.1.1 Arduino IDE.....	38
2.3.1.2 Arduino MEGA 2560.....	38
2.3.2 Sensor GY-21.....	39
2.3.3 Sensor DS18B20.....	40



2.3.4	Sensor DHT11.....	40
2.3.5	MAX6675 y Termopar "K" .....	41
2.3.6	Kit-Refrigeración Semiconductor Peltier .....	41
2.3.7	MOSFET IRL540 .....	42
2.3.8	Resistencia de Calor.....	43
2.3.9	Panel Solar.....	44
2.3.10	Batería de Ciclo Profundo .....	44
2.3.11	Controlador de Carga .....	45
3.	Modelado del Sistema.....	47
3.1	Modelo Matemático de la Celda Peltier.....	47
3.2	Modelado del Comportamiento Dinámico .....	48
3.3	Modelo Simplificado.....	50
3.4	Especificaciones Térmicas y Conductivas de las Celdas Peltier.....	51
3.5	Telururo de Bismuto.....	53
3.6	Dimensionado del Sistema Fotovoltaico Autónomo.....	55
4.	Desarrollo.....	60
4.1	Activación del Dispositivo .....	61
4.2	Etapa de Muestreo.....	63
4.3	Etapa de Potencia.....	65
4.4	Conexión al Sistema de Alimentación Fotovoltaico.....	65
4.4.1	Preparación para la instalación.....	66
4.4.1.1	Instalación y conexión del panel fotovoltaico .....	67
4.4.2.2	Instalación del Regulador de carga.....	69
4.4.2.3	Instalación de la Batería.....	70
4.4.2.4	Verificar el funcionamiento del sistema fotovoltaico.....	70
5.	Resultados.....	73
5.1	Pruebas Preliminares de Prototipos .....	73
5.2	Metodología General.....	76
5.2.1	Pruebas.....	76
5.2.2	Resultados Relación Potencia Consumida/Producción de Agua.....	78
5.3	Análisis Comparativo.....	78
6.	Conclusiones .....	80
6.1	Conclusiones Finales.....	80



6.2 Trabajos Futuros y Recomendaciones .....	80
7. Referencias .....	82
Anexos .....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Dispositivos desarrollados por Planet's Water Co.....	19
Figura 2.2. Dispositivo desarrollado por EoleWater.....	20
Figura 2.3. Dispositivo desarrollado por ZeroMass Water.....	21
Figura 2.4. El vapor de agua es extraído del aire y convertido en agua líquida.....	22
Figura 2.5. Diagrama de Producción de Paneles SOURCE.....	22
Figura 2.6. Relación Humedad Relativa-Litros SOURCE.....	23
Figura 2.7. DC 03 Technology.....	24
Figura 2.8. Dispositivos desarrollados por SunGlacier.....	25
Figura 2.9. Principio Termoeléctrico.....	26
Figura 2.10. Esquema Efecto Seebeck.....	26
Figura 2.11. Elemento termoeléctrico.....	27
Figura 2.12. Esquema del Efecto Peltier.....	28
Figura 2.13. Gotas de Agua formada a través de la humedad del ambiente.....	29
Figura 2.14. Temperatura Máxima y Mínima Promedio.....	32
Figura 2.15. Horas de luz natural y crepúsculo.....	33
Figura 2.16. Niveles de Humedad.....	33
Figura 2.17. Energía solar de onda corta incidente diario promedio.....	34
Figura 2.18. Radiación global media diaria en México.....	35
Figura 2.19. Producción primaria de energía en México (PJ).....	36
Figura 2.20. Sistema Fotovoltaico Autónomo con salida en CD.....	37
Figura 2.21. Sketch creado en Arduino IDE.....	38
Figura 2.22. Placa Arduino Mega 2560.....	39
Figura 2.23. Sensor de Humedad y Temperatura GY-21.....	39
Figura 2.24. Sensor de Temperatura y Humedad DS18B20.....	40
Figura 2.25. Sensor de Temperatura y Humedad DHT11.....	40
Figura 2.26. Sensor de Temperatura Termopar "K".....	41
Figura 2.27. Kit-Refrigeración Semiconductor Peltier.....	42
Figura 2.28. Resistencia de Calor.....	43
Figura 2.29. Panel Solar.....	44
Figura 2.30. Acumulador de Ciclo Profundo.....	45
Figura 2.31. Controlador de Carga.....	46
Figura 3.1. Ecuaciones equivalencia térmico-eléctrico.....	49
Figura 3.2. Circuito térmico-eléctrico equivalente.....	49
Figura 3.3. Circuitos equivalentes simplificados.....	50
Figura 3.4. Relación entre la corriente eléctrica y la diferencia de temperaturas entre las dos caras.....	50
Figura 3.5. Celda Peltier. T1 y T2 temperaturas de los bloques.....	51
Figura 3.6. Curva de rendimiento #1 a Th=27°C y Th=50°C.....	52
Figura 3.7. Curva de rendimiento #2 a Th=27°C y Th=50°C.....	53
Figura 3.8. Curva de rendimiento #3 a Th=27°C y Th=50°C.....	53
Figura 3.9. Representación de la figura de mérito en función a la concentración de portadores.....	54
Figura 3.10. Potencia Consumida en Celda Peltier (12 horas de muestreo).....	55
Figura 4.1. Descripción de Bloques de Funcionamiento.....	60

Figura 4.2. Simulación en Fritzing del Circuito Final.....	61
Figura 4.3. Software PLX-DAQ.....	62
Figura 4.4. Complemento Excel, registro de datos ambientales.....	62
Figura 4.4. Declaración de Condiciones de Activación.....	63
Figura 4.5. Montaje de Resistencias Calefactoras .....	64
Figura 4.6. Declaración de Variables de Tiempo de Resistencias de Calor.....	64
Figura 4.7. Interfaz Arduino - Etapa de Potencia .....	65
Figura 4.8 Esquema de instalación del Sistema Fotovoltaico.....	66
Figura 4.9. Puntos a considerar al momento de realizar una instalación.....	66
Figura 4.10. Montaje Panel Fotovoltaico.....	67
Figura 4.11. Identificación de polaridad en paneles solares .....	68
Figura 4.12. Comparación de eficiencia energética del panel solar.....	68
Figura 4.13. Importancia del sombreado sobre instalaciones fotovoltaicas.....	69
Figura 4.14. Conexión de terminales Panel-Regulador.....	69
Figura 4.15. Conexión de terminales Batería-Regulador.....	70
Figura 4.16. Verificación de voltaje almacenado en Regulador y Batería.....	71
Figura 4.17. Estado de carga en Baterías.....	71
Figura 4.18. Lectura de las señales del regulador de carga.....	72
Figura 5.1. Prototipo #1.....	73
Figura 5.2. Prototipo #2.....	74
Figura 5.3. Prototipo #3.....	74
Figura 5.4. Diseño de Prototipo #3 en plataforma SolidWorks .....	75
Figura 5.5 Grafica comparativa de valores de % de Humedad.....	76
Figura 5.6 Grafica comparativa de valores de Temperatura °C.....	77
Figura 5.7 Grafica comparativa de tiempo de obtención de agua.....	77

## TABLAS

Tabla 1. Relación entre temperatura, humedad relativa y punto de rocío.....	30
Tabla 2. Especificaciones del Acumulador.....	45
Tabla 3. Ajustes de Voltaje de Cargadores (@25°C) .....	45
Tabla 4. Especificaciones de Funcionamiento TEC1-12706.....	52
Tabla 6. Relación de Potencia Consumida por Número de Celdas utilizadas.....	56
Tabla 7. Relación de Potencia Generada por Número de Paneles utilizados.....	57
Tabla 8. Relación de Corriente de Entrada al Regulador y Número de Paneles Solares.....	58
Tabla 9. Relación de Corriente de Salida del Regulador y Potencia Generada por Celdas Peltier.....	58
Tabla 10. Relación de Autonomía del Prototipo utilizando Baterías.....	59
Tabla 11. Rendimiento de Prototipos .....	75
Tabla 12. Relación Potencia Consumida/Producción de Agua .....	78
Tabla 13. Costo Redimensionamiento del Prototipo #3 .....	78
Tabla 14. Desempeño SOURCE Hydropanels vs Prototipo.....	79
Tabla 15. Presupuesto Requerido "Prototipo #3" .....	92



**HOJA DE DIVISIÓN**

## Capítulo I

### 1. Introducción

---

#### 1.1 Antecedentes

En la actualidad, el hablar sobre el cambio climático es referirse al principal problema que nuestro planeta enfrenta y el cual, no solo afecta a nuestros distintos ecosistemas, sino también a la sociedad.

Las temperaturas del planeta son aptas para la vida gracias a un proceso natural llamado "Efecto Invernadero"; cuando la radiación solar llega a nuestra atmosfera, parte de ella es reflejada hacia el espacio y otra parte es absorbida por la Tierra, obteniendo la temperatura adecuada para la vida en ella. Por otra parte, existen los llamados "Gases de Efecto Invernadero", los cuales evitan que la radiación solar salga hacia el espacio y se quede en nuestra atmosfera, ocasionando un incremento en las temperaturas.

México no es la excepción, a consecuencia del calentamiento global el país experimenta distintos problemas climáticos, los cuales nunca se habían registrado. El incremento de temperatura cada vez es más prolongado en épocas de sequía, donde el suelo es árido, se ha generado escases y racionamiento de agua, dichas condiciones se convierten en la mayor afectación en los pueblos alejados a las zonas urbanas y con poca infraestructura. El líquido con el que se cuenta, muchas veces por condiciones naturales, y otras por la intervención del ser humano, llega a sufrir daños irreversibles. México cuenta con 653 acuíferos en todo su territorio, 106 están sobreexplotados debido a actividades agrícolas, mineras, industriales y urbanas, lo que proyecta al país un posible agotamiento y contaminación de su líquido vital [1].

Por ello, es necesario desarrollar un plan emergente para evitar y solucionar el inminente problema de la escasez de agua, no solo tomar conciencia en el ahorro y cuidado de esta, sino buscar nuevos métodos para la obtención de este líquido de una manera sustentable.

#### 1.2 Planteamiento del Problema

Al tratarse de zonas donde el clima es árido, el acceso a fuentes ilimitadas de este líquido vital es imposible, afectando al desarrollo de empresas y comunidades. Se han realizado múltiples investigaciones

sobre los métodos alternativos para la obtención de agua, logrando resultados no viables. Dado a los altos costos de transportación de agua potable entre distintas localidades y a la sobreexplotación de los mantos acuíferos pareciera que nuestro problema no tendrá fin.

Por tal motivo, es necesario un sistema capaz de generar agua de manera alterna, el cual, no afecte a nuestro ecosistema y pueda satisfacernos de un flujo moderado de agua.

### **1.3 Justificación del Tema de Tesis**

Ante el evidente problema que nuestro planeta enfrenta a consecuencia del cambio climático y el racionamiento agua, como ingenieros y futuros investigadores es nuestra obligación desarrollar y aplicar nuevas tecnologías para aprovechar los recursos del planeta.

Al diseñar nuevos métodos o sistemas para la obtención de agua, podemos aprovechar los distintos ecosistemas y estaciones del año para generar la máxima cantidad posible.

### **1.4 Hipótesis**

Es posible realizar un prototipo generador de agua utilizando el Efecto Peltier y la humedad contenida en el ambiente. Mediante el punto de rocío se podrán calcular los factores ambientales con los cuales se obtendrán mejores resultados y mostrarlos en tiempo real en computadora y el prototipo.

### **1.5 Objetivos Generales y Particulares**

#### **1.5.1 Objetivo General**

- Diseñar e implementar un equipo prototipo capaz de obtener agua a partir de la condensación de la humedad del aire.

#### **1.5.2 Objetivos Particulares**

- Desarrollar un sistema de control para la manipulación de celdas de Peltier.
- Implementar un arreglo de celdas de Peltier para obtener la mayor cantidad de agua posible bajo factores ambientales, como humedad y temperatura.
- Utilizar una fuente de energía alternativa autónoma, de tipo fotovoltaica, para la alimentación del sistema en zonas donde no exista acceso a fuentes de energía eléctrica constante.



- Visualizar en tiempo real los factores ambientales, humedad y temperatura, en un computador.
- Calcular en consumo de energía (potencia total) en los distintos prototipos de generador de agua.

## **1.6 Metas y Alcances**

- Demostrar la eficiencia del sistema de generación de agua ante diferentes tipos de ecosistemas y factores ambientales.
- La cantidad de agua generada por el prototipo se verá delimitada a la cantidad de Celdas Peltier utilizadas.
- Los factores ambientales serán de gran importancia para la optimización de resultados esperados.

## **1.7 Organización del Documento**

Este documento cuenta con seis capítulos:

- En el Capítulo 1, se presentan los fundamentos con los cuales se buscó desarrollar esta tesis.
- Dentro del Capítulo 2, se encuentra toda la información e investigaciones, previamente realizadas, referentes al tema de tesis.
- Capítulo 3, se desarrolla el modelado de los componentes del sistema.
- La presentación, funcionamiento y desarrollo del prototipo se encuentra en el Capítulo 4. Se da a conocer, paso por paso, el modo de operación del sistema.
- El Capítulo 5 plantea los resultados obtenidos durante los periodos de prueba del prototipo.
- En el Capítulo 6 se dan las conclusiones y planteamientos futuros sobre este proyecto de investigación, así como, sus distintas variantes de aplicación.

## Capítulo II

### 2. Marco Conceptual y Antecedentes del Caso de Estudio

---

En este capítulo se muestran los diferentes conceptos, métodos y herramientas necesarias para la obtención de un flujo moderado de agua utilizando la humedad del ambiente. En la Sección 2.1 se muestran los diferentes tipos de dispositivos comerciales para la producción de agua a partir de la humedad. En la Sección 2.2 se explican las bases teóricas y experimentales para la obtención del punto de rocío. Por último, en la Sección 2.3 se presentan distintos dispositivos para la medición de variables ambientales, además, el funcionamiento de las Celdas Peltier y su importancia en el desarrollo del prototipo.

#### 2.1 Antecedentes del Caso de Estudio

##### 2.1.1 Planet's Water Co.

Planet's Water Co., empresa fundada en Inglaterra, proporciona agua potable más fresca, limpia y pura directamente del mismo aire que respiramos. Planet's Water Corp respalda y distribuye generadores de agua atmosférica que no requieren tuberías, solo electricidad. Los generadores de agua atmosférica (Figura 2.1) basados en hogares/oficinas AWG-30H producen hasta 30 litros de agua por día solo utilizando el aire del ambiente, que es más pura que cualquier fuente disponible en el planeta [2].



**Figura 2.1. Dispositivos desarrollados por Planet's Water Co.**

Hay una abundancia de agua en la atmósfera, sin embargo, limitada en los recursos del suelo, así como su pureza. Aunque el agua

generalmente se considera una sustancia saludable, gran parte de lo que eliminamos de los acuíferos mediante la perforación de pozos no se prueba en muchos países en desarrollo como adecuado para el consumo humano [2].

La tecnología única de Planet's Water Corp. genera agua atmosférica de manera simple y potable del aire que respiramos, extrae agua del aire mediante deshumidificación, que luego pasa a través de un sistema de filtración de ósmosis inversa de múltiples etapas que produce agua limpia.

### **2.1.2 Eole Water**

Eole Water es el pionero en el campo de los sistemas de producción de agua que utilizan el aire como fuente de agua. La compañía ha inventado en particular el primer aerogenerador capaz de crear agua potable a partir de aire condensado. En el 2011, después de más de 18 meses de desarrollo y pruebas en Francia, el WMS1000 (Figura 2.2), la primera turbina eólica del mundo capaz de producir 1000 litros de agua por día a partir de la condensación del aire, se envió a Abu Dhabi para su primera fase de pruebas en las condiciones climáticas extremas de Medio Este. Eole Water continúa manteniendo su posición como líder mundial en el campo de la producción de agua condensada eólica o solar [3].



**Figura 2.2. Dispositivo desarrollado por EoleWater**

Este proceso es exactamente el mismo que ocurre en la atmósfera diariamente cuando por efecto de la radiación solar el aire en contacto con la superficie terrestre se calienta y se eleva hacia zonas de menor presión y temperatura, dando lugar a un enfriamiento paulatino del aire ascendente. El punto de rocío se alcanza cuando la temperatura del aire se ha reducido lo suficiente para contraer sus espacios intersticiales y expulsar el agua de su interior [3].

La turbina WMS1000 emula este proceso natural utilizando la energía obtenida del viento para enfriar el aire y literalmente hacer llover agua pura en su interior. En condiciones normales de viento y humedad relativa ambiente los resultados promedian los 100 litros de agua por hora. En condiciones extremas como en los desiertos, los resultados superan los 30 litros por hora [3].

### **2.1.3 ZeroMass Water**

Actualmente en Estados Unidos podemos ubicar el nombre de ZeroMass Water, empresa dedicada a perfeccionar la generación y cuidado del agua en nuestro planeta, soñando con resolver la problemática del acceso al agua y su calidad se presenta el Hydropanel™. Dispositivo capaz de satisfacer las necesidades de agua potable de los más de siete mil millones de personas en la tierra. Aplicando la termodinámica, la ciencia de los materiales y la tecnología de control, solo necesita luz solar y aire para producir agua potable cada día en los hogares, escuelas, oficinas y más [4].

SOURCE Hydropanel es una solución de agua potable que funciona con energía solar y sin infraestructura. Como un recurso hídrico no extractivo, SOURCE Hydropanels representan el primero en transparencia, resiliencia, seguridad y calidad. Ya sea en hogares, escuelas, hospitales u otras instituciones, SOURCE avanza la propiedad del agua potable, evitando la necesidad de otras alternativas de agua potable [4].

SOURCE Hydropanel, Figura 2.3, funciona con una combinación integral de energía solar fotovoltaica y energía solar térmica de alta eficiencia. La energía eléctrica y térmica se utiliza para eficiente producir agua de alta pureza en un ciclo psicrométrico modificado, incluso en algunos de los desiertos más secos del mundo [4].



**Figura 2.3. Dispositivo desarrollado por ZeroMass Water**

## Funcionamiento

- El aire ambiental ingresa a la SOURCE Hydropanel y el vapor de agua en el aire se absorbe en materiales higroscópicos avanzados.
- La energía solar térmica absorbe el agua de los materiales higroscópicos y los amplifica el ciclo del vapor de agua dentro del hidropanel da como resultado la formación de agua líquida, que fluye hacia el embalse, Figura 2.4.
- El agua pura recolectada se mineraliza para una salud y sabor óptimos, y el depósito está gestionado activamente para la limpieza.
- Bombas de agua desde el depósito a bordo a través de un cartucho de pulido y hacia un dispensador.
- Cada Hydropanel se conecta a una red basada en la nube y se controla su rendimiento y calidad.

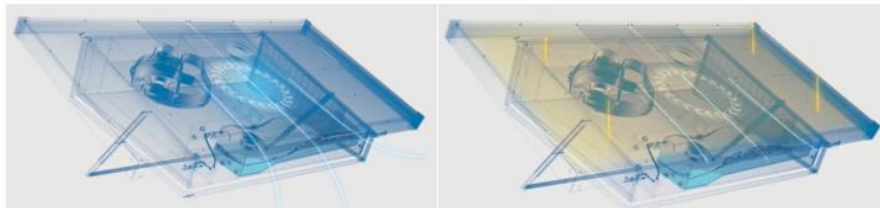


Figura 2.4. El vapor de agua es extraído del aire y convertido en agua líquida

## Producción de agua utilizando Source Hydropanel

La producción de agua por SOURCE Hydropanels depende de las medidas locales de humedad relativa (HR) y energía solar (kWh), Figura 2.5, SOURCE Hydropanel producen un promedio de 2-5 litros de agua al día, Figura 2.6.

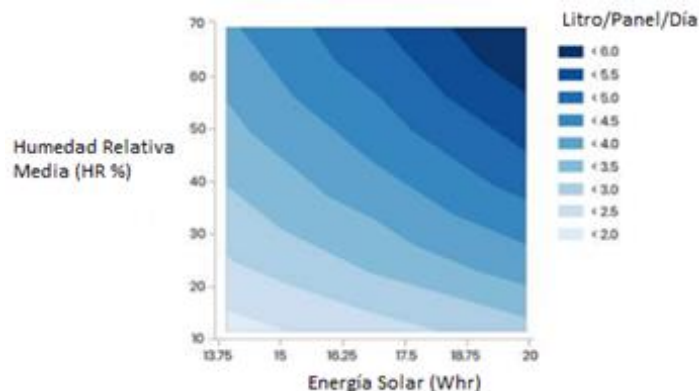
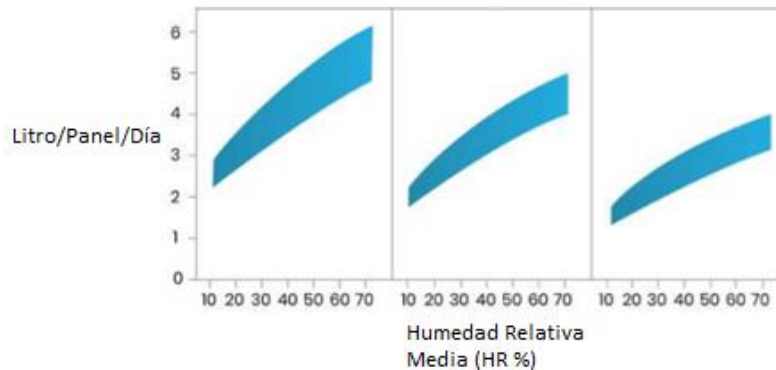


Figura 2.5. Diagrama de Producción de Paneles SOURCE



**Figura 2.6. Relación Humedad Relativa-Litros SOURCE**

### **Especificaciones Técnicas**

- **Espacio Necesario:** Cada panel mide 1.2 m x 2.4 m y un sistema estándar tiene 2 paneles.
- **Producción de agua:** El vapor de agua se extrae del aire con un sistema alimentado por energía solar y luego se convierte en agua potable.
- **Almacenamiento del agua:** Los sistemas estándar tienen 60 litros en un depósito donde el agua se mineraliza y se mantiene limpia.
- **Producción Diaria:** El sistema estándar almacena un promedio de 4 a 10 litros por día, dependiendo de la luz solar y la humedad.
- **Alimentación:** SOURCE utiliza la energía solar para generar agua en los días soleados.
- **Consumo de energía:** SOURCE es completamente autónomo y sin conexión a la red eléctrica.
- **Calidad del agua:** El agua potable se genera a partir del vapor de agua, eliminando cualquier contaminante en el aire y agregando minerales; este sistema sigue los lineamientos de la EPA y la FDA.

