



**Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil**

**Evaluación de la Factibilidad de Producción de Energía
Eléctrica a través de Intercambio Calórico en Paneles
Aislantes Compuestos**

Por

Carlos Raúl Díaz Sánchez

**Tesis para optar al Grado de Licenciado en
Ciencias de la Construcción y al Título
De Ingeniero Constructor**

Prof. Guía: Andrés Jamet Aguilar

Valparaíso, 2016

Dedicatoria

Dedico de manera especial a mis padres, pues ellos fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, me enseñaron las bases de responsabilidad y deseos de superación, en ellos tengo el espejo en el cual me quiero reflejar, pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarlos cada día más. A los que ya no están, gracias por su testimonio de vida, amor, entrega y apoyo incondicional. siempre vivirán en mi memoria y sobre todo en mi corazón.

Agradecimientos

A mi familia, mis padres Fernando y Yanett, porque gracias a su amor, dedicación y valores inculcados he llegado a realizar una de las metas mas importantes de mi vida, mi carrera profesional. Mis hermanos y primo, Sebastián, Fabián, Fernando y Jonathan por apoyarme durante todo este proceso.

Al cuerpo docente de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso, en especial a mi profesor guía Señor Andrés Jamet, por sus consejos, dedicación y conocimientos entregados durante el desarrollo de esta investigación. También a Emperatriz Villanueva por su disposición incondicional hacia los alumnos.

A Maria José por entregarme su amor, comprensión y la fortaleza necesaria para vencer las dificultades que aparecían en el último tramo de mi carrera. Gracias por tu dedicación y por formar parte de mi vida.

Por último agradecer a compañeros y amigos, Luis, Christian, Fabián, Diego, Ignacio, Paolo, Thian, Sebastián, José Miguel, Juan Pablo y Andrés, los que estuvieron junto a mi durante todo el periodo de mi carrera, y que fueron un pilar en los momentos difíciles lejos de mi familia.

Índice

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Lista de Figuras	6
Lista de Tablas	9
Resumen	10
Abstract	11
Capítulo 1:	12
Antecedentes Generales	12
1.1. Introducción	13
1.2. Pregunta de Investigación	16
1.3. Objetivos	16
1.3.1 General	16
1.3.2. Específicos	16
1.4. Alcances	16
1.5. Metodología de la Investigación	17
Capítulo 2:	19
Marco Teórico	19
2.1. Marco Teórico	20
2.1.1. Materiales termoeléctricos	25
2.1.2. Módulos termoeléctricos	27
2.2. Paneles Compactos o Sándwich	31
2.2.1 Acero Galvanizado	32
2.2.2 Aluminio	33
2.2.3. Poliestireno Expandido	33
2.2.4 Acumuladores de energía (baterías)	34
Capítulo 3:	35
Desarrollo de la Investigación	35

3.1. Diseño Experimental	36
3.1.1. Generalidades	36
3.1.2. Materiales y Métodos que intervienen en el estudio	36
3.1.3. Planteamiento y definición de variables	38
3.1.4 Factorial de experimento	40
3.1.4.1. Procedimiento a realizar	41
Capitulo 4:	45
Presentación y Análisis de Resultados	45
4.1. Desarrollo experimental	46
4.1.1 Experiencia Montaje	46
4.1.2 Presentación de Resultados	47
4.1.3 Análisis comparativos de resultados	60
4.2 Análisis Estadístico de los Resultados	62
4.2.1 Voltaje en paneles con chapa de Acero Galvanizado	62
4.2.2 Análisis del Modelo	64
4.3 Voltaje en paneles con chapa de Aluminio	68
4.3.1 Análisis del Modelo	70
4.4 Voltaje en paneles con chapa de Acero Galvanizado vs Aluminio, ambos con 1mm de espesor	73
4.2.2 Análisis del Modelo	76
Capitulo 5:	79
Evaluación Económica	79
5.1 Análisis Financiero	80
Capitulo 6:	86
Conclusiones y Proposición de Futuras Investigaciones	86
6.1 Conclusiones	87
6.2 Proposición de Futuras Investigaciones	88
Bibliografía	90

