

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE ENERGÍA

**Aprovechamiento de la energía solar mediante el efecto
Seebeck empleando celdas termoeléctricas**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA

PRESENTA:

ARTURO MORENO GUTIÉRREZ

DIRECTOR: DR. ELFEGO GUILLERMO RUIZ SCHNEIDER

CODIRECTOR: DR. ALVARO EDUARDO LENTZ HERRERA

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Integración del jurado:

Presidente: Dr. Edgar Vicente Torres González, UACM.

Secretario: Dra. Ma. Claudia Roldán Ahumada, UACM.

Vocal: Dr. Álvaro Eduardo Lentz Herrera, UACM.

1^{er}. Suplente: Dr. Fernando Gabriel Arroyo Cabañas, UACM.

2^{do}. Suplente: Dr. Carlos Chávez Baeza, UACM.

Lugar donde se realizó el posgrado:

Plantel Del Valle, UACM.

Director de tesis:

Dr. Elfego Guillermo Ruíz Schneider, UNAM.

Codirector de tesis:

Dr. Álvaro Eduardo Lentz Herrera, UACM.

DEDICADO A

A mi familia, en especial a mi mamá por todo el apoyo obtenido desde siempre.

A mi tía Caro también por el apoyo desde siempre.

AGRADECIMIENTOS

A la UACM, al Programa de Energía y profesorado por brindar la oportunidad de cursar la Maestría en Ingeniería Energética y de beca institucional en el semestre 2019-II.

Al Dr. Elfego Ruíz Schneider por su apoyo.

Contenido	Página
Resumen	13
Abstract	14
Introducción	15
Objetivo general	19
Objetivos particulares	19
Justificación	20
Capítulo I. Marco Contextual	22
1.1. Estado del conocimiento	22
Capítulo II. Marco teórico	31
2.1. Problemática en la celda termoeléctrica	31
2.2. Principio de funcionamiento de la celda termoeléctrica	31
2.3. Cálculo de la eficiencia del arreglo de prueba experimental de celdas termoeléctricas.....	35
2.4. Cálculo de la Potencia eléctrica (W)	35
2.5. Cálculo de la energía obtenida por el arreglo de prueba experimental (Wh)	35
2.6. Cálculo de la energía generada por el arreglo de prueba experimental (Wh)	36
2.7. Coeficiente Seebeck	36
2.8. Figura de mérito ZT.....	37
Capítulo III. Recurso energético	40
3.1. Recurso energético en México.....	40
3.2. La radiación solar sobre la Tierra.....	41
3.3. Concepto de Irradiancia solar	41

3.4.	Equivalente energético del valor de la Irradiancia solar sobre el arreglo de prueba de las celdas termoeléctricas y el que producen	42
3.5.	Cálculo de la Irradiancia solar	42
Capítulo IV. Marco metodológico		46
4.1.	Proceso y elementos para las mediciones con el arreglo experimental de celdas termoeléctricas	46
4.2	Procedimiento para realizar la medición de las variables de estudio	47
	Medición uno	51
	Medición dos	53
4.3.	Procedimiento para realizar las mediciones de la irradiancia solar	55
	Medición tres	55
	Prueba con una fuente de calor de energía no renovable	60
Capítulo V. Análisis de resultados		63
5.1.	Resultados del comportamiento característico de las variables de estudio con el arreglo de prueba experimental (medición uno).	63
5.2.	Resultados del comportamiento característico de las variables de estudio con el arreglo de prueba experimental (medición dos).	65
5.3.	Resultados del comportamiento característico de las variables de estudio con el arreglo de prueba experimental (medición tres).	71
5.4.	Resultados de la prueba realizada con el arreglo de prueba experimental con una fuente de calor de energía no renovable.	77
5.5.	Resultados de la correlación de variables de estudio y gradientes en la generación eléctrica.	77
5.6.	Conclusiones.	82
5.7.	Recomendaciones.	84
Referencias bibliográficas físicas		85
Referencias bibliográficas electrónicas		88

Apéndices	90
Apéndice A. Especificaciones de la celda termoeléctrica Peltier TEC1-12706..	91
Apéndice B. Datos técnicos del aluminio.....	94
Apéndice C. Datos técnicos del cobre.....	95
Apéndice D. Datos técnicos del Teluro y Bismuto.....	96
Apéndice E. Especificaciones del equipo de medición (multímetro digital).....	97
Apéndice F. Especificaciones del equipo de medición (termómetro digital láser)...	99
.....	99
Apéndice G. Mediciones obtenidas de las variables de estudio con el arreglo de prueba experimental con celdas termoeléctricas Peltier TEC1-12706...	101

Lista de figuras

Figura 1.1.	Experimento con el panel termoeléctrico.....	27
Figura 1.2.	Experimento con el panel solar.....	27
Figura 2.1.	Elementos de una celda termoeléctrica Peltier.....	32
Figura 3.1.	Mapa de la Irradiancia solar diaria promedio en México.....	40
Figura 3.2.	Componentes de la radiación global.....	41
Figura 4.1.	Diagrama de flujo todo el proceso del proyecto.....	48
Figura 4.2.	Celda termoeléctrica Peltier TEC1-12706.....	49
Figura 4.3.	Materiales utilizados en el lado frío y caliente del arreglo de celdas termoeléctricas.....	49
Figura 4.4.	Arreglo de las cuatro celdas termoeléctricas Peltier.....	50
Figura 4.5.	Disipador del lado frío de las celdas termoeléctricas.....	50
Figura 4.6.	Ejemplo de medición de la temperatura del lado caliente del arreglo (placa de aluminio).....	52
Figura 4.7.	Ejemplo de medición de la temperatura del lado frío del arreglo (disipador).....	52
Figura 4.8.	Ejemplo de medición de la tensión eléctrica con la placa sin ennegrecer.....	53
Figura 4.9.	Ejemplo de medición de la temperatura de la superficie caliente del arreglo.....	59
Figura 4.10.	Ejemplo de medición de la temperatura del lado frío del arreglo....	59

Figura 4.11.	Medición de la tensión eléctrica con la placa de aluminio en color negro (ennegrecida).....	55
Figura 4.12.	Orientación del arreglo.....	57
Figura 4.13.	Ubicación del sensor y medición de la Irradiancia solar.....	58
Figura 4.14.	Medición de temperatura del lado caliente.....	58
Figura 4.15.	Medición de temperatura del lado frío.....	59
Figura 4.16.	Instrumentos para el registro de las variables de estudio.....	59
Figura 4.17.	Prueba con fuente de calor de energía no renovable.....	60

Lista de tablas

Tabla 5.1.	Valores obtenidos de las variables de estudio con el arreglo de prueba experimental con la placa sin ennegrecer.....	64
Tabla 5.2.	Valores obtenidos de las variables de estudio con el arreglo de prueba experimental con la placa ennegrecida	66
Tabla 5.3.	Datos característicos del arreglo de celdas termoeléctricas Peltier con los resultados más relevantes.....	76
Tabla 5.4.	Resultados obtenidos con la fuente de calor de energía no renovable.	77

Lista de gráficas

Gráfica 1.1. Relación entre la Diferencia de temperatura y la Diferencia de potencial.....	26
Gráfica 1.2. Generación de la Diferencia de potencial en diferentes condiciones climáticas.....	28
Gráfica 3.1. Curva de irradiancias: extraterrestre, estimada y horizontal sobre la superficie.....	44
Gráfica 5.1. Diferencial de temperatura entre las superficies del arreglo.....	67
Gráfica 5.2. Temperatura del lado caliente del arreglo.....	67
Gráfica 5.3. Temperatura del lado frío del arreglo.....	68
Gráfica 5.4. Diferencia de potencial del arreglo.....	68
Gráfica 5.5. Corriente eléctrica del arreglo.....	69
Gráfica 5.6. Potencia eléctrica del arreglo.....	69
Gráfica 5.7. Diferencia de potencial Vs Diferencial de temperatura (Δt).....	70
Gráfica 5.8. Irradiancia solar (W/m^2) Vs Potencia eléctrica (W).....	71
Gráfica 5.9. Diferencial de temperatura (Δt) Vs Potencia eléctrica (W).....	72
Gráfica 5.10. Corriente eléctrica (A) Vs Diferencia de potencial (V).....	73
Gráfica 5.11. Temperatura lado caliente ($^{\circ}C$) Vs Temperatura lado frío ($^{\circ}C$).....	73
Gráfica 5.12. Energía generada (mWh) Vs Eficiencia (η).....	74
Gráfica 5.13. Rendimiento del arreglo de celdas termoeléctricas.....	75

Gráfica 5.14.	Correlación: Irradiancia solar (S) Vs Diferencia de potencial (W)	78
Gráfica 5.15.	Correlación: Irradiancia solar (W/m^2) Vs Potencia eléctrica (W)	79
Gráfica 5.16.	Correlación: Coeficiente Seebeck (S) Vs Diferencia de potencial (V).....	80
Gráfica 5.17.	Correlación: Coeficiente Seebeck (S) Vs Figura de mérito ZT	81
Gráfica 5.18.	Correlación: Irradiancia solar (S) Vs Figura de mérito ZT	82

Resumen

Dentro de la búsqueda de nuevas fuentes de energía no convencionales para producir energía eléctrica y que puedan en determinado momento suplirlas o complementarse con las convencionales, se encuentra la energía eléctrica generada por la celda termoeléctrica Peltier, con la capacidad de proporcionar una diferencia de potencial y corriente eléctrica de cierta magnitud mediante el efecto Seebeck que se produce en la celda, requiriendo de una diferencia de temperatura (Δt) entre sus superficies para generar energía eléctrica.

Para el presente trabajo de investigación de tesis, se diseñó, desarrolló y construyó un arreglo experimental con cuatro celdas termoeléctricas Peltier TEC-12706, el cual se expuso a la luz solar como fuente energética que incide en la superficie del arreglo (lado caliente) y para la superficie opuesta (lado frío), refrigerada por convección por medio de un disipador (enfriamiento pasivo), y así generar el efecto Seebeck en dichas celdas. Efectuando mediciones en condiciones reales, durante un periodo de tiempo establecido para conocer el comportamiento de las variables de estudio (que serán llamadas así, iniciando en mayúsculas a partir de este punto), con el propósito de obtener el comportamiento estadístico, gráfico y comparativo entre dichas variables. Esto con la finalidad de conocer las posibilidades y condiciones características del arreglo de celdas termoeléctricas como generador eléctrico.

Palabras clave: Efecto Seebeck, celda termoeléctrica Peltier, luz solar, generador eléctrico.

Abstract

Within the search for new unconventional energy sources to produce electricity that can replace or complement them with no conventional ones, at any time are the Peltier thermoelectric cells. Which are solid-state electronic devices (semiconductor) with the ability to provide voltage and electric current of a certain magnitude (through the Seebeck effect) that temperature occurs in the cell, requiring a differential between both surfaces to produce electrical energy. To notice this aspect, it was necessary to design, develop and build an experimental arrangement working like an electric generator, using the Peltier TEC1-12706 thermoelectric cell to know behavior of study variables in real conditions, as well as the energy produced. Taking advantage of solar energy (renewable natural source) for the surface of higher temperature and convection of air to the cold side (passive cooling), to cause a certain voltage and electric current.

Key words: Peltier cells, Seebeck effect, passive cooling, energy source, electric generator.

Introducción

Este trabajo de tesis surgió de la necesidad de buscar nuevas alternativas en la generación de energía. La aportación del presente trabajo son los resultados obtenidos del comportamiento de las variables de estudio con el material termoeléctrico, teniendo al Sol como fuente energética (Irradiancia solar). Así también de comprobar que el efecto Seebeck se produce en las celdas termoeléctricas, empleando para la generación eléctrica, la luz solar como fuente de energía (recurso natural), sin producir impactos ambientales. Una gran parte de los trabajos que se han publicado acerca de celdas termoeléctricas y sus aplicaciones, están orientados a temas de refrigeración (Efecto Peltier) principalmente. Algunos de ellos en aprovechar el calor acumulado en superficies y otros en la concentración de la luz solar con las debidas adaptaciones para ello. En este trabajo se ofrecen los resultados y comportamientos de un arreglo experimental de celdas termoeléctricas en condiciones reales de temperatura ambiente en la Ciudad de México, empleando el Sol como fuente de energía, convirtiéndolo en un generador eléctrico (panel termoeléctrico).

Dichas energías surgen como alternativa al uso de combustibles fósiles, dentro de éstas existe un conjunto de energías renovables como son: la eólica, la mareomotriz, y la energía solar, esta última se aprovecha mediante paneles fotovoltaicos para obtener electricidad. Sin embargo, se ha comenzado a utilizar la energía fototérmica proveniente del Sol y de otras fuentes de calor para generar electricidad. Existen dispositivos de estado sólido (semiconductores) en los cuales se presenta el efecto Seebeck, con la característica de generar electricidad, mediante la exposición a una diferencia de temperatura.

Tales dispositivos son las celdas termoeléctricas Peltier, que han tomado gran importancia en sistemas de enfriamiento (opuesto al efecto Seebeck) principalmente en la industria electrónica. Ofrecen la característica de ser de pequeñas dimensiones, no requieren combustible fósil que emitan gases de efecto invernadero, ni mecanismos móviles que produzcan desgaste y/o vibraciones durante su funcionamiento. Lo cual lo convierte en un elemento que debido a sus características, ofrece grandes ventajas en sus aplicaciones para refrigeración, calefacción y generador de electricidad.

El tema central del presente proyecto es la celda termoeléctrica Peltier, que es un dispositivo electrónico con la capacidad de producir energía eléctrica mediante el efecto Seebeck, expuesto a una diferencia de temperatura. De lo cual surgen diferentes interrogantes: ¿qué elementos son necesarios para que tal dispositivo entre en funcionamiento para generar una diferencia de potencial y corriente eléctrica?, ¿cómo aprovechar el dispositivo para generar energía eléctrica?, ¿qué factores influyen en su funcionamiento?, ¿son de suficiente magnitud las variables eléctricas para aplicaciones como fuente de energía? Situaciones y comportamientos que se evaluarán en el siguiente trabajo.

Estos dispositivos comienzan a tener auge en la modalidad de funcionamiento con el efecto Peltier en aplicaciones de refrigeración. Sin embargo, estas características no serán tratadas debido a que el objetivo del presente proyecto es generar energía eléctrica.

Las celdas termoeléctricas, se comenzaron a utilizar en la refrigeración de sistemas electrónicos; principalmente en los microprocesadores, los cuales debido a su gran capacidad de procesamiento generan calor, siendo un factor que afecta su desempeño, eficiencia y duración de vida. Sin embargo, también comienza a utilizarse su modo de funcionamiento inverso, el efecto Seebeck, en la generación de electricidad, en sondas espaciales o en algunas aplicaciones en el sector automotriz como fuente energética de sensores.

Gracias al avance tecnológico en estos dispositivos es como se ha perfeccionado la fabricación y la calidad de las celdas termoeléctricas, permitiendo que sean más eficientes y compactas.

Dentro de las limitaciones para generar electricidad utilizando las celdas termoeléctricas Peltier están: salida de corriente y tensión eléctricas de baja magnitud. La temperatura del lado caliente de la (s) celda (s) debe ser constante para mantener estable el diferencial de temperatura respecto al lado frío.

Los materiales que debido a sus propiedades mejoran el incremento de temperatura en las superficies de la celda termoeléctrica son: el aluminio y el cobre,

los cuales son los metales más adecuados en aplicaciones térmicas y eléctricas, influyendo en la generación de electricidad por la celda termoeléctrica.

Tal diferencial de temperatura influye en el desempeño de la celda termoeléctrica, afectando la salida en la Diferencia de potencial, la Corriente eléctrica, la Potencia eléctrica y por lo tanto la energía generada.

Mediante la construcción de un arreglo de prueba experimental de dos x dos celdas termoeléctricas Peltier conectadas en serie, con una placa absorbente de expuesta al Sol para el registro de las lecturas de las variables de estudio con los instrumentos de medición requeridos. En cuanto a la metodología empleada, se compone de un procedimiento que consiste en un conjunto de mediciones para el registro de las variables de estudio, conocer su comportamiento característico mediante análisis gráfico y generar las conclusiones respectivas.

Para obtener la Corriente y el Potencial eléctricos, se diseñó un arreglo de cuatro celdas termoeléctricas en serie utilizando material de aluminio en el lado disipador y en el lado absorbente, que permita realizar las mediciones correspondientes de la Irradiancia solar y evaluar el comportamiento de las variables de estudio mediante la comparación gráfica para su análisis.

En el presente proyecto lo que se busca es conocer si tal dispositivo tiene la posibilidad de representar una alternativa energética, utilizando y convirtiendo la energía solar en electricidad.

Otro factor importante es el contar con luz solar para que puedan efectuarse las mediciones, como parte de los elementos requeridos para aplicar la metodología propuesta para el funcionamiento del arreglo de prueba.

El primer capítulo de la tesis corresponde al marco contextual, donde se mencionan los científicos que iniciaron estudios en los efectos termoeléctricos que se producen. Así de diferentes experiencias en la búsqueda de utilizar las celdas termoeléctricas Peltier como una fuente energética, empleando el efecto Seebeck.

El segundo capítulo correspondiente al marco teórico, se explica el funcionamiento de la celda termoeléctrica Peltier, su construcción y los materiales de que está compuesta, y efectos que se originan en la celda. De las fórmulas utilizadas en los cálculos de la Potencia eléctrica (W) y la Energía generada (Wh) por el arreglo de prueba experimental. Además del proceso de cálculo de la Irradiancia solar (W/m^2) si se desea obtenerla y los datos necesarios.

El capítulo tres está relacionado con el recurso energético. Se muestra un mapa de la cantidad del recurso solar que recibe México en Wh/m^2 , el concepto de la Irradiancia solar, los tipos de radiación dentro de la atmósfera terrestre y su cálculo.

El capítulo cuatro corresponde al Marco metodológico, que consiste en el procedimiento cuantitativo para la medición de las variables de estudio empleadas como son: W/m^2 , V, A, °C, para el cálculo la Potencia eléctrica (W), Diferencia de temperatura (Δt), Energía (mWh), Eficiencia (η), Rendimiento (%), Coeficiente Seebeck ($mV/^{\circ}K$) y Figura de mérito ZT. Para la tabulación de los datos obtenidos de cada una y realizar el procedimiento metodológico que se mencionan en el capítulo cinco.

El capítulo cinco, es acerca del análisis e interpretación de las gráficas a partir de los resultados de la medición de las variables de estudio, obtenidas en la metodología empleada en el capítulo cuatro. Así también determinar y concluir su comportamiento característico. Si de acuerdo con los resultados, el arreglo de prueba experimental propuesto pueda ofrecer alternativa energética como generador eléctrico las posibles mejoras y recomendaciones.

Objetivo general

Conocer el comportamiento característico de las variables de estudio mediante el efecto Seebeck empleando el arreglo de celdas termoeléctricas propuesto, aprovechando la energía solar como fuente de energía para determinar su capacidad como generador eléctrico, empleando la metodología y el análisis del comportamiento característico de las variables de estudio.

Objetivos particulares

- Conformar un arreglo de prueba experimental de celdas termoeléctricas con enfriamiento pasivo, para el registro de las variables de estudio.
- Realizar la medición y tabulación de las variables de estudio obtenidas con el arreglo de prueba experimental de celdas termoeléctricas.
- Analizar el resultado de las variables estudio mediante gráficas, para determinar y evaluar el comportamiento característico del arreglo de celdas como generador eléctrico.

Justificación

La energía solar es un recurso natural que diariamente recibe la Tierra, equivalente a 3.85 millones de exajulios — un exajulio es igual a 1×10^{18} Julios — al año, la cual es una fuente de energía renovable. En este sentido, se busca emplear la energía solar, ya que es el recurso natural más abundante, ayudando a reducir el uso de las energías fósiles y sus impactos ambientales. De la energía solar que es una fuente de energía renovable, también se obtiene energía térmica la cual es útil para originar el efecto Seebeck que se produce en las celdas termoeléctricas y generar energía eléctrica, fenómeno que se aprovecha en este trabajo realizado.

Dicho fenómeno mencionado anteriormente se produce en las celdas termoeléctricas también llamadas comercialmente Peltier, que por tal fenómeno que se origina y las características del dispositivo, se eligió este componente como elemento principal de este trabajo de tesis. Es un dispositivo que no contiene partes móviles que produzcan algún tipo de desgaste o que requieran de un mantenimiento especial. No necesita de algún tipo de combustible, por lo que no genera emisiones contaminantes de CO_2 , o requiera de alimentación eléctrica externa para producir el efecto Seebeck, que se busca comprobar y analizar en función del comportamiento de las variables de estudio propuestas para establecer su aprovechamiento, teniendo como variable base e independiente y como fuente de energía a la Irradiancia solar, la energía solar que se recibe diariamente.

Este trabajo de investigación de tesis ofrece una propuesta diferente dentro del campo de energía renovable, ya que la mayoría de los trabajos realizados se centran en el área fotovoltaica, eólica, eficiencia energética y cogeneración. Siendo un tema tan específico con el cual se busca conocer el comportamiento característico de un arreglo experimental de celdas termoeléctrica Peltier mediante el efecto Seebeck en relación con la Irradiancia solar como fuente energética, propuesta que con características iguales no cuenta con antecedentes del tema enfocado a la energía renovable dentro del Programa de Energía de la Universidad.

Capítulo I. Marco Contextual

1.1. Estado del conocimiento

Capítulo I. Marco Contextual

1.1. Estado del conocimiento

En este capítulo se mencionan los antecedentes y científicos que realizaron investigación en relación con los fenómenos que se producen en la celda termoeléctrica Peltier, así como al Efecto Seebeck y su comportamiento.

Los fenómenos existentes en la celda termoeléctrica fueron descubiertos por dos físicos en el siglo XIX: el francés Jean Charles Peltier y el físico de origen estonio-alemán James Thomas Seebeck, años después posteriormente William Thompson (Lord Kelvin) realizó estudios sobre la relación de ambos efectos, así como el efecto Joule que también se presenta. Cada uno de ellos realizaron estudios por separado de los principios que llevan su nombre respectivamente y que se presentan en las celdas termoeléctricas (Rubio, C. et al, 2017. pp. 9-16).

Posteriormente a los experimentos de Seebeck y de Peltier, un físico alemán Edmund Altenkirch inició investigaciones sobre los generadores termoeléctricos, encontrando los materiales semiconductores adecuados para emplearse en ambas modalidades (generador – enfriador). El uso comercial de las celdas termoeléctricas Peltier, se inició en la década de los años cincuenta (1950) siendo utilizados para aplicaciones militares y espaciales, en años recientes se han empleado en diferentes sectores técnicos (Radovan, H. et al, 2016, pp. 760).

Actualmente el desarrollo tecnológico está haciendo uso de energías renovables como fuente energética, principalmente con la energía solar, para reducir impactos ambientales en sus residuos.

La energía solar se puede aprovechar en forma de luz y calor, para obtener energía eléctrica como energía térmica tanto para cuestiones domésticas como industriales. Podemos clasificarla en fotovoltaica y fototérmica, para el primer caso es aprovechable mediante paneles fotovoltaicos para obtener energía eléctrica, en el segundo caso es mediante colectores, concentradores solares para calefacción y preparación de alimentos.

Sin embargo, desde hace algunos años se ha comenzado a hacer uso de dispositivos de estado sólido como son las celdas termoeléctricas, principalmente en aplicaciones para obtener frío (refrigerar) o calor (calefacción) respectivamente mediante el efecto Peltier, característica por la cual se les conoce. En cuanto al efecto Seebeck que es otro de los fenómenos que se presentan en las celdas, también se han realizado estudios respecto a su comportamiento y capacidad como generador eléctrico, aunque esta característica sigue en estudio y desarrollo, debido a que la magnitud de tensión y corriente eléctrica generada es de baja magnitud aún.

En este sentido, en el siguiente proyecto se propone producir el efecto Seebeck en estos dispositivos para generar electricidad, mediante un arreglo de prueba experimental con celdas termoeléctricas Peltier, realizando un conjunto de pruebas, sin producir impacto ambiental al generarla.

Las principales ventajas que ofrecen este tipo de dispositivos son: portátiles, de fácil uso, sin componentes móviles que no producen desgaste, no generan ruido, ni producen contaminantes.

Existen antecedentes de experimentos previos realizados en nuestro país en un trabajo realizado por alumnos de la UNAM, en el marco de la Feria de las Ciencias, para producir una diferencia de potencial utilizando las celdas termoeléctricas Peltier. En este experimento hicieron uso de agua caliente, agua fría y hielos, para generar un diferencial de temperatura entre las superficies de la celda y así obtener una magnitud de potencial eléctrico, alcanzando valores de entre 0.7 V y 2.1 V (UNAM Ciencias. Efecto Seebeck & Peltier, s/f).

En relación con su principio de funcionamiento, se origina a la existencia de un gradiente de temperatura entre ambas superficies de la celda termoeléctrica, donde el material del lado caliente transmite el calor hacia el lado frío para disiparlo, por lo que los electrones del lado caliente se moverán con más facilidad que los del lado frío. Al presentarse esta situación, el lado frío será más negativo y el lado caliente será más positivo, a este fenómeno que se produce se le conoce como efecto termoeléctrico, generando una tensión eléctrica de baja magnitud. Debido al fenómeno antes

mencionado, se busca que los materiales sean mejores conductores eléctricos que térmicos (Bai, S. 2014. pp. 1-8).

Las celdas termoeléctricas son construidas principalmente de Teluro de Bismuto (Bi_2Te_3) por su alta conductividad eléctrica y su baja conductividad térmica, convirtiéndolo en un eficiente material para la generación eléctrica. Para lo cual es necesario colocar celdas termoeléctricas en serie para que la diferencia de potencial de cada una de ellas se suma a la siguiente y así sucesivamente hasta alcanzar la tensión eléctrica deseada (Chen, J. et al, 2017).

En el año de 2011 investigadores del MIT, del Boston College e Instituto Masdar de Abu Dabhi realizaron investigaciones en conjunto para desarrollar sustratos con nanomateriales junto con películas de cobre, oscuras y en condiciones de vacío, similares a las que existen en un tubo evacuado. Para emplearlos en celdas termoeléctricas (Kraemer, et al, 2011, pp. 532), estudio para conocer comportamiento óptico en las celdas termoeléctricas Peltier.

También existen fábricas automotrices como BMW que han usado las celdas termoeléctricas para generar electricidad, aprovechando el calor disipado por los tubos provenientes del motor, usando múltiple cantidad de celdas de 20 W estimando producir 750 W (Orr, B. et al, 2016, pp. 490-495).

Así también son utilizadas para generar electricidad en las sondas espaciales utilizando el calor de la fuente nuclear y la temperatura bajo cero del espacio exterior (Fayazbaksh K., et al, 2009).

La propuesta de trabajo en esta tesis de investigación es el aprovechar la energía solar, el cual es el recurso natural más abundante en la naturaleza para la generación de energía eléctrica. Por lo que empleando el efecto Seebeck que se origina en las celdas termoeléctricas al ser expuestas a una diferencia de temperatura, estudiar su comportamiento, para evaluar las posibilidades y requerimientos para ser considerada una posible propuesta energética.