SOURCE Hydropanel son costosos, al menos en términos de la inversión inicial. Una matriz estándar con dos paneles cuesta alrededor de \$ 4000 USD, más otros \$ 500 USD para la instalación, y se dice que está diseñada para durar al menos 10 años. Eso lleva el costo a aproximadamente \$ 1.23 USD por día, o entre \$ 0.12 USD y \$ 0.30 USD por litro, cuando se promedia durante la vida útil de la unidad [4].

#### **2.1.4 SunGlacier**

El fundador de SunGlacier Ap Verheggen, ha pasado la mayor parte de la última década diseñando dispositivos que aprovechan el potencial del sol para extraer agua del aire, pone a disposición su último diseño en línea, gratis. El DC03 basado en energía solar en un elemento Peltier,

explicado en mayor detalle debajo del salto, para producir una pequeña cantidad de agua limpia cada día sin batería, sin ventiladores o un inversor y sin partes móviles que se puedan degradar fácilmente [5].

El dispositivo DC03, Figura 2.7, con energía solar genera energía para un elemento Peltier de 18W. Cuando se le pidió que explicara en términos más generales, Ap Verheggen dijo: "un elemento Peltier es una pieza cuadrada muy pequeña y delgada de electrónica. Si se conecta a la electricidad, se convierte en caliente en un lado y frío al otro lado. El lado frío que utilizamos para enfriar un cono. Como el aire entra en el cono frío, la humedad del aire comienza a condensarse y produce gotas de agua."



**Figura 2.7. DC 03 Technology**

Usando la energía producida por el panel solar, el elemento Peltier transfiere el calor de un lado del dispositivo al otro y crea una superficie fría. La humedad del aire llega a la superficie fría y comienza a producir agua a través de la condensación. En condiciones normales, la temperatura de condensación aumenta cuando la temperatura aumenta, pero la superficie fría se puede mantener por debajo del punto de rocío incluso en condiciones cálidas del desierto.

Al usar solo un panel fotovoltaico de 30W-50W, se puede producir suficiente energía para ejecutar el elemento Peltier hasta 6 horas al día. Un "convertidor reductor" regula el voltaje de Peltier dentro de un rango aceptable de 12 voltios. La producción de agua hasta el momento es relativamente baja: aproximadamente medio vaso (aproximadamente 15 centilitros) por 6 horas, incluso sin tecnología optimizada. Esto ya es un hito porque el modelo X puede funcionar en teoría durante décadas hasta que el panel solar ya no funciona o el elemento Peltier se desgasta y necesita ser cambiado [5].

Los costos de construcción del dispositivo, Figura 2.8, son de alrededor de \$50 euros (1,000 MXN), pero la cantidad de agua que se produce actualmente es muy pequeña (un pequeño vaso de agua por día), por lo que se espera que los investigadores encuentren una manera de aumentar la eficiencia del dispositivo [5].



**Figura 2.8. Dispositivos desarrollados por SunGlacier**

## **2.2 Marco Conceptual**

### **2.2.1 Efectos Termoeléctricos**

La termoelectricidad se considera como la rama de la termodinámica paralela a la electricidad donde se estudian fenómenos en los que intervienen el calor y la electricidad.

El efecto termoeléctrico es la conversión directa de la diferencia de temperatura a voltaje eléctrico y viceversa. Un dispositivo termoeléctrico crea un voltaje cuando hay una diferencia de temperatura a cada lado. Por el contrario cuando se le aplica un voltaje, crea una diferencia de temperatura (conocido como efecto Peltier). A escala atómica (en especial, portadores de carga), un gradiente de temperatura aplicado provoca portadores cargados en el material, si hay electrones o huecos, para difundir desde el lado caliente al lado frío, similar a un gas clásico que se expande cuando se calienta; por consiguiente, la corriente se ve inducida termalmente. Este efecto es utilizado ampliamente en la industria para la generación de electricidad, medición de temperatura, el enfriamiento o calentamiento de objetos a través de controladores específicos [6].

Se denominan fenómenos termoeléctricos o termoelectricidad a tres fenómenos relacionados entre sí: el efecto Seebeck, el efecto Peltier y el efecto Thomson. Un dispositivo termoeléctrico crea un voltaje cuando hay una diferencia de temperatura a cada lado, Figura 2.9.



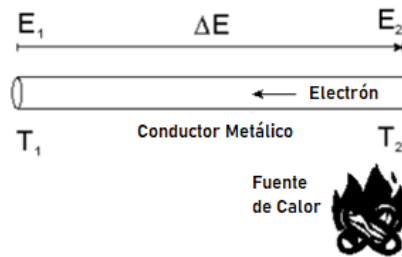


Figura 2.9. Principio Termoeléctrico

### 2.2.1.1 Efecto Seebeck

En 1820 Thomas J. Seebeck empezó a investigar experimentalmente las relaciones entre la electricidad y el calor. En 1821 formo un circuito cerrado uniendo dos alambres de materiales diferentes (cobre con bismuto). Accidentalmente descubrió que si calentaba una de las uniones manteniendo la otra a temperatura ambiente, aparecía un campo magnético en las inmediaciones de los alambres, lo que se ponía de manifiesto en la desviación que se producía en la aguja de una brújula [7].



Figura 2.10. Esquema Efecto Seebeck

Si el conductor es calentado en un extremo, como puede observarse en la Figura 2.10, los electrones de la unión caliente incrementaran su energía respecto a los que ocupan la unión fría, creando una situación de desequilibrio. Los electrones de la unión caliente fluirán a la parte fría donde su energía disminuirá. Esta es, esencialmente, la manera en que la transmisión de calor a través del metal está acompañada por una acumulación de cargas negativas en la unión fría, a partir de la cual se crea una diferencia de potencial entre ambos extremos del conductor [7].

La diferencia de potencial generada es proporcional a la diferencia de temperaturas entre la unión caliente y la fría (ecuación 2.1). El factor de proporcionalidad se llama coeficiente Seebeck ( $\alpha$ ).

$$\Delta V = \alpha(T_1 - T_2) \quad (2.1)$$

### 2.2.1.2 Efecto Peltier

Si hacemos pasar una corriente eléctrica por un circuito compuesto de materiales distintos con sus uniones a la misma temperatura, se produce el efecto inverso. Se absorbe el calor de una de las uniones y se desprende por la otra. Este fenómeno, inverso al Efecto Seebeck, se conoce como efecto Peltier, en honor al físico francés Jean Peltier quien lo descubrió en 1834 [7].

Una corriente eléctrica de intensidad determinada a través de la unión de dos materiales conductores diferentes A y B produce o absorbe calor, según la ecuación (2.2),  $W$  es el calor producido o absorbido,  $\pi$  es el coeficiente de Peltier, e  $I$  es la intensidad eléctrica aplicada.

$$W = \pi x I \quad (2.2)$$

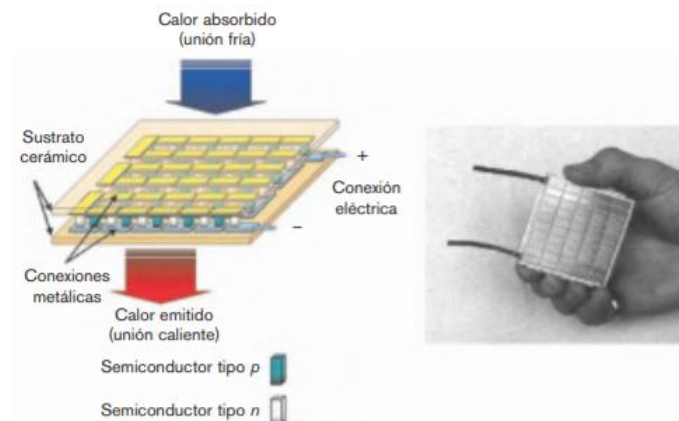


Figura 2.11. Elemento termoeléctrico

El efecto Peltier consiste en el enfriamiento o calentamiento de una unión entre dos conductores distintos al pasar una corriente eléctrica por ella y que depende exclusivamente de la composición y temperatura de la unión. En la Figura 2.11 y 2.12 se observa el esquema del circuito.

$$\dot{Q} = J\pi_{AB} = J\Delta T_{\alpha AB} \quad (2.3)$$

La potencia calorífica intercambiada en la unión entre  $A$  y  $B$ , ecuación (2.3), donde  $\pi_{AB}$  es el coeficiente Peltier, se define como el calor intercambiado en la unión por unidad de tiempo y de corriente que circula a través de la misma,  $J$  es el flujo de corriente eléctrica,  $\Delta T$  la diferencia de temperatura absoluta entre  $A-B$  y  $\alpha_{AB}$  el coeficiente Seebeck.

Por lo tanto, al conectar la celda fabricada a una fuente de alimentación de corriente continua, la potencia que se absorbe corresponde a un término debido al efecto Joule y otro debido al efecto Peltier. Una vez definidas las ecuaciones se determina la potencia absorbida. De acuerdo con la ecuación (2.4),  $P_{ent}$  es la potencia suministrada por la fuente.

$$P_{ent} = I^2R + I\Delta T_{\alpha_{AB}} \quad (2.4)$$

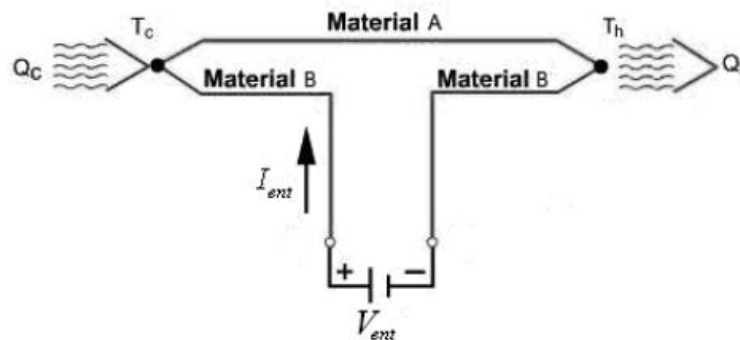


Figura 2.12. Esquema del Efecto Peltier

### 2.2.1.3 Efecto Thomson

El efecto Thomson, descubierto en 1857 por Thomson W., consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor eléctrico, con un gradiente de temperaturas, por el cual circula una corriente eléctrica. En el campo de la termodinámica desarrollo el trabajo realizado por Joule sobre la interacción del calor y la energía mecánica, y en la década de 1850 ambos colaboraron para investigar el fenómeno que al final se acabaría conociendo como efecto Thomson, al estudiar los procesos irreversibles en sistemas termodinámicos [7].

La conclusión de sus investigaciones fue la relación existente entre los coeficientes Seebeck ( $\alpha$ ) y Peltier ( $\pi$ ), tal como se muestra en la ecuación (2.5), siendo esta directamente proporcional a la temperatura.

$$\Pi = \alpha T \quad (2.5)$$

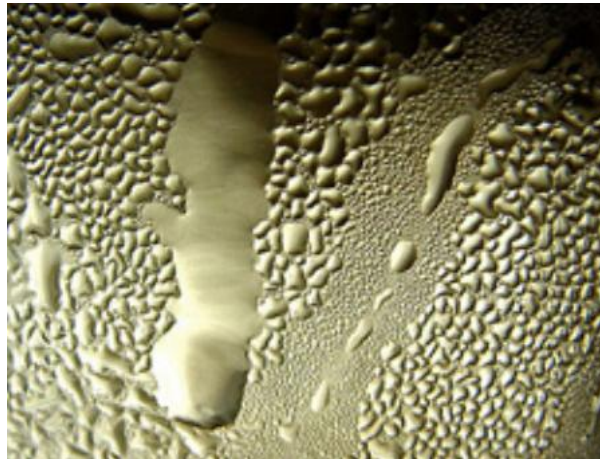
A partir de estas consideraciones, trabajando teóricamente en estudios de entropía, obtuvo fórmulas explícitas para los coeficientes que han sido ampliamente verificadas experimentalmente desde entonces y consideradas como correctas.

### 2.2.2 Punto de Rocío

La importancia del agua y el vapor de agua en nuestro ambiente son enormes. Su intensa interacción con los sistemas biológicos asegura un lugar central en el ser humano. También, tiene un papel prominente en la industria, y una gran influencia en el clima.

El punto de rocío o temperatura de rocío es la más alta temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire [8], Figura 2.13, produciendo rocío, neblina, cualquier tipo de nube o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha .

Algunas de las más importantes áreas en las que la medición y/o control de concentraciones de agua figuran son: agricultura, aire acondicionado, secado, procesamiento de alimentos, procesamiento de textiles, electrónicos, ingeniería, refrigeración, meteorología, almacenamiento de materiales, y medicina.



**Figura 2.13. Gotas de Agua formada a través de la humedad del ambiente**

Aunque el punto de rocío sea expresado como una temperatura, esta correlacionado con la cantidad de vapor de agua en el aire, y por lo tanto no es dependiente en la temperatura ambiente. La temperatura de punto de rocío es siempre menor que o igual a la temperatura actual [8]. Por lo tanto, se condisera la ecuación (2.6) un método sencillo

para el cálculo del punto de rocío, a partir de las variables temperatura y humedad.

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} * (110 + T) - 110 \quad (2.6)$$

*Pr = Punto de rocío*  
*T = Temperatura en grados Centígrados*  
*H = Humedad relativa (expresada en tanto por ciento)*

Sin embargo esta última fórmula, ecuación (2.7), aunque es ampliamente usada, no siempre genera el resultado correcto. La temperatura del punto de rocío también depende de la presión de la masa de aire, hecho que no se tiene en cuenta en las fórmulas anteriores.

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} * (112 + 0.9 * T) + (0.1 * T) - 110 \quad (2.7)$$

*Pr = Punto de rocío*  
*T = Temperatura en grados Centígrados*  
*H = Humedad relativa (expresada en tanto por ciento)*

**Tabla 1. Relación entre temperatura, humedad relativa y punto de rocío**

	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
40°	13	16	19	21	24	26	28										
39°	13	15	18	20	23	25	27	28									
38°	12	14	17	20	22	24	26	27									
37°	11	13	16	19	21	23	25	26	28								
36°	10	12	15	18	20	22	24	25	27	28							
35°	9	11	15	17	19	21	23	24	26	27	28						
34°	8	10	14	16	18	20	22	23	25	26	27	28					
33°	7	10	13	15	17	19	21	22	24	25	26	27	28				
32°	6	9	12	14	16	18	20	21	23	24	25	26	27	28			
31°	5	8	11	13	15	17	19	20	22	23	24	25	26	27			
30°	4	7	10	12	15	17	18	20	21	22	23	25	26	27	28		
29°	4	6	9	11	14	16	17	19	20	21	22	24	25	26	27	28	
28°	3	5	8	10	13	15	17	18	20	20	21	23	24	25	26	27	28
27°	2	4	7	9	12	14	16	17	19	20	20	22	23	24	25	26	27
26°	1	3	6	8	11	13	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26
25°	1	3	6	8	10	12	14	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25
24°	0	2	5	7	9	11	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24
23°	0	1	4	6	8	10	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23
22°	-1	1	3	5	7	9	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22
21°	-2	0	2	5	6	8	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21
20°	-3	-1	2	4	6	7	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	20

**Conceptos importantes:**

- Punto de rocío atmosférico: la temperatura a la que el vapor de agua comienza a condensarse en la naturaleza (a la presión atmosférica).
- Punto de rocío a presión: la temperatura a la que el vapor de agua comienza a condensarse con una presión superior a la atmosférica, Tabla 1, (temperatura de condensación que afecta en una instalación de aire comprimido).

**2.2.2.1 Humedad Relativa y Humedad Absoluta**

Se llama Humedad absoluta a la cantidad de vapor de agua (generalmente medida en gramos) por unidad de volumen de aire ambiente (medido en metros cúbicos). Es uno de los modos de valorar la cantidad de vapor contenido en el aire, lo que sirve, con el dato de la temperatura, para estimar la capacidad del aire para admitir o no mayor cantidad de vapor [9].

La humedad relativa (RH) es la relación entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor de equilibrio del agua a una temperatura dada. La humedad relativa depende de la temperatura y la presión del sistema de interés. La misma cantidad de vapor de agua produce una mayor humedad relativa en el aire frío que en el aire caliente [10].

Para una masa dada de aire, que contiene una cantidad dada de vapor de agua (humedad absoluta), se dice que la humedad relativa es la proporción de vapor contenida en relación a la necesaria para llegar al punto de saturación, es decir, al punto de rocío, y se expresa en porcentaje. Así cuando el aire se satura (humedad relativa igual al 100%) se llega al punto de rocío. La saturación se produce por un aumento de humedad relativa con la misma temperatura, o por un descenso de temperatura con la misma humedad relativa [11].

**2.2.2.2 Parámetros Ambientales en Hermosillo, Sonora**

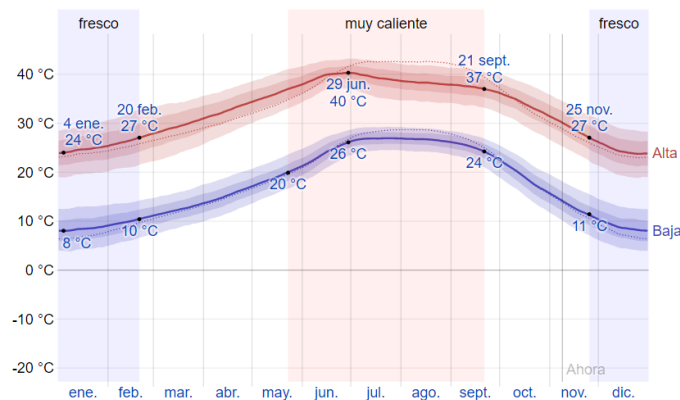
En esta sección se puede consultar la información climatológica del Municipio de Hermosillo, Sonora, México en el año 2018. Los datos de estudio obtenidos fueron tomados de WeatherSpark [12], el cual es un sitio web que se encarga de reunir información climatológica a nivel mundial. Al realizar un análisis de los datos climatológicos recabados los últimos 5 años (2013-2018) determinamos que los datos presentan aproximaciones entre sí en cada uno de los años analizados.

## Temperatura

La temporada calurosa dura 4 meses, del 23 de mayo al 21 de septiembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 37°C. El día más caluroso del año fue el 29 de junio, con una temperatura máxima promedio de 40°C y una temperatura mínima promedio de 26°C.

La temporada fresca dura 2.8 meses, del 25 de noviembre al 20 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 27°C. El día más frío del año es el 4 de enero, con una temperatura mínima promedio de 8°C y máxima promedio de 24°C.

Como se observa en la Figura 2.14, la temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes.

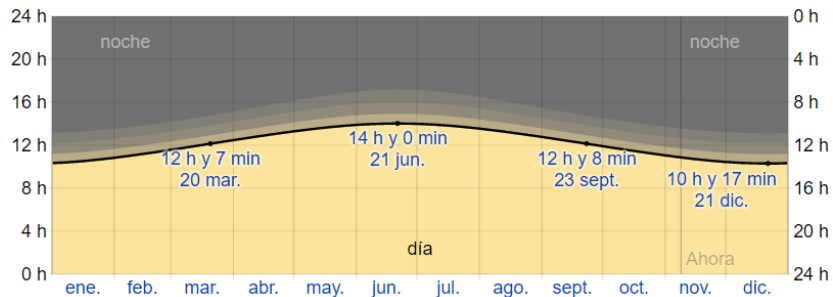


**Figura 2.14. Temperatura Máxima y Mínima Promedio**

## Sol

La duración del día en Hermosillo varía considerablemente durante el año. En 2018, el día más corto es el 21 de diciembre, con 10 horas y 17 minutos de luz natural; el día más largo es el 21 de junio, con 14 horas y 0 minutos de luz natural.

La cantidad de horas durante las cuales el sol está visible (línea negra). De abajo (más amarillo) hacia arriba (más gris), las bandas de color indican: luz natural total, crepúsculo (civil, náutico y astronómico) y noche total (Figura 2.15).