Anexos	92
Anexo 1: Análisis Financiero para diferencia de temperatura promedio de 10° C	92
Anexo 2: Análisis Financiero para diferencia de temperatura promedio de 15° C	93
Anexo 3: Análisis Financiero para diferencia de temperatura promedio de 20° C	94
Anexo 4: Análisis Financiero para diferencia de temperatura promedio de 25° C	95
Anexo 5: Análisis Financiero para diferencia de temperatura promedio de 30° C	96

Lista de Figuras

Figura 1.1: Mapa conceptual Metodología de la Investigación.....	19
Figura 2.1: Efecto Seebeck (Ángeles y Márquez, 2005).....	20
Figura 2.2: Efecto Peltier en termopar (Serrano, 2010).....	22
Figura 2.3: Figura de mérito (Z) de muchos materiales termoeléctricos en función de su año reinención (Kawamoto, 2009).....	26
Figura 2.4: Dependencia de la temperatura en el índice de rendimiento de generación de energía adimensional de los principales materiales termoeléctricos (Kawamoto, 2009).....	26
Figura 2.5: (a) Modo de conexión de un módulo termoeléctrico, (b) módulo termoeléctrico peltier (Serrano, 2010).....	28
Figura 2.6: Montaje de un módulo Peltier (Serrano, 2010).....	29
Figura 2.7: Módulos termoeléctricos superpuestos (Serrano, 2010).....	30
Figura 3.1: Módulo termoeléctrico TEC1-12706 generico.....	37
Figura 3.2: Trazado y corte de planchas de poliestireno expandido.....	41
Figura 3.3: Corte de agujeros en planchas de poliestireno expandido.....	42
Figura 3.4: Trazado y corte de planchas de acero galvanizado.....	42
Figura 3.5: Conexión en serie de placas peltier, para paneles con chapa de acero galvanizado y aluminio.....	43
Figura 3.6: Cámara de madera terciada de dimensiones 1x0.35x0.3 metros.....	43
Figura 3.7: Panel con tecnología termoeléctrica puesto a prueba en la cámara.....	44
Figura 4.1: Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 0.35mm y 4 cm de aislante.....	48
Figura 4.2: Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 0.35mm y 8 cm de aislante.....	49
Figura 4.3: Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 0.35mm y 12 cm de aislante.....	50
Figura 4.4: Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 0.6mm y 4 cm de aislante.....	51
Figura 4.5: Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 0.6mm y 8 cm de aislante.....	52
Figura 4.6: Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 0.6mm y 12 cm de aislante.....	53
Figura 4.7: Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 1mm y 4 cm de aislante.....	54
Figura 4.8: Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 1mm y 8 cm de aislante.....	55
Figura 4.9: Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 1mm y 12 cm de aislante.....	56
Figura 4.10: Tensión generada por Panel de Aluminio 1mm y 4 cm de aislante.....	57
Figura 4.11: Tensión generada por Panel de Aluminio 1mm y 8 cm de aislante.....	58
Figura 4.12: Tensión generada por Panel de Aluminio 1mm y 12 cm de aislante.....	59
Figura 4.13: Comparación voltaje obtenido por paneles con chapa acero galvanizado.....	60
Figura 4.14: Comparación voltaje obtenido por paneles con chapa de aluminio.....	60
Figura 4.15: Gráfica de Probabilidad normal para paneles con chapa de Acero Galvanizado.....	62
Figura 4.16: Análisis de Varianza.....	63

Figura 4.17: Espesor de Chapa.....	64
Figura 4.18: Espesor de Aislante.....	65
Figura 4.19: Diferencia de Temperatura.....	66
Figura 4.20: Voltaje, 30° Celsius (C).	67
Figura 4.21: Gráfica de Probabilidad normal para paneles con chapa de Aluminio.....	68
Figura 4.22: Análisis de Varianza.....	69
Figura 4.23: Espesor de Aislante.....	70
Figura 4.24: Diferencia de Temperatura.....	71
Figura 4.25: Voltaje.....	72
Figura 4.26: Gráfica de Probabilidad normal para paneles con chapa de Acero Galvanizado vs Aluminio.....	73
Figura 4.27: Análisis de Varianza de chapa de Acero Galvanizado vs Aluminio.....	74
Figura 4.28: Diferencia de Temperatura en panel con 4[cm] de aislante.....	76
Figura 4.29: Diferencia de Temperatura en panel con 12[cm] de aislante.....	77
Figura 4.30: Voltaje, 30° Celsius (B).....	78
Figura 5.1: Voltaje obtenido teóricamente comparado al obtenido en laboratorio.....	85