Las celdas termoeléctricas si bien ofrecen una eficiencia baja debido a su uso como generador de tensión eléctrica por sus características, son dispositivos más

utilizados para aplicaciones de refrigeración y calefacción de circuitos electrónicos. Las ventajas que ofrecen este tipo de dispositivos son: tamaño compacto, de fácil uso, sin partes móviles, libre de emisión de cualquier tipo de contaminantes, no necesitan mantenimiento y no producen vibraciones (Sonal, R. et al, 2017, pp. 454).

En el avance tecnológico y desarrollo en tales dispositivos, se busca que los materiales sean mejores conductores eléctricos que térmicos.

Diversas áreas de la ciencia aplicada e ingenierías se han beneficiado por estos desarrollos, como tal dispositivo electrónico entre la diversidad de componentes semiconductores, es la celda termoeléctrica.

Lo anterior son ejemplos de los antecedentes de las aplicaciones que han sido más empleadas, para refrigeración y/o calefacción y como generador eléctrico (Fankai, M, 2016. et al. 375-382).

El efecto Peltier se ha utilizado principalmente para mejorar el desempeño de las computadoras y la velocidad de procesamiento de información, en la refrigeración de microprocesadores y circuitos electrónicos.

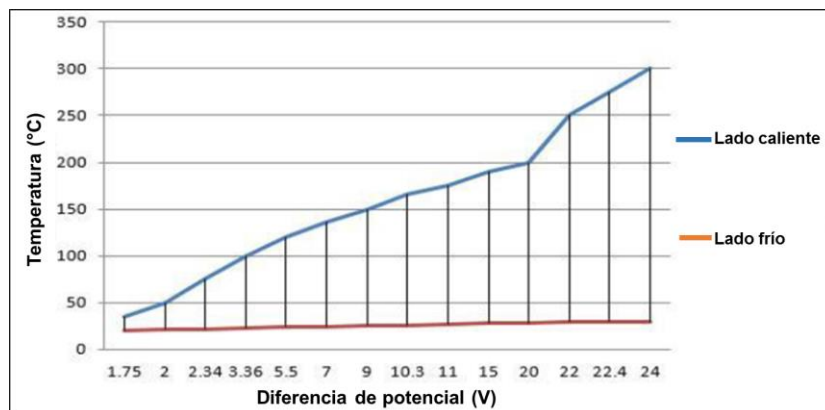
En cuanto a la aplicación del uso del efecto Seebeck es más específico; va desde fuentes de energía para satélites, vehículos espaciales e instrumentos especializados para la medición de temperaturas en instrumentos electrónicos en equipos de laboratorio (Moreno, A. 2006. pp. 32-69).

Recientemente se ha puesto más atención en aplicaciones de energía solar para obtener energía eléctrica.

Investigadores de la universidad de Karachi en Pakistán realizaron estudios para generar energía eléctrica con celdas termoeléctricas (Teluro de Bismuto). Utilizando un concentrador parabólico solar con espejos (1.8m de diámetro), para dirigir la luz y generar calor. La aplicaron en la superficie caliente de las celdas y un flujo de agua circulando en el lado frío, para crear el Δt (diferencial de temperatura) necesario para su funcionamiento. El concentrador utiliza un sistema seguidor de Sol

para mantener una temperatura constante (270 °C), esperando producir 14.7 W por celda, de acuerdo con el arreglo y tipo de celdas empleadas (Jawaid, S. et al, 2019).

Para lo cual se realizaron mediciones para conocer los mejores periodos de tiempo para una mayor generación eléctrica. Obteniendo los siguientes resultados (Gráfica 1.1.).

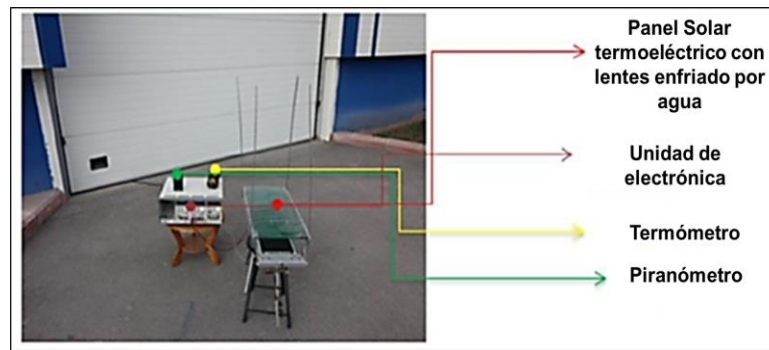


Fuente: Generación de energía térmica solar usando el efecto Seebeck. Jawaid, S. (2019).

Gráfica 1.1. Relación entre la diferencia de temperatura y la diferencia de potencial.

Por otra parte, investigadores en la ciudad de Ankara (Turquía), realizaron estudios con un sistema termoeléctrico de diez celdas de 0.5 m x 0.5 m x 0.004 m, conectándolas en circuito serie. Utilizando una pintura especial con alta absorción óptica junto con lentes especiales (concentradores) para aumentar la temperatura en la superficie caliente de las celdas termoeléctricas y un flujo de agua para la superficie fría (30 ml/s) para la superficie fría, a una temperatura ambiente de 30°C, obtuvieron los siguientes resultados:

Para el panel termoeléctrico, el valor de la potencia máxima fue de 100 W, con resistencia de carga de 15 Ω , corriente eléctrica de 4 A, y el potencial eléctrico de 25 V. La cantidad de potencia obtenida por unidad de área fue de 4000 W/m² (Figura 1.1.).

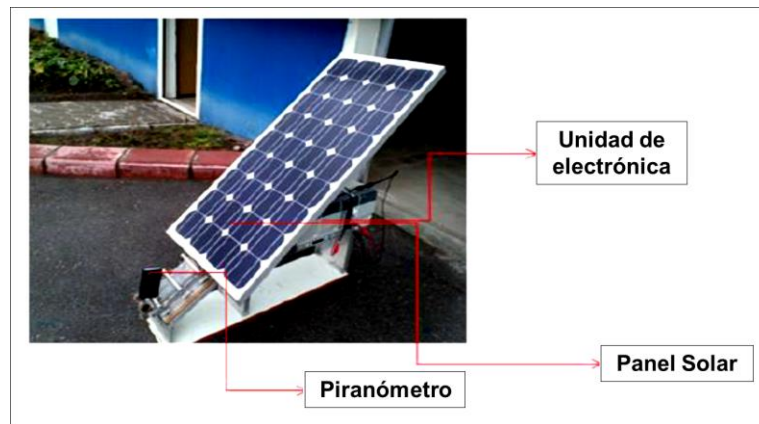


Fuente: El panel solar termoelectrico. Ahiska, R. (2016).

Figura 1.1. Experimento con un panel termoelectrico.

Al mismo tiempo realizaron mediciones con un panel solar de un metro cuadrado para comparar resultados (Figura 1.2.), obteniendo lo siguiente:

Potencia máxima alcanzada fue de 80.55 W con una resistencia de carga de 10 Ω , valor de la corriente eléctrica de 4.5 A y una diferencia de potencial de 17.9 V. La cantidad de potencia eléctrica obtenida por unidad de área fue de 132 W/m².



Fuente: El panel solar termoelectrico Ahiska, R. (2016).

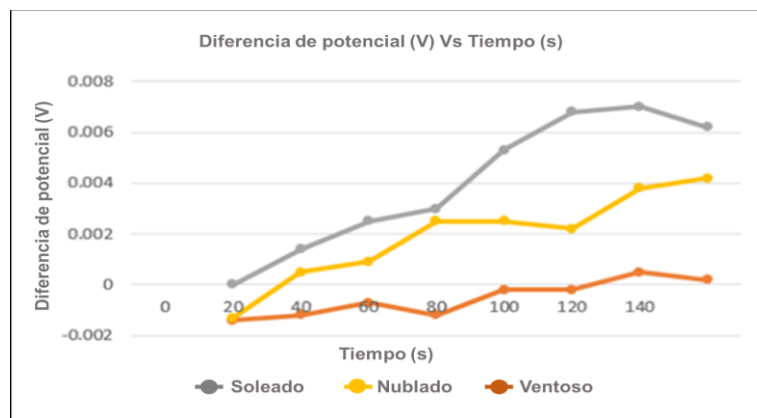
Figura 1.2. Experimento con el panel solar.

En este comparativo, el panel termoelectrico tiene mejores resultados debido a la pintura especial y lentes empleadas. La potencia por unidad de área producida en una superficie de un panel termoelectrico fue 30 veces mayor al en un panel fotovoltaico (Ahiska, R. et al, 2016). Por lo que es una tecnología ventajosa y renovable.

Por otra parte, académicos de la Universidad de Malasia estudiaron la acumulación de calor en los caminos asfaltados que diariamente reciben radiación solar, así como la aportación térmica de vehículos al circular en los caminos. Debido a los casos anteriores, las celdas termoeléctricas son los elementos más adecuados para aprovechar la energía térmica y convertirla en electricidad con un gradiente de temperatura pequeño.

En sus trabajos, experimentaron con tres celdas termoeléctricas apiladas. Mediciones en las cuales registraron a circuito abierto las variables de temperatura y tensión eléctrica en un horario de 11 am a 15 pm.

Con una celda obtuvieron: 0.03 V en 60 s, en la superficie caliente: 34.22°C y en la superficie fría de: 31.27°C. Con dos celdas registraron: 0.05 V en 100 s, en la superficie caliente: 34.45°C y en la superficie fría de: 31.68°C. Con tres celdas registraron: 0.08 V en 100 s, en la superficie caliente: 40.11°C y en la superficie fría de: 37.62°C (Syadza, M. et al, 2019).



Fuente: Evaluación de generación de la diferencia de potencial y distribución térmica en un camino usando tecnología termoeléctrica. Syadza, M (2019).

Gráfica 1.2. Generación de la diferencia de potencial en diferentes condiciones climáticas.

Los resultados en la gráfica 1.2., muestran que el clima soleado es la mejor condición para generación eléctrica, que las condiciones con viento o nubosidad.

Por otra parte, profesores de la Universidad de Texas A&M y College Station realizaron estudios con las celdas termoeléctricas para generar electricidad,

empleando la acumulación de calor en el pavimento de avenidas y carreteras del estado de Texas (Estados unidos). Realizando adaptaciones para instalar celdas debajo del pavimento utilizando de aluminio para el lado caliente placas y reservas de agua para el lado frio, además de circuitos electrónicos para el monitoreo del funcionamiento. Obteniendo en un rango de temperatura de 40°C a 45°C del pavimento los siguientes resultados de generación con una, dos y tres celdas respectivamente: 1.576 mW, 1.934 mW, 1.678 mW. (Park, P. et al, 2014).

Capítulo II. Marco Teórico

- 2.1. Problemática en la celda termoeléctrica**
- 2.2. Principio de funcionamiento de la celda termoeléctrica**
- 2.3. Cálculo de la eficiencia del arreglo de prueba experimental de celdas termoeléctricas**
- 2.4. Cálculo de la potencia eléctrica (W)**
- 2.5. Cálculo de la energía obtenida por el arreglo de prueba experimental (Wh)**
- 2.6. Cálculo de la energía generada por el arreglo de prueba experimental (Wh)**
- 2.7. Coeficiente Seebeck**
- 2.8. Figura de mérito ZT**

Capítulo II. Marco teórico

En este capítulo se explica la problemática, principio de funcionamiento y los fenómenos que se presentan en las celdas termoeléctricas, también llamada celda Peltier. De igual forma los cálculos de: Potencia eléctrica, Eficiencia de la celda termoeléctrica, Energía obtenida, Energía generada, Coeficiente Seebeck y la Figura de mérito ZT relacionados con el desempeño de las celdas termoeléctricas.

2.1. Problemática en la celda termoeléctrica

En la celda termoeléctrica, la principal problemática es su baja producción de diferencia de potencial y corriente eléctrica, necesita de una fuente continua de calor (luz solar directa en su lado caliente) y de disipación (en su lado frío) para mantener una diferencia de temperatura. Cuando se emplea la celda termoeléctrica como generador de tensión eléctrica tiene el inconveniente de generar una baja magnitud, por lo que es necesario conectar un número determinado de celdas termoeléctricas en circuito serie, para que la tensión eléctrica de cada una de ellas se sume, y obtener así una magnitud mayor a la salida en el circuito (Kumar, V. et al, 2019, pp. 1625).

Así también existe la característica de que las superficies de la celda termoeléctricas están muy próximas, debido a su construcción, por lo que el calor absorbido en el lado caliente se disipa instantáneamente hacia el lado frío a través de la celda. Si se llegaran a igualar las temperaturas de ambos lados de la celda y se superan las temperaturas de corte de sus especificaciones, esta se puede dañar separando las juntas internas, y que no se genere energía eléctrica.

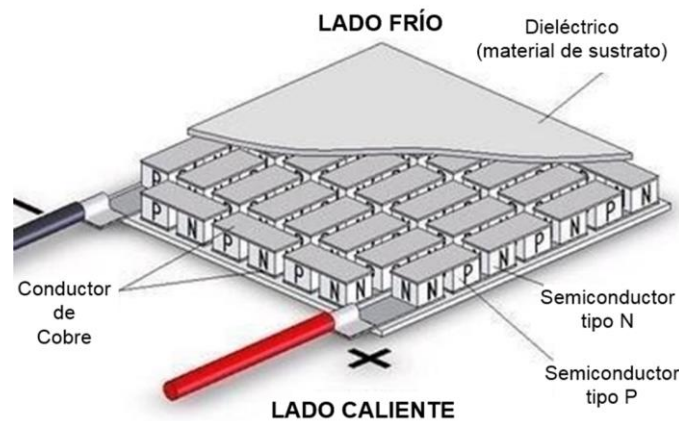
2.2. Principio de funcionamiento de la celda termoeléctrica

La celda termoeléctrica Peltier, es un dispositivo termoeléctrico que está formada por la unión de semiconductores tipo P, semiconductores tipo N, puentes de conexión entre estos materiales y un material dieléctrico que los recubre como aislante. Siendo en la unión de estos semiconductores donde se origina el efecto Seebeck, debido a una diferencia de temperatura, produciendo la generación eléctrica. Este fenómeno tiene la característica de producir de bajos niveles de generación de

Diferencia de potencial y Corriente eléctrica. Así como a las técnicas que se tienen que emplear para obtener un mayor incremento de generación.

En las celdas termoeléctricas se presentan los siguientes fenómenos: el efecto Peltier, el efecto Seebeck, el efecto Thompson y el efecto Joule. El efecto Peltier se descubrió al aplicar una corriente eléctrica a un circuito formado por la unión de conductores de dos metales diferentes, produciéndose calor en la unión y al invertir la polaridad de la fuente de tensión eléctrica se registraba una temperatura fría.

En cuanto al efecto Seebeck, como se mencionó anteriormente, se produce al existir una diferencia de temperatura entre las superficies de la celda, generando una tensión eléctrica entre la unión de los dos semiconductores (uno que aporta electrones – tipo N – y otro tipo que recibe electrones – tipo P –). (LeBlanc, S. et. al, 2014, pp. 22-30).



Fuente: Feria de las Ciencias. UNAM (s/f).

Figura 2.1. Elementos de una celda termoeléctrica Peltier.

En lo referente al efecto Thompson descubierto por William Thompson, se presenta en un material al ganar o perder calor al circular una corriente eléctrica en presencia de una diferencia de temperatura. En cuanto al efecto Joule se produce por la resistencia que presenta un conductor al circular una corriente eléctrica, producto de la energía cinética liberada por el movimiento de electrones en forma de calor.

La parte interna de la celda termoeléctrica está formada por uniones de Teluro de Bismuto (Bi_2Te_3) (Ramírez, C. 2010. et al, pp. 14-29). Con un recubrimiento de

material cerámico (Alúmina Al_2O_3) el cual esta aplicado en ambas superficies y selladas alrededor de la celda termoeléctrica. Permitiendo que pueda ser expuesta a un incremento de temperatura ($\Delta T = T_C - T_F$), que puede ser desde bajo cero para la superficie fría de la celda termoeléctrica, hasta temperaturas superiores a los cien grados centígrados en la superficie caliente (Su, C. 2014. et al. pp. 85-91), dependiendo de sus características de construcción, traduciéndose en una tensión eléctrica entre ellos.

Al existir un gradiente de temperatura entre ambos lados de la celda termoeléctrica, los electrones del lado caliente se moverán con más facilidad que los del lado frío. Originando que el lado frío sea más negativo y el lado caliente más positivo, a este fenómeno (Seebeck) también se le conoce como efecto termoeléctrico, generando una tensión eléctrica de baja magnitud. (Solanki, P.M. et al, 2016, pp. 73).

Cuando se emplea la celda termoeléctrica como generador de tensión eléctrica tiene el inconveniente de generar una pequeña magnitud, por lo que es necesario conectar un número determinado de celdas termoeléctricas en circuito serie, para que la tensión eléctrica de cada una de ellas se sume, y obtener así una magnitud mayor a la salida en el circuito (Kumar, V. et al, 2019, pp. 1625).

Como parte de la teoría en el funcionamiento de la celda termoeléctrica, la OPPA (OPPA, et al, pp 1-5.). Propuso las siguientes relaciones:

El calor generado absorbido por unidad de tiempo en relación con la corriente eléctrica a través de la unión de varios conductores dentro de la celda puede ser evaluado mediante las siguientes relaciones:

$$\frac{\Delta q_P}{\Delta t} = P_P = \alpha T I \quad (1.1)$$

Donde alfa (α) es el coeficiente Seebeck y T la temperatura de la unión, la cual es generada por la circulación de una corriente a través de una resistencia R creando el efecto Joule (calor), el cual puede ser evaluado mediante la siguiente relación:

$$\frac{\Delta Q_i}{\Delta t} = P_I = R I^2 \quad (1.2)$$

El calor circula a través de la celda por unidad de tiempo desde lado caliente hacia el lado frío, lo cual se puede representar mediante la Ley de Fourier:

$$\frac{\Delta Q_F}{\Delta t} = P_F = I = \frac{(T_H - T_S)}{d} = L\Delta t \quad (1.3)$$

Donde $\Delta t = T_C - T_F$. Lambda (Δ) es el coeficiente de conductividad térmico, S es el área de sección transversal, d es el espesor del material y se relacionan mediante:

$$L = \frac{\Delta S}{d} \quad (1.4)$$

Donde la energía térmica en calentar la celda en el lado frío puede ser evaluada, mediante la relación:

$$P_H = \alpha I T_H + \frac{R I^2}{2} - L\Delta t \quad (1.5)$$

La energía térmica saliente de la celda de lado caliente se obtiene mediante la siguiente relación:

$$P_E = UI = P_H - P_S = \alpha I \Delta t + R I^2 \quad (1.6)$$

Una vez que se alcanza en estado estable del flujo de energía eléctrica por dentro de la celda se puede evaluar mediante la interrelación:

$$\eta_{TEC} = \frac{P_S}{P_E} = \frac{(\alpha I T_C + \frac{R I^2}{2} - L\Delta t)}{\alpha I \Delta t + R I^2} \quad (1.7)$$

Existen dos factores involucrados en eficiencia que son: el efecto Joule que se produce en la resistencia de la celda, y la conductividad térmica que lleva parte del calor en dirección opuesta al funcionamiento de la celda Peltier. Si estos dos factores pueden ser eliminados ($L = 0$ y $R = 0$), la eficiencia de enfriamiento puede ser evaluada mediante relación (1.8), la cual es de la eficiencia ideal de una máquina térmica.

$$\eta'_{TEC} = \frac{T_S}{T_H - T_S} \quad (1.8)$$

Nota: C_{celk} es la capacidad total y térmica del lado caliente que equivale a $(1121 \frac{J}{K})$, T_{H1} y T_{H2} son las temperaturas sobre el lado caliente en los tiempos t_1 y t_2 .

2.3. Cálculo de la eficiencia del arreglo de prueba experimental de celdas termoeléctricas

Para la eficiencia de la celda termoeléctrica que recibe Irradiancia solar, (OPPA, et al, pp. 1-5.) en el punto anterior propone dichos cálculos, sin embargo (Šumiga, I. et al 2018 p.152-153) propone la siguiente relación que involucra el valor de la Irradiancia solar el cual se utilizó para el cálculo de la eficiencia posteriormente:

$$\eta = \frac{VI}{q_i A_S} \quad (2.1)$$

Que incluye los valores de Potencial eléctrico (V), Corriente eléctrica (I), Irradiancia solar (q_i) y el área en m^2 que recibe tal Irradiancia (A_S), respectivamente para su cálculo.

2.4. Cálculo de la potencia eléctrica (W)

Para el cálculo de la Potencia eléctrica se empleó la siguiente fórmula:

Potencia (W) = Diferencia de potencial (V) • Corriente eléctrica (A).

2.5. Cálculo de la energía obtenida por el arreglo de prueba experimental (Wh)

Para el cálculo de la energía obtenida se utilizó el siguiente cálculo:

Wh = Irradiancia solar $(\frac{W}{m^2})$ * tiempo de exposición (h). Obteniendo así el resultado expresado en término de energía Wh.

2.6. Cálculo de la energía generada por el arreglo de prueba experimental (Wh)

Para calcular y conocer la Energía generada en Wh por el arreglo de prueba experimental, se utilizan los datos de la Potencia eléctrica, los cuales se multiplicaron por el periodo de tiempo de la medición.

$$Wh = (\text{Potencia de cada medición del arreglo en W}) (\text{periodo de tiempo h}).$$

2.7. Coeficiente Seebeck

Básicamente el coeficiente Seebeck (S) o α , es un valor que está relacionado con los materiales termoeléctricos e indica la capacidad de un material para producir un voltaje el cual se expresa en $\mu\text{V}/^\circ\text{K}$ o $\text{mV}/^\circ\text{K}$.

En la composición de la celda termoeléctrica TEC1-1206, que se está empleando para este proyecto de tesis de investigación experimental, las uniones donde se produce el efecto Seebeck son de Teluro de Bismuto, compuestas de unión semiconductor (Teluro)-metal (Bismuto).

Cabe mencionar que la sensibilidad de la respuesta de celda está asociada principalmente al comportamiento de la parte semiconductor, ya que es sensible a la radiación infrarroja, ultravioleta y a las altas frecuencias. Por lo que es entendible que se presente respuesta a estas radiaciones que también son parte del espectro electromagnético que se emiten y se reciben del Sol, el cual es el elemento de fuente energética propuesto y utilizado en este trabajo de tesis.

En el efecto Seebeck, la relación entre la Diferencia de temperatura y tensión eléctrica producida no siempre es lineal su respuesta, la cual es producto de la interacción entre en conjunto con la figura de mérito ZT del material termoeléctrico, y las condiciones del entorno. Comportamiento que se pudo notar en la medición de los datos obtenidos.

Cada material tiene diferentes características y propiedades que influyen en la generación eléctrica y por lo tanto en el coeficiente Seebeck, el cual si es de un valor alto será alta la generación eléctrica y viceversa, así también positivo o negativo de

acuerdo con el material termoeléctrico. Pero que en situaciones reales una Diferencia de temperatura alta no siempre significa una generación alta por el Coeficiente Seebeck de cada material, debido a la explicación previa.

Así también al producirse la Diferencia de temperatura en el arreglo experimental de celdas termoeléctricas se genera calor que se disipa al ambiente, con el cual se está equilibrando, y limitando la magnitud del coeficiente Seebeck.

De igual forma en la resistencia interna de los materiales conductores que, aunque exista una diferencia de temperatura alto, la generación es pequeña debido a la alta resistencia de dichos materiales. A los efectos Seebeck, Peltier, Thompson y Joule que también se presentan, se les conoce como efectos termoeléctricos.

El coeficiente Seebeck se puede obtener calculando el cociente con los datos de la Diferencia de potencial generada (ΔV) y la Diferencia de temperatura (ΔT) que experimenta la celda o arreglo de las mismas entre sus superficies. Por medio de la siguiente expresión:

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T}, \text{ coeficiente que se expresa en } \mu\text{V}/^\circ\text{K} \text{ o } \text{mV}/^\circ\text{K}. \quad (2.2)$$

La gráfica del Coeficiente Seebeck muestra el comportamiento de la temperatura con la Diferencia de potencial generada, determinando el comportamiento eléctrico de la celda o de un arreglo, así también entender mejor su comportamiento en relación con su eficiencia, y capacidad de los materiales para generar energía eléctrica a partir de la Diferencial de temperatura que experimentan.

2.8. Figura de mérito ZT

La figura de mérito ZT es un gradiente que representa un valor adimensional, el cual está relacionado e interacciona con el Coeficiente Seebeck, originando el efecto Seebeck debido a la diferencia de temperatura (Δt). Así también a la conductividad eléctrica (σ) y a la conductividad térmica del material (κ) que conforma la celda termoeléctrica (Santamaria, J. Alkorta J. Gil, J. et al, 2013).

La fórmula para el cálculo de la Figura de mérito es la siguiente:

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{\kappa} \quad (2.3)$$

donde:

S^2 : es el cuadrado de valor del coeficiente Seebeck (mV/°K).

σ : representa la conductividad eléctrica del material termoeléctrico (S/m).

κ : significa la conductividad térmica del material termoeléctrico (W/m°K).

T: Temperatura (°K).

Este gradiente tiene la característica de que su comportamiento es variable y está en función de los factores anteriormente descritos que intervienen en la fórmula para su cálculo. Tal comportamiento puede ser estable, aumentar o disminuir debido a las propiedades del material termoeléctrico (Teluro de Bismuto) y el entorno en que se encuentra.

Los valores de la Figura de mérito ZT para los materiales termoeléctricos, van de 0 a 2 y para valores con materiales termoeléctricos más eficientes de 0 a 3 (Šumiga, I. et al, 2018, p. 152-153). El aumento en la eficiencia de estos materiales será posible al creciente desarrollo tecnológico en un rango de 2 a 3. Los valores mayores a uno se consideran de materiales adecuados para la generación termoeléctrica, sin embargo, para que sea esto posible se necesitan de materiales, factores asociados y condiciones del entorno que favorezcan su eficiencia.

Capítulo III. Recurso energético

- 3.1. Recurso energético en México**
- 3.2. La radiación solar sobre la Tierra**
- 3.3. Concepto de Irradiancia solar**
- 3.4. Equivalente energético del valor de la Irradiancia solar sobre el arreglo de prueba de las celdas termoeléctricas y el producido por las mismas**
- 3.5. Fórmula para el cálculo de la Irradiancia solar**

Capítulo III. Recurso energético

3.1. Recurso energético en México

México se encuentra en una situación geográfica en la que el recurso solar es muy abundante, cuenta con diferentes tipos de climas como son: cálido húmedo, cálido semi-húmedo, templado y clima seco. Donde la cantidad de Irradiancia solar en el país es de $5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ en promedio al día, que es una magnitud de energía renovable solar y térmica que se puede aprovechar para generar electricidad.

Para el caso del presente trabajo es conocer la cantidad de energía generada mediante un arreglo de prueba experimental como generador eléctrico con celdas termoeléctricas Peltier, mediante el efecto Seebeck, para conocer dicho recurso energético, utilizando el Sol como fuente de energía.

En la Figura 3.1., se muestra la cantidad de Irradiancia solar que recibe el territorio nacional.