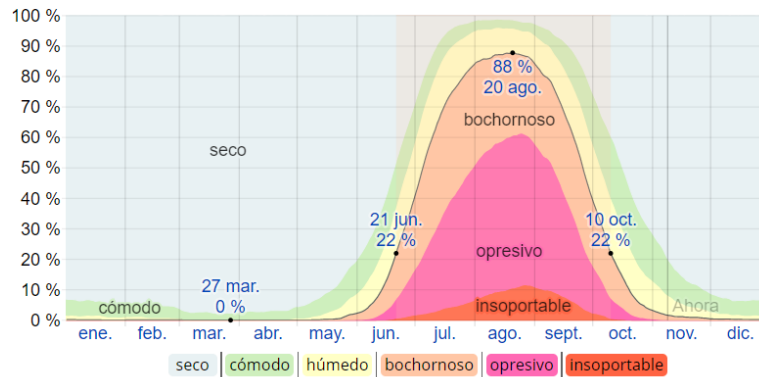


**Figura 2.15. Horas de luz natural y crepúsculo**

**Humedad**

Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

El período más húmedo del año dura 3.7 meses, del 21 de junio al 10 de octubre, y durante ese tiempo el nivel de comodidad es bochornoso, opresivo o insoportable por lo menos durante el 22% del tiempo. El día más húmedo del año es el 20 de agosto, con humedad el 88% del tiempo.



**Figura 2.16. Niveles de Humedad**

El día menos húmedo del año es el 27 de marzo cuando básicamente no hay condiciones húmedas. El porcentaje de tiempo pasado en varios niveles de comodidad de humedad, Figura 2.16, categorizado por el punto de rocío.



## Energía Solar

Esta sección trata sobre la energía solar de onda corta incidente diaria total que llega a la superficie de la tierra en un área amplia, tomando en cuenta las variaciones estacionales de la duración del día, la elevación del sol sobre el horizonte y la absorción de las nubes y otros elementos atmosféricos. La radiación de onda corta incluye luz visible y radiación ultravioleta.

La energía solar de onda corta incidente promedio diaria tiene variaciones estacionales considerables durante el año. La Figura 2.17, muestra la energía solar de onda corta promedio diaria que llega a la tierra por metro cuadrado (línea anaranjada), con las bandas de percentiles 25° a 75° y 10° a 90°.

El período más resplandeciente del año dura 2.6 meses, del 15 de abril al 1 de julio, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado superior a 7.4 kWh. El día más resplandeciente del año es el 7 de junio, con un promedio de 8.4 kWh. El período más obscuro del año dura 3 meses, del 5 de noviembre al 7 de febrero, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado de menos de 4.6 kWh. El día más obscuro del año es el 23 de diciembre, con un promedio de 3.7 kWh.

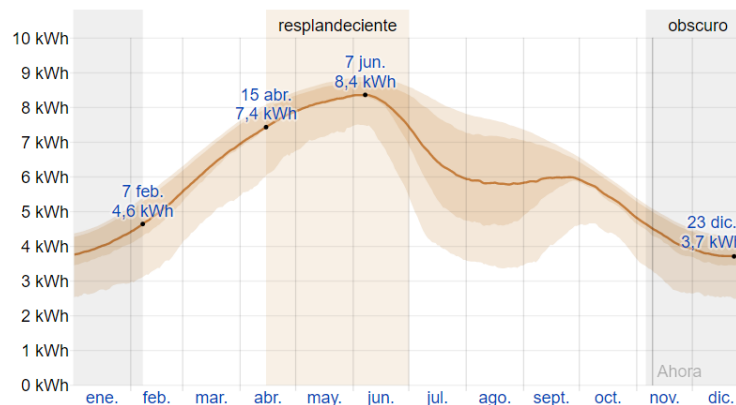


Figura 2.17. Energía solar de onda corta incidente diario promedio

### 2.2.3 Energía Solar en el Mundo

En el contexto internacional, las adiciones de capacidad instalada de energía eléctrica renovable marcan record, duplicando las nuevas inversiones de la capacidad de generación de combustibles fósiles. La capacidad solar fotovoltaica fue la tecnología que más creció en 2016, representando 47% de las adiciones totales, seguida de la energía eólica y energía hidráulica [13].

Los precios de la electricidad a partir de la energía solar caen drásticamente año con año en diferentes economías del mundo, alcanzando en algunos casos precios similares o inferiores a los precios de la electricidad generada a través de combustibles fósiles [13]. Gracias a la dramática reducción de costos de la tecnología, los países en desarrollo aprovechan esta situación para establecer estrategias nacionales de incorporación de esta fuente de energía en los mercados eléctricos locales.

### 2.2.3.1 Energía Solar en México

México cuenta con un gran potencial de generación de energías renovables, especialmente energía solar [13], ya que el país tiene una ubicación geográfica privilegiada, dentro de una de las zonas con mayor irradiación solar a nivel mundial, Figura 2.18. Sin embargo, hasta hace muy poco tiempo este tipo de energía era muy limitada en la matriz energética del país debido a las condiciones de costos y eficiencia, por lo que otras fuentes de generación se consolidaron como prioritarias. En la búsqueda para revertir esta situación, los avances tecnológicos se han convertido en un gran aliado y hoy la energía solar se presenta como la fuente de generación más competitiva del mercado.

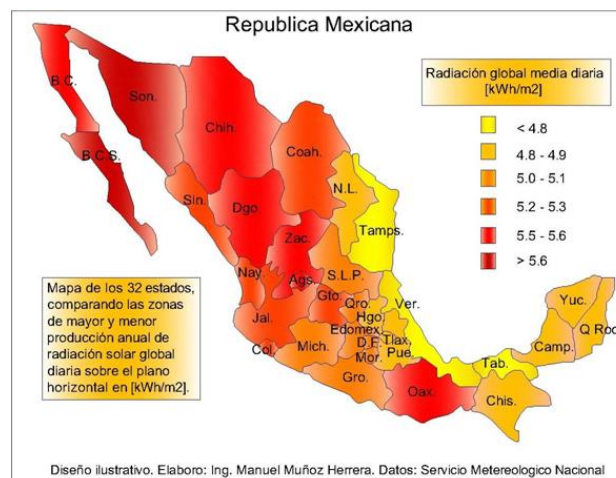
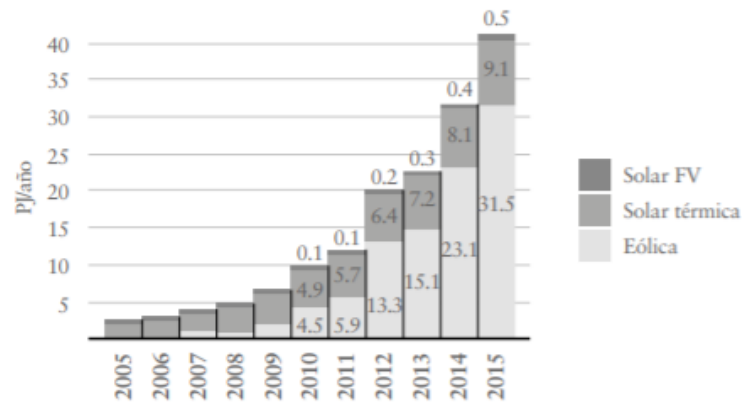


Figura 2.18. Radiación global media diaria en México

En este contexto, las energías eólica y solar presentan las tasas de crecimiento más elevadas en los últimos años. A pesar de estos incrementos, la energía solar continúa siendo sub-aprovechada, ya que apenas contribuye con 0.12% de la oferta interna bruta total de energía (aproximadamente 10.15 PJ) [13]. La Figura 2.19 muestra el crecimiento en la producción de energía a partir de las fuentes solar y eólica durante los últimos 10 años.



**Figura 2.19. Producción primaria de energía en México (PJ)**

Por el lado de la demanda, los principales consumidores de energía solar son los sectores residencial (5.29 PJ) y comercial (3.63 PJ). En dichos sectores, los usos finales de la energía solar son en su mayoría para aplicaciones térmicas (generación de calor) [13]. El sector industrial consume una fracción menor de energía solar con fines térmicos (0.49 PJ).

El uso de la energía solar en el mercado mexicano, en forma de electricidad y calor, representa grandes oportunidades de reducción de costos y emisiones en los principales sectores que demandan energía de la economía nacional, como el sector eléctrico, industrial, residencial y servicios.

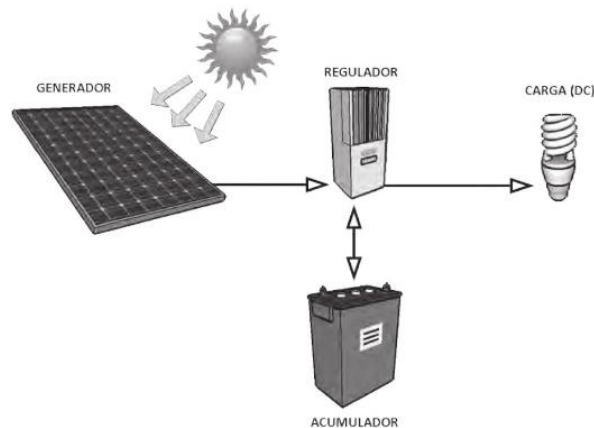
### 2.2.3.2 Sistema Fotovoltaico Autónomo

Como se muestra en la Figura 2.20, un sistema fotovoltaico autónomo (SFA) convierte la energía proveniente del sol en energía eléctrica, almacenándola en una batería para su uso posterior. En un sistema SFA no requiere de una conexión a la red eléctrica, trabajando de forma autónoma para proveer energía a los equipos. Son sistemas que se adaptan bien a lugares remotos sin conexión a la red, donde hay un bajo consumo de energía y un buen recurso solar [14].

En su forma más básica consiste en:

- **Generador:** el módulo fotovoltaico que convierte la radiación solar en energía eléctrica.
- **Acumulador:** la batería donde se almacena la energía proveniente del módulo.
- **Regulador:** un elemento que controla la energía producida por el módulo, la carga de la batería, y la energía consumida en los equipos.

- Carga: los equipos consumidores (lámparas, radios, computadoras, televisores, etc.) que son el destino final de la energía producida por el sistema.



**Figura 2.20. Sistema Fotovoltaico Autónomo con salida en CD**

La Figura 2.20 muestra un esquema simplificado de un SFA en corriente directa. Este tipo de SFA trabaja generalmente a muy baja tensión (12 V o 24 V DC), y se utiliza principalmente para la iluminación de equipos de bajo consumo en corriente continua.

## 2.3 Requerimientos necesarios

### 2.3.1 Arduino

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto [15], la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso.

#### ¿Por qué usar Arduino?

- Gracias a su gran alcance hay una gran comunidad trabajando con esta plataforma, lo cual genera una cantidad de documentación bastante extensa.
- Su entorno de programación es multiplataforma: Se puede instalar y ejecutar en sistemas operativos Windows, Mac OS y Linux.
- Su lenguaje de programación basado en C++ es de fácil comprensión que permite una entrada sencilla a los nuevos programadores.

- La placa Arduino estándar (Arduino UNO) tiene un valor aproximado de \$300 pesos ya que el desarrollo del hardware es de licencia libre.

### 2.3.1.1 Arduino IDE

Arduino ofrece la plataforma Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), que es un entorno de programación con el que cualquiera puede crear aplicaciones para las placas Arduino, de manera que se les puede dar todo tipo de utilidades.

Para empezar a programar la placa Arduino es necesario descargar un IDE (Integrated Development Environment) [16]. El IDE, Figura 2.21, es un conjunto de herramientas de software que permiten a los programadores desarrollar y grabar todo el código necesario para hacer que nuestro Arduino funcione como queramos. El IDE de Arduino nos permite escribir, depurar, editar y grabar nuestro programa (llamados «sketches» en el mundo Arduino) de una manera sumamente sencilla, en gran parte a esto se debe el éxito de Arduino, a su accesibilidad.

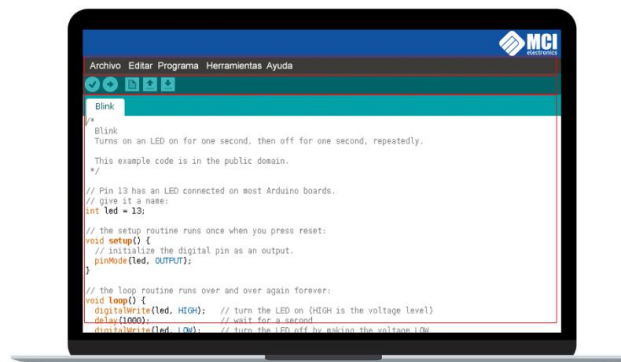


Figura 2.21. Sketch creado en Arduino IDE

### 2.3.1.2 Arduino MEGA 2560

El Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEL [17], Figura 2.22. Los microcontroladores son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones, las cuales las escribes con el lenguaje de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino IDE. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa.

El microcontrolador de Arduino posee lo que se llama una interfaz de entrada y salida, que es una conexión en la que podemos conectar en la placa diferentes tipos de periféricos. La información de estos periféricos que conectes se trasladará al microcontrolador, el cual se

encargará de procesar los datos que le lleguen a través de ellos y a su vez, se encarga de llevar la información que se ha procesado en el Arduino a otros periféricos [17].



Figura 2.22. Placa Arduino Mega 2560

#### Especificaciones Técnicas:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje Operativo: 5V, Voltaje de Entrada: 7V a 12V
- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- Pines analógicos de entrada: 16
- Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40mA
- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50mA

#### 2.3.2 Sensor GY-21

El sensor de humedad HTU21 o GY-21, Figura 2.23, es ideal para la detección del medio ambiente y del registro de datos [18], es un sensor digital que permite realizar tomas de datos directamente con la interfaz deseada.



Figura 2.23. Sensor de Humedad y Temperatura GY-21

#### Especificaciones Técnicas:

- Voltaje de operación: 2.1V a 3.6V.
- Bajo consumo de energía.
- Comunicación I2C.

### 2.3.3 Sensor DS18B20

El circuito integrado DS18B20, Figura 2.24, es un sensor digital de temperatura que utiliza el protocolo 1-Wire para su comunicación [19], dicho protocolo requiere de solo un pin de datos para comunicarse y permite conectar más de un sensor en el mismo bus.

#### **Especificaciones Técnicas:**

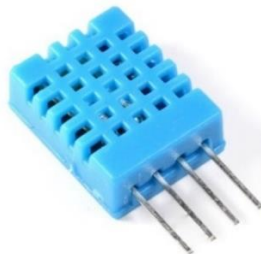
- Rango de medición de temperatura:  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$  ( $-67^{\circ}\text{F}$  a  $+257^{\circ}\text{F}$ )
- Utiliza el protocolo 1-Wire, sólo requiere un pin para la comunicación.
- Precisión de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  en el rango de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$
- Rango de voltaje de 3V a 5.5V tanto alimentación como datos.



**Figura 2.24. Sensor de Temperatura y Humedad DS18B20**

### 2.3.4 Sensor DHT11

El sensor DHT11, Figura 2.25, permite realizar la medición simultánea de temperatura y humedad [20]. Estos sensores disponen de un procesador interno que realiza el proceso de medición, proporcionando la medición mediante una señal digital.



**Figura 2.25. Sensor de Temperatura y Humedad DHT11**

#### **Especificaciones Técnicas:**

- Medición de temperatura entre  $0^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ , y una precisión de  $2^{\circ}\text{C}$
- Medición de humedad entre 20% a 80%, con precisión del 5%.

- Frecuencia de muestreo de 1 muestras por segundo (1Hz)
- Alimentación de 3.5V y 5V.
- Consumo 2.5 mA.

### 2.3.5 MAX6675 y Termopar "K"

El transmisor MAX6675 [21], Figura 2.26, te permite conectar un termopar tipo K, incluye compensación de junta fría (cold junction), convierte la señal analógica a digital con una excelente resolución de 12bits en un rango de 0° hasta 1023°C.

Desafortunadamente un termopar no puede conectarse fácilmente al ADC de un microcontrolador, ya que la señal que genera es muy pequeña, pero existen circuitos como el MAX6675 que facilitan la tarea enormemente. Dentro del pequeño encapsulado SOIC 8 del MAX6675 se encuentra la electrónica necesaria para amplificar, compensar y convertir a digital el voltaje generado por el termopar.



Figura 2.26. Sensor de Temperatura Termopar "K"

#### Especificaciones Técnicas:

- Voltaje de Operación: 5V, Corriente de trabajo: 50mA
- Rango de Temperaturas Termopar Tipo K: -200°C hasta 1300°C
- Rango de temperatura MAX6675: 0° a 1023°C
- Resolución de temperatura: 0.25°C
- Modo de salida: SPI

### 2.3.6 Kit-Refrigeración Semiconductor Peltier

El Kit-Refrigeración (modelo TEC1-12706), Figura 2.27, genera una diferencia de temperatura entre sus caras al ser circuladas por una corriente: una de ellas se enfría, mientras que la otra se calienta [22]. Si se invierte la polaridad de la corriente, la cara fría pasa a ser caliente y viceversa, invirtiéndose el sentido del flujo calorífico.



Para que puedan funcionar de forma eficiente, estas celdas requieren un disipador y/o un ventilador pegados a su cara caliente. Si no se utiliza el disipador, la cara fría no se enfriará correctamente, la celda puede sobrecalentarse, y eventualmente dañarse.

#### **Especificaciones Técnicas:**

- Placa de enfriamiento de Semiconductores: TEC1-12706, fabricada de cerámica especial.
- Resistencia interna: 2,1 Ohm a 2,4 Ohm
- Diferencia de temperatura: 67°C arriba
- Tensión nominal: 12 V (Vmax. 15 V, corriente de salida 5.8A)
- Corriente de trabajo: I<sub>max</sub>. ~ 4.6A = 4 (nominal 12 V)
- Potencia de refrigeración: máx. 50W a 60W
- Entorno de trabajo: -55°C a 83°C



**Figura 2.27. Kit-Refrigeración Semiconductor Peltier**

#### **2.3.7 MOSFET IRL540**

Un MOSFET es un dispositivo semiconductor utilizado para la conmutación y amplificación de señales. El nombre completo, Transistor de Efecto de Campo de Metal-Óxido-Semiconductor (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, MOSFET) se debe a la constitución del propio transistor.

Existen muchos modelos de MOSFET disponibles pero no todos son recomendados para usar directamente con un procesador como Arduino por la limitación de tensión e intensidad en sus salidas. Para resolver esto, existe un tipo especial de condensadores MOSFET llamados transistores de nivel lógico (logic level) [23], diseñados específicamente para conmutar a las bajas tensiones típicas en TTL. Por contra, precio es algo superior a los MOSFET habituales.

Así, la serie de transistores lógicos IRL520, IRL530 y IRL540 saturan sin problemas a 5V proporcionando una  $I_d$ , respectivamente, de 9.2A, 15A, y 28A.

**Especificaciones Técnicas:**

- Mosfet Canal N
- Transistor de nivel lógico (Logic Level)
- Temperatura de Operación 175° Conmutación Rápida
- Voltaje VDS = 100V
- Corriente Drain = 28A
- RDS(on) en VGS = 4.0V y 5.0V
- $Q_g$  (Max.) = 64nC,  $Q_{gs}$  (nC) = 9.4nC,  $Q_{gd}$  (nC) = 27nC

**2.3.8 Resistencia de Calor**

El descubrimiento de las resistencias calefactoras se remonta al siglo XIX, cuando el físico inglés James Prescott Joule descubrió que si en un material conductor es aplicada un poco de corriente eléctrica, entonces una parte de la energía cinética contenida en los electrones del material se transforma en calor, esto debido al movimiento que provoca la electricidad, hace que los átomos del material conductor choquen, y elevan la temperatura del material conductor [24], Figura 2.28.



**Figura 2.28. Resistencia de Calor**

**Especificaciones Técnicas:**

- Potencia = 80W
- Voltaje de Alimentación = 12VDC
- Amperaje Recomendado = 6A

### 2.3.9 Panel Solar

El módulo fotovoltaico, Figura 2.29, es el motor generador de un SFA. Convierte la energía del sol en energía eléctrica vía el efecto fotoeléctrico. Un módulo consiste en un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas, que cuando están expuestas al sol, generan una corriente eléctrica.

#### **Especificaciones Técnicas:**

- Modelo: PS335P-24/T
- Fabricado con material poli cristalino de 72 celdas
- Potencia Nominal en STC ( $W_p$ ) = 335W
- Voltaje Nominal ( $V_m$ ) = 38.94V
- Corriente Nominal ( $I_m$ ) = 8.61A
- Voltaje en Circuito Abierto ( $V_{oc}$ ) = 47.12V
- Corriente en Corto Circuito ( $I_{sc}$ ) = 9.20A
- Temperatura de Operación Nominal (NOCT) =  $45^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- Valor Máximo del Fusible = 15A
- Dimensiones: 1956mm x 992mm
- Voltaje Máximo permitido por IEC/ETL = 1000VDC/1500VDC



**Figura 2.29. Panel Solar**

### 2.3.10 Batería de Ciclo Profundo

Las baterías almacenan la energía eléctrica generada por los módulos durante el día para usar en los equipos durante la noche. Suelen ser la parte más sensible de un SFA y las que mayor atención y cuidado requieren, Figura 2.30.

#### **Datos de la Batería**

- Modelo: 31T (Tabla 2 y Tabla 3)
- Dimensiones: 330mm x 172mm x 239mm
- Peso: 27.7 Kg
- Capacidad de Reserva (Minutos) = 25 Amps-190Min, 75 Amps-51 Min



**Figura 2.30. Acumulador de Ciclo Profundo**

**Tabla 2. Especificaciones del Acumulador**

	Amperios/Hora	Descarga (Amperios)	Energía (kWh)
5Hrs.	88	17.5	1.05
10Hrs.	99	9.9	-
20Hrs.	110	5.5	1.32
100Hrs.	122	1.2	1.46

**Tabla 3. Ajustes de Voltaje de Cargadores (@25°C)**

Voltaje del Sistema	6V	12V	24V	36V	48V	60V
Carga Lenta	7.40	14.80	29.60	44.40	59.20	74.00
Carga Flotante	6.60	13.20	26.40	39.60	52.80	66.00
Carga de Nivelación	7.75	15.50	31.00	46.50	62.00	77.50

### 2.3.11 Controlador de Carga

Un regulador o controlador de carga, Figura 2.31, se sitúa entre el generador (módulo) y el acumulador (batería). Se encarga de proteger a la batería contra la sobre carga, regulando la energía proveniente del módulo según el estado de carga de la batería. Cuando hay mucho sol y la batería está cargada, reduce la corriente que llega a la batería para no sobre-cargarla y dañarla. Cuando la batería esta descargada y hay suficiente sol, aumenta la corriente a la batería hasta llegar a un estado de plena carga.