Lista de Tablas

Tabla 2.1: Comparación de propiedades termoeléctricas de metales, semiconductores y aislantes a 25 grados celsius.....	25
Tabla 3.1: Definición de Variables Independientes.....	38
Tabla 3.2: Factorial de Experimento.....	40
Tabla 4.1: Tipología de paneles a experimentar.....	46
Tabla 4.2: Rendimiento panel con chapa de 0,35[mm] de Acero Galvanizado y Aislante de 4 [cm] de Espesor.....	47
Tabla 4.3: Rendimiento panel con chapa de 0,35[mm] de Acero Galvanizado y Aislante de 8 [cm] de Espesor.....	49
Tabla 4.4: Rendimiento panel con chapa de 0,35[mm] de Acero Galvanizado y Aislante de 12 [cm] de Espesor.....	50
Tabla 4.5: Rendimiento panel con chapa de 0,6[mm] de Acero Galvanizado y Aislante de 4 [cm] de Espesor.....	51
Tabla 4.6: Rendimiento panel con chapa de 0,6[mm] de Acero Galvanizado y Aislante de 8 [cm] de Espesor.....	52
Tabla 4.7: Rendimiento panel con chapa de 0,6[mm] de Acero Galvanizado y Aislante de 12 [cm] de Espesor.....	53
Tabla 4.8: Rendimiento panel con chapa de 1[mm] de Acero Galvanizado y Aislante de 4 [cm] de Espesor.....	54
Tabla 4.9: Rendimiento panel con chapa de 1[mm] de Acero Galvanizado y Aislante de 8 [cm] de Espesor.....	55
Tabla 4.10: Rendimiento panel con chapa de 1[mm] de Acero Galvanizado y Aislante de 12 [cm] de Espesor.....	56
Tabla 4.11: Rendimiento panel con chapa de 1[mm] de Aluminio y Aislante de 4 [cm] de Espesor....	57
Tabla 4.12: Rendimiento panel con chapa de 1[mm] de Aluminio y Aislante de 8 [cm] de Espesor....	58
Tabla 4.13: Rendimiento panel con chapa de 1[mm] de Aluminio y Aislante de 12 [cm] de Espesor....	59
Tabla 5.1: Análisis de Precio Unitario Panel con Tecnología Termoeléctrica.....	80
Tabla 5.2: Calculo de rendimiento de 150 m ² del panel con chapa de Acero Galvanizado y Aislante de 12 [cm] de espesor(conexión en serie).....	81
Tabla 5.3: Calculo de rendimiento de 300 m ² del panel con chapa de Acero Galvanizado y Aislante de 12cm de espesor(conexión en serie y paralelo).....	82
Tabla 5.4: Crédito Bancario (interés, cuota y capital).....	82
Tabla 5.5: Cálculo de interés y cuotas.....	83
Tabla 5.6: Voltaje obtenido teóricamente comparado al obtenido en laboratorio.....	85

Resumen

Este proyecto de tesis estudia y desarrolla el diseño e implementación de un sistema constructivo de paneles con tecnología termoeléctrica que aprovecha las diferencias de temperaturas generadas entre el interior y el exterior de una edificación, en las distintas zonas del país produciendo energía eléctrica renovable no contaminante.

Esta experiencia busca cuantificar la cantidad de energía producida por cada panel, la cual es generada por módulos termoeléctricos insertos al interior de este.

Durante el desarrollo experimental de esta investigación se confecciono un modelo físico con distintas configuraciones de materialidad, ya sea tipo de chapa, espesor de chapa y espesor de aislante. Cada panel fue puesto a prueba generando una diferencia de temperatura desde 10 a 30 grados celsius entre sus caras, con el fin de generar una situación similar a la realidad de las condiciones climáticas del país, realizando para esto una tabla resumen por cada panel con los resultados de voltaje obtenidos.

Posteriormente se evaluó mediante un análisis estadístico la energía generada por cada panel, donde se pudo concluir mediante un análisis de varianza que las variables más significativas para la obtención de voltaje son la diferencia de temperatura, seguido el espesor del aislante y finalmente el espesor de chapa.