Fuente: Comisión Reguladora de Energía (CRE). 2019.

Figura 3.1. Mapa de la Irradiancia solar diaria promedio en México.

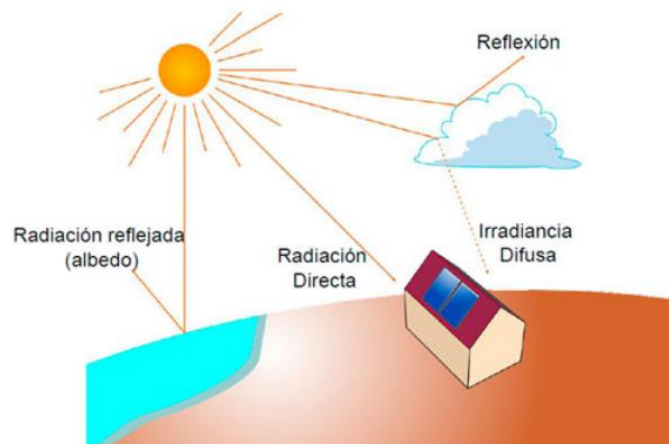
3.2. La radiación solar sobre la Tierra

La radiación que recibe la Tierra se compone por la radiación directa, indirecta o difusa y global (Figura 3.2.).

La radiación directa: es aquella que se recibe directamente del Sol sin ningún cambio en su trayectoria.

La radiación indirecta o difusa: es la radiación que sufre un cambio en su trayectoria proveniente del Sol por factores como son las nubes.

La radiación global: está compuesta por la radiación directa y difusa.



Fuente: SUNRA. (s/f).

Figura 3.2. Componentes de la radiación global.

En la figura 3.2., se muestran el conjunto de radiaciones que componen a la radiación global.

3.3. Concepto de Irradiancia solar

Es la magnitud de la potencia solar que incide sobre una superficie de un m^2 en un instante de tiempo. Se expresa de la siguiente forma: $\frac{W}{m^2}$.

3.4. Equivalente energético del valor de la Irradiancia solar sobre el arreglo de prueba de las celdas termoeléctricas y el que producen.

Para las mediciones realizadas en este proyecto, la fuente de energía utilizada es el Sol. La cual se empleó para convertirla en diferencia de potencial y corriente eléctrica mediante el arreglo experimental con celdas termoeléctricas.

Se realizaron mediciones de Corriente eléctrica (A), Potencial eléctrico (V), para obtener la Potencia eléctrica (W) y la Energía generada respectivamente (Wh). De acuerdo con estos datos se obtuvo la eficiencia en porcentaje en la medición tres.

3.5. Cálculo de la irradiancia solar

Para obtener la irradiancia solar, se deben conocer los siguientes datos: ϕ =latitud del lugar, δ = posición angular del sol al mediodía, ω =hora en grados, N = número del día a partir desde el día uno del año al día de medición, A =altitud sobre el nivel del mar del lugar (msnm), y constante solar ($1367 \frac{W}{m^2}$).

Si se desea calcular las irradiancias (extraterrestre, estimada y horizontal sobre la superficie), se puede realizar el siguiente procedimiento de cálculo para obtenerlas:

$$\delta = 23.45^\circ \text{ sen } \frac{(360(284+N))}{365} \quad (3.1)$$

$$\text{Cos } \theta_z = \text{cos } (\phi) \text{ cos } (\delta) \text{ cos } (\omega) + \text{sen } (\phi) \text{ sen } (\delta) \quad (3.2)$$

$$a_0 = 0.4237 - 0.00821 (6 - A)^2 \quad (3.3)$$

$$a_1 = 0.5055 + 0.00595 (6.5 - A)^2 \quad (3.4)$$

$$k = 0.2711 + 0.01858 (2.5 - A)^2 \quad (3.5)$$

$$T_b = a_0 + a_1 e^{\frac{-k}{\text{cos } \theta_z}} = a_0 (0.95) + a_1 (0.98) e^{\frac{-1.02}{\text{cos } \theta_z}} \quad (3.6)$$

$$G_{sc(1)} = (1 + 0.0033 \text{ cos } \frac{(360)(N)}{365}) \quad (3.7)$$

$$B = (N-1) \left(\frac{360}{365} \right) \quad (3.8)$$

$$G_{sc(2)} = 1.000110 + 0.034221 \cos(B) + 0.001280 \sin(B) + 0.000719 \cos^2(B) + 0.000077 \sin^2(B) \quad (3.9)$$

Radiación extraterrestre= (constante solar) ($G_{sc(2)}$) =

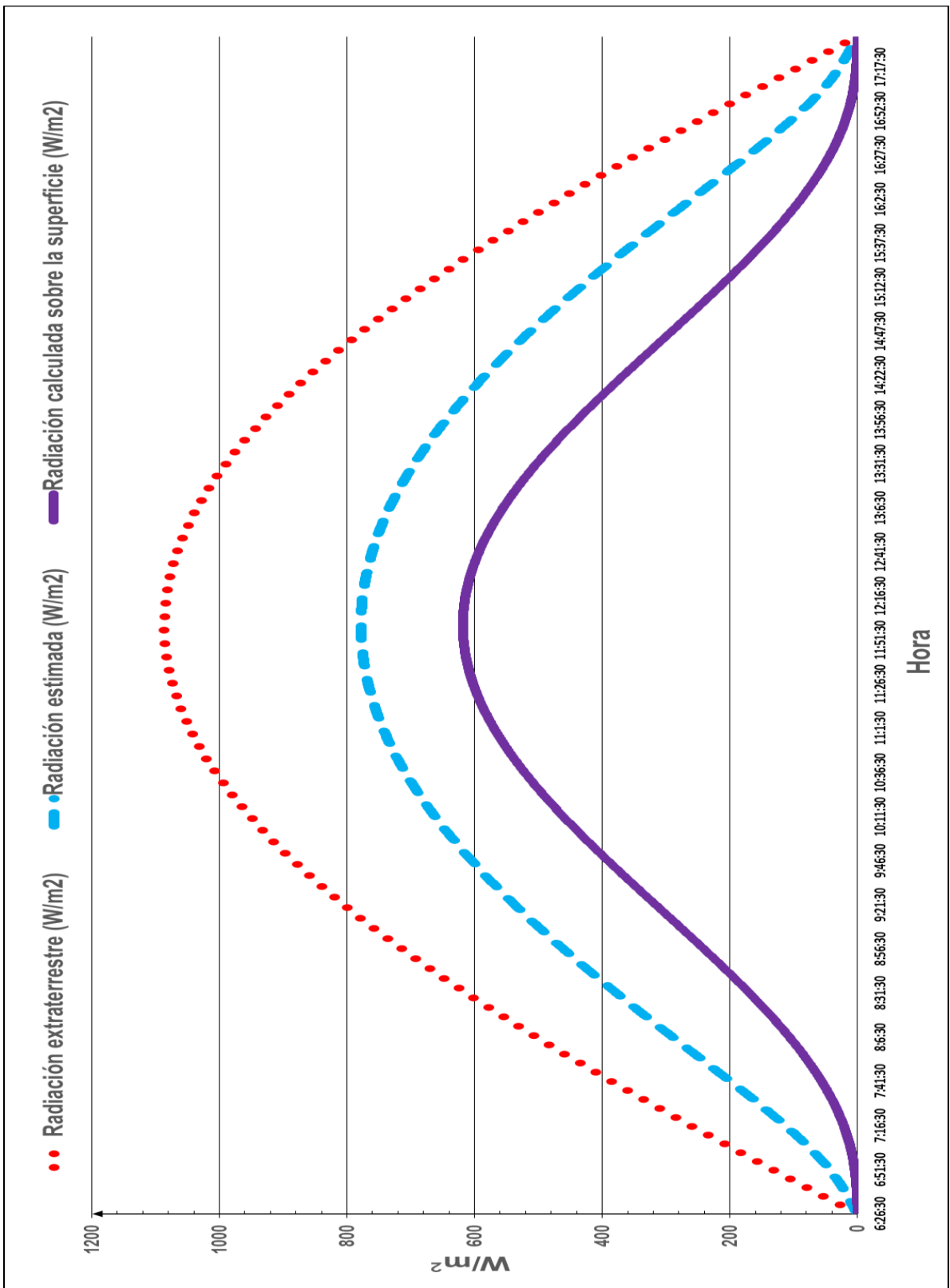
$$= (1367 \frac{W}{m^2}) (G_{sc(2)}) = \frac{W}{m^2} \quad (3.10)$$

$$\text{Radiación estimada} = (\text{radiación extraterrestre}) (\tau_b) = (\frac{W}{m^2}) (\tau_b) = \frac{W}{m^2} \quad (3.11)$$

Radiación global sobre la superficie = (radiación estimada) ($\cos \theta_z$) =

$$= (\frac{W}{m^2})(\cos \theta_z) = \frac{W}{m^2} \quad (3.12) \quad (\text{Ravi, M. 2016. pp 43-53}).$$

De acuerdo con las fórmulas mencionadas anteriormente se realizó el cálculo de las irradiancias (extraterrestre, estimada y horizontal sobre la superficie), obteniendo los resultados mostrados en la de Gráfica 3.1., en la que la Irradiancia solar horizontal calculada sobre la superficie (curva inferior), es la que se toma en cuenta como dato. Para condiciones reales se obtuvieron a través de las mediciones para los cálculos requeridos de las variables de estudio.



Fuente: Autoría propia.

Gráfica 3.1. Curvas de irradiancias: extraterrestre, estimada y horizontal sobre la superficie.

Capítulo IV. Marco metodológico

- 4.1. Proceso y procedimiento para las mediciones con el arreglo experimental de celdas termoeléctricas**
- 4.2. Procedimiento para realizar las mediciones de las variables de estudio**
- 4.3. Procedimiento para realizar las mediciones de la Irradiancia solar**

Capítulo IV. Marco metodológico

4.1. Proceso y elementos para las mediciones con el arreglo experimental de celdas termoeléctricas

Para el proceso metodológico; se construyó un arreglo experimental con celdas termoeléctricas, también llamadas celdas Peltier, (componentes principales), de las cuales es necesario consultar sus especificaciones en catálogos de componentes electrónicos para conocer sus características de operación (Ver apéndice A). Para efectuar la medición de las variables de estudio de forma cuantitativa y que por medio de la tabulación se registran los datos, para su posterior representación gráfica, análisis, evaluación, caracterización y conclusión de los resultados obtenidos.

Así también lo relacionado con los demás componentes que serán acoplados en las superficies (superficie caliente y superficie fría para establecer la Diferencia de temperatura en la celda termoeléctrica) para su funcionamiento y generar la energía eléctrica (Šumiga, I. et al, 2018, p. 152-153).

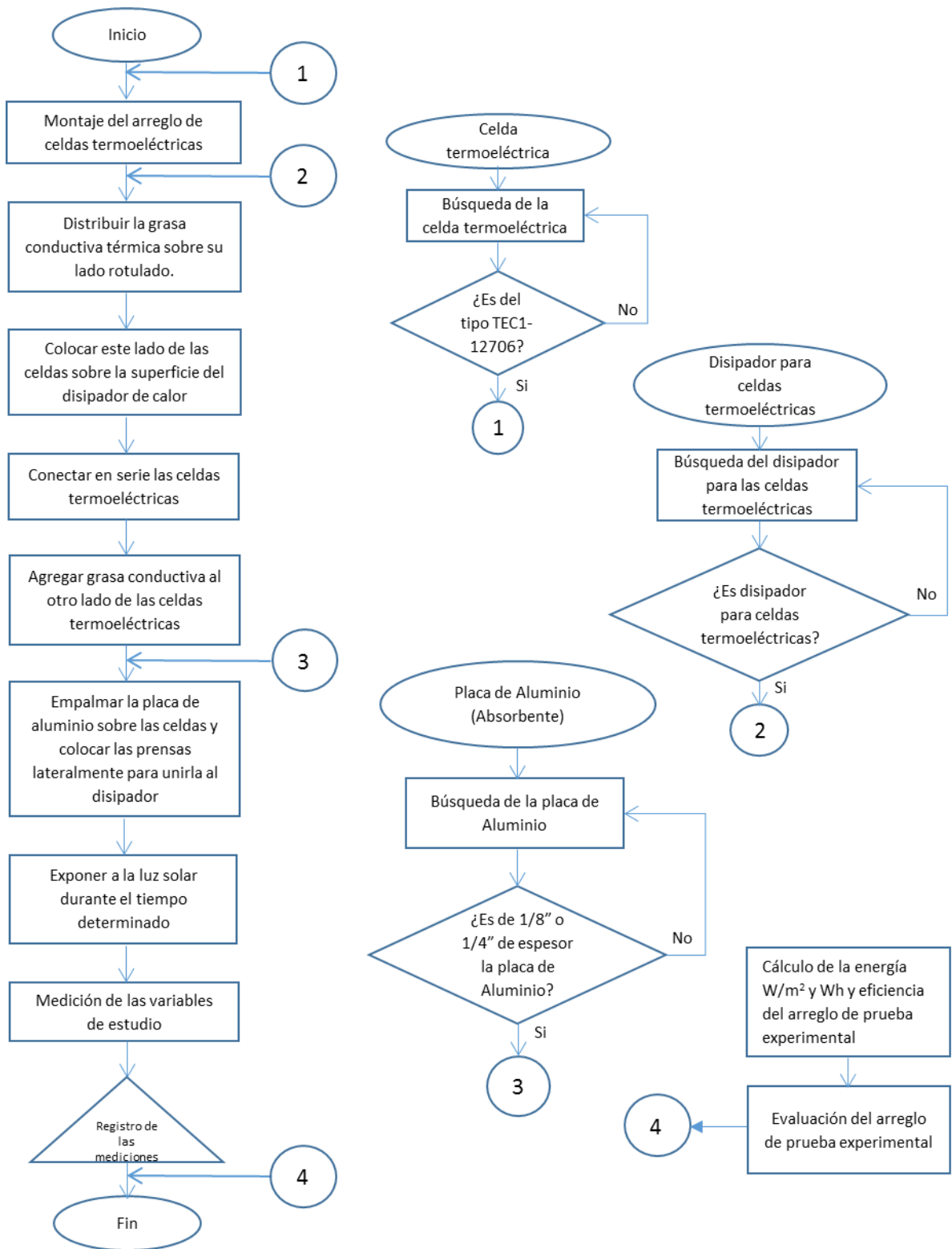
Los materiales y componentes usados en ambas caras de la celda termoeléctrica se consultarán en catálogos de fabricantes, tablas de especificaciones de los metales. Para realizar las mediciones de las variables, se utilizará un multímetro digital para registrar la Diferencia de Potencial y Corriente eléctrica. Así también de una punta o un termómetro láser tipo pistola para el registro de la temperatura en ambos lados del arreglo de celdas termoeléctricas Peltier.

Para una medición más precisa de la temperatura, en cada lado del arreglo de las celdas, fue necesario hacer barreno en la placa y en el disipador respectivamente, para una medición más exacta. En cuanto al montaje del arreglo experimental de las cuatro celdas termoeléctricas se utilizó: un cautín de baja potencia, pasta térmica conductora, soldadura, prensas para papel y juego de diferentes tipos de pinzas para electrónica. Para la medición de la Irradiancia solar (W/m^2), se empleó un piranómetro proporcionado por el Programa de Energía de la Universidad.

Para conocer el comportamiento de la celda termoeléctrica, son necesarios materiales con alto coeficiente de conductividad térmica, como son principalmente: el cobre ($385 \frac{W}{mK}$) y el aluminio ($205 \frac{W}{mK}$). Se requirió para el lado caliente de la celda, una placa de aluminio de 5 mm de espesor con 0.0165 m^2 de área, la cual funcionará como superficie colectora, y para la parte fría un disipador de aluminio (necesario para eliminar el calor transmitido y mantener su funcionamiento, Kraemer, D. 2011, pp 537) acoplado a las celdas Peltier mediante pasta conductora de temperatura. Se espera que la temperatura para el lado caliente este en un rango de entre los 25°C a 60°C , y para el lado frío con temperaturas menores y aproximadas a estas. Las mediciones se realizaron para conocer los diferenciales de temperatura en la celda termoeléctrica, la magnitud de Corriente eléctrica, Diferencia de potencial y Potencia eléctrica que se obtienen de las celdas termoeléctricas Peltier.

4.2 Procedimiento para realizar la medición de las variables de estudio

Antes de iniciar las mediciones correspondientes para estudiar y analizar el comportamiento de las celdas termoeléctricas, se construyó un arreglo experimental de prueba con los elementos mencionados, el cual se compone de cuatro celdas termoeléctricas conectadas en serie entre sí. Tal arreglo consta de una placa de aluminio (superficie caliente), en apariencia normal (medición uno), de superficie áspera y en color negro mate (para la medición dos y tres) para mayor absorción térmica y generación eléctrica, con una superficie de 0.0165 m^2 (dato que se utiliza en la fórmula para el cálculo de la eficiencia), y para el lado frío un disipador de calor de aluminio, que se utilizó en todas las mediciones. Los resultados obtenidos de la medición de las variables se graficaron haciendo un comparativo entre curvas (medición dos y tres) para conocer el comportamiento de los valores de temperatura, Irradiancia solar, Diferencia de potencial, Corriente eléctrica, Diferencia de temperatura y Potencia eléctrica (W/m^2 , V, A, $^{\circ}\text{C}$, W) así como la Energía (mWh), la Eficiencia (η) y Rendimiento (%) del arreglo de celdas termoeléctricas. En la figura 4.1., se muestra el procedimiento general de las mediciones.



Fuente: Autoría propia.

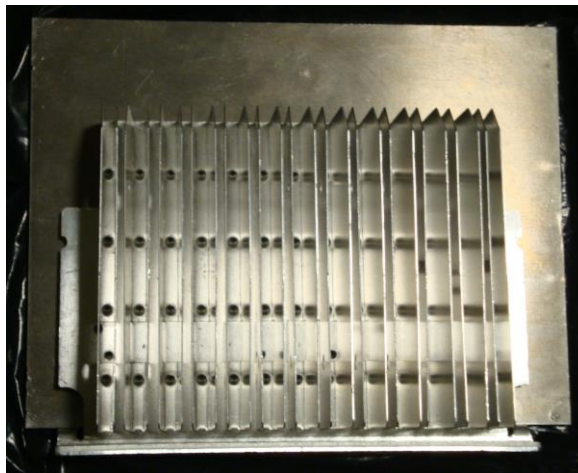
Figura 4.1. Diagrama de flujo de todo el proceso del proyecto.



Fuente: Sumeetstruments (s/f).

Figura 4.2. Celda termoeléctrica Peltier TEC1-12706.

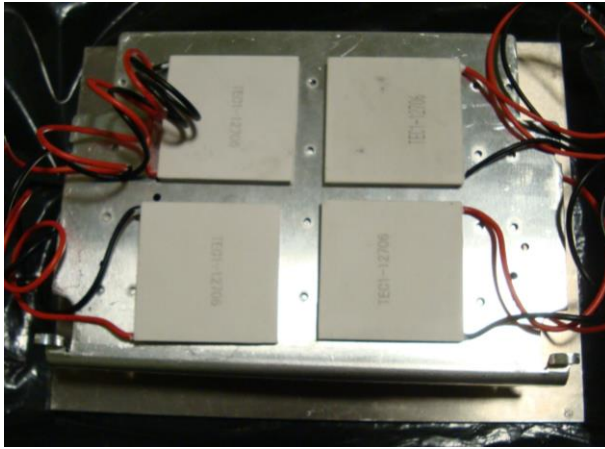
En la figura 4.2., se muestra la celda termoeléctrica Peltier TEC1-12706 que se emplea en el arreglo de prueba experimental y elemento de prueba principal del presente trabajo de investigación de tesis.



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.3. Materiales utilizados en el lado frío y caliente del arreglo de celdas termoeléctricas.

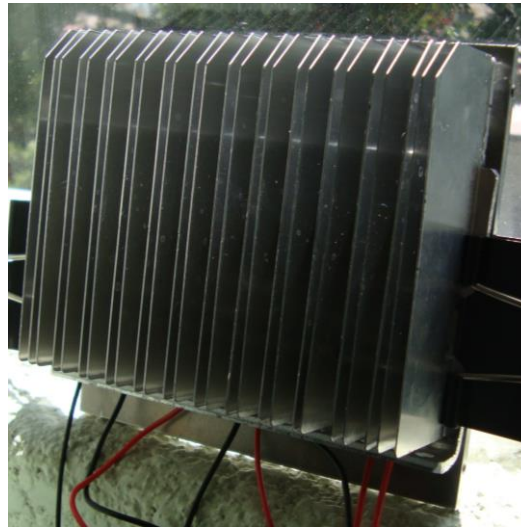
En la figura 4.3., se muestra el disipador de aluminio utilizado en el lado frío y la placa empleada en el lado caliente del arreglo de prueba experimental.



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.4. Arreglo de las cuatro celdas termoeléctricas Peltier.

En la figura 4.4., se muestra la disposición de las celdas termoeléctricas sobre el disipador de aluminio (lado frío), unidas con la pasta térmica conductora para mejorar la conductividad térmica.



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.5. Disipador del lado frío de las celdas termoeléctricas.

En la figura 4.5., se muestra el lado posterior del arreglo de prueba experimental, que es el disipador de aluminio (del lado frío del arreglo).

Medición uno

En esta primera medición se obtuvieron datos de: V, A, °C para el posterior cálculo de la Potencia eléctrica (W). Con el arreglo de prueba experimental que consta de cuatro celdas termoeléctricas conectadas en circuito serie, para el lado caliente del arreglo se utilizó una placa de aluminio de $\frac{1}{4}$ "de espesor sin ennegrecer y para el lado frío de las celdas se acopló a un disipador de calor. Las mediciones se realizaron en un día soleado con horario de 9 AM a 6 PM, registrándolas a los diez minutos iniciales de cada hora.

1. Se colocó el arreglo de celdas termoeléctricas en posición horizontal y orientado hacia el sur (al encontrarse situado en el hemisferio norte), utilizando una punta guía se alineó perpendicularmente con el rayo de sol (sin hacer sombra) para cada una de las mediciones.
2. Una vez alineado se expuso al Sol durante un tiempo determinado, el cual fue el mismo para cada una de las mediciones (diez minutos), se registraron la magnitud las variables Diferencia de potencial y Corriente eléctrica con el multímetro digital.
3. En cada uno de los orificios (barrenos) localizados en ambas superficies del arreglo de prueba, tanto del lado caliente y lado frío, se colocó la punta de medición para registrar la temperatura y así obtener una mejor precisión en la lectura (Figura 4.6. y Figura 4.7.). El selector del multímetro se ajustó en °C.



Fuente: Autoría propia.

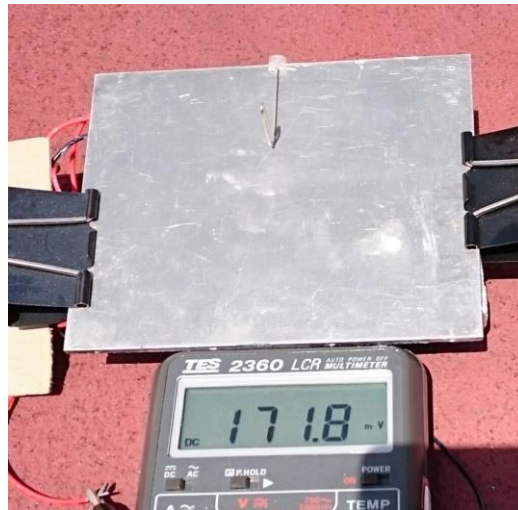
Figura 4.6. Ejemplo de medición de la temperatura del lado caliente del arreglo (placa de aluminio).



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.7. Ejemplo de medición de la temperatura del lado frío del arreglo (disipador).

4. Para la medición de la Diferencia de potencial y Corriente eléctrica, se ajustó el selector del multímetro en la escala de mV y mA de corriente directa. Conectando las puntas de medición del multímetro en conexión paralelo y serie respectivamente a las terminales del circuito formado con las celdas termoeléctricas (Figura 4.8.).



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.8. Ejemplo de medición de la tensión eléctrica con la placa sin ennegrecer.

Medición dos

En esta segunda edición, se situó el arreglo de prueba experimental en un ángulo de 19° (latitud de la Ciudad de México), con respecto a la horizontal, con la placa de aluminio en color negro y rugosa para buscar obtener mayor generación eléctrica. Registrando la medición de las variables desde las 9 AM a las 6 PM a los diez minutos iniciales de cada hora, en un día soleado, sin nubes y sin viento.

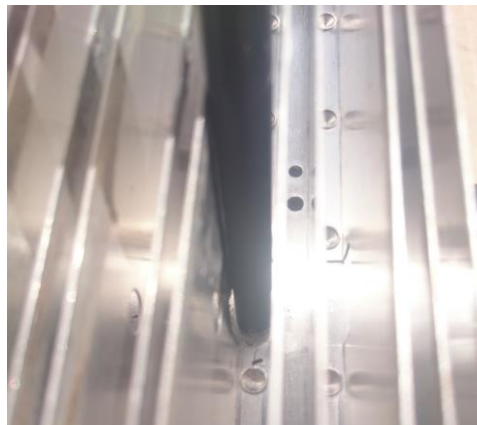
1. El arreglo de celdas termoeléctricas se colocó en un ángulo de inclinación de 19° con respecto a la horizontal y dirigido hacia el sur (al encontrarse situado en el hemisferio norte). Así como en la medición uno, se empleó una punta guía para alinearlos perpendicularmente con el rayo de sol (sin hacer sombra) para cada una de las mediciones.
2. Para cada registro de la medición se expuso durante diez minutos al inicio de cada hora y al término de estos se realizó la medición de las variables.
3. Se ajustó el selector del multímetro en la escala de $^\circ\text{C}$ para la medición de las temperaturas, colocando la punta de prueba en cada uno de los orificios de

ambas superficies del arreglo de prueba (lado frío y lado caliente), para una mejor exactitud (Figura 4.9. y Figura 4.10.).



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.9. Ejemplo de medición de la temperatura de la superficie caliente del arreglo.



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.10. Ejemplo de medición de la temperatura del lado frío del arreglo.

4. De igual forma que en la primera medición, la Diferencia de potencial y la Corriente eléctrica, se registraron colocando el selector del multímetro en las escalas de mV y mA de corriente directa. Las puntas de medición multímetro se conectaron en conexión paralelo y serie respectivamente al circuito formado con las celdas termoeléctricas (Figura 4.11.).



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.11. Medición de la tensión eléctrica con la placa de aluminio en color negro (ennegrecida).

4.3. Procedimiento para realizar las mediciones de la irradiancia solar

En cuanto a las mediciones de la Irradiancia solar se empleó un piranómetro de la marca italiana DELTA OHM modelo HD2102-21 (Delta log 9) para el registro de las mediciones.

Medición tres

De acuerdo con los resultados obtenidos y la experiencia obtenida en la medición uno y dos, se efectuó un tercer conjunto de mediciones, ampliando la frecuencia de éstas para conocer con mejor detalle la respuesta característica del arreglo de celdas termoeléctricas. Se realizaron las mediciones de estudio en la UACM PDV en un horario de 10:30 am a 15:51 pm en un día con previsión de día soleado, midiendo cada treinta segundos durante veinte minutos de cada hora, con el arreglo fijo durante todo el horario de medición.