#### Especificaciones Técnicas:

- Voltaje del sistema = 12V / 24V auto detección
- Corriente máxima al cargar = 20A
- Carga principal 14.4V / 28.8V (25°C), 0.5 h diarias
- Carga por absorción 14.4V / 28.8V (25 °C), por 2 h

- Activación: voltaje de la batería  $<12.3V / 24.6V$
- Protección contra sobretensión =  $15.5V / 31.0V$
- Protección contra subtensión =  $10.5V / 21.0V$
- Voltaje máximo del panel FV =  $30V / 50V$



Figura 2.31. Controlador de Carga

## Capítulo III

### 3. Modelado del Sistema

---

En este capítulo se presenta el modelado del sistema, en donde se analiza el comportamiento general de los dispositivos utilizados. En la Sección 3.1 se muestra la funcionalidad y los principios termoeléctricos que intervienen en las Celdas Peltier. En la Sección 3.2 y 3.3 se explica el modelado dinámico de las Celdas Peltier frente a la transmisión de calor. En la Sección 3.4 muestra las especificaciones térmicas y conductivas de las Celdas Peltier. En la Sección 3.5 se justifica las ventajas del uso del Teluro de Bismuto en la fabricación de Celdas Peltier. Por último, en la Sección 3.6 se analiza y modela un sistema fotovoltaico para la alimentación del prototipo generador de agua.

#### 3.1 Modelo Matemático de la Celda Peltier

Son varios los fenómenos que acontecen dentro de una celda Peltier, pudiéndose enunciar los efectos Peltier, Thomson y Joule, además de las propias características de la transmisión de calor. Sin embargo, dichos procesos no son todos de igual magnitud e importancia. De hecho, en el rango de temperaturas de los experimentos a realizar, se puede despreciar el flujo calorífico producido por la circulación de la corriente eléctrica con variación de temperatura, esto es, el denominado efecto Thomson. Así que, teniendo en cuenta esta simplificación, ecuación (3.1), al aplicar una diferencia de potencial sobre la celda [25], se producirá una transferencia de calor por unidad de tiempo en la cara caliente.

$$Q_{PC} = \alpha T_C I \quad (3.1)$$

Donde  $T_C$  es la temperatura de la cara caliente,  $\alpha$  es el coeficiente Seebeck e  $I$  la corriente que atraviesa al circuito. Por el mismo efecto, la absorción de calor por unidad de tiempo en la cara fría será dada por la ecuación (3.2), siendo  $T_F$  la temperatura de la cara fría.

$$Q_{PF} = \alpha T_F I \quad (3.2)$$

De otro lado, si se consideran las pérdidas por unidad de tiempo por efecto Joule, éstas quedarán expresadas por la ecuación (3.3), la

cual supone la mitad para cada cara. Donde  $R$  es la resistencia eléctrica de la celda Peltier.

$$Q_J = \frac{1}{2} I^2 R \quad (3.3)$$

La diferencia de temperaturas entre ambas caras producirá un efecto de conducción térmica entre la cara caliente y la cara fría, cuantificable mediante la ecuación (3.4).

$$Q_{CT} = \frac{T_C - T_F}{R_{TH}} \quad (3.4)$$

En donde  $R_{TH}$  representa la resistencia térmica entre la cara caliente y la fría. El flujo neto calorífico absorbido por la cara fría, ecuación (3.5), será obtenido realizando un balance energético.

$$Q_F = Q_{PF} - Q_J - Q_{CT} = \alpha T_F I - \frac{1}{2} I^2 R - \frac{T_C - T_F}{R_{TH}} \quad (3.5)$$

Mientras que el calor cedido y que debe ser disipado a través de la cara caliente se empleara la ecuación (3.6).

$$Q_C = Q_{PC} + Q_J - Q_{CT} = \alpha T_C I + \frac{1}{2} I^2 R - \frac{T_C - T_F}{R_{TH}} \quad (3.6)$$

Aplicando el primer principio de la Termodinámica dada por la ecuación (3.7), resultará que la potencia eléctrica suministrada será la diferencia entre los flujos caloríficos de disipación y de absorción.

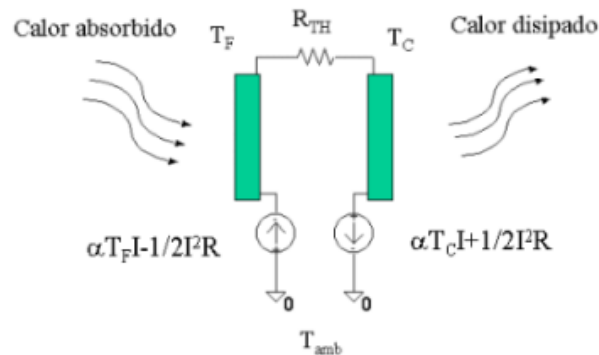
$$P_e = Q_C - Q_F = \alpha (T_C - T_F) I + I^2 R = \alpha \Delta T I + I^2 R \quad (3.7)$$

Si se considera despreciable el efecto Thomson y considerando sólo los valores medios de las propiedades de transporte del calor. El coeficiente de Seebeck, la resistividad eléctrica y la conductividad térmica varían con la temperatura. Se ha verificado que para el rango de temperaturas de las prácticas [25], éstos pueden ser considerados constantes.

### 3.2 Modelado del Comportamiento Dinámico

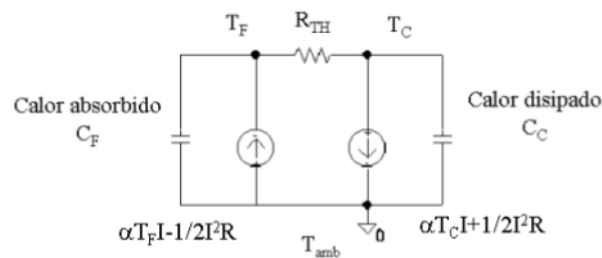
La Figura 3.1 esquematiza las ecuaciones (3.5) y (3.6), reflejando los efectos Peltier y Joule junto con los de la transmisión de calor. Obsérvese que la referencia a masa indica el punto de reposo de la temperatura en ambas caras, esto es, la temperatura ambiente [25].

Por otra parte, los flujos caloríficos absorbidos por la cara fría y los disipados por la cara caliente, pueden ser modelados como capacidades caloríficas, las cuales reflejarán las inercias térmicas de ambas caras (Figura 3.2). Sin duda alguna, la inserción de un disipador adosado a la cara caliente de la celda, con alta conductividad térmica, y al que se le ha añadido, además, un circuito de convección forzada, garantizará que la temperatura de la cara caliente,  $T_c$ , se mantenga prácticamente constante y próxima a la temperatura ambiente [25].



**Figura 32. Ecuaciones equivalencia térmico-eléctrico**

El circuito de disipación térmica adosado a la Peltier quedará modelado por una gran capacidad calorífica. Se ha cuantificado las capacidades térmicas equivalentes  $C_c$  y  $C_f$ ; siendo  $C_c$  mayor en más de dos órdenes de magnitud respecto de  $C_f$ .



**Figura 33. Circuito térmico-eléctrico equivalente**

En estas condiciones el equivalente Norton entre las dos caras (Figura 3.3) se reducirá a una capacidad térmica de valor  $C_f$  en paralelo con una fuente de flujo calorífico de valor, ecuación (3.6), o bien aplicando la ecuación (3.5), el circuito térmico quedará tal como se expresa en la ecuación (3.8) y (3.9).

$$C_F \frac{d\Delta T}{dt} + \frac{\Delta T}{R_{TH}} \cong \alpha T_C I + \frac{1}{2} I^2 R = P_e + \alpha T_F I - \frac{1}{2} I^2 R \quad (3.8)$$

$$P_e \cong \Delta T I + I^2 R \quad (3.9)$$



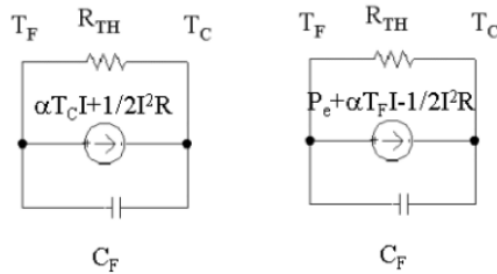


Figura 34. Circuitos equivalentes simplificados

### 3.3 Modelo Simplificado

Partiendo de la ecuación (3.9) y considerando que la temperatura de la cara caliente se mantiene prácticamente constante (gracias al diseño de disipación de calor aplicado a esta cara), y que el efecto Joule es de segundo orden respecto al efecto Peltier, se puede concluir que la variación de temperatura es proporcional a la intensidad que circula por la celda. El coeficiente Seebeck se mantiene prácticamente constante en todo el rango de temperatura de los experimentos. La validación de la propuesta queda reflejada en la Figura 3.4, al compararse la respuesta en régimen permanente con la del modelo propuesto [25].

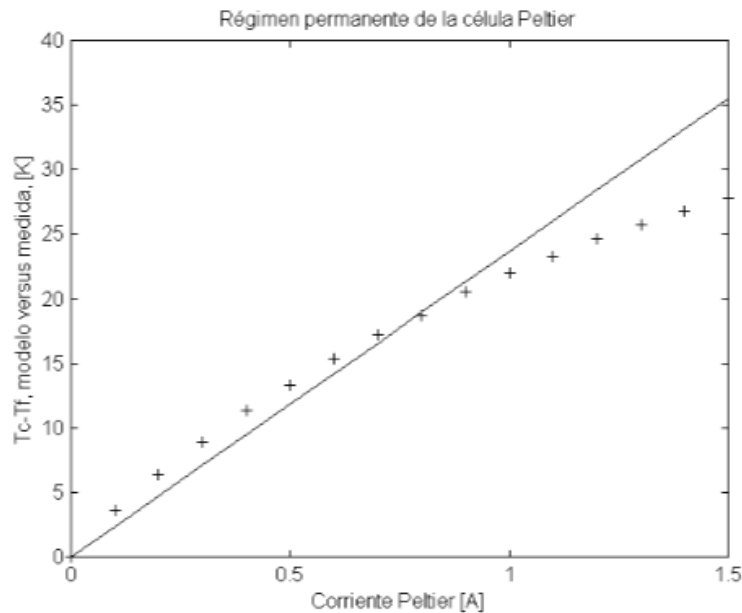


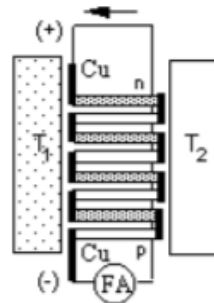
Figura 35. Relación entre la corriente eléctrica y la diferencia de temperaturas entre las dos caras

La función de transferencia simplificada se puede expresar como se muestra en la ecuación (3.10), la cual tendrá una variación de temperatura proporcional a la corriente que circulara por la celda.

$$\frac{\Delta T(s)}{I(s)} = \frac{[\alpha T_C] R_{TH}}{(1 + R_{TH} C_{FS})} \quad (3.10)$$

### 3.4 Especificaciones Térmicas y Conductivas de las Celdas Peltier

Una celda Peltier consta de la unión de materiales semiconductores tipo N y tipo P que forman a manera de termopares y están incluidos entre bloques metálicos de cobre, como se muestra en la Figura 3.5, sus temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  actúan como sumideros o desagüe de calor [26]. Utilizando la Celda Peltier TEC1-12706, podemos encontrar un total de 127 pares de este tipo situados entre ambos bloques. El número de uniones es proporcional al efecto termoeléctrico obtenido.



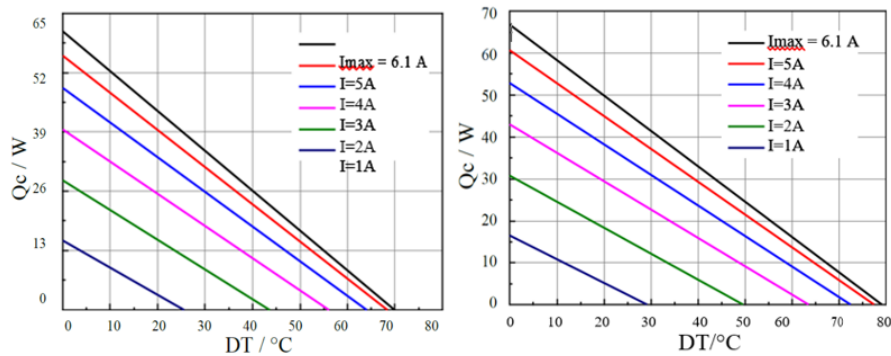
**Figura 36. Celda Peltier.  $T_1$  y  $T_2$  temperaturas de los bloques**

Un termopar es un circuito eléctrico formado por dos conductores que tienen distinta densidad de electrones en función de la temperatura. A continuación se presenta las especificaciones de funcionamiento (Tabla 4) y las curvas de rendimiento, Figura 3.6 a 3.8, de la Celda Peltier TEC1-12706 [27].

**Tabla 4. Especificaciones de Funcionamiento TEC1-12706**

<b>Th (°C)</b>	27	50	Temperatura del lado caliente en el ambiente
<b>DT<sub>MAX</sub> (°C)</b>	70	79	Diferencia de temperatura entre el lado frío y caliente del módulo cuando la capacidad de enfriamiento es cero en el lado frío
<b>U<sub>MAX</sub> (V)</b>	16.0	17.2	Tensión aplicada al módulo en DT <sub>max</sub>
<b>I<sub>MAX</sub> (A)</b>	6.1	6.1	Corriente DC a través de los módulos en DT <sub>MAX</sub>
<b>QC<sub>MAX</sub> (W)</b>	61.4	66.7	Capacidad de enfriamiento en el lado frío del módulo bajo DT = 0 °C
<b>ACRESIST (Ω)</b>	2.0	2.2	La resistencia del módulo se prueba bajo CA
<b>Tolerancia (%)</b>	±10		Para parámetros térmicos y eléctricos

Por ende, Figura 3.6, al variar la corriente eléctrica que pasa a través de la Celda Peltier TEC1-12706 se obtiene una diferencia de temperatura entre el lado frío y caliente del módulo cuando la capacidad de enfriamiento es cero en el lado frío, lo cual, aumentara su capacidad de enfriamiento, es decir la potencia consumida por el dispositivo, para mantener el lado frío del módulo bajo una diferencia de temperatura igual a 0° C.



**Figura 37. Curva de rendimiento #1 a Th=27°C y Th=50°C**

Por consiguiente, si se varía el voltaje aplicado al módulo la diferencia de temperatura se verá afectada de forma creciente, Figura 3.7, tomando como referencia la capacidad de enfriamiento en el lado frío de cero.

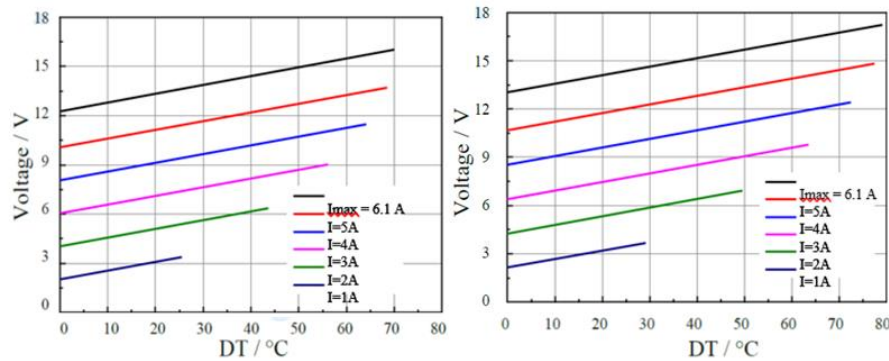


Figura 38. Curva de rendimiento #2 a  $T_h=27^\circ\text{C}$  y  $T_h=50^\circ\text{C}$

La capacidad de enfriamiento (potencia consumida) para mantener la diferencia de temperatura en cero grados en el lado frío se verá afectada por el voltaje suministrado, Figura 3.8. Dado que, para un correcto funcionamiento de la Celda Peltier es recomendable fijar un consumo de corriente constante la potencia generada por el modulo disminuirá a mayor voltaje aplicado.

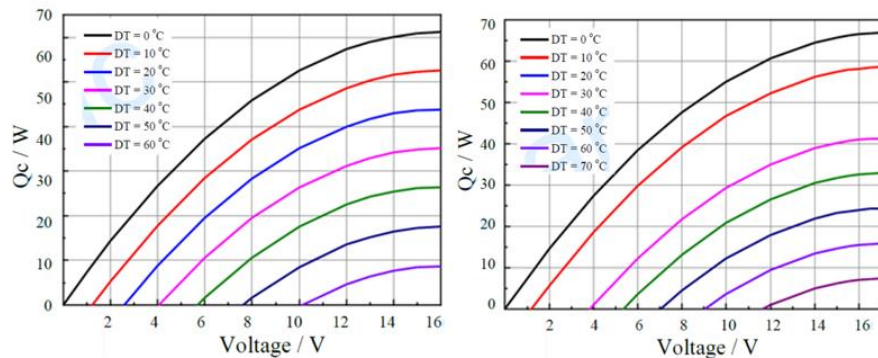


Figura 39. Curva de rendimiento #3 a  $T_h=27^\circ\text{C}$  y  $T_h=50^\circ\text{C}$

### 3.5 Teluro de Bismuto

Hay pocos materiales que sean adecuados para aplicaciones termoeléctricas ya que la relación entre conductividad térmica y eléctrica suele ser una correlación positiva. Los materiales termoeléctricos comunes utilizados como semiconductores incluyen Teluro de Bismuto, Teluro de Plomo, Silicio-Germanio y aleaciones de Bismuto-Antimonio [28].

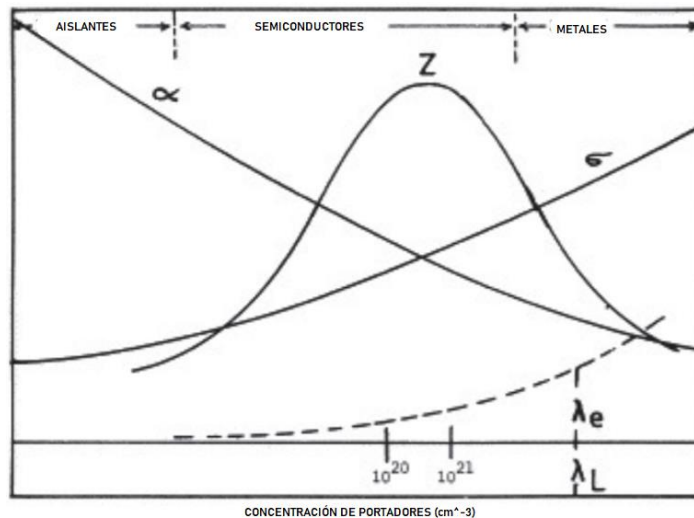
El Teluro de Bismuto ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) ha sido el foco de amplios estudios teóricos y experimentales como un componente de materiales para dispositivos termoeléctricos, como refrigeradores o generadores de estado sólido [28]. El rendimiento de un material termoeléctrico en las aplicaciones mencionadas se evalúa en términos ZT. Donde  $\alpha$  es el

coeficiente de Seebeck,  $\sigma$  es la conductividad eléctrica,  $\kappa$  es la conductividad térmica y  $T$  es la temperatura.

$$ZT = (\alpha^2 \sigma T) / \kappa \quad (3.11)$$

De acuerdo con la ecuación (3.11), para incrementar la figura de mérito es necesario incrementar el coeficiente de Seebeck y la conductividad eléctrica y disminuir la conductividad térmica. Sin embargo [29], estas tres magnitudes dependen de la concentración de portadores, por lo tanto, es muy complicado introducir cambios en una de ellas sin alterar las demás.

En la Figura 3.9 se muestra la dependencia de la figura de mérito en función de la concentración de portadores. Se observa un máximo para concentraciones en torno a  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$ , que corresponde a semiconductores altamente dopados o degenerados [29].



**Figura 40. Representación de la figura de mérito en función a la concentración de portadores**

Los materiales basados en  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  se encuentran en este intervalo, Figura 3.9, son muy adecuados para la conversión termoeléctrica. Además, en estos materiales el máximo de la figura de mérito se encuentra a temperatura ambiente. Debido a esto, son ampliamente usados en sistemas de refrigeración comerciales y en sistemas de recuperación de energía.