En cuanto al equipo requerido para realizar las mediciones de las variables de estudio, se utilizó un medidor de Irradiancia solar portátil, un multímetro digital para registrar la Diferencia de potencial y Corriente eléctrica. Así también de un termómetro digital láser para la medición de la temperatura.

Los resultados obtenidos de esta medición de las variables se graficaron para conocer mejor el comportamiento de la Irradiancia solar, Diferencia de potencial y Corriente eléctrica, temperatura en ambos lados de las celdas termoeléctricas (W/m^2 , V, A, °C), así como el cálculo de Potencia eléctrica (W), Energía (mWh) y Eficiencia (η).

El arreglo de prueba experimental se instaló dirigido hacia el sur (por encontrarnos en el hemisferio norte) en posición horizontal, ya que la medición de la Irradiancia solar es sobre la superficie en esta posición (horizontal) y se mantuvo fijo durante todo el tiempo de las mediciones.

Para la toma de lecturas, se conectaron las puntas del multímetro a las terminales de salida del circuito de las celdas termoeléctricas Peltier conectadas en serie. En conexión en paralelo para medir la Diferencia de potencial y conexión en serie para medir la Corriente eléctrica, en las escalas del multímetro de mV, mA y respectivamente.

Para la medición de las temperaturas, se utilizó un termómetro digital laser, ya que es más preciso en la toma de lecturas en cada uno de los orificios (barrenos) hechos para tener una mejor precisión de la temperatura sobre la superficie (lado frío y lado caliente) de la celda termoeléctrica Peltier.

1. Para iniciar el proceso de la medición tres, se colocó una brújula sobre el arreglo de celdas termoeléctricas para orientarlo en dirección Norte-Sur, sobre una superficie horizontal (sobre una mesa), apoyado sobre una superficie aislante de cartón. El lado del arreglo de prueba con el conjunto de cables se sitúa en dirección Norte, para evitar hacer sombra sobre la placa del arreglo al realizar las mediciones (Figura 4.12.).



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.12. Orientación del arreglo.

2. Una vez situando los instrumentos de medición a un lado del arreglo, se procede a iniciar el proceso de registro de las variables: Irradiancia solar (W/m^2), a continuación, las lecturas de la Diferencia de potencial (V) y Corriente eléctrica (mA), seguido de la toma de temperaturas ($^{\circ}C$) del lado caliente (placa absorbente) y del lado frío (disipador) respectivamente.
3. Se iniciaron las mediciones a partir de las 10:30 am a las 15:51 pm. Cada treinta segundos en veinte minutos de cada hora se tomaron las lecturas de las variables de estudio para su registro.
4. El sensor del medidor de Irradiancia solar (W/m^2), se colocó al frente del arreglo, el cual contiene una burbuja (la cual debe estar centrada para nivelarlo) y debe estar paralelo a la superficie en la que se apoya, sin inclinación, para una correcta medición. A continuación, se conecta al medidor de Irradiancia y se activa. En este momento se comienza a tener lectura directamente en la pantalla del instrumento (Figura 4.13.).



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.13. Ubicación del sensor y medición de la Irradiancia solar.

5. Para la medición de la temperatura, se utilizó un termómetro digital láser (tipo pistola) para su registro. El cual, para activarlo, hay que apretar un botón-seguro a un lado del gatillo (el cual lo libera) y se enciende al presionar el gatillo. Se apunta el láser sobre el barreno (agujero), en forma perpendicular respecto a la placa del arreglo y se suelta el gatillo para obtener la lectura de temperatura. Esto se realizará en cada barreno y en cada lado del arreglo de prueba, en el lado caliente (absorbente) y del lado frío (disipador), en cada medición y lectura respectivamente (Figura 4.14. y Figura 4.15.).



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.14. Medición de temperatura del lado caliente.



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.15. Medición de temperatura del lado frío.

6. Para el registro de la Diferencia de potencial se utilizó un multímetro digital en la escala de mV de corriente directa y para la corriente eléctrica se coloca en la escala de mA de corriente directa. Conectando las puntas de medición con los cables del arreglo de prueba en circuito paralelo y circuito serie respectivamente (Figura 4.16.).



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.16. Instrumentos para el registro de las variables de estudio.

7. Una vez que se registraron los datos de dichas variables, se realizó la parte estadística y se graficaron los resultados obtenidos para conocer su comportamiento y la caracterización del arreglo de las celdas termoeléctricas (Información en el capítulo V).

Prueba con una fuente de calor de energía no renovable

Se realizó una prueba complementaria para conocer el comportamiento del arreglo experimental de las celdas termoeléctricas Peltier con una fuente de calor alimentada con combustible fósil (gas L.P.), sin que esta parte del objetivo del trabajo de tesis. Sin embargo, aportó datos importantes de los valores de corte del arreglo experimental de las celdas termoeléctricas. La duración total de la prueba tuvo una duración de seis minutos, realizando mediciones de las variables por minuto.

Para esto se colocó el arreglo de celdas termoeléctricas sobre uno de los quemadores de una estufa de uso doméstico, para medir las temperaturas en ambas superficies del arreglo experimental, así como la Corriente eléctrica y Diferencia de potencial.

1. Se encendió el quemador y se reguló la flama en fuego bajo (95°C).
2. Una vez encendido, se colocó una hoja de papel aluminio sobre el quemador de la estufa doméstica y encima el arreglo experimental de celdas termoeléctricas Peltier (con el lado de la superficie caliente sobre el quemador, Figura 4.17.).



Fuente: Autoría propia.

Figura 4.17. Prueba con fuente de calor de energía no renovable.

3. Se realizaron las mediciones de temperatura en ambos lados del arreglo sobre los (barrenos), como se describió en las anteriores mediciones (mediciones uno

y dos), usando la punta de temperatura del multímetro digital en la escala de °C.

4. De igual forma que en las mediciones anteriores (uno y dos) las conexiones en paralelo y serie respectivamente para la Diferencia de potencial y Corriente eléctrica, en la escala de mV y mA en corriente directa, se realizaron de igual manera.

Capítulo V. Análisis de resultados

- 5.1. Resultados del comportamiento característico de las variables de estudio con el arreglo de prueba experimental (medición uno).**
- 5.2. Resultados del comportamiento característico de las variables de estudio con el arreglo de prueba experimental (medición dos).**
- 5.3. Resultados del comportamiento característico de las variables de estudio con el arreglo de prueba experimental (medición tres).**
- 5.4. Resultados de la prueba realizada con el arreglo de prueba experimental con una fuente de calor de energía no renovable.**
- 5.5. Resultados de la correlación de variables de estudio y gradientes en la generación eléctrica.**
- 5.6. Conclusiones.**
- 5.7. Recomendaciones.**

Capítulo V. Análisis de resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de las mediciones uno, dos y tres, realizadas con el arreglo de prueba experimental de las variables de estudio. Las mediciones uno y dos fueron la base de prueba para la medición tres, con la cual se obtuvieron los resultados característicos y concluyentes del proyecto de investigación de este trabajo de tesis.

5.1. Resultados del comportamiento característico de las variables de estudio con el arreglo de prueba experimental (medición uno).

En esta primera medición experimental, para entender el comportamiento de las variables en la medición, se obtuvieron datos con el arreglo de prueba experimental como son: Diferencia de potencial (mV), Corriente de salida (mA), Temperatura del lado frío y del lado caliente ($^{\circ}\text{C}$). Para el cálculo del Diferencial de temperatura (Δt) y la Potencia eléctrica (mW). Las condiciones atmosféricas existentes durante la medición fueron de un día soleado, sin viento y sin nubes, en un horario de 9 AM a 6 PM. El arreglo de prueba experimental se colocó al inicio de cada hora orientado hacia el sur, obteniendo los resultados de las variables medidas como se muestran en la tabla 5.1.

Durante la toma de las mediciones de la Diferencia de potencial, Corriente eléctrica y temperatura, se notó el que lado frío también incrementó su temperatura debido a la transferencia de calor por conducción a través de las celdas termoeléctricas Peltier. El lado frío se enfrió pasivamente, esto quiere decir que únicamente es por convección utilizando un disipador para celdas termoeléctricas.

Tabla 5.1. Valores obtenidos de las variables de estudio por el arreglo de prueba experimental con la placa sin ennegrecer.

Horario (h)	Temperatura lado caliente (°C)	Temperatura lado frío (°C)	$\Delta t = T_c - T_f$ (°C)	Diferencia de potencial (V)	Corriente eléctrica (A)	Potencia eléctrica (W)
9	23.2	18.5	4.7	0.117	0.0052	0.0006
10	25.7	23.8	1.9	0.128	0.0068	0.0009
11	28.2	27.4	0.8	0.135	0.0083	0.0011
12	33.4	31.8	1.6	0.155	0.0095	0.0015
13	35.8	33.4	2.4	0.165	0.0105	0.0017
14	39.6	38.4	1.2	0.171	0.0118	0.0020
15	41.2	40.8	0.4	0.195	0.0155	0.0030
16	46.8	45.4	1.4	0.223	0.0257	0.0057
17	42.5	40.3	2.2	0.205	0.0235	0.0048
18	38.5	35.7	2.8	0.165	0.0152	0.0025

Fuente: Autoría propia.

5.2. Resultados del comportamiento característico de las variables de estudio con el arreglo de prueba experimental (medición dos).

Los resultados obtenidos en esta segunda medición de las variables, que corresponden a un día soleado, son en un horario de 9 AM a 6 PM. Iniciando la temperatura en el lado caliente del arreglo con 38.8°C y en lado frío de 37.5°C, con un Δt de 1.3 °C, registrando una Diferencia de potencial de 185.7 mV, una Corriente eléctrica de 24.8 mA, y una Potencia eléctrica de 4.6 mW. Durante el transcurso de las mediciones estas lecturas se incrementaron y variaron con la Diferencia de temperaturas entre el lado frío y caliente del arreglo en un rango que va de 1.1°C a 1.5°C, la Diferencia de potencial osciló entre 185.7 mV y 238.4 mV, la Corriente eléctrica variando entre 23.2 mA y 32.7 mA, y la Potencia eléctrica en un rango que fue de 4.6 mW a 7.8 mW. Se notó un pico de Diferencia de potencial de 238.4 mV, de Corriente eléctrica de 26.7 mA, y Potencia eléctrica de 7.8 mW a las 16 h. Concluyendo estas mediciones con los siguientes valores: el lado caliente del arreglo con 40.8 °C, lado frío de 39.7 °C, un Δt de 1.1°C, con Diferencia de potencial de 195.8 mV, Corriente eléctrica de 23.2 mA, y Potencia eléctrica de 4.5 mW.

Una de las situaciones que se presentaron durante la Diferencia de potencial y Corriente eléctrica, fue que, al ennegrecer la placa de aluminio, no refleja la luz absorbiendo más calor que el color característico del aluminio, de esta forma se incrementó la diferencia de potencial al realizar las mediciones como se puede notar en la tabla (Tabla 5.2.). - Valores obtenidos de la medición de las variables a la salida del arreglo de las celdas termoeléctricas -.

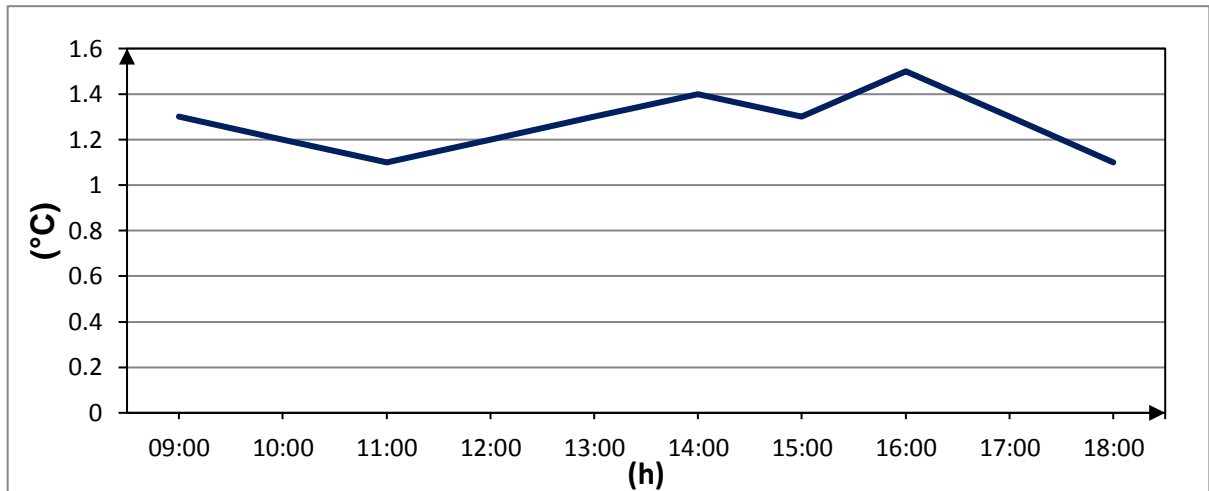
Se registraron mediciones al inicio de cada hora, de la Diferencia de potencial, Corriente eléctrica, así como las temperaturas en el lado caliente y frío del arreglo de las celdas termoeléctricas respectivamente. Se puede notar el cambio en tales variables durante cada hora del día, así también como en la Diferencia de temperatura.

Tabla 5.2. Valores obtenidos de las variables de estudio por el arreglo de prueba experimental con la placa ennegrecida.

Horario (h)	Temperatura lado caliente (°C)	Temperatura lado frío (°C)	$\Delta T = T_c - T_f$ (°C)	Diferencia de potencial (V)	Corriente de salida (A)	Potencia del arreglo (W)
9	38.8	37.5	1.3	0.185	0.0248	0.0046
10	39.4	38.2	1.2	0.192	0.0266	0.0051
11	40.7	39.6	1.1	0.212	0.0282	0.0060
12	40.4	39.2	1.2	0.218	0.0302	0.0066
13	41.5	40.2	1.3	0.224	0.0298	0.0067
14	43.8	42.4	1.4	0.232	0.0312	0.0072
15	44.4	43.1	1.3	0.225	0.0306	0.0069
16	45.3	43.8	1.5	0.252	0.0327	0.0082
17	42.7	41.4	1.3	0.215	0.0267	0.0057
18	40.8	39.7	1.1	0.195	0.0232	0.0045

Fuente: Autoría propia.

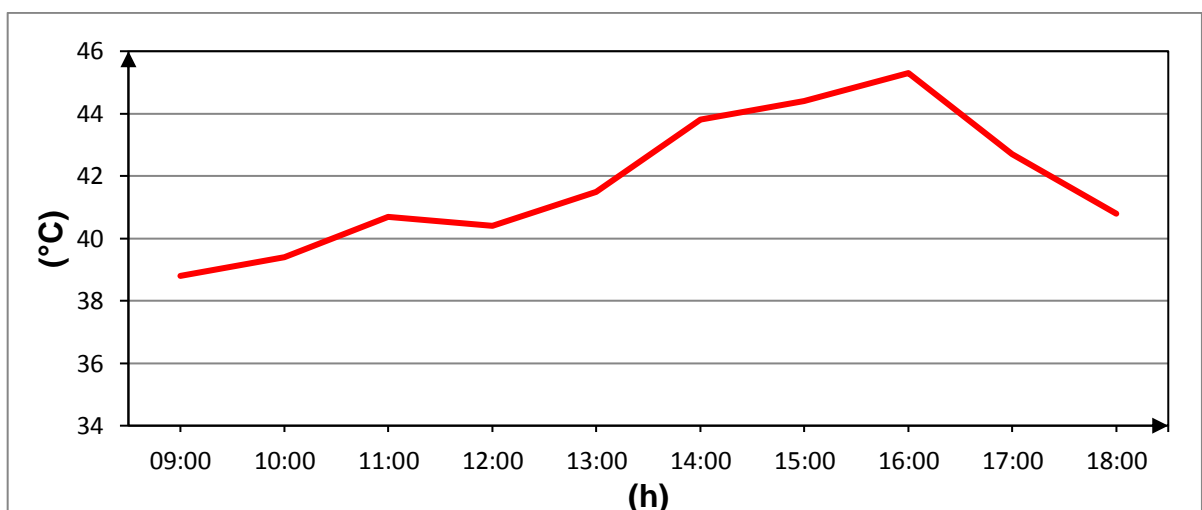
Cómo se puede notar en las mediciones de las variables, estas aumentaron cuando el Sol se encontraba a las 16 h, con una Diferencia de potencial de 252 mV y Corriente eléctrica de 32.7 mA. A continuación, se muestran las gráficas del comportamiento de los resultados de las variables de estudio.



Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.1. Diferencial de temperatura entre las superficies del arreglo.

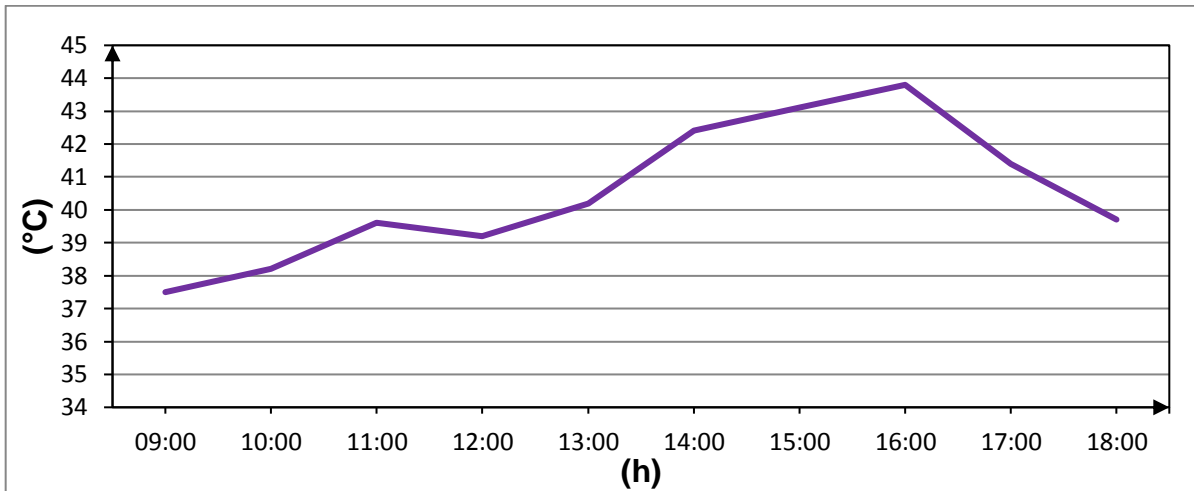
En esta figura el Δt inició a las 9 AM con un valor de 1.3° C y concluyó en 1.1°C a las 18 PM, alcanzando un máximo de 1.5 °C a las 16 h y un mínimo de 1.1 °C a las 11 AM (Gráfica 5.1.).



Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.2. Temperatura del lado caliente del arreglo.

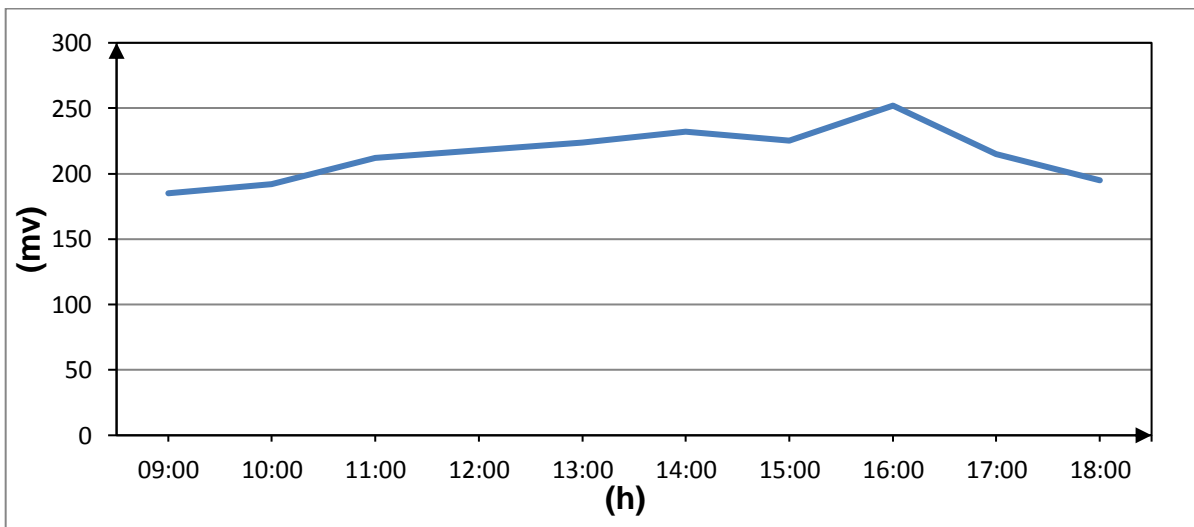
En la figura se muestra que la temperatura del lado caliente inició con un valor de 38.8° C a las 9 AM, terminando en 40.8°C a las 18 PM, alcanzando un máximo de 45.3°C a las 16 h y un mínimo de 40.4 °C a las 12 AM (Gráfica 5.2.).



Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.3. Temperatura del lado frío del arreglo.

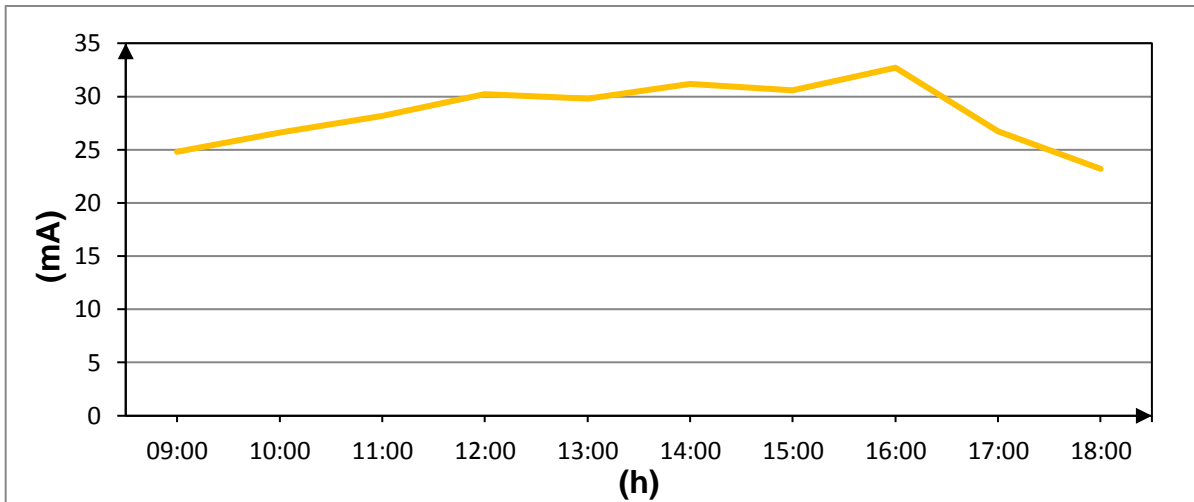
La temperatura en el lado frío comenzó con un valor de 37.5° C a las 9 AM, concluyendo en 39.7°C a las 18 PM, alcanzando un máximo de 45.8°C a las 16 h y un mínimo de 39.2 °C a las 12 AM (Gráfica 5.3.).



Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.4. Diferencia de potencial del arreglo.

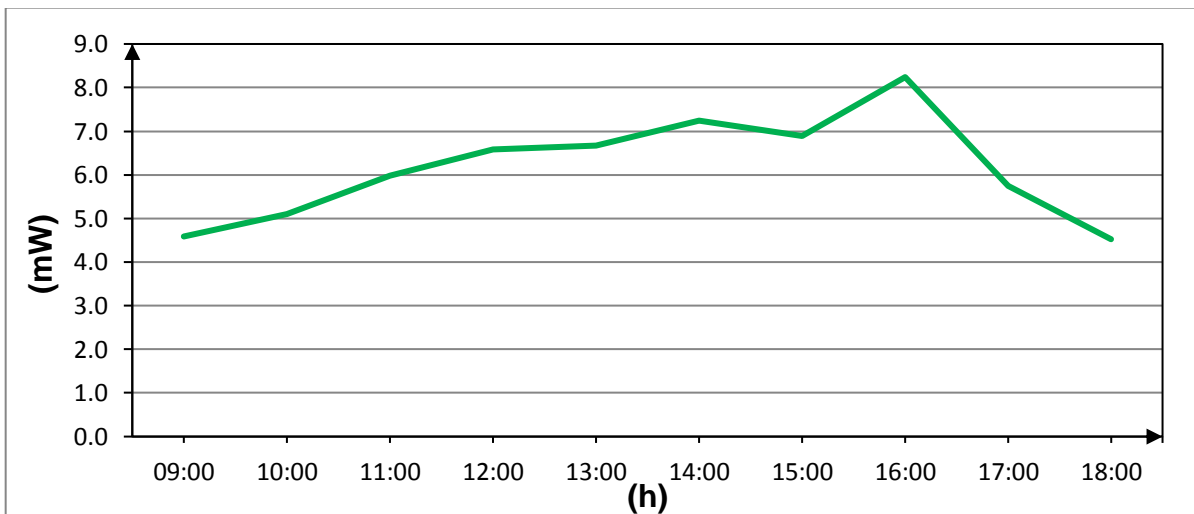
La diferencia de potencial en las terminales del arreglo de prueba inició a las 9 AM con un valor de 185.7 mV y concluyó en 39.7 mV a las 18 PM, alcanzando un valor máximo de 45.8 mV a las 16 h y un valor mínimo final de 39.2 mV a las 12 AM (Gráfica 5.4.).



Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.5. Corriente eléctrica de salida del arreglo.

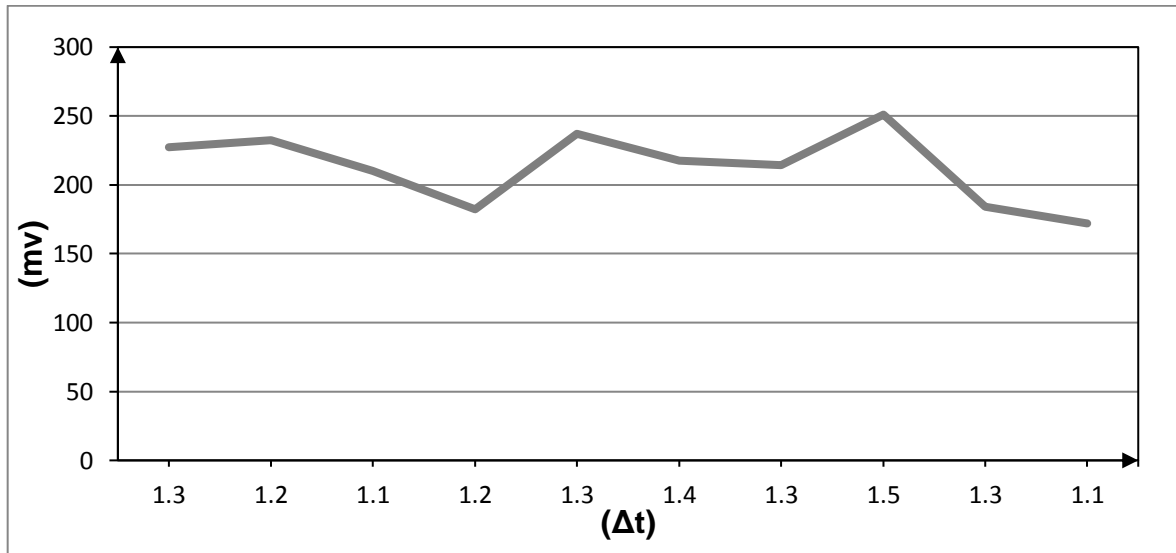
La corriente eléctrica comenzó en un valor de 28.8 mA a las 9 AM, alcanzando un máximo de 32.7 mA a las 16 h y valor mínimo final de 23.2 mA a las 18 PM (Gráfica 5.5.).



Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.6. Potencia eléctrica del arreglo.

En relación con la potencia eléctrica, esta inició con un valor de 4.6 mW a las 9 AM, terminando en un valor de 4.5 mW a las 18 PM, alcanzando un valor máximo de 7.7 mW a las 16 h y un valor mínimo final de 4.5 mW a las 18 PM (Gráfica 5.6.).



Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.7. Diferencia de potencial Vs Diferencial de temperatura (Δt).

En esta comparación (Gráfica 5.7.) de la Diferencia de potencial (mV) Vs el incremento de temperatura (Δt), se puede notar que el comportamiento de la diferencia de potencial no es lineal respecto a las oscilaciones de temperatura, ya que esto es característico de la celda termoeléctrica Peltier, en lo que respecta al efecto Seebeck en las celdas termoeléctricas.

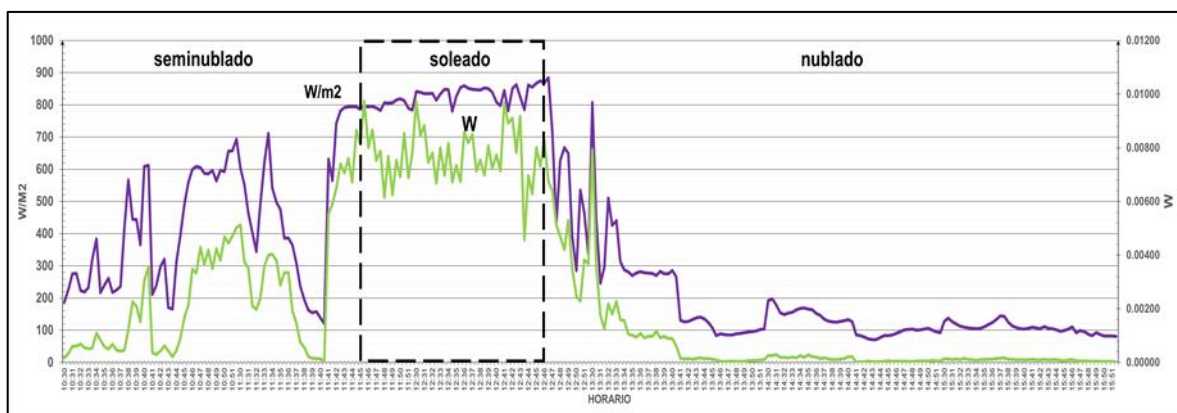
Obteniendo los siguientes resultados de las mediciones se tiene: una Diferencia de potencial (lectura mínima de 185 mV y una lectura máxima de 255 mV), una Corriente eléctrica (lectura mínima 23.2 mA y una lectura máxima 32.7 mA) una Potencia eléctrica (lectura mínima de 5 mW y una lectura máxima de 8 mW).

5.3. Resultados del comportamiento característico de las variables de estudio con el arreglo de prueba experimental (medición tres).

Con la experiencia obtenida en las mediciones (uno y dos) y sus resultados obtenidos, se realizaron mediciones con mayor frecuencia (Apéndice F). Graficando los datos obtenidos de las variables de estudio para su análisis y evaluación del comportamiento característico con el arreglo experimental de celdas termoelectricas Peltier.

Gráfica de la Irradiancia solar (W/m^2) vs Potencia eléctrica (W).

En este comparativo (Gráfica 5.8.) de la Irradiancia solar vs Potencia eléctrica, se puede notar que conforme el horario de la medición se acerca al mediodía, la Potencia eléctrica se incrementa conforme aumenta la magnitud de la Irradiancia solar, en condición de día soleado y sin nubes. El descenso de las curvas es originado por la cantidad de nubosidad existente, que disminuyó la cantidad de irradiancia solar registrada y por lo tanto la potencia eléctrica obtenida del arreglo. Es notorio que el arreglo de celdas es sensible a los niveles de irradiancia solar y a la interrupción de esta, ya que ambas curvas muestran un patrón similar, mostrando un mejor desempeño en un horario de 11:45 am a 12:46 pm ya que después de este horario ambas curvas descienden debido al aumento de nubes en el cielo.

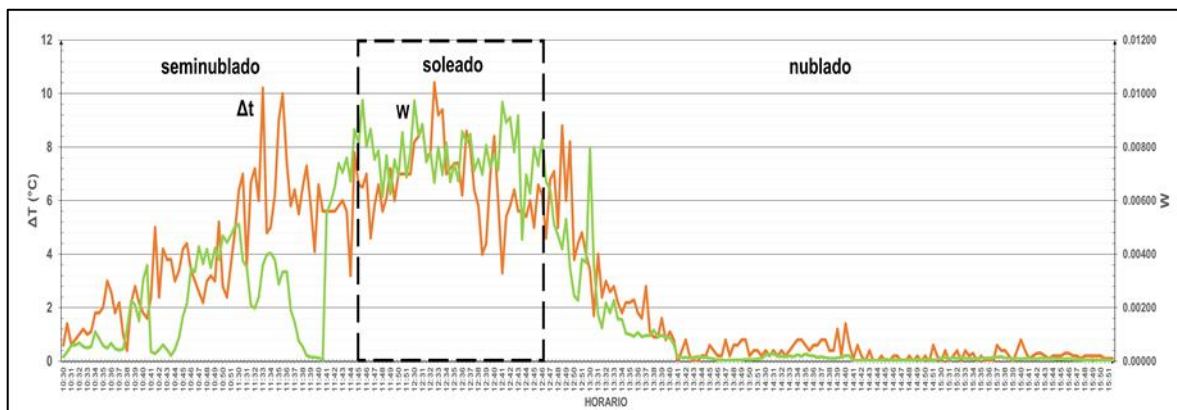


Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.8. Irradiancia solar (W/m^2) Vs Potencia eléctrica (W).

Gráfica de la Diferencia de temperatura (Δt) vs Potencia eléctrica (W).

En el análisis (Gráfica 5.9.), se puede ver que la Diferencia de temperatura aumenta al acercarse al medio día con condiciones soleadas de cielo y que también la curva de Potencia eléctrica muestra un aumento, aunque se puede notar que no todo diferencial de temperatura alto indica una salida de una mayor magnitud de Potencia eléctrica. Ambas curvas decrecen posterior a las 12:46 pm debido al aumento en la nubosidad en el cielo y descenso de temperatura.

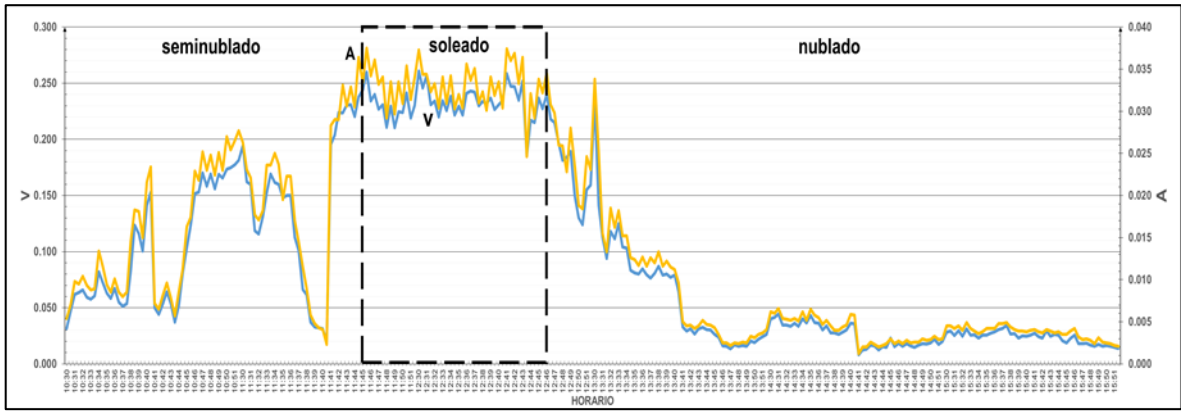


Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.9. Diferencial de temperatura (Δt) Vs Potencia eléctrica (W).

Gráfica de la Corriente eléctrica (A) vs Diferencia de potencial (V).

En la siguiente comparación (Gráfica 5.10.) se nota que conforme las mediciones se acercan al mediodía y las condiciones de cielo soleado existan, se muestra un mejor comportamiento de las variables de estudio en un horario de 11:45 am a 12:46 pm, aumentando los niveles de la Corriente eléctrica (A) y de la Diferencia de potencial (V). Los descensos en la magnitud de las variables, se refleja en las curvas, debido a la nubosidad que disminuye la luz solar, originando descensos de temperatura.

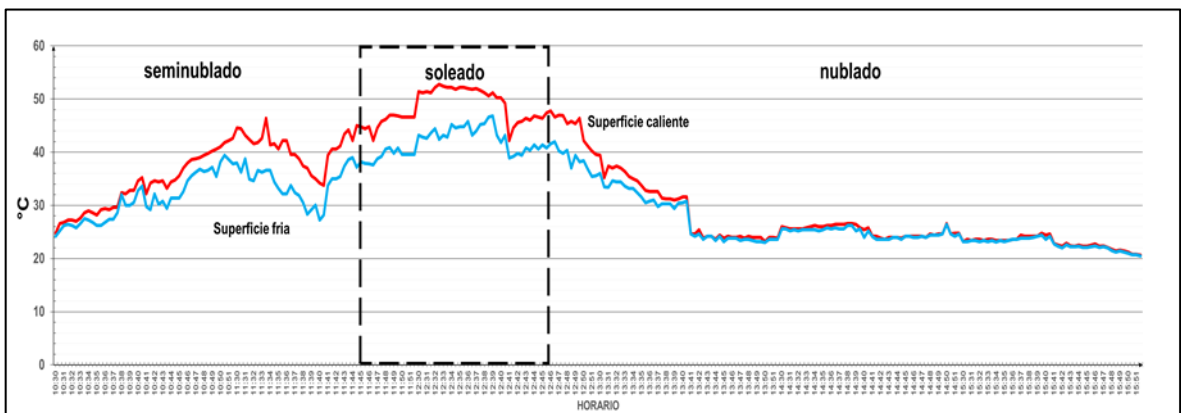


Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.10. Corriente eléctrica (A) Vs Diferencia de potencial (V).

Gráfica de la Temperatura del lado caliente (°C) vs Temperatura del lado frío (°C) del arreglo de celdas.

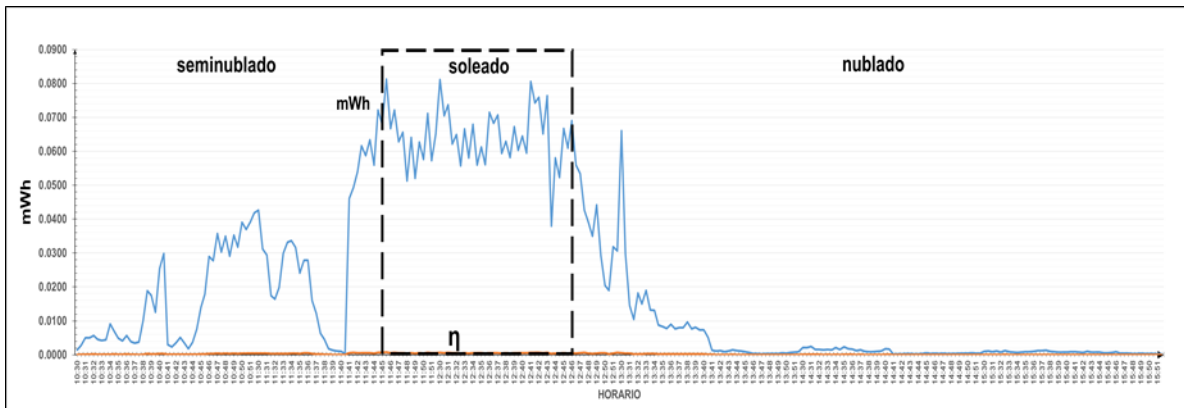
En la comparación (Gráfica 5.11.), se puede ver que conforme las mediciones se acercan al medio día, la temperatura del lado caliente del arreglo (absorbente) y la Temperatura del lado frío (disipador) son muy próximas, conforme la magnitud de Temperatura del lado caliente aumenta también el lado frío aumenta (por conducción) y este la disipa al ambiente por convección. Ambas temperaturas disminuyen en función de las condiciones de Sol, inercia térmica del material y a la nubosidad atmosférica, decayendo después de las 12:46 pm como se puede notar en la gráfica.



Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.11. Temperatura lado caliente (°C) Vs Temperatura lado frío (°C).

Gráfica de la Energía generada (mWh) vs Eficiencia del arreglo de celdas (η).

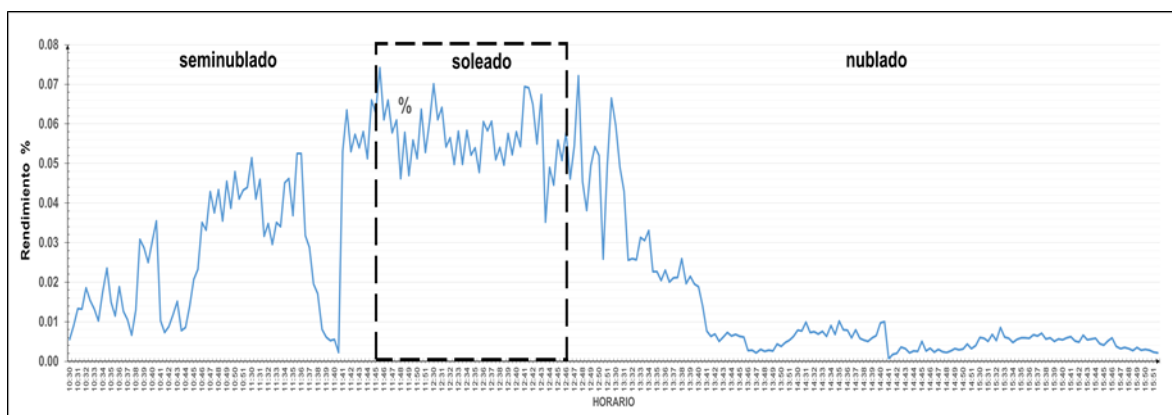


Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.12. Energía generada (mWh) Vs Eficiencia (η).

En el análisis (Gráfica 5.12.), se puede notar que la generación de energía del arreglo de celdas termoeléctricas se incrementa a partir de las 11:45 am a las 12:46 pm, ya que a partir de este horario es cuando las condiciones de Sol mejoraron, con cielo despejado sin nubes. Siendo el mejor horario con las condiciones adecuadas para la generación de energía, ya que es visible que, al momento de presentarse alguna nube, disminuye instantáneamente la cantidad de Energía generada. Presentando valor máximo de 0.08 mWh a las 12:30 pm y un mínimo de 0.0002 mWh a las 15:31 pm. En cuanto a la Eficiencia, esta presentó valor máximo de 0.0007 y mínimos de 0 de eficiencia debido a que las magnitudes de la Diferencia de potencial y Corriente eléctrica que son del orden de mV y mA respectivamente, así como a la oscilación en las condiciones de luz solar, debido a nubes.

Gráfica del Rendimiento del arreglo de las celdas termoelectricas (%).



Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.13. Rendimiento del arreglo de celdas termoelectricas.

En el anterior comportamiento (Gráfica 5.13.), se puede notar que el Rendimiento del arreglo de las celdas termoelectricas se va incrementando conforme aumenta el nivel de Irradiancia solar (W/m^2) y la Potencia eléctrica (W) durante el transcurso de las mediciones como se presenta en la figura 5.3.1. El comportamiento y variación del Rendimiento está en función de los cambios de tales variables, siendo principalmente de la Potencia eléctrica (W) generada por el arreglo de celdas, la variación de esta característica en el rendimiento de las celdas tiene un valor máximo de 0.07 a las 12:41 pm en condiciones de cielo soleado y un valor mínimo de 0 en diferentes horarios a partir de las 14:40 pm en adelante, que fue cuando el cielo se nubló con esporádicas ventanas de luz solar.

En el comparativo de las variables de estudio medidas del conjunto de gráficas; la Corriente eléctrica, Diferencia de potencial y por lo tanto la Potencia eléctrica, Energía producida, Eficiencia obtenida, dependen y la magnitud aumentan cuando la variable Irradiancia solar está presente (cielo soleado) es estable y aumenta, obteniendo mejor respuesta cuando se encuentra en un valor a partir de los $700 W/m^2$ y la temperatura del lado caliente de las celdas supera los $40^\circ C$, lo que influye en la Potencia eléctrica (W) generada por el arreglo de celdas termoelectricas. Alcanzando valores pico de: 0.261 V, 0.037 A, 0.0097 W, con $841.9 W/m^2$ de radiación solar (estable durante el tiempo de la medición con luz directa sin nubes) a una temperatura de $51.4^\circ C$ en el lado caliente y $43.2^\circ C$ en el lado frío, con un Diferencial de

temperatura de 8.2°C entre las superficies de las celdas. Cabe mencionar que un diferencial de temperatura como el mencionado anteriormente con valores picos de Irradiancia solar, no se puede comparar con otro diferencial de temperatura cuando la variable solar está en aumento o en decremento debido a las condiciones atmosféricas (nubes y/o viento), que aunque pueden ser diferenciales de una magnitud aproximada, solo se pueden comparar cuando ambos experimenten las mismas condiciones, para evaluar la generación eléctrica de las celdas termoeléctricas. Durante las mediciones de la Irradiancia solar se mantuvo relativamente estable de 11:45 am a 12:46 pm, siendo el periodo de tiempo en el cual la generación de Corriente eléctrica y Diferencia de potencial fue mayor.

Como datos finales e importantes de la medición de las variables de estudio del arreglo de celdas termoeléctricas Peltier, se obtuvieron los siguientes y mejores datos de generación eléctrica característicos del arreglo, como se muestran a continuación (Tabla 5.3.).

Tabla 5.3. Datos característicos más relevantes de las variables de estudio.

Variable de estudio	Irradiancia	Temperatura	Temperatura	Diferencia	Diferencial	Corriente
	Solar	Lado caliente	Lado frío	de temperatura	de potencial	eléctrica
Unidad	W / m ²	°C (LC)	°C (LF)	Δt	mV	mA
Magnitud	841.9	51.4	43.2	8.2	261	37.3
Variable de estudio	Potencia	Energía	Eficiencia	Rendimiento	Coefficiente	Figura de
	eléctrica	producida			Seebeck	mérito ZT
Unidad	mW	mWh	η	(%)	mV/°K	Adimensional
Magnitud	9.7	0.08	0.0008	0.08	0.928	0.169

Fuente: Autoría propia.

Los datos se obtuvieron a las 12:30 pm en condiciones atmosféricas de cielo limpio soleado, con una temperatura ambiente de 33.8°C, y una velocidad del aire de 1.3 m/s, con las cuales se registraron las siguientes mediciones de las variables de estudio: Irradiancia solar de 841.9 W/m², Temperatura del lado caliente de 51.4°C, Temperatura del lado frío de 43.2°C, Diferencia de temperatura de 8.2°C, Diferencia de potencial de 261 mV, Corriente eléctrica de 37.3 mA, Potencia eléctrica de 9.7 mW, Energía producida de 0.08 mWh, Rendimiento de 0.0701 %, Coeficiente Seebeck de 0.928 y Figura de mérito ZT de 0.169. Por lo cual se determina que las condiciones de

día soleado con luz solar directa sobre el arreglo de las celdas termoeléctricas es la mejor condición atmosférica para una mayor generación eléctrica.

5.4. Resultados de la prueba realizada con el arreglo de prueba experimental con una fuente de calor de energía no renovable (gas L.P.).

La prueba realizada con el arreglo de prueba experimental se hizo para conocer el comportamiento del arreglo de las celdas termoeléctricas con una fuente energética no renovable (gas L.P.), sin que esta sea en el sentido y parte del objetivo del trabajo de tesis. Obteniendo los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 5.4:

Tabla 5.4. Resultados obtenidos de la prueba con la fuente de energía no renovable (fuego bajo de estufa doméstica).

Minuto	1	2	3	4	5	6
Diferencia de potencial (V)	0.140	0.298	1.880	2.450	2.640	2.690
Corriente eléctrica (A)	0.036	0.075	0.273	0.303	0.295	0.285
Potencia eléctrica (W)	0.005	0.022	0.513	0.742	0.779	0.767
Temperatura lado caliente (°C)	24	31	35.4	49	56.7	84.6
Temperatura lado frío (°C)	20	26.8	32.8	40.4	45.6	71.9
Diferencial de temperatura Δt (°C)	4	4.2	2.6	8.6	11.1	12.7

Fuente: Autoría propia.

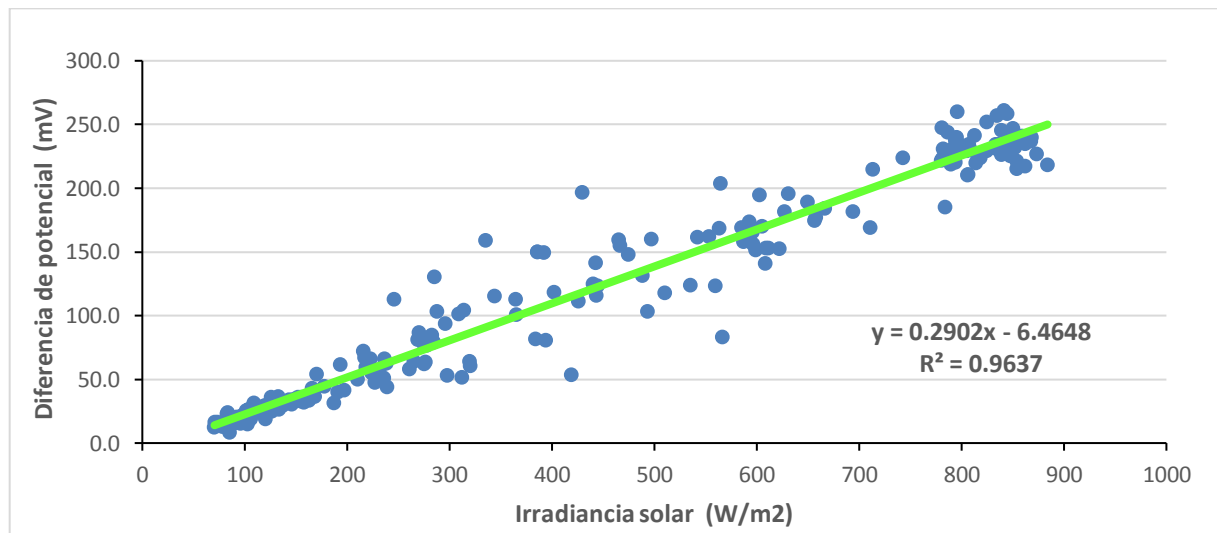
Las mediciones concluyeron en la sexta medición, alcanzando una temperatura en la superficie caliente de 84.6 °C y en la superficie fría de 71.9°C, Δt de 12.7 °C, con una Diferencia de potencial de 2.69 V, una Corriente eléctrica de 0.285 A y Potencia eléctrica de 0.767 W. Posteriormente el arreglo dejó de generar debido a que se alcanzó una temperatura que las daño y no funcionaran dentro. Convirtiéndose en una prueba destructiva con la cual se obtuvieron los valores de corte del arreglo de celdas termoeléctricas Peltier TEC1-12706.

5.5. Resultados de la correlación de variables de estudio y gradientes en la generación eléctrica.

Para complementar el comportamiento característico de los datos obtenidos, se realizó el análisis de correlación de las variables: Irradiancia solar (W/m^2), que es la variable de estudio independiente que representa la fuente de

energía y de la variable de estudio diferencia de potencial (mV), que representa la generación eléctrica respectivamente. Que, de acuerdo con el análisis estadístico realizado con dichas variables de estudio, se obtuvo un coeficiente de correlación de R: 0.9817, lo cual significa que existe una alta relación positiva entre las variables de estudio analizadas, y calculando el coeficiente de determinación $R^2 = 96.37 \%$, se obtuvo e indica el alto porcentaje de la relación entre dichas variables.

Por lo que se concluye que el 96.37 % de la variable de estudio Diferencia de potencial (mV) generada por el arreglo de prueba experimental de celdas termoeléctricas se debe a la Irradiancia solar (W/m^2). Con estos resultados se cumple y comprueba el objetivo de la tesis en el aprovechamiento de la energía solar en relación con la generación de diferencia de potencial mediante el efecto Seebeck.



Fuente: Autoría propia.

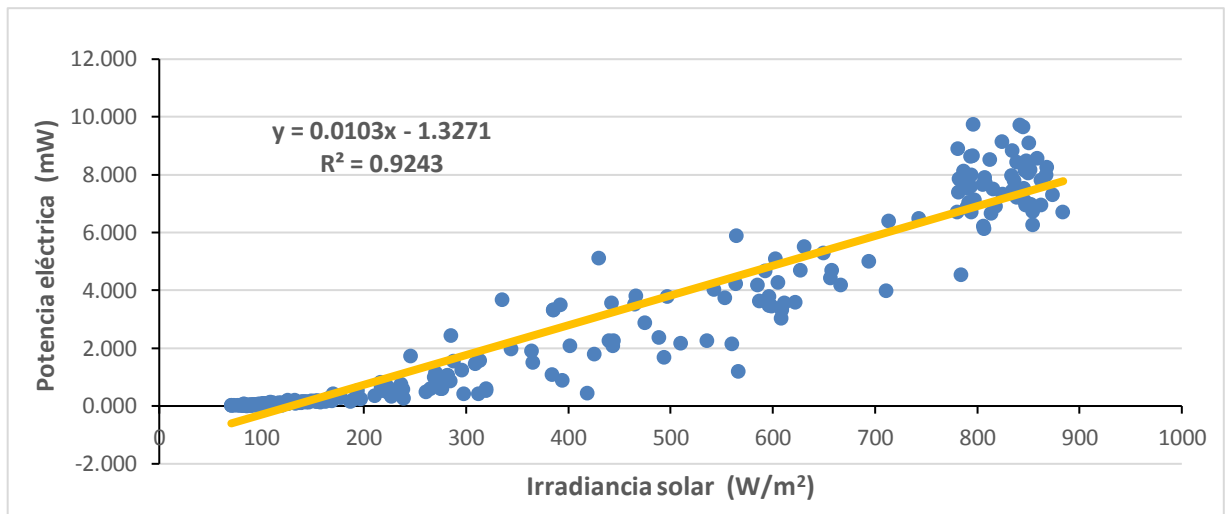
Gráfica 5.14. Correlación: Irradiancia solar (W/m^2) Vs Diferencia de potencial (V).