### 3.6 Dimensionado del Sistema Fotovoltaico Autónomo

#### Potencia Consumida por Celda Peltier

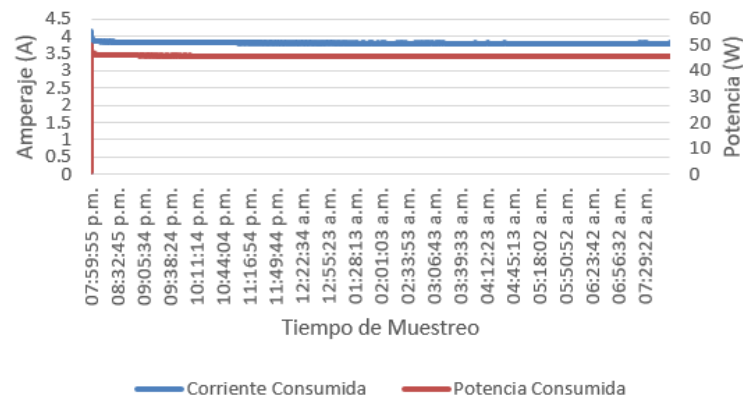
Utilizando las especificaciones técnicas del Kit-Refrigeración Semiconductor Peltier podemos calcular el gasto energético que consumirá el Prototipo Generador de Agua al estar en funcionamiento.

La forma más simple de calcular la potencia que consume una carga activa o resistiva conectada a un circuito eléctrico es multiplicando el valor de la tensión en volt (V) aplicada por el valor de la intensidad (I) de la corriente que lo recorre, ecuación (3.12):

$$P = V * I \quad (3.12)$$

Donde la potencia consumida por el sistema estará identificada por su equivalente W, es decir Watts, ecuación (3.13). Sustituyendo los valores técnicos del Kit-Refrigeración Semiconductor Peltier en la fórmula obtendremos:

$$W = 12V * 6A = 60 \text{ Watts} = 60Wh \quad (3.13)$$



**Figura 410. Potencia Consumida en Celda Peltier (12 horas de muestreo)**

Utilizando el sensor de corriente (ACS712) se obtuvo la corriente y potencia consumida por una Celda Peltier, Figura 3.10, utilizando la hoja de datos del fabricante podemos establecer que, al utilizar un sistema de disipación de calor en el lado caliente de la Celda Peltier la corriente consumida por el dispositivo será menor, por lo cual se obtendrá mejores resultados por su cara opuesta, es decir, la cara fría, para ello se emplea la ecuación (3.14). Aplicando la ecuación anterior, podemos suponer que la potencia consumida será proporcional al número de las Celdas Peltier utilizadas, Tabla 6.

$$W = 12V * 3.82A = 45 \text{ Watts} = 45Wh \quad (3.14)$$

**Tabla 5. Relación de Potencia Consumida por Número de Celdas utilizadas**

Número de Celdas	Voltaje Consumido	Corriente Consumida	Potencia Total Consumida
1 Celda	12V	3.82A	45.84Wh
4 Celdas	12V	15.28A	183.36Wh
6 Celdas	12V	22.92A	275.04Wh

#### Potencia Consumida por Resistencia de Calor

Por otro lado, utilizando resistencias de calor, es posible controlar y modificar las variables ambientales contenidas en el aire. Para un correcto funcionamiento es necesario realizar el siguiente cálculo, ecuaciones (3.15) y (3.17), basándonos en la hoja de especificaciones del fabricante.

$$W = 12V * 6A = 72 \text{ Watts/Horas} \quad (3.15)$$

$$I = 0A - 6A \rightarrow 0^{\circ}C - 150^{\circ}C \quad (3.16)$$

El sistema generador contempla la utilización de dos resistencias de calor dando como potencia consumida el resultado de la ecuación (3.17).

$$72W * 2 = 144 \text{ Watts/Horas} \quad (3.17)$$

#### Eficiencia del Módulo Fotovoltaico

Al analizar los diferentes tipos de paneles que existen, los de mayor eficiencia y rendimiento son los que usan tecnología monocristalina o, al menos, basada en monocristalina. Al final es hacer cuentas de cuantos Watts por metro cuadrado tienen esos paneles solares, ec. (3.18).

Una eficiencia de un panel solar de 16-17% es algo estándar, no quiere decir que sea ni bueno ni malo, simplemente es algo estándar. Pero lo que desde luego no es, es alta eficiencia. La alta eficiencia, en paneles solares, se puede considerar a partir de un 19%.

$$n = \frac{\text{Pot. del Módulo}}{\text{Área del Módulo} \cdot \text{Irradiación}} = \frac{335W}{1.956m * 0.992m * 1,000W/m^2} = 17.26\% \quad (3.18)$$

### Factor de Forma del Módulo Fotovoltaico

El Factor de Forma (FF) de una celda o panel solar, es el cociente de potencia real ( $V_m \times I_m$ ) de los paneles solares frente a la salida de potencia en corto-circuito ( $V_{oc} \times I_{sc}$ ). Este es un parámetro clave para evaluar el rendimiento de los paneles solares comerciales, ecuación (3.19).

- Voltaje Nominal ( $V_m$ ) = 38.94 V, Corriente Nominal ( $I_m$ ) = 8.61 A
- Voltaje en Circuito Abierto ( $V_{oc}$ ) = 47.12 V, Corriente en Corto Circuito ( $I_{sc}$ ) = 9.20 A

(3.19)

$$FF = \frac{V_m * I_n}{V_{oc} * I_{sc}} = \frac{38.94V * 8.61A}{47.12V * 9.20A} = 0.77$$

### Potencia Generada por el Módulo Fotovoltaico

La forma más simple de calcular la potencia generada por un panel solar es multiplicando el Voltaje Nominal ( $V_m$ ) y la Corriente Nominal ( $I_m$ ), ec. (3.20), se puede observar los resultados en la Tabla 7.

$$Potencia_{Total} = V_m * I_m = 335W \quad (3.20)$$

**Tabla 6. Relación de Potencia Generada por Número de Paneles utilizados**

Número de Paneles Solares	Voltaje Generado	Corriente Generada	Potencia Total Generada (Hora)
1	38.94V	8.61A	335Wh
2	38.94V	8.61A	670Wh
3	38.94V	8.61A	1.005kWh
4	38.94V	8.61A	1.34kWh
5	38.94V	8.61A	1.675kWh

### Regulador de Carga

Los reguladores de carga vienen determinados por la intensidad máxima de trabajo y por el voltaje en que hayamos diseñado nuestra instalación, ec. (3.21). La intensidad de trabajo será la intensidad de entrada o procedente de los paneles solares, Tabla 8.

- Factor de Seguridad = 1.25
- $I_{RE}$  = Máxima Corriente de Entrada.
- $I_{SC}$  = Intensidad de Cortocircuito del Módulo.
- $N_{PARALELO}$  = Numero de ramales de paneles solares dispuestos en paralelo.



**Tabla 7. Relación de Corriente de Entrada al Regulador y Número de Paneles Solares**

Número de Paneles Solares	$I_{sc}$	$N_{PARALELO}$	$I_{RE}$
1	9.2A	1	11.5A
2	9.2A	2	23A
3	9.2A	3	34.5A
4	9.2A	4	46A
5	9.2A	5	57.5A

$$I_{RE} = 1.25 * I_{SC} * N_{PARALELO} = 1.25 * 9.20 * 1 = 11.5A \quad (3.21)$$

Es muy importante calcular la intensidad de consumo necesario que demandara nuestro prototipo de la siguiente forma, ec. (3.22), ec. (3.23), Tabla 9.

- Factor de Seguridad = 1.5
- $P_{DC}$  = Potencia de las Cargas en Corriente Directa.
- $V_B$  = Tensión Nominal del Sistema.
- $I_{RS}$  = Corriente de Salida del Regulador.

$$P_{DC} = 12V * 3.82A = 45Wh \text{ Por Celda Peltier} \quad (3.22)$$

$$(3.23)$$

$$I_{RS} = \frac{1.5 * P_{DC}}{V_B} = \frac{1.5 * 45W}{= 12V} = 5.6A$$

**Tabla 8. Relación de Corriente de Salida del Regulador y Potencia Generada por Celdas Peltier**

Número de Celdas	$V_B$	$P_{DC}$	$I_{RS}$
1 Celda	12V	45W	5.6A
4 Celdas	12V	180W	22.5A
6 Celdas	12V	270W	33.75A

### Baterías

Hay una fórmula muy sencilla, ec. (3.24), para calcular las horas que va a durar una batería según los consumos que estén conectados a ella, en este caso, dependerá de la cantidad de Celdas Peltier utilizadas, Tabla 10.

- $W_b$  = la potencia de la batería estará dada por el voltaje de la batería multiplicado por la intensidad de la batería.
- $W_c$  = voltaje de la batería multiplicado por la corriente consumida, nos dará la potencia consumida.

$$H = \frac{W_b}{W_c} \quad (3.24)$$

**Tabla 9. Relación de Autonomía del Prototipo utilizando Baterías**

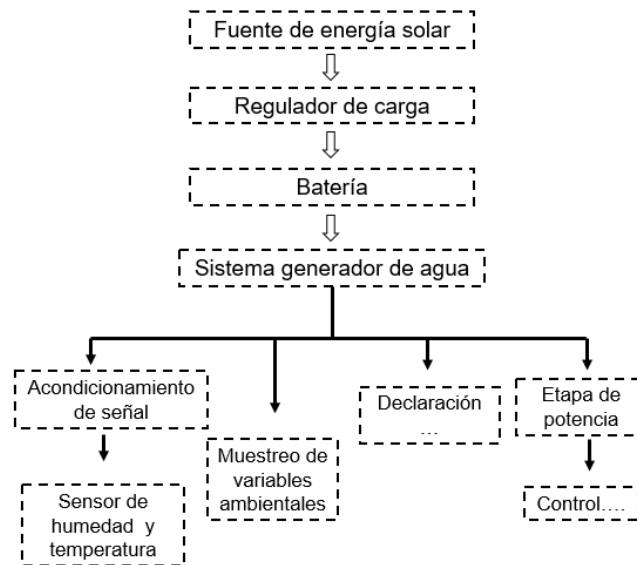
Número de Celdas	W <sub>b</sub>	W <sub>c</sub>	Horas
1 Celda	1.464kW	45.84W	31.9H
4 Celdas	1.464kW	183.36W	7.9H
6 Celdas	1.464kW	275.04W	5.3H

## Capítulo IV

### 4. Desarrollo

---

En este capítulo se presenta el desarrollo del procesamiento de las variables a medir y la programación de las condiciones ideales para la puesta en marcha del sistema. Gracias a su diseño el sistema es capaz de generar la máxima cantidad de agua bajo distintos factores ambientales. Además, el prototipo está complementado con sensores para la medición de temperatura y humedad, las cuales determinaran las condiciones de activación del prototipo utilizando un control ON/OFF mediante la plataforma de Arduino, Figura 4.1.



**Figura 42. Descripción de Bloques de Funcionamiento**

La Sección 4.1 muestra el modo de activación del sistema y la interfaz gráfica donde se almacenan los datos de las variables a medir. En la Sección 4.2 se lleva a cabo el muestreo y el procesamiento de variables que intervienen en el prototipo, las cuales son utilizados para en el control y activación del sistema bajo las condiciones ideales para su funcionamiento. En la Sección 4.3 se desarrolla el circuito de potencia para la activación de las Celdas Peltier. Por último, la conexión del prototipo a su fuente de alimentación, fotovoltaica, se presenta en la Sección 4.4.

La Figura 4.2 representa el circuito electrónico implementado en el prototipo, Fritzing es el programa por excelencia para la realización de esquemas eléctricos en proyectos con Arduino, también nos permite obtener el esquema eléctrico, listado de componentes usados y el diagrama para fabricar la PCB.

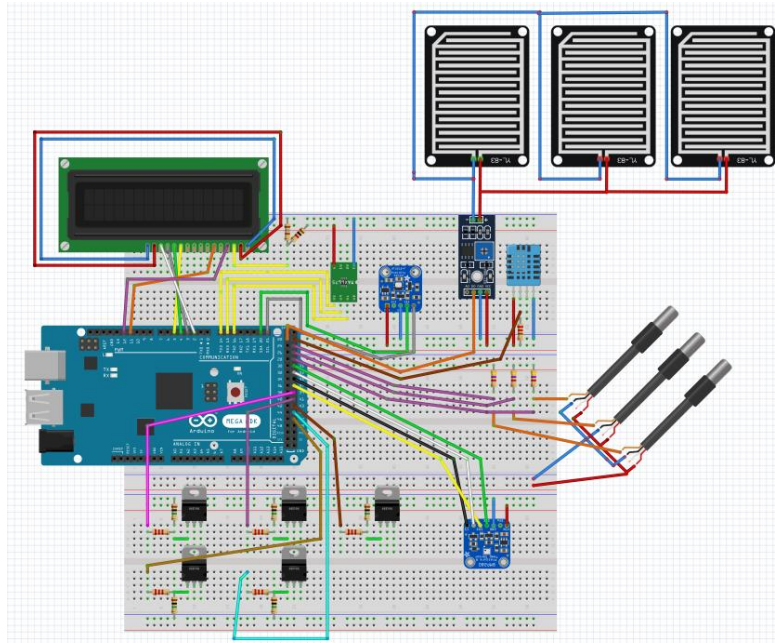


Figura 43. Simulación en Fritzing del Circuito Final

#### 4.1 Activación del Dispositivo

Al encender por primera vez el dispositivo, Arduino Mega iniciara en modo "Desconectado" en el cual el Sistema Generador se encontrara apagado, al igual, los sensores no estarán en operación. Sin contar el modo "Desconectado", el sistema tiene otro método de operación:

1. **Modo PLX-DAQ:** Parallax Data Acquisition tool PLX-DAQ es un complemento para MS Excel 2000 y 2003, que te permite capturar hasta 26 canales de datos de un Arduino conectado a una puerto serie (COM1~15), con velocidad de hasta 128 Kbps. Puedes adjuntar fecha y hora del evento (hh:mm:ss) desde el sistema o segundos desde el inicio, Figura 4.3.

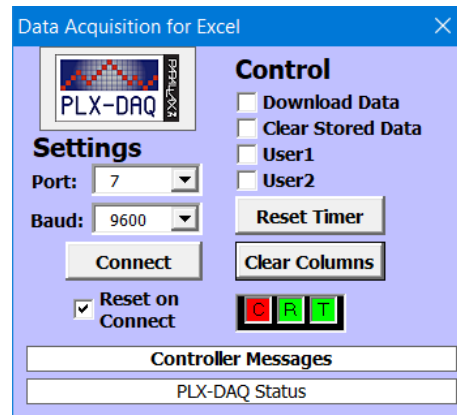


Figura 44. Software PLX-DAQ

- **Port:** Puerto/Canal mediante el cual se llevara a cabo la comunicación entre Arduino Mega y la computadora.
- **Baud:** Velocidad de comunicación serial del Arduino.
- **Reset Timer y Clear Columns:** Limpia el registro de datos guardados en EXCEL.
- **Connect y Reset on Connect:** Inicia la comunicación/envío de datos entre Arduino y EXCEL. Además, permite reiniciar el sistema cada vez que se realiza una nueva conexión.

Fecha	Hora	Humedad DHT	Temperatura a DHT	Humedad GY21	Temperatura GY21	Temperatura Celda 1	Temperatura Celda 2	Temperatura Celda 3	Temperatura Celda Peltier Lado Caliente	Temperatura BMP280	Presion BMP280	Temperatura Resistencias	Agua Detectada
11/08/2019	07:45:21 p.m.	46	26	28.71	31.76	22.69	27.62	34.31	23.75	32.59	99240.33	175	NO
11/08/2019	07:45:28 p.m.	46	26	28.89	31.68	21.19	26.94	32.44	23.75	32.55	99244.48	174.5	NO
11/08/2019	07:45:35 p.m.	46	26	28.66	31.59	19.44	25.5	30.37	23.75	32.47	99245.46	173.25	NO
11/08/2019	07:45:42 p.m.	45	26	28.38	31.45	17.69	23.62	28.31	23.75	32.35	99241.43	173	NO
11/08/2019	07:45:49 p.m.	45	26	28.22	31.3	16	21.56	26.31	23.75	32.23	99238.84	172.75	NO
11/08/2019	07:45:56 p.m.	45	26	28.15	31.16	14.38	19.56	24.44	23.75	32.1	99243.54	172.5	NO
11/08/2019	07:46:03 p.m.	45	26	28.26	31.04	13	17.62	22.69	23.81	31.97	99240.46	172.25	NO
11/08/2019	07:46:10 p.m.	45	26	28.43	30.87	11.75	15.88	21.19	23.81	31.86	99245.75	172	NO
11/08/2019	07:46:17 p.m.	45	26	28.58	30.75	10.69	14.19	19.75	23.81	31.71	99240.89	170.5	NO
11/08/2019	07:46:24 p.m.	44	26	28.6	30.64	9.75	12.81	18.5	23.81	31.59	99241.67	171	NO
11/08/2019	07:46:31 p.m.	44	26	28.76	30.47	8.94	11.56	17.37	23.81	31.44	99245.86	171.5	NO
11/08/2019	07:46:38 p.m.	44	26	28.9	30.37	8.25	10.5	16.44	23.81	31.37	99245.14	171.25	NO
11/08/2019	07:46:45 p.m.	44	26	28.99	30.27	7.63	9.56	15.56	23.81	31.27	99245.22	171	NO
11/08/2019	07:46:52 p.m.	44	26	29.2	30.16	7.13	8.75	14.81	23.87	31.14	99242.85	170.5	NO
11/08/2019	07:46:59 p.m.	44	26	29.34	30.09	6.69	8.06	14.19	23.81	31.08	99245.58	170.5	NO
11/08/2019	07:47:06 p.m.	44	26	29.35	30.03	6.31	7.44	13.63	23.87	30.98	99244.39	170.5	NO
11/08/2019	07:47:13 p.m.	44	26	29.23	29.97	6	6.94	13.13	23.87	30.86	99242.13	170.75	NO
11/08/2019	07:47:20 p.m.	44	26	29.27	29.88	5.69	6.56	12.75	23.87	30.78	99249.24	170	NO
11/08/2019	07:47:27 p.m.	44	26	29.48	29.8	5.44	6.19	12.38	23.87	30.72	99246.71	170.25	NO
11/08/2019	07:47:35 p.m.	44	26	29.72	29.74	5.25	5.81	12.13	23.87	30.63	99244.71	169.75	NO
11/08/2019	07:47:42 p.m.	44	26	29.71	29.67	5.06	5.5	11.88	23.87	30.57	99247.63	169.75	NO
11/08/2019	07:47:49 p.m.	44	26	29.69	29.62	4.94	5.25	11.69	23.87	30.51	99244.92	169.5	NO
11/08/2019	07:47:56 p.m.	44	26	29.88	29.57	4.75	5	11.5	23.94	30.46	99246.67	170	NO
11/08/2019	07:48:03 p.m.	44	26	30.05	29.49	4.63	4.81	11.38	23.94	30.37	99244.97	169.5	NO
11/08/2019	07:48:10 p.m.	44	26	29.95	29.48	4.5	4.63	11.25	23.94	30.35	99246.38	169.25	NO

Figura 45. Complemento Excel, registro de datos ambientales

Para ingresar a este modo debe conectarse el dispositivo Arduino Mega al software PLX-DAQ y ejecutar el programa, el cual, mostrara los datos guardados de las variables ambientales en tiempo real, Figura 4.4, complemento de Excel. Cabe destacar que dicho software es de solo

muestreo, las condiciones de activación y los datos de muestreo los realiza Arduino Mega.

## 4.2 Etapa de Muestreo

Para la adquisición de datos se utilizó la plataforma de programación Arduino, en conjunto con sensores de medición de humedad y temperatura. A través de la plataforma de Arduino y la tarjeta de adquisición Arduino Mega 2560, es posible la interacción con distintos tipos de sensores. Se implementó el sistema para realizar el muestreo de las variables ambientales. Las condiciones de activación, Figura 4.4, fueron definidas en base a la humedad en el ambiente, se estableció en cada condición el encendido de las Celdas Peltier y resistencias generadoras de calor.

```

PROGRAMA_ARDUINO_MEGA_EXCEL Arduino 1.8.10
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
PROGRAMA_ARDUINO_MEGA_EXCEL $
////////////////////////////////////// Condiciones de activacion
if(Humedad_interna > 60){ //Condicion de Activacion a 60% de Humedad
  digitalWrite(CeldasA,HIGH);
  digitalWrite(CeldasB,HIGH);
  digitalWrite(CeldasC,HIGH);
  digitalWrite(Ventiladores,HIGH);
  digitalWrite(Resistencias, HIGH);
}
else if(Humedad_interna <= 60 && Humedad_interna > 50){ //Condicion de Activacion de 50%-60% de Humedad
  digitalWrite(CeldasA,HIGH);
  digitalWrite(CeldasB,HIGH);
  digitalWrite(CeldasC,HIGH);
  digitalWrite(Ventiladores,HIGH);
  digitalWrite(Resistencias, HIGH);
}
else if(Humedad_interna <= 50 && Humedad_interna > 40){ //Condicion de Activacion de 40%-35% de Humedad
  digitalWrite(CeldasA,HIGH);
  digitalWrite(CeldasB,HIGH);
  digitalWrite(CeldasC,HIGH);
  digitalWrite(Ventiladores,HIGH);
  digitalWrite(Resistencias, HIGH);
}
else if(Humedad_interna <= 40 && Humedad_interna > 30){ //Condicion de Activacion de 30%-50% de Humedad
  digitalWrite(CeldasA,HIGH);
  digitalWrite(CeldasB,HIGH);
  digitalWrite(CeldasC,HIGH);
  digitalWrite(Ventiladores,HIGH);
  digitalWrite(Resistencias, HIGH);
}
else if(Humedad_interna <= 30 && Humedad_interna > 20){ //Condicion de Activacion de 20%-30% de Humedad
  digitalWrite(CeldasA,HIGH);
  digitalWrite(CeldasB,HIGH);
  digitalWrite(CeldasC,HIGH);
  digitalWrite(Ventiladores,HIGH);
  digitalWrite(Resistencias, HIGH);
}
}

```

**Figura 46. Declaración de Condiciones de Activación**

Al detectar niveles óptimos de humedad y temperatura, anteriormente definidos en la programación, se enviará una señal de activación a la etapa de potencia, encendiendo las Celdas Peltier.