En la gráfica 5.14., de dispersión de los datos, se muestra el comportamiento característico de las variables de estudio analizadas.

Correlación de las variables de estudio: Irradiancia solar (W/m^2) y la Potencia eléctrica.

De igual forma que en el punto anterior, también se aplicó el mismo análisis estadístico de correlación para las variables de estudio: Irradiancia solar (W/m^2) Vs Potencial eléctrico (V), para la evaluación de su comportamiento. Donde la relación

entre las variables es alta y positiva, con un coeficiente de correlación de R: 0.9614, y un coeficiente de determinación $R^2 = 92.43 \%$, el cual es el porcentaje de relación entre las variables. Esto significa que el 92.43 % de la Potencia eléctrica generada se debe a la Irradiancia solar (W/m^2), el cual es un valor muy alto de aprovechamiento, como se puede observar en la Gráfica 5.15.



Fuente: Autoría propia.

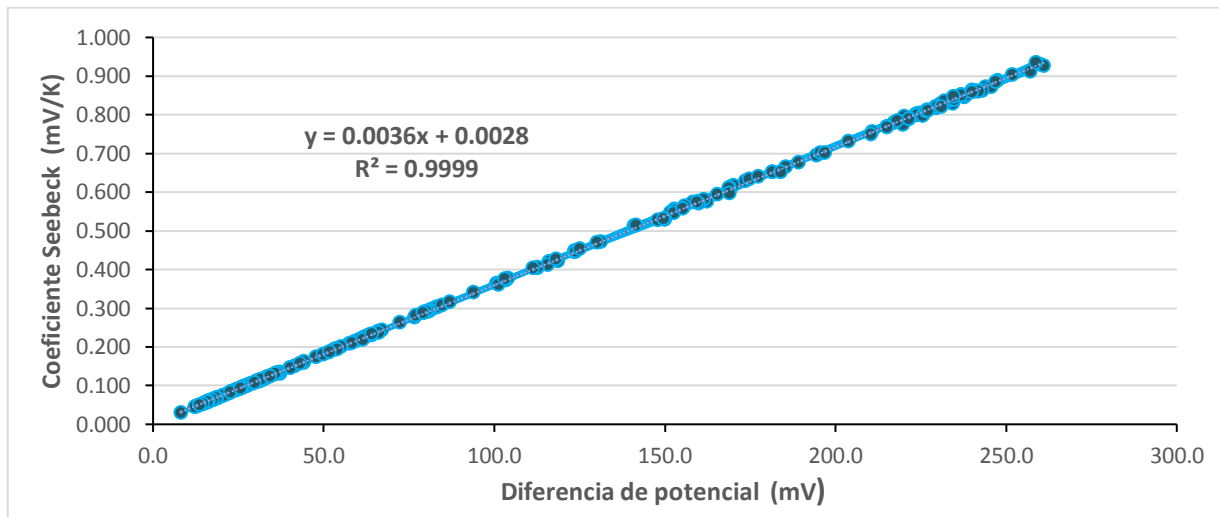
Gráfica 5.15. Correlación: Irradiancia solar (W/m^2) Vs Potencia eléctrica (W).

Correlación de las variables de estudio: Diferencia de potencial (V) Vs Coeficiente Seebeck (S).

También se realizó el análisis de correlación de las variables: Diferencia de potencial (mV) Vs Coeficiente Seebeck (S), para entender mejor su comportamiento y relación. El análisis estadístico para el coeficiente de correlación fue de R: 0.9999, significando la muy alta relación positiva entre las variables, y con un coeficiente de determinación de $R^2 = 99,99 \%$, lo cual indica el alto porcentaje de la relación y linealidad entre las variables.

Por lo que se concluye que el 99.99 % de la variable de estudio Coeficiente Seebeck (S), se debe a la Diferencia de potencial generada (mV). El coeficiente Seebeck (S), es un gradiente que expresa la capacidad termoeléctrica del material, Teluro de Bismuto (Bi_2Te_3), para generar una Diferencia de potencial (mV) a partir del Diferencial de temperatura (Δt) en el arreglo de prueba experimental de celdas

termoeléctricas. En la siguiente gráfica 5.16., se muestra el comportamiento característico entre las variables de estudio.



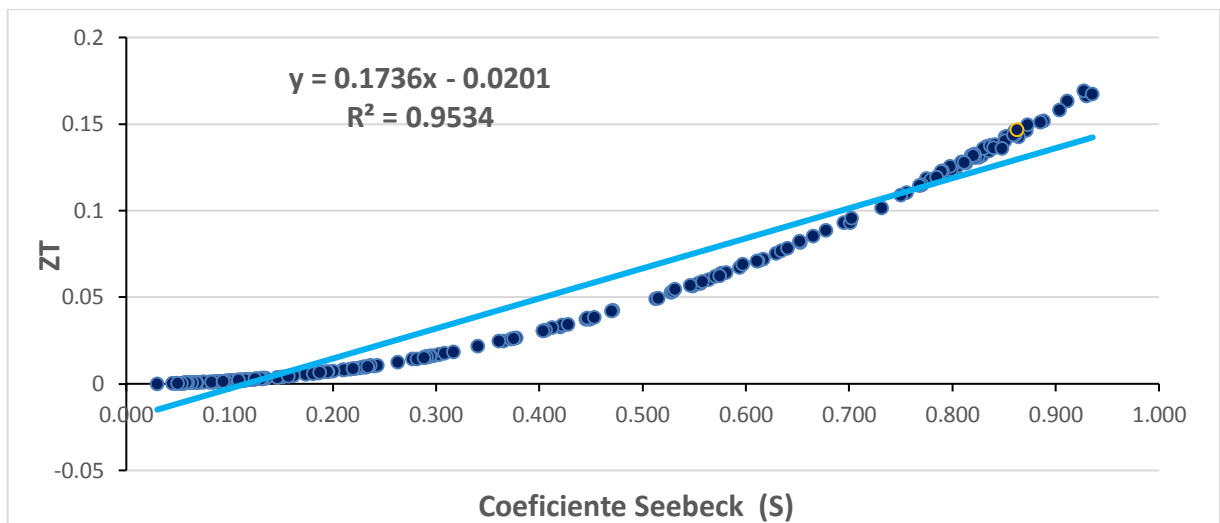
Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.16. Correlación: Diferencia de potencial (mV) Vs Coeficiente Seebeck (S).

Correlación de las variables de estudio: Coeficiente Seebeck (S) Vs Figura de mérito (ZT).

En la siguiente gráfica se relacionan el Coeficiente Seebeck Vs Figura de mérito ZT donde el coeficiente de correlación R es de: 0.9534. El cual indica una alta relación, directa y positiva. En cuanto al coeficiente de correlación R^2 es de: 95.34% que indica un alto porcentaje de aprovechamiento del gradiente ZT en función del Coeficiente Seebeck – que presentó un valor alto de 0.928 mV/°K o 928 $\mu\text{V}/^\circ\text{K}$ –.

En esta gráfica 5.17., se muestra un comportamiento no lineal de la figura de mérito ZT en función del coeficiente Seebeck (S). Esto se debe a que al aumentar el valor de (S), el valor de ZT presenta variaciones (crecientes, decrecientes o estables) debido al comportamiento del diferencial de temperatura, conductividad térmica y eléctrica en el material termoeléctrico – lo que originó un valor bajo debido a los factores mencionados –. La eficiencia del material Teluro de Bismuto (Bi_2Te_3) de las celdas termoeléctricas representada por ZT depende de la capacidad de generación eléctrica de dicho material en función de la Diferencia de temperatura originada entre las superficies de las celdas termoeléctricas.

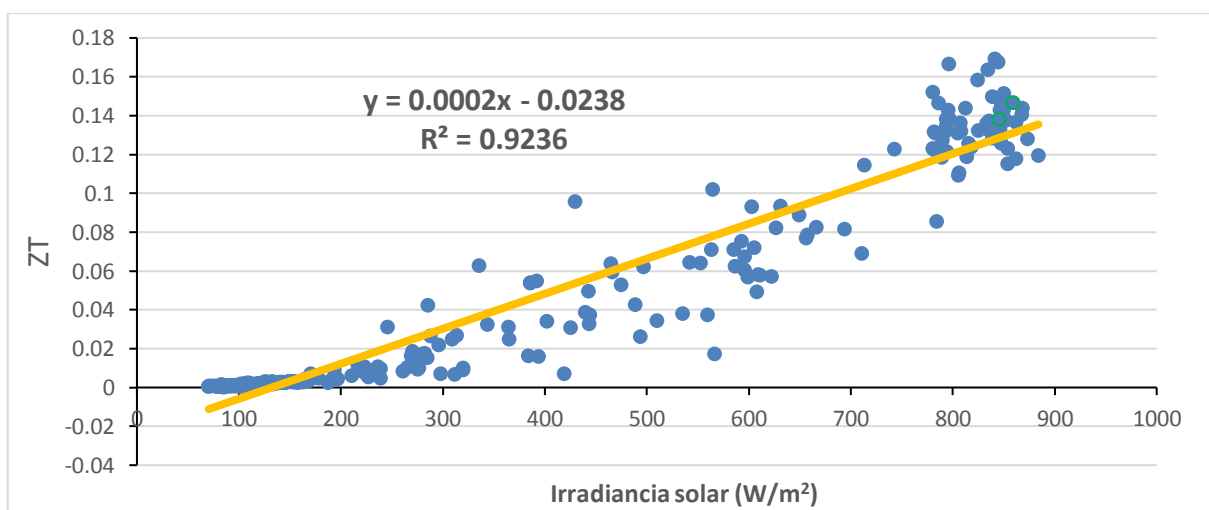


Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.17. Correlación: Coeficiente Seebeck (S) Vs Figura de mérito (ZT).

Correlación de las variables de estudio: Irradiancia solar (W/m^2) Vs Figura de mérito (ZT).

En esta gráfica se relaciona la Irradiancia solar (W/m^2) Vs Figura de mérito ZT, el valor del coeficiente de correlación es R: 0.9610. El cual expresa la alta relación, directa y positiva entre las variables. En cuanto al coeficiente de determinación R^2 : 92.36%, significa el valor en porcentaje del gradiente de la Figura de mérito ZT generado, se debe a la Irradiancia solar (Gráfica 5.18.).



Fuente: Autoría propia.

Gráfica 5.18. Correlación: Irradiancia solar (W/m^2) Vs Figura de mérito (ZT).

5.6. Conclusiones.

Se observó y comprobó que el elemento principal y variable de estudio es la Irradiancia solar, que debe ser directa y estable para que se origine el diferencial de temperatura entre las superficies del arreglo de las celdas termoeléctricas propuesto para generar energía eléctrica y alcanzar los valores de mayor tensión y corriente eléctricas, mostrados en la Tabla 5.3., con lo cual se comprueba el efecto Seebeck. Cuando la irradiancia solar es difusa no presenta las condiciones y no es adecuada para que se produzca el diferencial de temperatura suficiente para producir el efecto Seebeck.

Concluyendo que la condición de cielo soleado es la mejor en el comportamiento característico de las variables de estudio para la generación eléctrica, la condición de cielo seminublado es inestable y de cielo nublado es nula.

La presencia de partículas impide el paso de la luz solar, la claridad de la atmósfera u opacidad de la misma al paso de los rayos solares, así como la suspensión y dispersión de partículas contaminantes en el aire, que actúan como un bloqueador de la luz solar, influyendo en el aumento de la radiación directa. Debido a estos factores mencionados que actúan en el medio por el que viaja la luz, contribuyen en los repentinos cambios en los niveles de la Diferencia de potencial y Corriente eléctrica.

Se observó que en la medición de las variables de estudio: Diferencia de potencial, Corriente eléctrica y Diferencia de temperatura, la resolución de los instrumentos de medición multímetros digital de: 0.1 mV, 0.1 mA y termómetro digital de: 0.1 °C respectivamente, no impidieron que se produzca el efecto Seebeck en el arreglo de celdas termoeléctricas. Los datos de la resolución del instrumento se pueden consultar en el apéndice E.

En relación con el comparativo de los datos registrados en la medición tres, con los resultados de los trabajos de la Universidad de Malasia (Syadza, M. et al, 2019), y de la Universidad de Texas A&M y College Station (Park, P. et al, 2014) EUA, se obtuvieron valores más altos, aun siendo resultados ya publicados. Concluyendo que,

en la medición de las variables de estudio, la metodología empleada fue adecuada en el registro de los datos de las variables de estudio y que no fue necesario esperar un periodo de tiempo de: 5, 10 y 15 segundos para registrarlos (como lo hicieron las instituciones mencionadas anteriormente), fueron instantáneas y estables.

De acuerdo a lo observado en la medición número tres, se concluye que la superficie oscura (color negro) de acabado áspero, a la cual se le practicaron trazos sobre su superficie, mejora el comportamiento de la absorción térmica, así como el aplicar pasta térmica en la unión con ambos lados de las celdas termoeléctricas — los cuales son una aportaciones propias a este trabajo de investigación de tesis —, favorecen la absorción de la Irradiancia solar al reducir reflejos de luz y la conductividad térmica respectivamente. Ambos factores influyen en el comportamiento de los datos obtenidos de las variables de estudio, por lo que es adecuado su uso en el arreglo de celdas termoeléctricas Peltier.

Otra aportación importante son los barrenos practicados en la placa y el disipador, como puntos de prueba para facilitar y mejorar las mediciones de temperatura en el arreglo de celdas termoeléctricas.

Al aplicar una fuente de energía no renovable (gas L.P.) al arreglo de celdas termoeléctricas (generador eléctrico), se alcanzaron temperaturas límite de sus especificaciones (temperatura de corte), por lo que las celdas dejaron de funcionar y no generaron electricidad, siendo una condición irreversible y destructiva.

Así también se concluye que la Diferencia de temperatura, Diferencia de potencial influyeron en obtener un Coeficiente Seebeck alto y la conductividad eléctrica y térmica del material termoeléctrico en la Figura de mérito ZT . Por lo que la correlación del gradiente ZT (gradiente de comportamiento integral de la celda termoeléctrica) en función del Coeficiente Seebeck fue del 95.34%, significando un alto porcentaje de aprovechamiento, y en las variaciones en el comportamiento de la respuesta de la celda termoeléctrica. De igual forma se observó cierta tendencia en el comportamiento de los datos hacia lo fotoeléctrico en la generación eléctrica de acuerdo con condiciones del entorno. Por lo que se está aprovechando el comportamiento dual de

la luz; como onda por medio del efecto Seebeck, y como partícula al presentarse tendencia de comportamiento hacia efecto fotoeléctrico.

También se concluye que: al realizar los análisis estadísticos del comportamiento de las variables de estudio en función de la Irradiancia solar, los coeficientes de determinación muestran altos porcentajes de aprovechamiento de la energía solar, como se muestra en el punto 5.5. Con lo cual se comprueba la eficiencia energética dentro de la capacidad de generación de las celdas termoeléctricas y cumple el objetivo de este trabajo de investigación de tesis.

Finalmente, el efecto Seebeck en las celdas termoeléctricas aún están lejos de ser una alternativa energética debido a sus características de baja generación — si es que se quiere comparan con los paneles fotovoltaicos, por ejemplo, aunque son diferentes principios de funcionamiento: efecto Seebeck y efecto fotoeléctrico respectivamente —. Concluyendo que requieren de condiciones externas para un alto diferencial de temperatura producido entre las superficies de las celdas termoeléctricas, que influyen en la generación de electricidad.

5.7. Recomendaciones.

Por lo investigado, analizado y concluido con el Efecto Seebeck, empleando las celdas termoeléctricas en el presente proyecto de investigación de tesis, propongo los nombres de panel solar termoeléctrico (PST), panel termoeléctrico solar (PTS), panel termoeléctrico Seebeck y panel solar Seebeck (PSS). De igual manera las celdas Peltier, nombre por el cual se les conoce común y comercialmente se adicione también el de Seebeck, efecto que se origina y se estudió en este trabajo de investigación de tesis. Por lo que considero que el término más adecuado que reúne los efectos que se producen en las celdas termoeléctricas Peltier, sea de celdas termoeléctricas Peltier-Seebeck, celdas termoeléctricas PS, SP, CSP, CPS, o la combinación de las propuestas.

Referencias bibliográficas físicas

- [1]. Ahiska, R. Nykyruy, L.I. Omer, G. Mateik, G. D. (2016). The thermoelectric solar panels. *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University*. Vol. 3, No. 1, pp. 9-1. [DOI: 10.15330/jpnu.3.1.9-14](https://doi.org/10.15330/jpnu.3.1.9-14)
- [2]. Ander, J. Jon, J, Gil. J. (2013). Propiedades mecánicas del telurio de bismuto (Bi_2Te_3) procesado mediante torsión bajo alta presión. ISSN 0366-3175. eISSN 2173-0431. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. Volumen 52,3, pp. 137-142. [DOI: 10.3989/cyv.182013](https://doi.org/10.3989/cyv.182013)
- [3]. Bai, S., Lu, H., Wu, T., Yin, X., Shi, X., & Chen, L. (2014). Numerical and experimental analysis for exhaust heat exchanger for automobile thermoelectric generators. *Case Studies in Thermal Engineering*. Vol. 4, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2014.07.003>
- [4]. Chen, J., Li, K., Liu, C., Li, M., Lv, Y., Jia, L., & Jiang, S. (2017). Enhanced Efficiency of Thermoelectric Generator by Optimizing Mechanical and Electrical Structures. *Energies*. Vol. 10, pp. 1329. <https://doi.org/10.3390/en10091329>
- [5]. Fankai, M. Lingen, Ch. Fengrui, S. (2016) Effects of thermocouples Physical size on the performance of the TEG-THE system. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. Vol. 11(3), pp. 375-382. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctt080>
- [6]. Fayazbaksh K., Abedian A., (2009). Materials selection for applications in space environment considering outgassing phenomenon. *Advances in space research*. [DOI:10.1016/j.asr.2009.11.017](https://doi.org/10.1016/j.asr.2009.11.017)
- [7]. Hajovsky R., Pies M., Richtar L., (2011). Analysis of the appropriateness of the use of Peltier Cells as energy sources. *MDPI*. Vol.106, pp. 1-13. [DOI: 10.3390/s16060760](https://doi.org/10.3390/s16060760)

- [8]. Jawaid, S. Akbar, M. (2019). Solar Thermal Power Generation Using Seebeck Effect. *Department of Electrical Engineering, Bahria University*.
<https://www.researchgate.net/publication/331968122>
- [9]. Kumar, V. Mudkanna, V. Wavekar, R. Yadav, S. Yerunkar, M. (2019). Heat Recovery from Commercial Kitchen Using Thermoelectric Generator. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Vol. 06-4, pp. 1624.
<https://www.irjet.net/archives/V6/i4/IRJET-V6I4345.pdf>
- [10]. Kraemer D., Poudel B., Ping Feng H., Caylo Ch., Yu B., Yan X., Ma Y., Wang X., Wang D., Muto A., McEnaney K., Chiesa M., Ren Z., Chen G. (2011). High-performance flat-panel solar thermoelectric generators with thermal concentration. *Nature Materials*. Vol 10, pp. 532-538.
[DOI: 10.1038/NMAT3013](https://doi.org/10.1038/NMAT3013) <https://www.nature.com/articles/nmat3013>
- [11]. LeBlanc, S. (2014). Thermoelectric generators: Linking material properties and systems engineering for waste heat recovery applications. *Sustainable Materials and Technologies*, 1-2, pp. 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2014.11.002>
- [12]. Moreno, A. (2006). Sistema de Adquisición, digitalización y pruebas de un detector bidimensional infrarrojo. *Universidad Nacional Autónoma de México*. pp. 32-69.
- [13]. OPPA European Social Fund Prague & EU: We invest in your future. *Evropska Unie*. pp. 1-5.
- [14]. Orr, B., Akbarzadeh, A., Mochizuki, M., & Singh, R. (2016). A review of car waste heat recovery systems utilizing thermoelectric generators and heat pipes. *Applied Thermal Engineering*, 101, pp. 490-495.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.10.081>

- [15]. Park, P. Choi, G. S. Rohani, E. Song, I. (2014). Optimization of thermoelectric system for pavement energy harvesting. *Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02693-3*, pp.1827-1838. [DOI: 10.1201/b17219-220](https://doi.org/10.1201/b17219-220)
- [16]. Ramírez, C. (2010). Optimización de Módulos Peltier para Refrigeración. Instituto Politécnico Nacional, pp. 14-29.
- [17]. Rubio, C. Martheyn, G. Vera, E. (2017). Termoelectricidad: uso de las celdas Peltier en el campo de la refrigeración y sus principales aplicaciones. *Revista Inventum*, 12(22), pp. 9-16.
[DOI: 10.26620/uniminuto.inventum.12.22.2017.9-16](https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.12.22.2017.9-16)
- [18]. Radovan, H. Martin, P. Lukáš, R. (2016). Analysis of the Appropriateness of the Use of Peltier Cells as Energy Sources. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. 16(6): pp.760. [DOI: 10.3390/s16060760](https://doi.org/10.3390/s16060760).
- [19]. Ravi, M. Bala, B, Seshu, M. (2106). Estimation of Average Solar Radiation on Horizontal and Tilted Surfaces for Vijayawada Location. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)* 11 (3)-4, pp. 43-53.
[DOI: 10.9790/1676-1103044353](https://doi.org/10.9790/1676-1103044353)
- [20]. Solanki, P.M, Deshmuckh, D.S, Diware, D.R, (2016). A Review on factors to be considered for a thermoelectric power Generation System Design.
- [21]. Sonal, R. Yashika, B. Shikhar, P. Shubham, S. (2017). A review on Generation of Electricity using Peltier Module. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 6(1), pp. 453-457.
- [22]. Su, C. Q., Wang, W. S., Liu, X., & Deng, Y. D. (2014). Simulation and experimental study on thermal optimization of the heat exchanger for automotive exhaust-based thermoelectrical generators. *Case Studies in Thermal Engineering*, 4, pp. 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2014.06.002>

- [23]. Sumiga, I. Srpak, D. Kondić, Ž. (2018). Application of Thermoelectric Modules as Renewable Energy Sources. *Technical Journal / Tehnicki Glasnik*, 12(3), pp. 151–158. <https://doi.org/10.31803/tg-20180301181527>
- [24]. Syadza, M. Yusop, A. Sadhiqin, A. Kammaruddin. Nisa, K. (2019). Evaluation of Voltage Generation and Thermal Distribution from Road using Thermoelectric Technology. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 –8958, Volume-8 Issue-6*.

Referencias bibliográficas electrónicas

- [25]. AccuWeather (2020). Consulta de la previsión meteorológica en la Ciudad de México. Recuperado de: <https://www.accuweather.com>
- [26]. Aster (2009-2024). Cubo de telururo de bismuto tipo P y N como materiales termoeléctricos con dados de electrodo. Recuperado de: <https://astermaterials.com/es/producto/bismuth-telluride/>
- [27]. Comisión reguladora de energía (2019). Mapa de la irradiancia solar promedio en México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cre>
- [28]. Elementos de la tabla periódica (s.f.). Características del cobre. Recuperado de: <https://elementos.org.es/cobre>
- [29]. Instituto de Geofísica (2019). UNAM. Radiación solar. Recuperado de: http://areas.geofisica.unam.mx/radiacion_solar/index.html
- [30]. Nasa Power. (2020) All Sky Insolation Incident on a Horizontal Surface. Recuperado de: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>

- [31]. Propiedades aluminio vs acero (s.f.). Propiedades del Aluminio. Recuperado de:<http://3.bp.blogspot.com/PtLtuY6mhP0/URwSjqTPMKI/AAAAAAAAAT4/xrKXA8-7D8k/s640/propiedades+aluminio+vs+acero.gif>
- [32]. Sumeetstruments (s/f). Celda termoeléctrica Tec1-12706. Recuperado de:<https://sumeetstruments.com/TEC1-12706-Peltier-Thermoelectric-Cooler-6A-Module>
- [33]. Sunra (s/f). Imagen de tipos de radiación. Recuperado de <http://www.sunra.mx/recurso.php?i=1>

Apéndices

- A. Especificaciones de la celda termoeléctrica Peltier TEC1-12706.
- B. Datos técnicos del aluminio.
- C. Datos técnicos del cobre.
- D. Datos técnicos del Teluro y Bismuto.
- E. Especificaciones del equipo de medición (multímetro digital).
- F. Especificaciones del equipo de medición (termómetro digital).

Apéndice A. Especificaciones de la celda termoelectrica Peltier TEC1-12706.