Al integrar en el prototipo un sistema interno de calefacción, Figura 4.5, utilizando resistencias de calor, es posible controlar y modificar las variables ambientales contenidas en el aire, lo cual beneficiara la producción del punto de rocío.



**Figura 47. Montaje de Resistencias Calefactoras**

El tiempo de encendido de las resistencias calefactoras está definido en la programación, como se muestra en la Figura 4.6, y relacionada directamente con las condiciones de activación de las Celdas en base a la humedad en el ambiente. Es decir, mientras mayor sea el porcentaje de humedad el tiempo de encendido de las resistencias calefactoras será menor. Este tipo de resistencias emiten calor cuando se le aplica una corriente eléctrica, entonces una parte de la energía cinética contenida en los electrones del material se transforma en calor.

```

PROGRAMA_ARDUINO_MEGA_EXCEL Arduino 1.8.10
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
PROGRAMA_ARDUINO_MEGA_EXCEL $
int Estado1 = LOW; //Variable de estado para resistencia de calor
unsigned long previousMillis1 = 0; //Se utiliza unsigned long para las variables de tiempo
const long interval1 = 10000; //Intervalo 10 segundos de encendido y apagado de resistencia de calor

int Estado2 = LOW; //Variable de estado para resistencia de calor
unsigned long previousMillis2 = 0; //Se utiliza unsigned long para las variables de tiempo
const long interval2 = 20000; //Intervalo 20 segundos de encendido y apagado de resistencia de calor

int Estado3 = LOW; //Variable de estado para resistencia de calor
unsigned long previousMillis3 = 0; //Se utiliza unsigned long para las variables de tiempo
const long interval3 = 30000; //Intervalo 30 segundos de encendido y apagado de resistencia de calor

int Estado4 = LOW; //Variable de estado para resistencia de calor
unsigned long previousMillis4 = 0; //Se utiliza unsigned long para las variables de tiempo
const long interval4 = 40000; //Intervalo 40 segundos de encendido y apagado de resistencia de calor

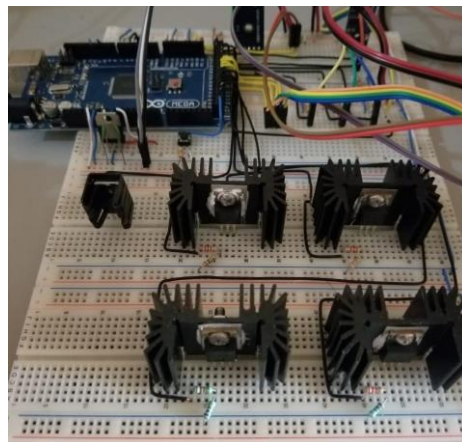
int Estado5 = LOW; //Variable de estado para resistencia de calor
unsigned long previousMillis5 = 0; //Se utiliza unsigned long para las variables de tiempo
const long interval5 = 60000; //Intervalo 60 segundos de encendido y apagado de resistencia de calor

```

**Figura 48. Declaración de Variables de Tiempo de Resistencias de Calor**

### 4.3 Etapa de Potencia

Al utilizar la tarjeta Mega 2560 y su plataforma Arduino, el sistema es puesto en funcionamiento en base a las variables medidas, humedad relativa y temperatura, con la finalidad de entrar en operación cuando las variables mencionadas sean óptimas para la mayor obtención de rocío. Si los factores ambientales son ideales, la tarjeta Mega 2560 envía una señal por medio de su salida digital al sistema de potencia, Figura 4.7, que a su vez activará a la Celda Peltier o Resistencia de Calor.



**Figura 49. Interfaz Arduino - Etapa de Potencia**

La etapa de potencia esta conformada por dispositivos MOSFET, los cuales son utilizados para la conmutación y amplificación de señales digitales. Existen muchos modelos de MOSFET disponibles pero no todos son recomendados para usar directamente con un procesador como Arduino por la limitación de tensión e intensidad en sus salidas. Así, la serie de transistores lógicos, por ejemplo IRL540, se saturan sin problemas a 5V proporcionando una  $I_d$  de 28A, suficiente para soportar la corriente necesaria por las Celdas Peltier para su funcionamiento.

### 4.4 Conexión al Sistema de Alimentación Fotovoltaico

Para realizar la instalación del sistema fotovoltaico es necesario comprender el esquema del sistema, Figura 4.8, pues éste nos orientará en el proceso de instalación de forma eficiente y adecuada. Al tratarse de zonas donde la distribución de energía eléctrica es inaccesible, el uso de un sistema aislado es la mejor opción para suministrar energía al generador de agua, esto se hace a través de un banco de baterías que almacene electricidad y la mantiene disponible para cuando sean necesario.



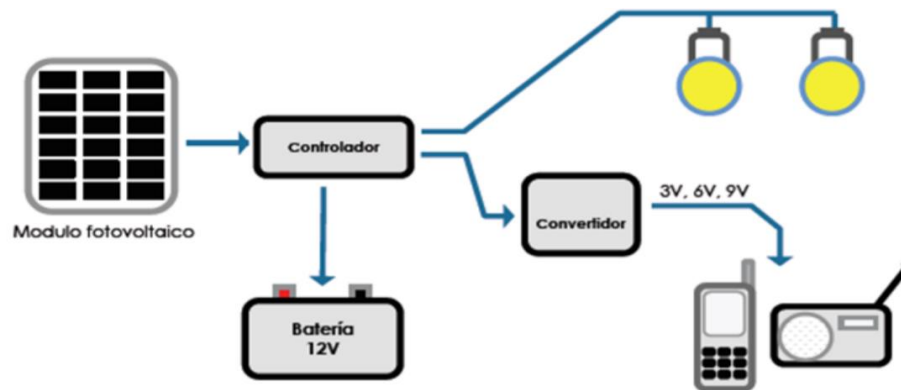


Figura 50 Esquema de instalación del Sistema Fotovoltaico

#### 4.4.1 Preparación para la instalación

Por las características y condiciones que prevalecen en las zonas rurales o urbanas de nuestro país, y para asegurar la utilidad del sistema fotovoltaico, previo a su instalación es necesario realizar un proceso de reconocimiento donde se conteste a las siguientes preguntas, Figura 4.9:

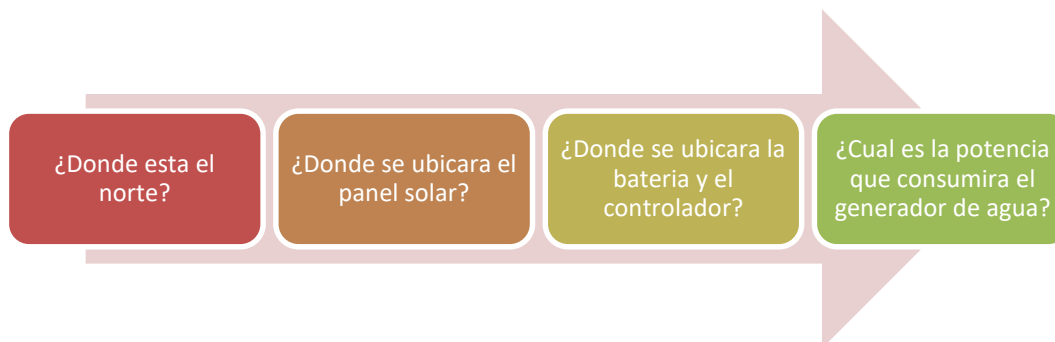


Figura 51. Puntos a considerar al momento de realizar una instalación

La ubicación del panel permitirá instalar los otros componentes del sistema en un lugar seguro, para ello debe considerar las siguientes recomendaciones:

- Espacios de fácil acceso para el mantenimiento.
- Cercano al panel, pero ubicados en un espacio ventilado, que no tenga humedad y donde se evite la presencia de polvo.

#### **4.4.1.1 Instalación y conexión del panel fotovoltaico**

- Colocar el panel fotovoltaico en la estructura de metal que se ha construido para soportarlo.

Considere el tipo de estructura metálica puede variar en tamaño y forma, familiarícese con ella antes de comenzar la colocación del panel solar. Al momento de colocar el panel en la estructura, como se observa Figura 4.10, hay que tener cuidado de no dañar el panel con los pernos.



**Figura 52. Montaje Panel Fotovoltaico**

- Conectar los cables del panel.

Actualmente, los paneles solares ya traen ensambladas las conexiones a la caja del panel solar, por tanto no es necesario abrirlo, Figura 4.11; esto para evitar está sea dañada al momento de realizar la conexión. No obstante, se debe de tener en cuenta una revisión de los puntos claves para realizar la conexión de los cables al panel. Estos son:

- a) Mida la longitud del cable que necesitara. Asegure el cable tiene la longitud suficiente para llegar del panel al controlador de carga.
- b) Identifique el polo positivo y negativo. Utilice el multímetro para verificar que el voltaje y el amperaje están bien, el valor obtenido debe corresponder a las características especificadas del panel.
- c) Ajuste el cable a los contactos indicados y asegure que el cable no puede zafarse.
- d) Para la instalación del sistema fotovoltaico, se utilizaran cables estándares 14 en rojo para el polo positivo y en negro para el polo negativo.

- e) Si se utiliza un conector para sellar la salida del cable, tenga cuidado que el cable no este tenso ni flojo.

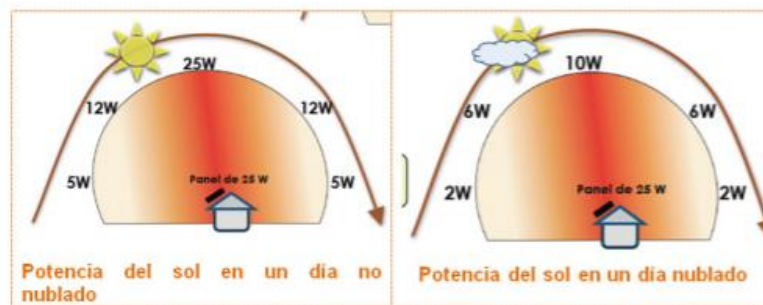


**Figura 53. Identificación de polaridad en paneles solares**

- Fije el panel en el lugar donde quedará instalado.

Para asegurar el funcionamiento adecuado del panel solar, éste debe estar ubicado de tal forma que capte la mayor cantidad de energía solar en el transcurso del día. Para ello, previo a fijar el panel, revise nuevamente que este cumple con los tres requisitos o factores claves:

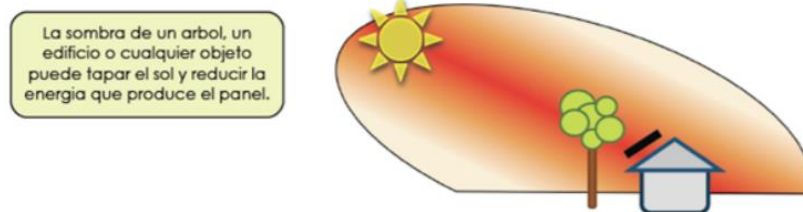
- a) **Inclinación:** la energía solar es la única manera de que el sistema recupere energía, por tanto, el panel para cargarse a su máxima capacidad debe inclinarse paralelamente al sol del mediodía, como se muestra en la Figura 4.12, momento en que está a su máxima potencia. En caso de instalar un sistema fotovoltaico en el municipio de Hermosillo, Sonora la inclinación de los paneles será igual a la latitud de la zona, es decir, 29 grados.



**Figura 54. Comparación de eficiencia energética del panel solar**

- b) **Orientación:** el panel siempre debe orientarse hacia el Ecuador, que en el caso de México esta hacia el sur.
- c) **Ausencia de sombras:** para asegurar la recepción óptima de los rayos del sol, debe asegurarse que cerca al panel solar no hay objetos que le den sombra como árboles, casas u otros obstáculos,

como lo indica la Figura 4.13. En el caso de existir obstáculos y poderse remover asegúrese de hacerlo previo a comenzar la instalación del panel solar.

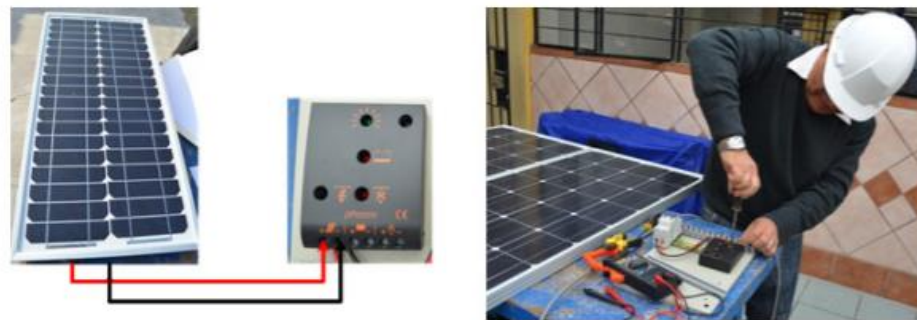


**Figura 55. Importancia del sombreado sobre instalaciones fotovoltaicas**

#### 4.4.2.2 Instalación del Regulador de carga

- Fijar el regulador en el tablero de control.

El regulador de carga del sistema fotovoltaico se encarga de distribuir la energía de forma estable. Para asegurar su adecuado funcionamiento este debe instalarse en un lugar seguro y libre de humedad. La Figura 4.14 muestra la conexión del panel fotovoltaico con el regulador, también debemos tener en cuenta lo siguiente:



**Figura 56. Conexión de terminales Panel-Regulador**

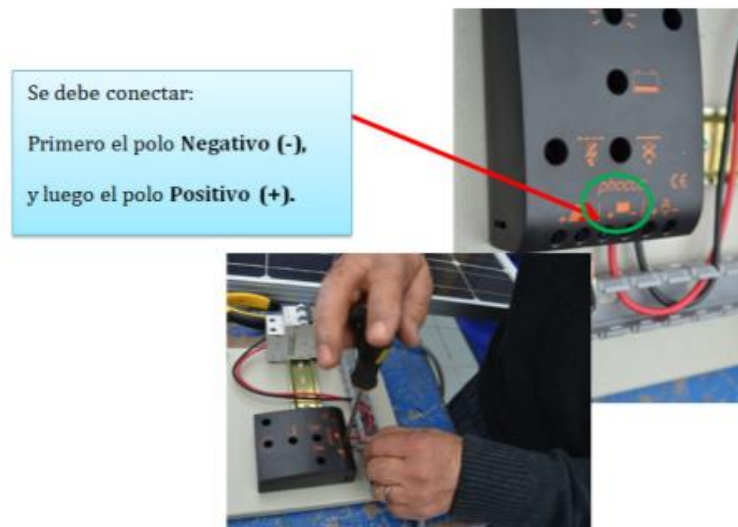
- a) Primero conectar el polo Negativo (-), segundo conectar el polo Positivo (+).
- b) Verifique el controlador está libre de polvo y obstáculos. En caso contrario limpie con un paño seco.
- c) Revise el regulador de carga y asegúrese que las conexiones no están sueltas.
- d) Verifique los indicadores del funcionamiento del sistema para asegurar cada componente funciona adecuadamente.
- e) Revise el voltaje de salida y asegúrese esta en 12V.

#### 4.4.2.3 Instalación de la Batería

- Seleccionar el lugar adecuado para la batería.

La batería debe ser instalada en un espacio donde no lleguen los rayos del sol, que sea ventilado para que los gases se dispersen fácilmente y no se moje por la lluvia.

- Conectar la batería al controlador de carga.



**Figura 57. Conexión de terminales Batería-Regulador**

- a) Como lo indica la Figura 4.15, para ensamblar los conductores eléctricos a la bornera, recuerde debe conectar primero el borne Negativo (-) y luego el borne Positivo (+). Prepare los conductores eléctricos y conéctelos a la bornera, ajustando adecuadamente los pernos con la llave.
- b) Una vez instalada la batería, conectadas las borneras, los extremos libres de los conductores eléctricos deben conectarse al controlador de carga.

#### **4.4.2.4 Verificar el funcionamiento del sistema fotovoltaico**

Una vez instalado y funcionando los diferentes subsistemas del sistema fotovoltaico, debe verificarse que el sistema esté funcionando adecuadamente y el voltaje y amperaje sea el indicado en cada uno de los componentes. Para ello, se deben realizar las siguientes acciones:

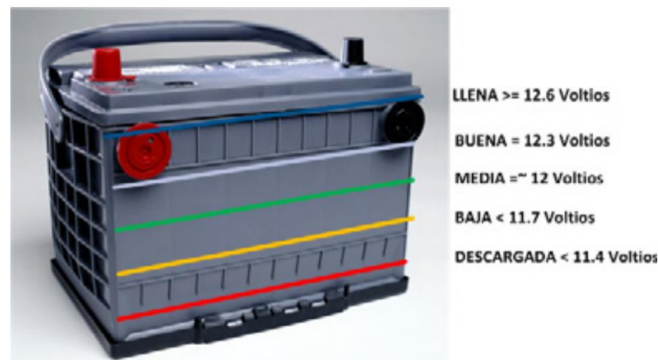
- Verificar voltaje de baterías.

La Figura 4.16 muestra como verificar el voltaje generado por los paneles utilizando un multímetro, lo cual se puede hacer directamente en los bornes de la batería o en las terminales del regulador de carga conectadas a la batería.



**Figura 58. Verificación de voltaje almacenado en Regulador y Batería**

De acuerdo al valor que nos muestre el multímetro podemos saber en qué estado está la batería, tal como se muestra en la imagen, Figura 4.17.



**Figura 59. Estado de carga en Baterías**

- a) Para asegurar un buen mantenimiento de la batería, debe revisarse el estado de carga de la batería, nivel de voltaje, cuando la batería esta desconectada del controlador de carga o no ha tenido actividad por 30 minutos.
  - b) Las baterías que se utilizan con el modelo estudiado, al ser un sistema pequeño, son de 12V, pero también las hay de mayor capacidad como de 24V. Para sistemas de mayor potencia, se interconectan en serie 2 o más baterías para lograr una mayor capacidad de almacenaje, esto dará como resultado que la capacidad total siempre sea un múltiplo de 12V.
- Verificar el funcionamiento de los equipos desde el regulador de carga

El regulador tiene indicadores (luces LED) que nos dan información sobre el funcionamiento del sistema fotovoltaico, para entenderlo veamos la siguiente Figura 4.18.



**Figura 60. Lectura de las señales del regulador de carga**

El funcionamiento del panel se puede revisar desde el regulador, para ello utilice el multímetro colocando las puntas correspondientes en la conexión que tiene el regulador de carga con los cables provenientes del panel solar.

## Capítulo V

## 5. Resultados

---

En este capítulo se exponen los resultados de las pruebas realizadas del sistema generador seleccionado en base a su rendimiento.

### 5.1 Pruebas Preliminares de Prototipos

Para la elección de la estructura del prototipo se procedió a realizar pruebas experimentales con diferentes configuraciones de celdas Peltier, se utilizó un Kit-Refrigeración (modelo TEC1-12706), dichas pruebas se llevaron a cabo como base para comprobar la viabilidad y la configuración del sistema de condensado.



**Figura 61. Prototipo #1**

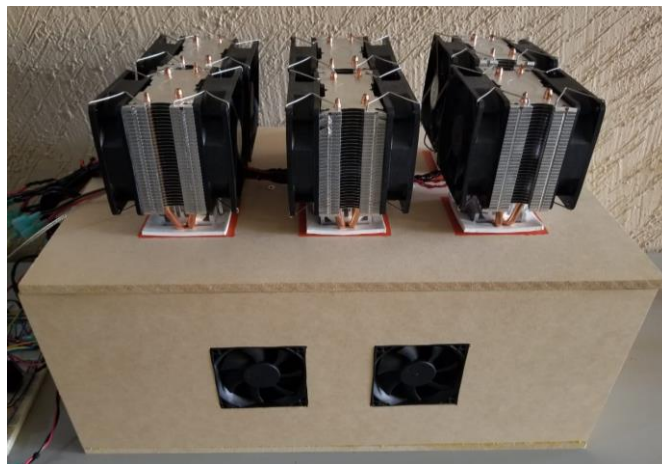
Inicialmente se decidió utilizar solo un Kit-Refrigeración para las primeras pruebas, Figura 5.1, se registraron los datos mediante sensores de temperatura y humedad, además de tomar datos de las variables de voltaje y corriente consumido por la celda. Gracias a los resultados iniciales obtenidos, mediante el Prototipo #1 se reafirma el planteamiento preliminar, al presentarse una diferencia entre temperaturas entre la celda Peltier y el aire del ambiente, la cual se encuentra a cierta temperatura y con un porcentaje de humedad, comienza a condensar el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío. Es decir, es la temperatura a la cual el vapor de agua presente, alcanza su valor máximo o su condición de presión de saturación de vapor de agua con respecto al equilibrio con una superficie plana de agua.





**Figura 62. Prototipo #2**

Una vez realizadas las pruebas iniciales y determinar que es posible obtener agua mediante la condensación del vapor de agua contenido en el ambiente, se decidió utilizar varias celdas de Peltier (Kit-Refrigeración), por lo cual se tuvo que diseñar un nuevo prototipo, Figura 5.2.