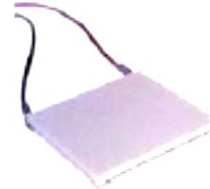


Thermoelectric
Cooler

TEC1-12706

Performance Specifications

Hot Side Temperature (°C)	25°C	60°C
Qmax (Watts)	60	67
Delta Tmax (°C)	88	76
I _{max} (Amps)	8.4	8.4
V _{max} (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.88	2.30



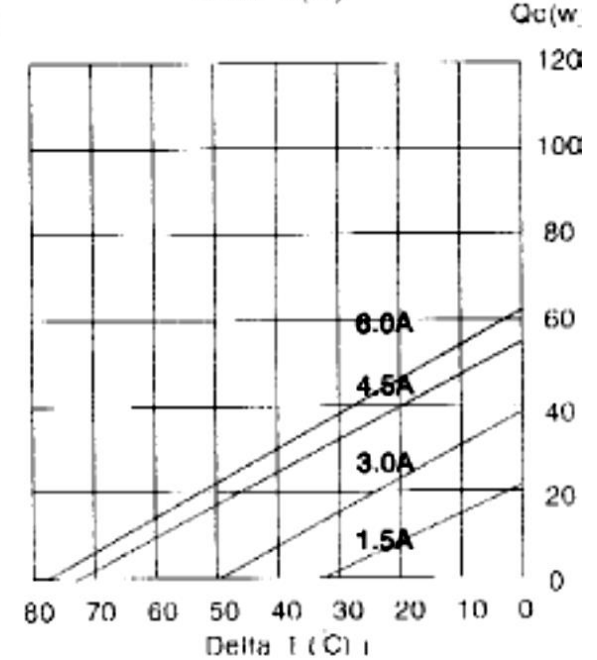
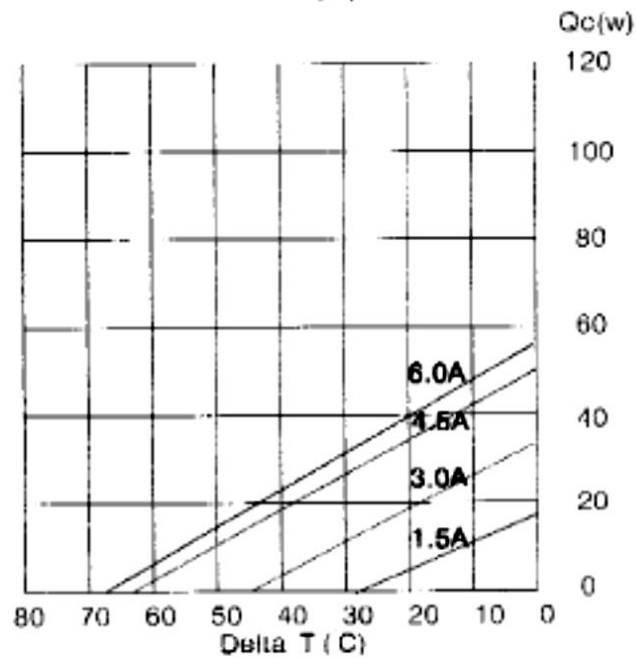
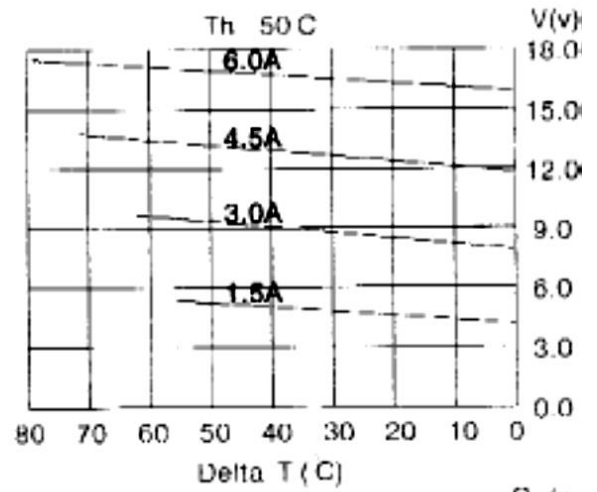
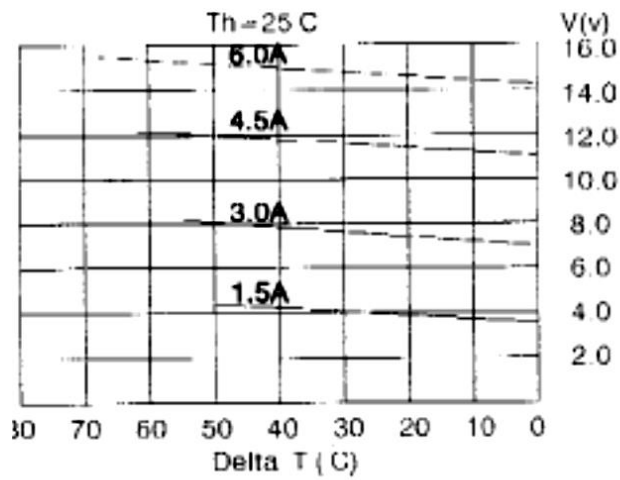
Performance curves on page 2

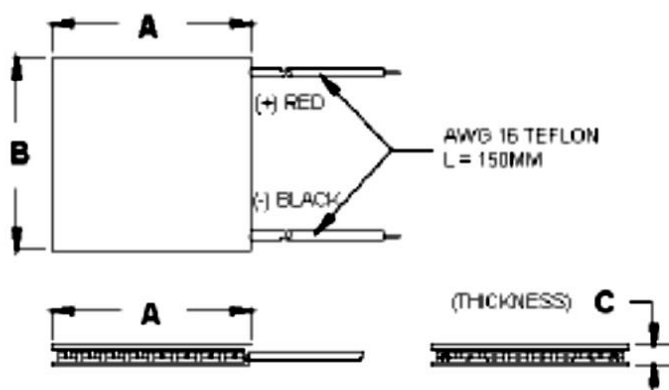
Copyright HB Corporation. HB reserves the right to change these specifications without notice.

Rev 2.03



TEC1-12706





Ceramic Material: Alumina (Al_2O_3)
 Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

Size table:

A	B	C			
40	40	3.8			

Operating Tips

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed I_{max} or V_{max} when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2%.

Apéndice B. Datos técnicos del aluminio.

Propiedad		Aluminio
1	Esfuerzo (N/mm ²)	250
2	Elasticidad E, Módulo de Young (MPa)	70.000
3	Densidad (g/cm ³)	2,7
4	Punto de fusión (°C)	660
5	Rango de temperatura de trabajo (°C)	-250 a 150
6	Conductibilidad eléctrica (m/Ohm mm) ²	29
7	Conductividad térmica (W/m °C)	200
8	Coefficiente de expansión lineal x 10 ⁻⁶ /°C	24
9	No-magnético	Sí
10	Tóxico	No
11	Resistente a la corrosión	Sí
12	Mecanizado	Fácil
13	Maleable	Sí
14	Costo	Barato

Fuente: Blogspot

Apéndice C. Datos técnicos del cobre.

Características del cobre

A continuación puedes ver una tabla donde se muestra las principales características que tiene el cobre.

	Cobre
Símbolo químico	Cu
Número atómico	29
Grupo	11
Periodo	4
Aspecto	metálico, rojizo
Bloque	d
Densidad	8960 kg/m ³
Masa atómica	63.536 u
Radio medio	135 [3]pm pm
Radio atómico	145 [3]pm (Radio de Bohr)
Radio covalente	138 [3]pm pm
Radio de van der Waals	140 [3]pm pm
Configuración electrónica	[Ar]3d ¹⁰ 4s ¹
Estados de oxidación	+1, +2
Óxido	levemente básico
Estructura cristalina	cúbica centrada en las caras
Estado	sólido
Punto de fusión	1357.77 K
Punto de ebullición	3200 K
Calor de fusión	13.1 kJ/mol
Electronegatividad	1,9
Calor específico	385 J/(K·kg)
Conductividad eléctrica	58,108 × 10 ⁶ S/m
Conductividad térmica	400 W/(K·m)

Fuente: elementos.org.es

Apéndice D. Datos técnicos del Teluro y Bismuto.

A continuación, se listan las propiedades físicas del Teluro y Bismuto.

Simbolo químico	Te	Bi
Número atómico	52	83
Grupo	16	15
Periodo	5	6
Aspecto	gris plateado	rojo, blanco brillante
Bloque	p	p
Densidad	6240 kg/m ³	9780 kg/m ³
Masa atómica	127.6 u	208.98038 u
Radio medio	140 pm	160 pm
Radio atómico	123	143
Radio covalente	135 pm	146 pm
Configuración electrónica	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³
Estados de oxidación	+2, 4, 6	3, 5 (levemente ácido)
Estructura cristalina	hexagonal	romboédrica
Estado	sólido	sólido
Punto de fusión	722.66 K	544.4 K
Punto de ebullición	1261 K	1837 K
Calor de fusión	17.49 kJ/mol	11.3 kJ/mol
Presión de vapor	23,1 Pa a 272,65 K	0,000627 Pa a 544 K
Electronegatividad	2,1	2,02 (Pauling)
Calor específico	202 J/(K·kg)	122 J/(kg·K)
Conductividad eléctrica	200 S/m	0,867 10 ⁶ m ⁻¹ ·Ω ⁻¹
Conductividad térmica	2,35 W/(K·m)	7,87 W/(m·K)

TES-2360 LCR Multimeter



FEATURES

- Auto-power off 3-3/4 digit, 4000 count DMM with Peak Hold
- Frequency Count (Auto-Ranging)
- Inductance, Capacitance and Temperature (diode type) checks



SPECIFICATION

Voltage (AC/DC)

Range	400m/4/40/400/750V(AC)/1000V(DC)
Accuracy	DC - 0.5% rdg + 1dgt AC - 1% rdg + 3 dgts
Resolution	0.1mV (AC/DC)
Input Impedance	10MW
Overload Protection	1100VDC & 800VAC

Temperature

Range	150°C & 302°F
Accuracy	0.1°C & 0.1°F
Sensor	Diode Type (COM & VΩ terminal) (-) (+)

Capacitance

Range	4nF/40nF/400nF/4μF/40μF/400μF
Accuracy	3% rdg + 10 dgts
Resolution	1pF

InductanceRange

Range	4m/40m/400m/4H/40H
Accuracy	5% rdg + 10 dgts
Resolution	1 m H

Range	400/4K/40K/400K/4M/40M Ω
Accuracy	0.8% rdg + 2 dgts
Resolution	0.1 Ω
Overload protection	500V DC/AC (Also for Continuity & Diode Test)

Resistance(W)

Current(AC/DC)

Range	400 m /4m/40m/400m/10A (AC/DC)
Accuracy	DC - 1% rdg + 1dgt AC - 1.2% rdg + 3 dgts
Resolution	0.1 m A (AC/DC)
Overload protection	0.5A/250V Fuse & Diode (AC/DC)

Frequency

Auto Range	4K/40K/400K/4000KHz
Accuracy	0.5% rdg + 1dgt
Resolution	1Hz
Sensitivity	1V
Logic	1 "▲" Display: 2.4 \pm 0.3V 0 "▼" Display: 0.7 \pm 0.3V
Minimum Detectable pulse width	25ns

Capacitance

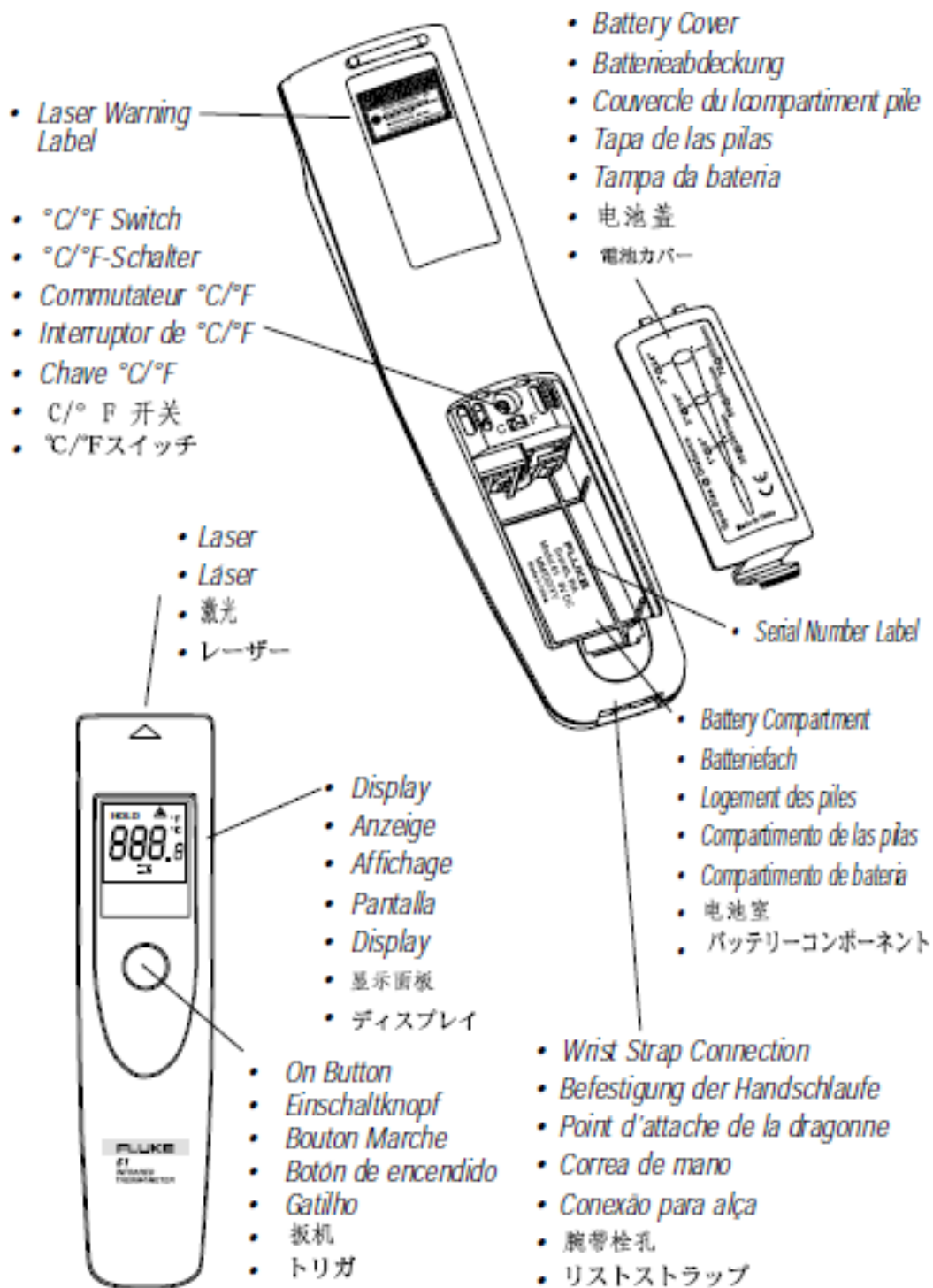
Operation/Storage Condition	0 $^{\circ}$ C to 40 $^{\circ}$ C < 80% R.H. -10 $^{\circ}$ C to 60 $^{\circ}$ C < 70% R.H.
Power Source	one 9V battery
Size & Weight	187mm(L)x88mm(W)x37mm(H) & 374g
Accessories	Test Leads, Spare Fuse, Battery & Instruction Manual



Punta para medición de temperatura en sólidos y líquidos.

Apéndice F. Especificaciones del equipo de medición (termómetro digital láser).

Specifications	
Temperature range	-18 to 275°C (0 to 525°F)
Display Resolution	0.2°C or 0.5°F
Accuracy (assumes ambient operating temperature of 23°C [73°F])	For targets at: -1 to 275°C (30 to 525°F) ±2% of reading or ±2°C (±3.5°F), whichever is greater -18 to -1°C (0 to 30°F) ±3°C (±5°F)
Temperature Coefficient	0.2K per °C or 0.2% per °C, whichever is greater
Repeatability	± 2% of reading, or ± 2°C (±3.5°F) whichever is greater
Response time	500 mSec, 95% response
Spectral response	7-18 µm
Emissivity	pre-set 0.95
Ambient operating range	0 to 50°C (32 to 120°F)
Relative humidity	10-90% RH noncondensing, @ up to 50°C (120°F)
Storage temperature	-20° to 60°C (-4° to 140°F) without battery
Weight / Dimensions	227 g (0.5 lb); 184 x 45 x 38 mm (7.25 x 1.75 x 1.5 in) without holster 341 g (0.75lb); 190 x 51 x 41 mm (7.5 x 2.0 x 1.6 in) with holster
Power	9V Alkaline or NiCd battery
Battery life (Alkaline)	12 hrs
Distance to Spot Size	8:1
<i>Specifications subject to change without notice.</i>	



Apéndice G. Mediciones obtenidas de las variables de estudio con el arreglo de prueba experimental con celdas termoelectricas Peltier TEC1-12706.

Horario	Irradiancia solar (W/m ²)	(mV)	Diferencia de potencial (V)	(mA)	Corriente eléctrica (A)	Potencia eléctrica (W)	Arreglo de celdas		Δt (°C)	Observaciones	Energía Producida (mWh)	Eficiencia del arreglo η	Rendimiento del arreglo %
							Lado caliente (°C)	Lado frío (°C)					
10:30	187.5	31.6	0.032	5.4	0.005	0.00017	24.8	24.2	0.6	seminublado T ^{amb} =25.4°, T ^{sup} =38.5	0.0014	0.0001	0.01
	227.4	47.7	0.048	7.1	0.007	0.00034	26.6	25.2	1.4	Seminublado	0.0028	0.0001	0.01
10:31	275.7	61.9	0.062	9.8	0.010	0.00061	26.8	26.2	0.6	Seminublado	0.0051	0.0001	0.01
	276.8	63.6	0.064	9.5	0.010	0.00060	27.2	26.4	0.8	Seminublado	0.0050	0.0001	0.01
10:32	223.2	65.9	0.066	10.4	0.010	0.00069	27.2	26.2	1	Seminublado	0.0057	0.0002	0.02
	218.5	59.4	0.059	9.3	0.009	0.00055	27	25.8	1.2	Seminublado	0.0046	0.0002	0.02
10:33	231.8	57.5	0.058	8.8	0.009	0.00051	27.6	26.6	1	Seminublado	0.0042	0.0001	0.01
	320.1	60.7	0.061	8.9	0.009	0.00054	28.6	27.5	1.1	Seminublado	0.0045	0.0001	0.01
10:34	384.3	81.9	0.082	13.4	0.013	0.00110	29	27.2	1.8	Seminublado	0.0091	0.0002	0.02
	216.3	72.4	0.072	11.6	0.012	0.00084	28.6	26.8	1.8	Seminublado	0.0070	0.0002	0.02
10:35	238.8	62.8	0.063	9.4	0.009	0.00059	28.2	26.2	2	Seminublado	0.0049	0.0001	0.01
	261.2	58.2	0.058	8.5	0.009	0.00049	29.2	26.2	3	Seminublado	0.0041	0.0001	0.01
10:36	217.4	67.1	0.067	10.1	0.010	0.00068	29.4	26.8	2.6	Seminublado	0.0056	0.0002	0.02
	223.9	55.1	0.055	8.5	0.009	0.00047	29.2	27.4	1.8	Seminublado	0.0039	0.0001	0.01
10:37	235.8	51.3	0.051	8	0.008	0.00041	29.6	27.4	2.2	Seminublado	0.0034	0.0001	0.01
	419	53.6	0.054	8.5	0.009	0.00046	29.6	28.6	1	Seminublado	0.0038	0.0001	0.01
10:38	566.6	83.0	0.083	14.6	0.015	0.00121	32.4	32	0.4	Sol parcial	0.0101	0.0001	0.01
	444.6	123.6	0.124	18.3	0.018	0.00226	32.2	30	2.2	Sol parcial	0.0188	0.0003	0.03
10:39	443.7	116.1	0.116	18.1	0.018	0.00210	32.8	30	2.8	Sol parcial	0.0175	0.0003	0.03
	365.5	100.6	0.101	15	0.015	0.00151	32.8	30.6	2.2	Sol parcial	0.0126	0.0003	0.03
10:40	608.3	141.0	0.141	21.6	0.022	0.00305	34.6	32.8	1.8	Sol parcial	0.0254	0.0003	0.03
	611.5	152.9	0.153	23.4	0.023	0.00358	35.2	33.6	1.6	seminublado T ^{amb} =27.8°, T ^{sup} =39.6	0.0298	0.0004	0.04
10:41	210.7	49.9	0.050	7.2	0.007	0.00036	32.2	29.8	2.4	Nublado T ^{amb} =27.9°, T ^{sup} =39.9	0.0030	0.0001	0.01
	239.1	44.2	0.044	6.5	0.007	0.00029	34.2	29.2	5	Nublado	0.0024	0.0001	0.01
10:42	298	52.9	0.053	8.1	0.008	0.00043	34.6	32.2	2.4	Nublado	0.0036	0.0001	0.01
	320	64.1	0.064	9.6	0.010	0.00062	34.4	30.2	4.2	Nublado	0.0051	0.0001	0.01
10:43	170.4	54	0.054	7.9	0.008	0.00043	34.6	30.8	3.8	Nublado	0.0036	0.0002	0.02
	165.9	37.2	0.037	5.7	0.006	0.00021	33.2	29.4	3.8	Nublado	0.0018	0.0001	0.01
10:44	312.1	51.7	0.052	8.5	0.009	0.00044	34.4	31.4	3	Seminublado	0.0037	0.0001	0.01
	394.4	80.7	0.081	11.2	0.011	0.00090	34.8	31.4	3.4	Seminublado	0.0075	0.0001	0.01
10:45	493.8	103.4	0.103	16.3	0.016	0.00169	35.6	31.4	4.2	Sol parcial	0.0140	0.0002	0.02
	560	123.6	0.124	17.4	0.017	0.00215	37	32.6	4.4	Sol parcial	0.0179	0.0002	0.02
10:46	599.3	151.7	0.152	22.9	0.023	0.00347	38	34.6	3.4	Sol parcial	0.0289	0.0004	0.04
	609.1	152.9	0.153	21.8	0.022	0.00333	38.6	35.6	3	Sol parcial	0.0278	0.0003	0.03
10:47	605.5	170.1	0.170	25.2	0.025	0.00429	38.8	36.2	2.6	Sol parcial	0.0357	0.0004	0.04
	587.1	158.2	0.158	23	0.023	0.00364	39	36.8	2.2	Sol parcial	0.0303	0.0004	0.04
10:48	585.5	169	0.169	24.8	0.025	0.00419	39.4	36.4	3	Sol parcial	0.0349	0.0004	0.04
	596.4	155.9	0.156	22.4	0.022	0.00349	39.8	36.6	3.2	Sol parcial	0.0291	0.0004	0.04
10:49	563.7	168.7	0.169	25.1	0.025	0.00423	40.2	37.2	3	Sol parcial	0.0353	0.0005	0.05
	596.2	165.4	0.165	23	0.023	0.00380	40.6	35.4	5.2	Sol parcial	0.0317	0.0004	0.04
10:50	592.9	173.6	0.174	27	0.027	0.00469	41	38.2	2.8	Sol parcial	0.0391	0.0005	0.05
	656.5	174.8	0.175	25.4	0.025	0.00444	41.8	39.4	2.4	Sol parcial	0.0370	0.0005	0.05
10:51	657.7	177.3	0.177	26.5	0.027	0.00490	42.2	38.6	3.6	Sol parcial	0.0392	0.0004	0.04
	693.9	181.5	0.182	27.7	0.028	0.00503	42.6	37.8	4.8	seminublado T ^{amb} =30°, T ^{sup} =38.6	0.0419	0.0004	0.04
11:30	603	194.5	0.195	26.3	0.026	0.0051	44.6	38	6.4	Soleado T ^{amb} =35.6°, T ^{sup} =39.9°	0.0426	0.0005	0.05
	553.2	162.3	0.162	23.1	0.023	0.0037	44.4	36.2	7	Soleado con poco viento	0.0312	0.0004	0.04
11:31	465.3	159.8	0.160	22.1	0.022	0.0035	43.2	38.8	3.6	Soleado con poco viento	0.0294	0.0005	0.05
	402.1	118.6	0.119	17.7	0.018	0.0021	42.4	34.9	6.7	Soleado con poco viento	0.0175	0.0003	0.03
11:32	344.1	115.6	0.116	17.1	0.017	0.0020	41.6	34.6	7.2	Soleado con poco viento	0.0165	0.0003	0.03
	488.8	131.2	0.131	18.2	0.018	0.0024	41.8	36.6	6	Soleado con poco viento	0.0199	0.0003	0.03
11:33	622.4	152.7	0.153	23.6	0.024	0.0036	42.6	36.2	10.2	Soleado con poco viento	0.0300	0.0004	0.04
	710.9	169	0.169	23.6	0.024	0.0040	46.4	36.6	4.8	Soleado con poco viento	0.0332	0.0003	0.03
11:34	542.4	161.5	0.162	25	0.025	0.0040	41.4	36.6	5	Soleado con poco viento	0.0336	0.0005	0.05
	497.2	160	0.160	23.7	0.024	0.0038	41.6	34.4	6.2	Soleado con poco viento	0.0316	0.0005	0.05
11:35	474.8	148	0.148	19.5	0.020	0.0029	40.6	33.2	9	Soleado con poco viento	0.0241	0.0004	0.04
	385.8	150	0.150	22.3	0.022	0.0033	42.2	32.2	10	Soleado con poco viento	0.0279	0.0005	0.05
11:36	385.8	150	0.150	22.3	0.022	0.0033	42.2	32.2	7.4	Soleado con poco viento	0.0279	0.0005	0.05
	364.5	112.6	0.113	17	0.017	0.0019	39.6	33.8	5.8	Soleado con poco viento	0.0160	0.0003	0.03
11:37	309.1	101.2	0.101	14.5	0.015	0.0015	39.6	32.4	6.4	Soleado con poco viento	0.0122	0.0003	0.03
	236.4	66.2	0.066	11.5	0.012	0.0008	38.8	31.9	5.5	Sol con nubes	0.0063	0.0002	0.02
11:38	193.82	61.5	0.062	8.9	0.009	0.0005	37.4	30.5	6.5	Nublado	0.0046	0.0002	0.02
	162.6	37.2	0.037	5.8	0.006	0.0002	37	28.3	7.3	Nublado	0.0018	0.0001	0.01
11:39	154.7	32.8	0.032	4.8	0.005	0.0002	35.6	29.2	5.8	Nublado	0.0013	0.0001	0.01
	158	32.1	0.032	4.3	0.004	0.0001	35	30.1	4.1	Nublado	0.0012	0.0001	0.01
11:40	139	31.2	0.031	4.1	0.004	0.0001	34.2	27.2	6.6	Nublado	0.0011	0.0001	0.01
	120.49	19	0.019	2.3	0.002	0.0000	33.8	28.2	5.6	Nublado	0.0004	0.0000	0.00
11:41	631.2	195.5	0.196	28.3	0.028	0.0055	39.4	33.8	5.6	Soleado T ^{amb} =29.1°C, T ^{sup} =42°C	0.0461	0.0005	0.05
	564.8	203.9	0.204	29	0.029	0.0059	40.6	35	5.6	Soleado sin viento	0.0493	0.0006	0.06
11:42	742.8	223.9	0.224	29	0.029	0.0065	40.6	35	5.6	Soleado sin viento	0.0541	0.0005	0.05
	781.8	223.5	0.224	33.1	0.033	0.0074	41.2	35.4	5.8	Soleado sin viento	0.0616	0.0006	0.06
11:43	791.7	230.5	0.231	30.6	0.031	0.0071	43.4	37.4	6	Soleado con poco viento	0.0588	0.0005	0.05
	793.6	231	0.231	32.9	0.033	0.0076	44.2	38.6	5.6	Soleado con poco viento	0.0633	0.0006	0.06
11:44	794.3	220.2	0.220	30.5	0.031	0.0067	42.2	39	3.2	Soleado con poco viento	0.0560	0.0005	0.05
	793.8	237.7	0.238	36.4	0.036	0.0087	45	37.2	7.8	Soleado con poco viento	0.0721	0.0007	0.07
11:45	786.5	243.9	0.244	33.4	0.033	0.0081	44.8	38.2	6.6	Soleado sin viento	0.0679	0.0006	0.06
	796.2	260	0.260	37.5	0.038	0.0098	44.4	37.9	6.5	Soleado sin viento	0.0813	0.0007	0.07
11:46	794.1	234.1	0.234	34.2	0.034	0.0080	44.8	37.8	7	Soleado sin viento	0.0667	0.0006	0.06
	795.5	240	0.240	36.1	0.036	0.0087	42.2	37.6	4.6	Soleado sin viento	0.0722	0.0007	0.07
11:47	790.3	226.9	0.227	33.2	0.033	0.0075	44.6	38.8	5.8	Soleado sin viento	0.0628	0.0006	0.06
	782.1	230.8	0.231	34.1	0.034	0.0079	45.8	39.2	6.6	Soleado sin viento	0.0656	0.0006	0.06
11:48	806.5	210.7	0.211	29.2	0.029	0.0062	46.2	40.6	5.6	Soleado sin viento	0.0513	0.0005	0.05
	805.4	229.4	0.229	33.5	0.034	0.0077	47	40.9	6.1	Soleado sin viento	0.0640	0.0006	0.06
11:49	806.1	210.3	0.210	29.7	0.030	0.0062	47	39.8	7.2	Soleado sin viento	0.0520	0.0005	0.05
	815.7	224.7	0.225	33.5	0.034	0.0075	46.8	40.8	6	Soleado sin viento	0.0627	0.0006	0.06
11:50	818.3	223.9	0.224	30.9	0.031	0.0069	46.6	39.6	7	Soleado sin viento	0.0577	0.0005	0.05
	812.7	241.3	0.241	35.4	0.035	0.0085	46.6	39.6	7	Soleado sin viento	0.0712	0.0006	0.06
11:51	789.6	219	0.219	31.4	0.031	0.0069	46.6	39.6	7	Soleado sin viento	0.0573	0.0005	0.05
	783.4	230.1	0.230	34	0.034	0.							

12-30	841.9	261	0.261	37.3	0.037	0.0097	51.4	43.2	8.2	Soleado T°amb=33.8°C, T°sup=52.6°C	0.0811	0.0007	0.07
	839	245.7	0.246	34.4	0.034	0.0085	51.2	42.8	8.4	Soleado sin viento	0.0704	0.0006	0.06
12-31	834.6	257	0.257	34.4	0.034	0.0088	51.4	42.6	8.8	Soleado sin viento	0.0737	0.0006	0.06
	834.5	230.8	0.231	32.3	0.032	0.0075	51.2	43.6	7.6	Soleado sin viento	0.0621	0.0005	0.05
12-32	836.1	234.2	0.234	33.3	0.033	0.0078	52.2	44.4	7.8	Soleado sin viento	0.0650	0.0006	0.06
	813.8	219.8	0.220	30.4	0.030	0.0067	52.8	42.4	10.4	Soleado sin viento	0.0557	0.0005	0.05
12-33	833.6	234.4	0.234	34.1	0.034	0.0080	52.4	43.2	9.2	Soleado sin viento	0.0666	0.0006	0.06
	847.6	225.5	0.226	30.9	0.031	0.0070	52.2	42.8	9.4	Soleado sin viento	0.0581	0.0005	0.05
12-34	846.7	238.4	0.238	34.2	0.034	0.0082	52.2	45.2	7	Soleado sin viento	0.0679	0.0006	0.06
	780.5	221.6	0.222	30.3	0.030	0.0067	51.8	44.6	7.2	Soleado sin viento	0.0560	0.0005	0.05
12-35	825	229.6	0.230	32	0.032	0.0073	52.2	44.8	7.4	Soleado sin viento	0.0612	0.0005	0.05
	854.2	221.5	0.222	30.4	0.030	0.0067	52.2	44.8	7.4	Soleado sin viento	0.0561	0.0005	0.05
12-36	859	241	0.241	35.6	0.036	0.0086	52	45.8	6.2	Soleado sin viento	0.0715	0.0006	0.06
	851.9	243	0.243	33.7	0.034	0.0082	51.8	43.2	8.6	Soleado sin viento	0.0682	0.0006	0.06
12-37	847.8	241.9	0.242	35.1	0.035	0.0085	52	44	8	Soleado sin viento	0.0708	0.0006	0.06
	846.5	229.7	0.230	31	0.031	0.0071	51.6	45.2	6.4	Soleado sin viento	0.0593	0.0005	0.05
12-38	845.5	233.7	0.234	32.3	0.032	0.0075	51.2	45.4	5.8	Soleado sin viento	0.0629	0.0005	0.05
	852.4	231.9	0.232	30.1	0.030	0.0070	50.6	46.6	4	Soleado sin viento	0.0582	0.0005	0.05
12-39	850.1	236.8	0.237	34.1	0.034	0.0081	51.2	46.8	4.4	Soleado sin viento	0.0673	0.0006	0.06
	838.9	226.6	0.227	31.9	0.032	0.0072	50.2	43.2	7	Soleado sin viento	0.0602	0.0005	0.05
12-40	808.2	231	0.231	33.5	0.034	0.0077	50.2	41.8	8.4	Soleado sin viento	0.0645	0.0006	0.06
	797.2	234.8	0.235	30.4	0.030	0.0071	49.2	43.2	6	Soleado sin viento	0.0595	0.0005	0.05
12-41	844.9	258.7	0.259	37.4	0.0374	0.0097	42.2	38.9	3.3	Soleado T°amb=33.8°C, T°sup=53.4°C	0.0806	0.0007	0.07
	780.9	247.5	0.248	36	0.036	0.0089	44.6	39.2	5.4	Soleado sin viento	0.0743	0.0007	0.07
12-42	850.4	246.9	0.247	36.9	0.0369	0.0091	45.6	39.8	5.8	Soleado sin viento	0.0759	0.0006	0.06
	862.3	234.8	0.235	33.3	0.0333	0.0078	45.8	39.4	6.4	Soleado sin viento	0.0652	0.0005	0.05
12-43	824.6	251.9	0.252	36.4	0.0364	0.0092	46.4	40.8	5.6	Soleado sin viento	0.0764	0.0007	0.07
	784.4	185.4	0.185	24.6	0.0246	0.0046	46	40.4	5.6	Soleado sin viento	0.0380	0.0004	0.04
12-44	862.2	217.1	0.217	32.1	0.0321	0.0070	46.8	41.4	5.4	Soleado sin viento	0.0581	0.0005	0.05
	854.4	215.1	0.215	29.2	0.0292	0.0063	46.6	40.6	6	Soleado sin viento	0.0523	0.0004	0.04
12-45	867.7	236.8	0.237	33.8	0.0338	0.0080	46.4	41.4	5	Soleado sin viento	0.0667	0.0006	0.06
	873.6	227.1	0.227	32.2	0.0322	0.0073	47.4	40.8	6.6	Soleado sin viento	0.0609	0.0005	0.05
12-46	868.3	240.1	0.240	34.5	0.0345	0.0083	47.8	41.6	6.2	Soleado sin viento	0.0690	0.0006	0.06
	884	218.1	0.218	30.8	0.0308	0.0067	46.6	42	4.6	Soleado sin viento	0.0560	0.0005	0.05
12-47	713.3	215	0.215	29.8	0.0298	0.0064	47	40.2	6.8	Soleado sin viento	0.0534	0.0005	0.05
	429.9	196.9	0.197	26	0.026	0.0051	46.9	39.8	7.1	Soleado sin viento	0.0427	0.0007	0.07
12-48	627.2	181.5	0.182	25.9	0.0259	0.0047	45.4	40.4	5	Soleado sin viento	0.0392	0.0005	0.05
	666.8	184	0.184	22.8	0.0228	0.0042	45.8	37	8.8	Soleado sin viento	0.0350	0.0004	0.04
12-49	649.8	189.2	0.189	28	0.028	0.0053	45.4	39.4	6	Soleado sin viento	0.0441	0.0005	0.05
	392.5	149.6	0.150	23.5	0.0235	0.0035	46.4	38.2	8.2	Soleado sin viento	0.0293	0.0005	0.05
12-50	285.3	130.2	0.130	18.8	0.0188	0.0024	42.2	38.4	3.8	Soleado sin viento	0.0204	0.0005	0.05
	535.5	124	0.124	18.4	0.0184	0.0023	41.2	36.8	4.4	Soleado sin viento	0.0190	0.0009	0.03
12-51	466.5	155.2	0.155	24.6	0.0246	0.0038	40.2	35.4	4.8	Soleado sin viento	0.0318	0.0005	0.05
	335.5	159.3	0.159	23.1	0.0231	0.0037	39.6	35.6	4	Soleado sin viento	0.0307	0.0007	0.07
13-30	807.5	234.5	0.235	33.8	0.034	0.0079	39.4	36	3.4	Sol parcial T°amb=31.2°C, T°sup=40.2°C	0.0661	0.0006	0.06
	442.8	141.6	0.142	25.3	0.025	0.0036	35.2	33.5	1.7	Sol con nubes y viento leve	0.0299	0.0005	0.05
13-31	246.2	112.6	0.113	15.5	0.015	0.0017	37.4	33.4	4	Sol con nubes y viento leve	0.0145	0.0004	0.04
	296	93.9	0.094	13.3	0.013	0.0012	37	34.6	2.4	Sol con nubes y viento leve	0.0104	0.0003	0.03
13-32	510.2	118.1	0.118	18.5	0.019	0.0022	37.4	34.4	3	Sol parcial	0.0182	0.0003	0.03
	425.8	111.3	0.111	16.2	0.016	0.0018	37	34.4	2.6	Sol parcial	0.0150	0.0003	0.03
13-33	440.1	125.1	0.125	18.2	0.018	0.0023	36.4	33.6	2.8	Sol parcial	0.0190	0.0003	0.03
	313.9	104.1	0.104	15.2	0.015	0.0016	35.4	33.2	2.2	Sol con nubes y viento leve	0.0132	0.0003	0.03
13-34	287.9	103.2	0.103	15.2	0.015	0.0016	35	33.2	1.8	Sol con nubes y viento leve	0.0131	0.0003	0.03
	280.8	83.4	0.083	12.6	0.013	0.0011	34.6	32.4	2.2	Sol con nubes y viento leve	0.0088	0.0002	0.02
13-35	269.4	81.1	0.081	12.4	0.012	0.0010	33.8	31.6	2.2	Sol con nubes y viento leve	0.0084	0.0002	0.02
	278.1	80.2	0.080	11.7	0.012	0.0009	32.8	30.5	2.3	Sol con nubes y viento leve	0.0078	0.0002	0.02
13-36	282.6	84.8	0.085	12.7	0.013	0.0011	32.6	30.8	1.8	Sol con nubes y viento leve	0.0090	0.0002	0.02
	278.9	79.5	0.080	11.6	0.012	0.0009	32.6	31	1.6	Sol con nubes y viento leve	0.0077	0.0002	0.02
13-37	277.6	76.6	0.077	12.6	0.013	0.0010	32.6	29.8	2.8	Sol con nubes y viento leve	0.0080	0.0002	0.02
	276.4	80.6	0.081	12	0.012	0.0010	31.4	30.3	1.1	Sol con nubes y viento leve	0.0081	0.0002	0.02
13-38	270.2	86.9	0.087	13.3	0.013	0.0012	31.2	30.3	0.9	Sol con nubes y viento leve	0.0096	0.0003	0.03
	282.9	79.2	0.079	11.6	0.012	0.0009	31.2	30.3	0.9	Sol con nubes y viento leve	0.0077	0.0002	0.02
13-39	275.3	80	0.080	12.2	0.012	0.0010	31	29.4	1.6	Sol con nubes y viento leve	0.0081	0.0002	0.02
	275.1	77.1	0.077	11.5	0.012	0.0009	31.2	30.4	0.8	Nublado	0.0074	0.0002	0.02
13-40	284.9	79.1	0.079	11.2	0.011	0.0009	31.6	30.5	1.1	Nublado	0.0074	0.0002	0.02
	265.7	64.1	0.064	9.6	0.010	0.0006	31.6	30.8	0.8	Nublado	0.0051	0.0001	0.01
13-41	130.2	32.9	0.033	5	0.005	0.00016	24.6	24.6	0	Nublado T°amb=26°C, T°sup=30.2°C	0.0014	0.0001	0.01
	126.7	29.2	0.029	4.5	0.005	0.00013	24.6	24.2	0.4	Nublado	0.0011	0.0001	0.01
13-42	127.4	31.4	0.031	4.6	0.005	0.00014	25.4	24.6	0.8	Nublado	0.0012	0.0001	0.01
	133.5	26.6	0.027	4.2	0.004	0.00011	23.8	23.6	0.2	Nublado	0.0009	0.0001	0.01
13-43	139.1	31.3	0.031	4.5	0.005	0.00014	24.2	24.2	0	Nublado	0.0012	0.0001	0.01
	140.4	32.7	0.033	5.2	0.005	0.00017	24.2	24.2	0	Nublado	0.0014	0.0001	0.01
13-44	135.1	30.5	0.031	4.7	0.005	0.00014	23.6	23.4	0.2	Nublado	0.0012	0.0001	0.01
	123.9	30.3	0.030	4.6	0.005	0.00014	24.4	24.2	0.2	Nublado con viento leve	0.0012	0.0001	0.01
13-45	108	26.3	0.026	4.3	0.004	0.00011	23.8	23.2	0.6	Nublado con viento leve	0.0009	0.0001	0.01
	83.6	24.1	0.024	3.5	0.004	0.00008	24.2	23.8	0.4	Nublado	0.0007	0.0001	0.01
13-46	89.4	16.1	0.016	2.5	0.003	0.00004	24	23.8	0.2	Nublado	0.0003	0.0000	0.00
	86.4	15.9	0.016	2.5	0.003	0.00004	24	23.8	0.2	Nublado con viento leve	0.0003	0.0000	0.00
13-47	85.7	13.5	0.014	2.2	0.002	0.00003	24.2	23.4	0.8	Nublado	0.0002	0.0000	0.00
	85.9	17.2	0.017	2.5	0.003	0.00004	23.8	23.6	0.2	Nublado	0.0004	0.0000	0.00
13-48	88.9	15.7	0.016	2.4	0.002	0.00004	24.2	23.6	0.6	Nublado	0.0003	0.0000	0.00
	90.4	16.3	0.016	2.6	0.003	0.00004	24	23.4	0.6	Nublado	0.0004	0.0000	0.00
13-49	92.4	15.9	0.016	2.5	0.003	0.00004	24	23.2	0.8	Nublado con viento leve	0.0003	0.0000	0.00
	94.5	20.5	0.021	3.3	0.003	0.00007	24	23.2	0.8	Nublado con viento leve	0.0006	0.0000	0.00
13-50	96	19.2	0.019	3.1	0.003	0.00006	23.2	23	0.2	Nublado con viento leve	0.0005	0.0000	0.00
	98.3	22	0.022	3.5	0.004	0.00008	24	23.6	0.4	Nublado con viento leve	0.0006	0.0000	0.00
13-51	102.6	24.4	0.024	3.7	0.004	0.00009	24	23.6	0.4	Nublado con viento leve	0.0008	0.0001	0.01
	103.4	26.2	0.026	4.1	0.004	0.00011	23.8	23.6	0.2	Nublado con viento leve	0.0009	0.0001	0.01

Fuente: Autoría propia

14-30	191.2	40.1	0.040	6.2	0.006	0.000249	26	25.6	0.4	Nublado T ^{amb} =26°C, T ^{sup} =23.2°C	0.0021	0.0001	0.01
	197.1	41.5	0.042	6	0.006	0.000249	25.8	25.6	0.2	Nublado	0.0021	0.0001	0.01
14-31	178.1	44.3	0.044	6.6	0.007	0.000292	25.6	25.2	0.4	Nublado	0.0024	0.0001	0.01
	154.6	34.6	0.035	5.4	0.005	0.000187	25.6	25.4	0.2	Nublado	0.0016	0.0001	0.01
14-32	148.8	34.7	0.035	5.3	0.005	0.000184	25.6	25.2	0.4	Nublado	0.0015	0.0001	0.01
	153.3	33.7	0.034	5.2	0.005	0.000175	25.6	25.4	0.2	Nublado	0.0015	0.0001	0.01
14-33	155.2	36.1	0.036	5.4	0.005	0.000195	25.8	25.4	0.4	Nublado	0.0016	0.0001	0.01
	162.9	33.5	0.034	5.1	0.005	0.000171	26	25.4	0.6	Nublado con viento leve	0.0014	0.0001	0.01
14-34	167.5	40.2	0.040	6.2	0.006	0.000249	26.2	25.4	0.8	Nublado con viento leve	0.0021	0.0001	0.01
	168.8	36.6	0.037	5.2	0.005	0.000190	26	25.2	0.8	Nublado	0.0016	0.0001	0.01
14-35	165.9	43	0.043	6.5	0.007	0.000280	26	25.4	0.6	Nublado	0.0023	0.0001	0.01
	163.5	37	0.037	5.8	0.006	0.000215	26.2	25.8	0.4	Nublado con viento leve	0.0018	0.0001	0.01
14-36	152.5	36.2	0.036	5.5	0.006	0.000199	26.2	25.6	0.6	Nublado	0.0017	0.0001	0.01
	146.3	30.3	0.030	4.7	0.005	0.000142	26.4	25.8	0.6	Nublado	0.0012	0.0001	0.01
14-37	133.9	33.8	0.034	5.2	0.005	0.000176	26.4	25.6	0.8	Nublado	0.0015	0.0001	0.01
	128.5	27.7	0.028	4.5	0.005	0.000125	26.4	25.6	0.8	Nublado	0.0010	0.0001	0.01
14-38	125.6	27.5	0.028	4	0.004	0.000110	26.6	26.2	0.4	Nublado con viento leve	0.0009	0.0001	0.01
	124.8	26.3	0.026	4	0.004	0.000105	26.6	26.2	0.4	Nublado con viento leve	0.0009	0.0001	0.01
14-39	127.4	28.2	0.028	4.4	0.004	0.000124	26.4	25.2	1.2	Nublado con viento leve	0.0010	0.0001	0.01
	129.5	30.1	0.030	4.6	0.005	0.000138	25.8	25.6	0.2	Nublado con viento leve	0.0012	0.0001	0.01
14-40	133	36.3	0.036	5.9	0.006	0.000214	25.4	24	1.4	Nublado con viento leve	0.0018	0.0001	0.01
	125.9	35.8	0.036	5.8	0.006	0.000208	25.8	25.2	0.6	Nublado con viento leve	0.0017	0.0001	0.01
14-41	85.5	8.2	0.008	1.2	0.001	0.000010	24.2	24.1	0.1	Nublado claro T ^{amb} =25.3°C, T ^{sup} =29.6°C	0.0001	0.0000	0.00
	83.5	12.4	0.012	2	0.002	0.000025	24.2	23.6	0.6	Nublado claro	0.0002	0.0000	0.00
14-42	78.7	13.1	0.013	2	0.002	0.000026	23.8	23.6	0.2	Nublado claro con viento leve	0.0002	0.0000	0.00
	73.4	16.6	0.017	2.6	0.003	0.000043	23.6	23.6	0	Nublado claro con viento leve	0.0004	0.0000	0.00
14-43	70.8	16.2	0.016	2.3	0.002	0.000037	24	23.6	0.4	Nublado claro sin viento	0.0003	0.0000	0.00
	70.5	12.3	0.012	2	0.002	0.000025	24	24	0	Nublado claro sin viento	0.0002	0.0000	0.00
14-44	77.1	15.3	0.015	2.2	0.002	0.000034	24	24	0	Nublado claro sin viento	0.0003	0.0000	0.00
	83.6	14.7	0.015	2.4	0.002	0.000035	23.8	23.6	0.2	Nublado con viento leve	0.0003	0.0000	0.00
14-45	82.9	23	0.023	3	0.003	0.000069	24.2	24.2	0	Nublado con viento leve	0.0006	0.0001	0.01
	85.4	15.4	0.015	2.4	0.002	0.000037	24.2	24.2	0	Nublado con viento leve	0.0003	0.0000	0.00
14-46	90.2	18.5	0.019	2.7	0.003	0.000050	24.2	24	0.2	Nublado con viento leve	0.0004	0.0000	0.00
	96	15.6	0.016	2.4	0.002	0.000037	24.2	24	0.2	Nublado con viento leve	0.0003	0.0000	0.00
14-47	101.5	17.9	0.018	2.8	0.003	0.000050	24.2	24.2	0	Nublado claro sin viento	0.0004	0.0000	0.00
	102.2	16.2	0.016	2.5	0.003	0.000041	24	24	0	Nublado claro sin viento	0.0003	0.0000	0.00
14-48	103	14.7	0.015	2.6	0.003	0.000038	24.6	24.4	0.2	Nublado claro sin viento	0.0003	0.0000	0.00
	99.7	16.9	0.017	2.6	0.003	0.000044	24.4	24.4	0	Nublado claro sin viento	0.0004	0.0000	0.00
14-49	101	17.9	0.018	3	0.003	0.000054	24.6	24.4	0.2	Nublado claro sin viento	0.0004	0.0000	0.00
	103.1	17.7	0.018	2.8	0.003	0.000050	24.6	24.6	0	Nublado con viento leve	0.0004	0.0000	0.00
14-50	106	18.7	0.019	2.9	0.003	0.000054	26.6	26.4	0.2	Nublado sin viento	0.0005	0.0000	0.00
	100.7	22	0.022	3.3	0.003	0.000073	24.6	24.6	0	Nublado sin viento	0.0006	0.0000	0.00
14-51	96	17.5	0.018	2.9	0.003	0.000051	24.8	24.2	0.6	Nublado sin viento	0.0004	0.0000	0.00
	92.3	20.2	0.020	3	0.003	0.000061	24.8	24.6	0.2	Nublado sin viento	0.0005	0.0000	0.00
15-30	127.8	28.2	0.028	4.5	0.005	0.000127	23.2	23.2	0	Nublado viento leve T ^{amb} =24°C, T ^{sup} =22.2°C	0.0011	0.0001	0.01
	137	29.3	0.029	4.5	0.005	0.000132	23.6	23.2	0.4	Nublado viento leve	0.0011	0.0001	0.01
15-31	126.7	25.2	0.025	4.2	0.004	0.000106	23.4	23.4	0	Nublado viento leve	0.0009	0.0001	0.01
	119.5	29.7	0.030	4.5	0.005	0.000134	23.6	23.4	0.2	Nublado viento leve	0.0011	0.0001	0.01
15-32	112.4	24.5	0.025	4	0.004	0.000098	23.6	23.2	0.4	Nublado viento leve	0.0008	0.0001	0.01
	109.1	31.3	0.031	4.9	0.005	0.000153	23.4	23.4	0	Nublado viento leve	0.0013	0.0001	0.01
15-33	106.8	25.6	0.026	4.2	0.004	0.000108	23.6	23.2	0.4	Nublado viento leve	0.0009	0.0001	0.01
	106	26	0.026	3.9	0.004	0.000101	23.6	23.4	0.2	Nublado viento leve	0.0008	0.0001	0.01
15-34	104.9	23.1	0.023	3.6	0.004	0.000083	23.4	23.1	0.3	Nublado viento leve	0.0007	0.0000	0.00
	105.9	25.7	0.026	3.8	0.004	0.000098	23.4	23.4	0	Nublado viento leve	0.0008	0.0001	0.01
15-35	110.3	25.8	0.026	4.2	0.004	0.000108	23.4	23.2	0.2	Nublado viento leve	0.0009	0.0001	0.01
	117	27.3	0.027	4.2	0.004	0.000115	23.4	23.4	0	Nublado viento leve	0.0010	0.0001	0.01
15-36	123.6	28.5	0.029	4.2	0.004	0.000120	23.6	23.6	0	Nublado viento leve	0.0010	0.0001	0.01
	133.2	30.7	0.031	4.8	0.005	0.000147	23.6	23.6	0	Nublado viento leve	0.0012	0.0001	0.01
15-37	144.2	31.7	0.032	4.8	0.005	0.000152	24.4	23.8	0.6	Nublado viento leve	0.0013	0.0001	0.01
	143.3	34.2	0.034	4.9	0.005	0.000168	24.2	23.8	0.4	Nublado viento leve	0.0014	0.0001	0.01
15-38	124.9	26.5	0.027	4.4	0.004	0.000117	24.2	23.8	0.4	Nublado viento leve	0.0010	0.0001	0.01
	114.2	27.1	0.027	4.1	0.004	0.000111	24.2	24	0.2	Nublado viento leve	0.0009	0.0001	0.01
15-39	108.2	23.1	0.023	3.9	0.004	0.000090	24.2	24.2	0	Nublado viento leve	0.0008	0.0001	0.01
	105.2	25	0.025	3.9	0.004	0.000098	24.8	24.4	0.4	Nublado viento leve	0.0008	0.0001	0.01
15-40	103.8	24.5	0.025	3.8	0.004	0.000093	24.4	23.6	0.8	Nublado viento leve	0.0008	0.0001	0.01
	105.9	25.8	0.026	4	0.004	0.000103	24.6	24.2	0.4	Nublado viento leve	0.0009	0.0001	0.01
15-41	109.3	27.3	0.027	4.1	0.004	0.00011	22.8	22.7	0.1	Nublado viento leve T ^{amb} =23.6°C, T ^{sup} =21.6°C	0.0009	0.0001	0.01
	107.4	24.2	0.024	3.8	0.004	0.00009	22.5	22.3	0.2	Nublado viento leve	0.0008	0.0001	0.01
15-42	104.6	22.9	0.023	3.7	0.004	0.00008	22.3	22	0.3	Nublado viento leve	0.0007	0.0000	0.00
	111.3	29.7	0.030	4.1	0.004	0.00012	22.9	22.6	0.3	Nublado viento leve	0.0010	0.0001	0.01
15-43	105.8	24.5	0.025	3.9	0.004	0.00010	22.4	22.2	0.2	Nublado viento leve	0.0008	0.0001	0.01
	104.2	26.3	0.026	3.7	0.004	0.00010	22.3	22.2	0.1	Nublado viento leve	0.0008	0.0001	0.01
15-44	101.6	25.6	0.026	3.8	0.004	0.00010	22.5	22.3	0.2	Nublado viento leve	0.0008	0.0001	0.01
	97.3	20.7	0.021	3.5	0.004	0.00007	22.3	22.1	0.2	Nublado viento leve	0.0006	0.0000	0.00
15-45	98.6	18.8	0.019	3.5	0.004	0.00007	22.3	22.1	0.2	Nublado viento leve	0.0005	0.0000	0.00
	103.2	22.6	0.023	3.9	0.004	0.00009	22.5	22.2	0.3	Nublado viento leve	0.0007	0.0001	0.01
15-46	110.3	25.7	0.026	4.2	0.004	0.00011	22.7	22.4	0.3	Nublado viento leve	0.0009	0.0001	0.01
	92.8	18.2	0.018	3.2	0.003	0.00006	22.3	22.1	0.2	Nublado viento leve	0.0005	0.0000	0.00
15-47	98.5	17.9	0.018	2.9	0.003	0.00005	22.4	22.2	0.2	Nublado viento leve	0.0004	0.0000	0.00
	95.8	18.5	0.019	3	0.003	0.00006	22.1	22	0.1	Nublado viento leve	0.0005	0.0000	0.00
15-48	88.3	16.9	0.017	2.8	0.003	0.00005	21.7	21.5	0.2	Nublado viento leve	0.0004	0.0000	0.00
	83.1	15.8	0.016	2.4	0.002	0.00004	21.4	21.2	0.2	Nublado viento leve	0.0003	0.0000	0.00
15-49	92.6	17.4	0.017	3.1	0.003	0.00005	21.6	21.4	0.2	Nublado viento leve	0.0004	0.0000	0.00
	86.5	15.7	0.016	2.6	0.003	0.00004	21.4	21.2	0.2	Nublado viento leve	0.0003	0.0000	0.00
15-50	82.3	16.3	0.016	2.5	0.003	0.00004	21.2	21	0.2	Nublado viento leve	0.0003	0.0000	0.00
	82.1	15.9	0.016	2.4	0.002	0.00004	20.8	20.7	0.1	Nublado viento leve	0.0003	0.0000	0.00
15-51	81.8	14.6	0.015	2.2	0.002	0.00003	20.8	20.7	0.1	Nublado viento leve	0.0003	0.0000	0.00
	81	13.7	0.014	2.1	0.002	0.00003	20.6	20.5	0.1	Nublado viento leve	0.0002	0.0000	0.00

Fuente: Autoría propia