**Figura 63. Prototipo #3**

Después de probar varios arreglos de celdas durante la etapa de experimentación, en base a los resultados obtenidos, se decidió redimensionar el prototipo para la utilización de 6 celdas Peltier distribuidas como se muestra en la Figura 5.3.

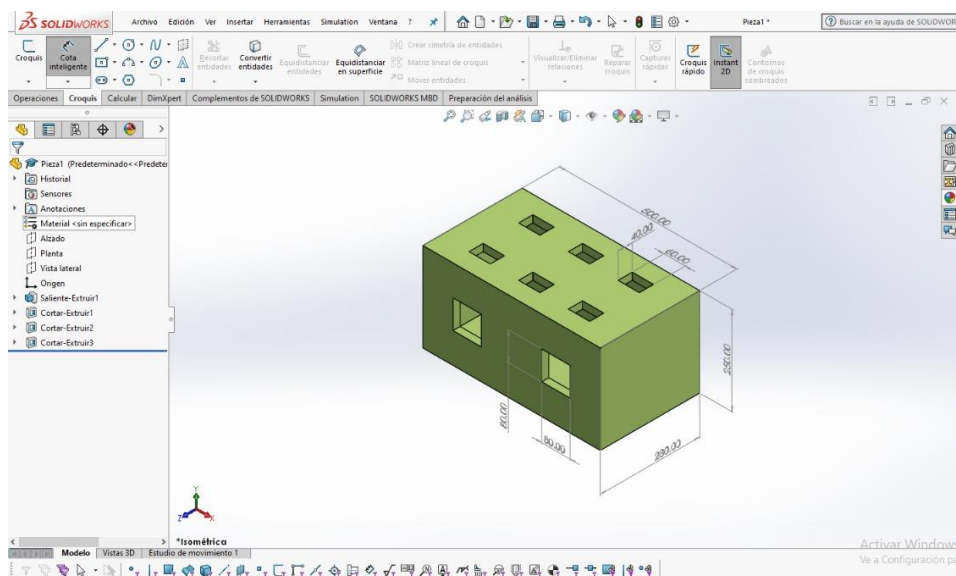
Una vez realizadas las pruebas preliminares se eligió el prototipo #3 para su implementación final. Cabe recordar, la función de la estructura es mantener y/o disminuir la temperatura a la cual se

encuentra el vapor de agua que ingresa a través de él. Al aumentar el volumen de la estructura, las partículas (átomos o moléculas) de vapor de agua tardan más en llegar a las paredes del recipiente y por lo tanto chocan menos veces por unidad de tiempo contra ellas. Esto significa que la presión será menor ya que ésta representa la frecuencia de choques del gas contra las paredes. La presión del gas es directamente proporcional a su temperatura, esto quiere decir, si el volumen de la estructura es mayor la presión disminuirá por lo tanto su temperatura disminuirá proporcionalmente lo cual beneficiara la condensación del vapor de agua, como se puede observar en la Tabla 11.

**Tabla 10. Rendimiento de Prototipos**

Prototipo	Voltaje Consumido	Corriente Consumida	Número de Celdas	Dimensiones (cm)	Temperatura Ambiente	Humedad Ambiente	Agua Obtenida
#1	12 V	3.82 A	1	15x15x15	25° C	40 %	15mL
#2	12 V	15.28 A	4	40x20x28	25° C	40 %	85mL
#3	12 V	22.92 A	6	40x25x28	25° C	40 %	200mL

Se utiliza el software de diseño SolidWorks 2018 para la construcción de la estructura final, se pretende solo tener la referencia de las dimensiones de la estructura base para su posterior fabricación, Figura 5.4.



**Figura 64. Diseño de Prototipo #3 en plataforma SolidWorks**

Para la fabricación del prototipo se escogió madera MDF, ya que es muy versátil en su uso y puede recubrirse con cualquier color que el usuario elija. Además, una de las grandes ventajas que posee el MDF frente a otros tipos de materiales y/o maderas es su precio, mucho más competitivo. A diferencia de la madera, la MDF no tiene nudos ni una

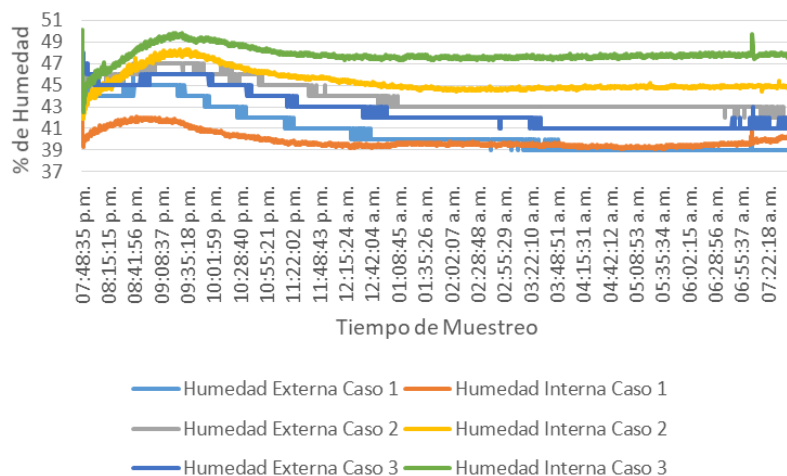
estructura veteada. Esto favorece que este material sea fácil de cortar y de acomodar. Se puede taladrar con bastante facilidad.

## 5.2 Metodología General

En todos los casos, se comparó la relación entre la potencia consumida por la cantidad de agua obtenida. Se tomaron 6120 muestras utilizando el prototipo #3 en tres casos distintos y el software PLX-DAQ para el almacenamiento de datos, en el primer caso, utilizando solo una Celda Peltier, el segundo caso cuatro Celdas Peltier y por último, seis Celdas Peltier. Cada una de las pruebas bajo condiciones climáticas promedio: Humedad Ambiente 45%, Temperatura Ambiente 25°C, Tiempo de Trabajo 12 horas. La validación experimental se presenta mediante las siguientes gráficas donde se comparan los valores obtenidos en cada una de las pruebas realizadas. Los resultados que se presentan fueron llevados a cabo en el Municipio de Hermosillo, Sonora.

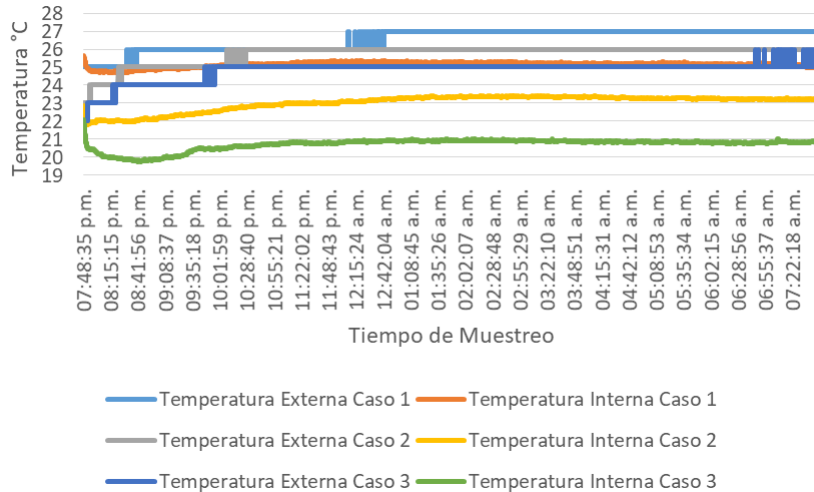
### 5.2.1 Pruebas

En la Figura 5.5 se muestran las lecturas realizadas por el dispositivo en los tres distintos casos mencionados, utilizando una, cuatro y seis celdas. Como se puede observar, el parámetro Humedad Interna (Caso 3) tiene un porcentaje mayor comparado con los otros casos, al utilizar el mayor número de celdas Peltier en un volumen determinado la presión disminuirá por lo tanto su temperatura disminuirá proporcionalmente.



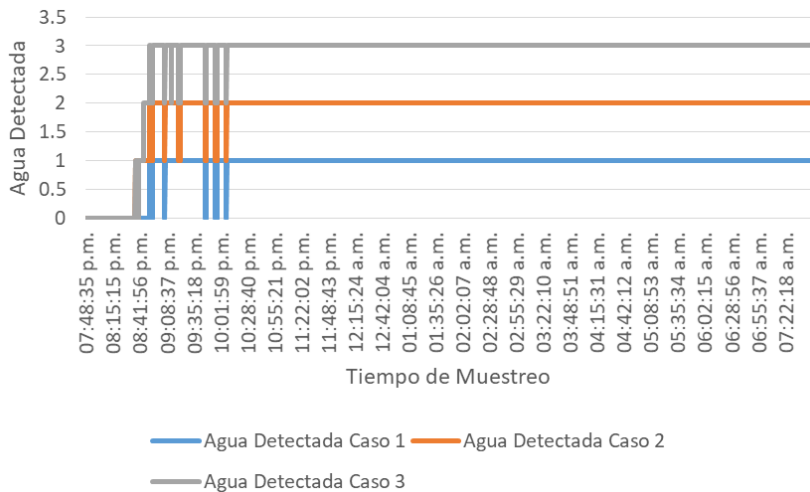
**Figura 65 Grafica comparativa de valores de % de Humedad**

En la Figura 5.6 se muestra el resultado promedio de la temperatura a la cual el sistema generador estuvo operando durante el periodo de prueba. Proporcionalmente, humedad y temperatura estarán relacionadas una con otra.



**Figura 66 Grafica comparativa de valores de Temperatura °C**

El tiempo en que el sistema generador tarda en producir agua está relacionado por la cantidad de Celdas Peltier utilizadas y por los factores climáticos que intervienen en el, la Figura 5.7, muestra una pequeña variación en los tiempo de presencia de agua en cada uno de los casos de prueba.



**Figura 67 Grafica comparativa de tiempo de obtención de agua**

### 5.2.2 Resultados Relación Potencia Consumida/Producción de Agua

Los resultados obtenidos, Tabla 12, muestra la relación entre la potencia consumida y los distintos casos en los cuales se utilizaron

las Celdas Peltier para producir cierta cantidad de agua utilizando el dispositivo #3 bajo las condiciones mencionadas anteriormente.

**Tabla 11. Relación Potencia Consumida/Producción de Agua**

	Número de Celdas Peltier Utilizadas	Potencia Consumida (Wh)	Producción de Agua (mL)	Relación W/mL
Caso #1	1	45.82Wh	25mL	22W/mL
Caso #2	4	183.36Wh	130mL	16.92W/mL
Caso #3	6	275.04Wh	200mL	16.5W/mL

En este apartado se presentó la validación de los tres casos presentados, como se puede observar en la Tabla 12, para la obtención de la mayor cantidad de agua mediante el prototipo desarrollado. En el caso número tres, donde se utilizó la mayor cantidad de Celdas Peltier, se obtuvo los mejores resultados bajo condiciones climáticas similares, si el volumen de la estructura es mayor, la presión disminuirá por lo tanto su temperatura disminuirá proporcionalmente lo cual beneficiara la condensación del vapor de agua.

### 5.3 Análisis Comparativo

**Tabla 12. Costo Redimensionamiento del Prototipo #3**

Materiales	Cantidad	Precio Neto	Total
Kit-Refrigeración Semiconductor Peltier	15	\$700.00	\$10,500.00
Ventilador	6	\$75.00	\$450.00
Sensor GY-21	1	\$150.00	\$150.00
Sensor BMP280	1	\$150.00	\$150.00
Mosfet IRL540	12	\$25.00	\$300.00
Resistencia de Calor	6	\$150	\$900.00
Arduino MEGA	1	\$240.00	\$240.00
Panel Solar 335W	3	\$3,500.00	\$10,500.00
Batería Ciclo Profundo 12V 150Ah	2	\$3,000.00	\$6,000.00
Control de Carga	1	\$2,850.00	\$2,850.00
Dispositivo Térmico	3	\$700.00	\$2,100.00
Total			\$35,000.00

De forma previa a la comprobación de la hipótesis planteada, se llevó a cabo un análisis de un sistema comercial generador de agua, con el cual el sistema fue puesto a comparación en eficiencia, costo y viabilidad. Con el fin de analizar la relación de los dos sistemas se consideró su funcionamiento bajo los mismos parámetros y el

redimensionamiento del prototipo #3, Tabla 13, dando como resultado la Tabla 14. Los detalles específicos de las características de los sistemas se desplegaron en el Capítulo 2.

**Tabla 13. Desempeño SOURCE Hydropanels vs Prototipo**

	SOURCE Hydropanels	Prototipo Generador
Costos (Instalación, materiales, construcción)	\$76,120	\$35,000
Producción de Agua (mL)	1,000mL	1,000mL
Sistema de Control (Eficiencia)		Sí
Tiempo de Activación (Por día o 24 horas)	12 Hr	24 Hr
Tiempo de Vida del Sistema (Años)	10 Años	20 Años
Alimentación (Fotovoltaica/Autónomo)	Fotovoltaica	Fotovoltaica/Autónomo
Control sobre Variables Ambientales		Sí
Relación Potencia Consumida/Agua Generada	4.285W/mL	16.5W/mL
Costo lt/diario (M.N.)	\$20.85	\$9.58

## Capítulo VI

### 6. Conclusiones

---

#### 6.1 Conclusiones Finales

En este proyecto de tesis se desarrolló un sistema prototipo capaz de generar agua a partir de la humedad que se encuentra en el ambiente. Para esto se investigó y se implementaron métodos para la utilización de Celdas Peltier, con la finalidad de condensar el vapor de agua contenido en el ambiente, así como circuitos de potencia para su aplicación y el desarrollo de software capaz de optimizar resultados. Posteriormente se seleccionó la estructura, en conjunto con las Celdas Peltier, se obtenía la mayor cantidad de agua y determinar en qué condiciones climatológicas es recomendable implementarlo.

El prototipo propuesto para la generación de agua es una excelente opción en zonas donde no exista su acceso, ya que no requiere un alto costo de implementación. Los resultados obtenidos con las pruebas realizadas, nos brinda las bases necesarias para implementar un sistema generador y adaptarlo en sitios con alto porcentaje de humedad. Ya que el sistema de control funciona bajo los mismos criterios, solo es necesario dimensionar el prototipo dependiendo de la cantidad de agua que generara y sus aplicaciones. Por otra parte, puede ser implementado en zonas donde no exista suministro constante de energía eléctrica, gracias a su fuente de alimentación autosustentable.

El resultado más importante de este proyecto es que se demuestra que es posible obtener agua a partir de la humedad que se encuentra en el ambiente, sin importar que los niveles de humedad y temperatura sean mínimos.

#### 6.2 Trabajos Futuros y Recomendaciones

El prototipo propuesto sugiere algunas pruebas y modificaciones tanto a nivel hardware como software. Se propone la utilización de la plataforma WIFI, en reemplazo a la plataforma Arduino, para el monitoreo y control del prototipo generador. Con lo cual se tendrá un mejor manejo de datos a distancia interconectados a la red local y a su vez, una disminución de dimensionamiento de circuitería.

Se recomienda la construcción de una estructura la cual esté sellada herméticamente y cuente con un alto nivel de limpieza, es

decir, al generar agua se deberá depositar en un lugar fresco y libre de microorganismos que puedan afectar su calidad.

Por otra parte, el agua generada por el prototipo va alimentándose de materias extrañas que se encuentran a su paso. Así, el agua en estado puro, en muchas ocasiones no es apta para el consumo humano, por el bien de su salud, el agua pasa por un proceso de depuración y sanación, que vendrá determinada según su grado de contaminación, que puede averiguarse mediante un llamado análisis del agua.



## Capítulo VII

### 7. Referencias

---

- [1] Comisión Nacional del Agua. (2017). Estadísticas del Agua en México. México. Recuperado el 25 de Octubre de 2018, de [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2017.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2017.pdf)
- [2] Planet's Water Company. (2018). Planet's Water Company. Recuperado el 10 de Noviembre de 2018, de <http://www.waterplanet.com/>
- [3] Eole Water Company. (2019). Eole Water Company. Recuperado el 10 de Noviembre de 2018, de <http://www.eolewater.com/>
- [4] ZeroMass Water. (2019). ZeroMass Water. Recuperado el 12 de Noviembre de 2018, de <https://www.zeromasswater.com/>
- [5] SunGlacier Technologies. (2019). Recuperado el 13 de Febrero de 2019, de <https://sunglacier.nl/sunglaciers-dc03-breakthrough-technology-now-online>
- [6] Tarascó D, D. (2017). Efecto termoeléctrico. Descripción y aplicación. Universidad Simón Bolívar. Recuperado el 25 de Febrero de 2019.
- [7] Tornos, S. &. (Abril de 2006). Termoelectricidad, la energía del desequilibrio. Técnica Industrial 262. Recuperado el 2 de Marzo de 2019.
- [8] MetAs & Metrólogos Asociados. (Noviembre de 2007). Temperatura de Punto de Rocío. MetAs & Metrólogos Asociados. Recuperado el 5 de Marzo de 2019.
- [9] Wikipedia. (27 de Febrero de 2018). Wikipedia. Recuperado el 21 de Febrero de 2019, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Humedad\\_absoluta](https://es.wikipedia.org/wiki/Humedad_absoluta)
- [10] Wikipedia. (28 de Septiembre de 2018). Wikipedia. Recuperado el 21 de Febrero de 2019, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Humedad\\_relativa](https://es.wikipedia.org/wiki/Humedad_relativa)
- [11] Wikipedia. (4 de Abril de 2019). Wikipedia. Recuperado el 25 de Abril de 2019, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Punto\\_de\\_roc%C3%ADo](https://es.wikipedia.org/wiki/Punto_de_roc%C3%ADo)

- [12] Weather Spark. (2019). Weather Spark. Recuperado el 6 de Octubre de 2019, de <https://es.weatherspark.com/y/2821/Clima-promedio-en-Hermosillo-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [13] Rodriguez, J. &. (2017). La Industria Solar Fotovoltaica y Fototermica en Mexico. Ciudad de Mexico, Mexico: ProMéxico.
- [14] Style, O. (2012). Energía Solar Autónoma: Planificación, Dimensionado e Instalación de un Sistema Fotovoltaico Autónomo. Estados Unidos: Appropriate Technology. Recuperado el 18 de Marzo de 2019
- [15] Electronics, M. (2018). Arduino.cl. Recuperado el 5 de Abril de 2019, de <http://arduino.cl/>
- [16] Electronics, M. (2018). Arduino.cl. Recuperado el 5 de Abril de 2019, de <http://arduino.cl/programacion/>
- [17] Electronics, M. (2018). Arduino.cl. Recuperado el 5 de Abril de 2019, de <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>
- [18] Mois, G., Folea, S., & Sanislav, T. (2017). Analysis of Three IoT- Based Wireless Sensors for Environmental Monitoring. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 66, 2056-2064. doi:10.1109/TIM.2017.2677619
- [19] Singh, P., & Saikia, S. (2016). Arduino-based smart irrigation using water flow sensor, soil moisture sensor, temperature sensor and ESP8266 WiFi module. IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference. Agra, India: IEEE.
- [20] Samsudin, M., Mohamad, R., Suliman, S. I., & Mohamad Anas, N. (2018). Implementation of wireless temperature and humidity monitoring on an embedded device. IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE). Penang, Malaysia: IEEE. doi:10.1109/ISCAIE.2018.8405450
- [21] Li, B., & Lei, J. (2011). Design of industrial temperature monitoring system based on single chip microcontroller. International Conference on Computer Science and Service System (CSSS). Nanjing, China: IEEE. doi:10.1109/CSSS.2011.5974595
- [22] Rubio Ramírez, C. L. (2017). Termoelectricidad: uso de las celdas peltier en el campo de la refrigeración y sus principales aplicaciones. INVENTUM, 12(22), 9-16. Recuperado el 4 de Diciembre de 2019

- [23] Bannamas, S., & Jirapong, P. (2015). An intelligent lighting energy management system for commercial and residential buildings. IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA). Bangkok, Thailand: IEEE. doi:10.1109/ISGT-Asia.2015.7386986
- [24] Funez, O. (s.f.). Incubadora de Huevos de Gallina de Corral. Universidad del Caribe, Departamento de Ciencias e Ingeniería, Cancún, Quintana Roo, México. Recuperado el 29 de Diciembre de 2019, de [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/Incubadora\\_de\\_huevos.pdf](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/Incubadora_de_huevos.pdf)
- [25] Universidad Politécnica de Madrid. (s.f.). Modelado de una célula de Peltier. Recuperado el 30 de Octubre de 2019.
- [26] Blancarte L., W. (2001). Efecto Peltier. Universidad Jesuita en Guadalajara, Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática. . Recuperado el 30 de Octubre de 2019.
- [27] Thermonamic Electronics Corp. (s.f.). Thermonamic. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de <http://www.thermonamic.com/TEC1-12706-English.pdf>
- [28] Vargas F., J., & Flores M., A. (Diciembre de 2016). Implementación de la Celda Peltier en fuentes térmicas de calor residuales, para aprovechamiento de generación de energía eléctrica y climatización por frío en el hogar. Revista de Investigaciones UNICIENCIA, 2. Recuperado el 4 de Octubre de 2019.
- [29] Ander S., J., & Alkorta, J. G. (2013). Propiedades mecánicas del telururo de bismut. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Recuperado el 2 de Octubre de 2019, de <http://boletines.secv.es/upload/20130704103538.201352137.pdf>

## Anexos

---

### Código Arduino utilizado para el funcionamiento del sistema.

```
#include "LiquidCrystal.h" //Libreria para Display LCD
#include <Wire.h>
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2); //Puertos para el uso de Display LCD

#include <DHT.h> // Libreria para Sensor DHT11
#define DHTPIN 23 //Puerto del Datos Sensor DHT11
#define DHTTYPE DHT11 //Modelo de Sensor DHT a utilizar
DHT dht(DHTPIN,DHTTYPE);

#include <OneWire.h> // Librería para Sensor DS18B20
#include <DallasTemperature.h> // Libreria para Sensor DS18B20
OneWire ourWire1(25); //Se establece el pin como bus OneWire Sensor 1 DS18B20
OneWire ourWire2(27); //Se establece el pin como bus OneWire Sensor 2 DS18B20
OneWire ourWire3(29); //Se establece el pin como bus OneWire Sensor 3 DS18B20
OneWire ourWire4(49); //Se establece el pin como bus OneWire Sensor 4 DS18B20
DallasTemperature sensor1(&ourWire1); //Transferencia de instrucciones de OneWire a
DallasTemperature
DallasTemperature sensor2(&ourWire2); //Transferencia de instrucciones de OneWire a
DallasTemperature
DallasTemperature sensor3(&ourWire3); //Transferencia de instrucciones de OneWire a
DallasTemperature
DallasTemperature sensor4(&ourWire4); //Transferencia de instrucciones de OneWire a
DallasTemperature

#include <Adafruit_HTU21DF.h> //Libreria para Sensor HTU21D
Adafruit_HTU21DF htu; //Inicializa el sensor HTU21D

//ROJO NEGRO NEGRO AZUL AMARILLO BLANCO
#include <SPI.h> //Librería para Sensor BMP280
#include <Adafruit_BMP280.h> //Librería para Sensor BMP280
#define BMP_SCK (31) //Puertos para Sensor BMP280 Cable Negro
#define BMP_MISO (37) //Puertos para Sensor BMP280 Cable Blanco
#define BMP_MOSI (33) //Puertos para Sensor BMP280 Cable Azul
#define BMP_CS (35) //Puertos para Sensor BMP280 Cable Amarillo
Adafruit_BMP280 bmp(BMP_CS, BMP_MOSI, BMP_MISO, BMP_SCK);

#include "max6675.h" //Librería para Sensor MAX6675
int thermoDO = 14; //SO Puertos para Sensor MAX6675
int thermoCS = 15; //CS Puertos para Sensor MAX6675
int thermoCLK = 16; //SCK Puertos para Sensor MAX6675
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);

const int CeldasA = 39; //Declarar constante y puerto para el control de Celdas Peltier
const int CeldasB = 41; //Declarar constante y puerto para el control de Celdas Peltier
const int CeldasC = 43; //Declarar constante y puerto para el control de Ventiladores
const int Ventiladores = 45; //Declarar constante y puerto para el control de Ventiladores
const int Resistencias = 47; //Se define el puerto de salida de las resistencias de calor

float Sensibilidad = 0.066; //Sensibilidad del sensor en V/A Modelo 30A

int Estado1 = LOW; //Variable de estado para resistencia de calor
unsigned long previousMillis1 = 0; //Se utiliza unsigned long para las variables de tiempo
const long interval1 = 10000; //Intervalo de encendido y apagado de la salida

int Estado2 = LOW; //Variable de estado para resistencia de calor
unsigned long previousMillis2 = 0; //Se utiliza unsigned long para las variables de tiempo
const long interval2 = 20000; //Intervalo de encendido y apagado de la salida
```

```

int Estado3 = LOW; //Variable de estado para resistencia de calor
unsigned long previousMillis3 = 0; //Se utiliza unsigned long para las variables de tiempo
const long interval3 = 30000; //Intervalo de encendido y apagado de la salida

int Estado4 = LOW; //Variable de estado para resistencia de calor
unsigned long previousMillis4 = 0; //Se utiliza unsigned long para las variables de tiempo
const long interval4 = 40000; //Intervalo de encendido y apagado de la salida

int Estado5 = LOW; //Variable de estado para resistencia de calor
unsigned long previousMillis5 = 0; //Se utiliza unsigned long para las variables de tiempo
const long interval5 = 50000; //Intervalo de encendido y apagado de la salida

void setup(){ //
  Serial.begin(9600); //Inicia la comunicacion serial
  lcd.begin(16,2); //Se inicia el Display LCD
  lcd.clear(); //Borra los datos que se encuentren en el Display LCD
  dht.begin(); //Se inicia el sensor DHT
  htu.begin(); //Se inicia el sensor HTU21D
  sensor1.begin(); //Se inicia el sensor DS18B20
  sensor2.begin(); //Se inicia el sensor DS18B20
  sensor3.begin(); //Se inicia el sensor DS18B20
  sensor4.begin(); //Se inicia el sensor DS18B20
  bmp.begin(); //Se inicia el sensor BMP280
  Serial.println("CLEAR SHEET"); //Inicia comunicacion Arduino - Excel
  Serial.println("LABEL, Fecha, Hora, Humedad DHT, Temperatura DHT, Humedad GY21, Temperatura
GY21, Temperatura Celda 1, Temperatura Celda 2, Temperatura Celda 3, Temperatura Celda Peltier
Lado Caliente, Temperatura BMP280, Presion BMP280, Temperatura Resistencias, Agua
Detectada, Corriente Consumida, Potencia Consumida"); //
  Serial.println("RESET TIMER"); //
  pinMode(CeldasA, OUTPUT); //Declarar como puerto de salida la constante de control de Celdas
Peltier
  pinMode(CeldasB, OUTPUT); //Declarar como puerto de salida la constante de control de Celdas
Peltier
  pinMode(CeldasC, OUTPUT); //Declarar como puerto de salida la constante de control de Celdas
Peltier
  pinMode(Ventiladores, OUTPUT); //Declarar como puerto de salida la constante de control de
Ventiladores
  pinMode(Resistencias, OUTPUT); //Declarar como puerto de salida la constante de control de
Resistencias
}
void loop(){ //
// Condiciones de Estado de ON/OFF de resistencias
  unsigned long currentMillis1 = millis();
  if (currentMillis1 - previousMillis1 >= interval1) {
    previousMillis1 = currentMillis1; //Guarda la ultima vez que parpadeo el LED
    if (Estado1 == LOW) { //Si el LED esta apagado, encenderlo y viceversa
      Estado1 = HIGH;
    } else {
      Estado1 = LOW;
    }
  }
  unsigned long currentMillis2 = millis();
  if (currentMillis2 - previousMillis2 >= interval2) {
    previousMillis2 = currentMillis2; //Guarda la ultima vez que parpadeo el LED
    if (Estado2 == LOW) { //Si el LED esta apagado, encenderlo y viceversa
      Estado2 = HIGH;
    } else {
      Estado2 = LOW;
    }
  }
  unsigned long currentMillis3 = millis();
  if (currentMillis3 - previousMillis3 >= interval3) {
    previousMillis3 = currentMillis3; //Guarda la ultima vez que parpadeo el LED
    if (Estado3 == LOW) { //Si el LED esta apagado, encenderlo y viceversa
      Estado3 = HIGH;
    }
  }
}

```

```
    } else {  
        Estado3 = LOW;  
    }  
}  
    unsigned long currentMillis4 = millis();  
if (currentMillis4 - previousMillis4 >= interval4) {  
    previousMillis4 = currentMillis4; //Guarda la ultima vez que parpadeo el LED  
    if (Estado4 == LOW) { //Si el LED esta apagado, encenderlo y viceversa  
        Estado4 = HIGH;  
    } else {  
        Estado4 = LOW;  
    }  
}  
    unsigned long currentMillis5 = millis();  
if (currentMillis5 - previousMillis5 >= interval5) {  
    previousMillis5 = currentMillis5; //Guarda la ultima vez que parpadeo el LED  
    if (Estado5 == LOW) { //Si el LED esta apagado, encenderlo y viceversa  
        Estado5 = HIGH;  
    } else {  
        Estado5 = LOW;  
    }  
}  
// Variables a medir  
    unsigned int Humedad_externa = dht.readHumidity(); //Obtiene la Humedad del Sensor DHT11  
    unsigned int Temperatura_externa = dht.readTemperature(); //Obtiene la Temperatura en  
Celsius del Sensor DHT11  
    sensor1.requestTemperatures(); //Se envia el comando para leer la temperatura del Sensor  
DS18B20  
    int Temp1= sensor1.getTempCByIndex(0); //Obtiene la Temperatura en Celsius del Sensor  
DS18B20  
    sensor2.requestTemperatures(); //Se envia el comando para leer la temperatura del Sensor  
DS18B20  
    int Temp2= sensor2.getTempCByIndex(0); //Obtiene la Temperatura en Celsius del Sensor  
DS18B20  
    sensor3.requestTemperatures(); //Se envia el comando para leer la temperatura del Sensor  
DS18B20  
    int Temp3= sensor3.getTempCByIndex(0); //Obtiene la Temperatura en Celsius del Sensor  
DS18B20  
    sensor4.requestTemperatures(); //Se envia el comando para leer la temperatura del Sensor  
DS18B20  
    int Temp4= sensor4.getTempCByIndex(0); //Obtiene la Temperatura en Celsius del Sensor  
DS18B20  
    unsigned int Temperatura_interna = htu.readTemperature(); //Obtiene la Temperatura en  
Celsius del Sensor HTU21D  
    unsigned int Humedad_interna = htu.readHumidity(); //Obtiene la Humedad del Sensor HTU21D  
    unsigned int Temperatura_BMP280 = bmp.readTemperature(); //Obtiene la Temperatura en  
Celsius del Sensor BMP280  
    unsigned int Presion_BMP280 = bmp.readPressure(); //Obtiene la Presion en Celsius del  
Sensor BMP280  
    unsigned int Temperatura_Resistencias = thermocouple.readCelsius(); //Obtiene la  
Temperatura en Celsius del Sensor MAX6675  
    int Detector = digitalRead(22); //Puerto del Datos Sensor YL-83 Detector de Lluvia  
    float Idc=calculoCorriente(500);  
  
//Condiciones de activacion  
if(Humedad_interna > 60){  
    digitalWrite(CeldasA,HIGH);  
    digitalWrite(CeldasB,HIGH);  
    digitalWrite(CeldasC,HIGH);  
    digitalWrite(Ventiladores,HIGH);  
    digitalWrite(Resistencias, Estado1);  
}  
else if(Humedad_interna <= 60 && Humedad_interna > 50){  
    digitalWrite(CeldasA,HIGH);
```

```

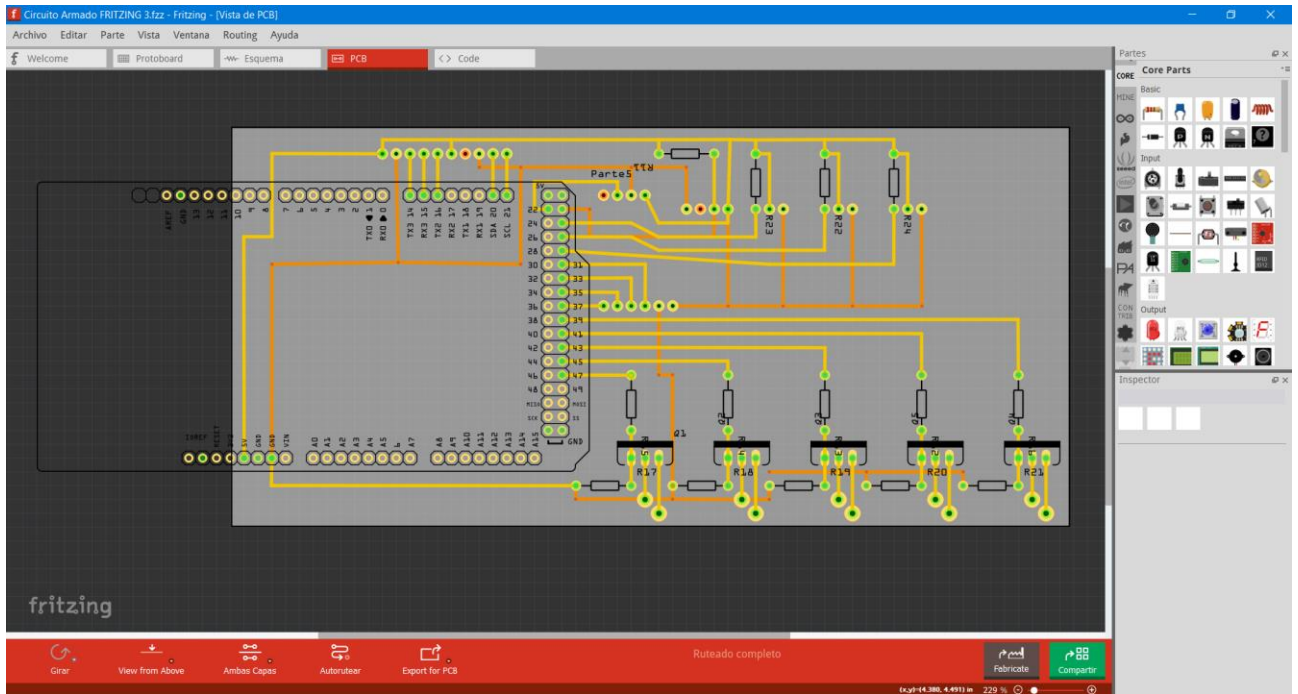
digitalWrite(CeldasB,HIGH);
digitalWrite(CeldasC,HIGH);
digitalWrite(Ventiladores,HIGH);
digitalWrite(Resistencias, Estadol);
}
else if(Humedad_interna <= 50 && Humedad_interna > 40){
digitalWrite(CeldasA,HIGH);
digitalWrite(CeldasB,HIGH);
digitalWrite(CeldasC,HIGH);
digitalWrite(Ventiladores,HIGH);
digitalWrite(Resistencias, Estadol);
}
else if(Humedad_interna <= 40 && Humedad_interna > 30){
digitalWrite(CeldasA,HIGH);
digitalWrite(CeldasB,HIGH);
digitalWrite(CeldasC,HIGH);
digitalWrite(Ventiladores,HIGH);
digitalWrite(Resistencias, Estadol);
}
else if(Humedad_interna <= 30 && Humedad_interna > 20){
digitalWrite(CeldasA,HIGH);
digitalWrite(CeldasB,HIGH);
digitalWrite(CeldasC,HIGH);
digitalWrite(Ventiladores,HIGH);
digitalWrite(Resistencias, Estadol);
}
else{
digitalWrite(CeldasA,LOW);
digitalWrite(CeldasB,LOW);
digitalWrite(CeldasC,LOW);
digitalWrite(Ventiladores,LOW);
digitalWrite(Resistencias, LOW);
}
}
//Muestra la informacion en Excel
Serial.print("DATA,DATE,TIME,"); //Imprime Fecha, Hora y Datos
Serial.print(dht.readHumidity()); //Imprime la Humedad Externa utilizando el Sensor DHT11
Serial.print(",");
Serial.print(dht.readTemperature()); //Imprime la Temperatura Externa utilizando el Sensor
DHT11
Serial.print(",");
Serial.print(htu.readHumidity()); //Imprime la Humedad Interna utilizando el Sensor HTU21
Serial.print(",");
Serial.print(htu.readTemperature()); //Imprime la Temperatura Interna utilizando el Sensor
HTU21
Serial.print(",");
Serial.print(sensor1.getTempCByIndex(0)); //Imprime la Temperatura de las Celdas Peltier,
lado izquierdo, utilizando el Sensor DS18B20
Serial.print(",");
Serial.print(sensor2.getTempCByIndex(0)); //Imprime la Temperatura de las Celdas Peltier,
central, utilizando el Sensor DS18B20
Serial.print(",");
Serial.print(sensor3.getTempCByIndex(0)); //Imprime la Temperatura de las Celdas Peltier,
lado derecho, utilizando el Sensor DS18B20
Serial.print(",");
Serial.print(sensor4.getTempCByIndex(0)); //Imprime la Temperatura de las Celdas Peltier,
cara caliente, utilizando el Sensor DS18B20
Serial.print(",");
Serial.print(bmp.readTemperature()); //Imprime la Temperatura Interna utilizando el Sensor
BMP280
Serial.print(",");
Serial.print(bmp.readPressure()); //Imprime la Presion Interna utilizando el Sensor BMP280
Serial.print(",");
Serial.print(thermocouple.readCelsius()); //Imprime la Temperatura en los Calentadores
utilizando el Sensor MAX6675
Serial.print(",");

```

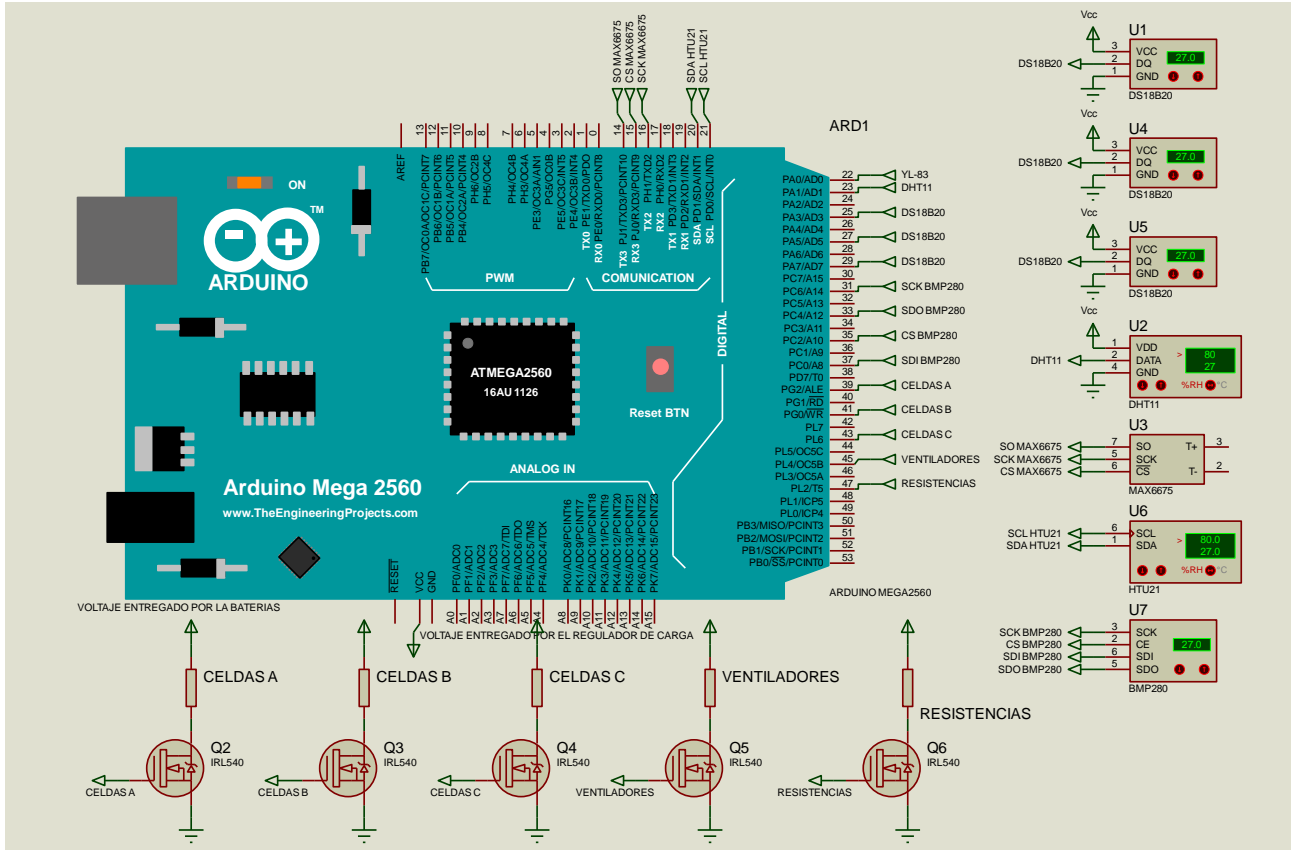
```
Serial.print(not Detector); //Imprime la presencia de punto de rocío
Serial.print(",");
Serial.print(Idc);
Serial.print(",");
Serial.print(Idc*12);
Serial.println(",");
delay(3000); //Tiempo entre muestreo
}
float calculoCorriente(int numeroMuestras)
{
float leerAcs712 = 0;
float intensidad = 0;
for(int i=0;i<numeroMuestras;i++)
{
leerAcs712 = analogRead(A0) * (5.02 / 1023.0);
intensidad=intensidad+(leerAcs712-2.5)/Sensibilidad;
}
intensidad=intensidad/numeroMuestras;
return(intensidad);
}
```



Circuito electrónico utilizado para el funcionamiento del sistema (Fritzing).



Circuito electrónico utilizado para el funcionamiento del sistema (Proteus).



**Tabla 14. Presupuesto Requerido "Prototipo #3"**

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Neto</b>	<b>Total</b>
Kit- Refrigeración Semiconductor Peltier	6	\$700.00	\$4,200.00
Ventilador Aire Extractor	2	\$75.00	\$150.00
Sensor GY-21	1	\$150.00	\$150.00
Sensor BMP280	1	\$150.00	\$150.00
Mosfet IRL540	5	\$25.00	\$125.00
Resistencia de Calor	2	\$150	\$300.00
Arduino MEGA	1	\$240.00	\$240.00
Panel Solar 335W	1	\$3,500.00	\$3,500.00
Bateria Ciclo Profund 12V 150Ah	2	\$3,000.00	\$6,000.00
Control de Carga Phcocos	1	\$2,850.00	\$2,850.00
Dispositivo Térmico	1	\$700.00	\$700.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$18,500.00</b>