Finalmente este estudio se llevo a cabo con el fin de determinar la factibilidad técnica de fabricación de un panel con tecnología termoeléctrica, cuantificar el voltaje producido por cada uno y evaluar mediante un análisis financiero si es un producto factible respecto a la energía producida versus el costo de fabricación.

Abstract

This thesis project studies and develops the design and implementation of a construction system with panels with thermoelectric technology that takes advantage of differences in temperatures generated between the interior and exterior of a building, in different parts of the country producing clean, renewable electricity.

This experiment seeks to quantify the amount of power produced by each panel, which is generated inserts into this thermoelectric modules.

In this research, experimental development considered in making a physical model with different configurations of materiality, either type of plate, sheet thickness and insulation thickness. Each panel was tested by generating a temperature difference between 10 and 30 degrees celsius between their faces, in order to generate a similar reality of the climatic conditions of the country situation, making a summary table for each panel with results voltage obtained.

Subsequently evaluated by statistical analysis the energy generated by each panel, where it was concluded by an analysis of variance that the variables most significant for obtaining voltage is the difference of temperature followed the thickness of insulating and finishing with thickness sheet.

Finally, this study was carried out in order to determine the technical feasibility of manufacturing a panel with thermoelectric technology, quantify the voltage produced by each and evaluated by a financial analysis if it is a feasible product with respect to energy production vs. manufacturing cost.

Capitulo 1:

Antecedentes Generales

1.1. Introducción

La energía es esencial para todas las actividades humanas y, un elemento clave en el desarrollo social y económico (Arce et. ál., 2003), por esto es de vital importancia el cuidado y la buena utilización que se le da a este producto. La eficiencia energética y el desarrollo de energías renovables son los principales instrumentos para conseguirlo (Rey y Velazco, 2008).

Fue en 1973 cuando a raíz de la primera crisis del petróleo se genera la toma de conciencia de la importancia del abastecimiento energético por parte de la sociedad para el estilo de vida actual. En respuesta hubo un movimiento que consideró que las energías renovables podían ser una alternativa energética que permitiese alcanzar un mayor grado de independencia por sobre los combustibles fósiles. El papel de las renovables como energías alternativas se ha matizado, y han tomado fuerza en este discurso los aspectos ambientales y la demanda social, actuando estos últimos como impulsores en el desarrollo de una nueva etapa en la integración de la Energías Renovables (Sánchez, 1995).

En la actualidad el mundo se encuentra en una encrucijada significativa para el futuro de la energía. Debido al cambio climático y la influencia cada vez mayor de las emisiones de dióxido de carbono, el acrecentamiento de la dependencia del petróleo y otros combustibles fósiles, el incremento de las importaciones y el aumento de los precios de la energía, los países han de ejecutar un significativo esfuerzo tecnológico para prevalecer ante el contexto climático y energético actual (Rubia, 2001). Ante esta situación las energías renovables pueden llegar a suponer, a mediados del presente siglo, el 50% del consumo de energía primaria.

En este sentido resulta difícil concebir las energías renovables relegando la perspectiva ambiental en la que nacen y se desarrollan. Sin embargo, en ocasiones esta visión tiende a olvidarse, priorizando el carácter economista frente a lo técnico y ambiental, lo que provoca un rechazo social frente a esta perspectiva.

Con respecto a la apariencia social, las energías renovables tienen y deben tener un trascendental enfoque. En la mayoría de las causas es la sociedad, a través de la difusión de la tecnología y de la preocupación medioambiental, la que suscita el desarrollo de estas fuentes.

Las energías renovables logran ser las mas importantes del sector de la energía ya que tienen la facultad para minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación, consiguiendo así explotar las fuentes de energía locales y descentralizadas, como lo son los recursos eólicos, solares, hidroeléctricos, mareomotrices, geotérmicos y de biomasa. Es así como estas fuentes renovables están exentos a la inestabilidad de alzas que sufre el mercado de combustibles

fósiles y conjuntamente atraen el beneficio de estimular el empleo, el incremento económico y el progreso tecnológico. Es incuestionable que las optimas energías renovables forman un elemento clave de un futuro sostenible (Fmam, 2009).

Las energías renovables, con sus características energéticas y geográficas, deben tener un papel importante en este nuevo modelo energético. La mayor cobertura geográfica de estos recursos, frente a las fuentes convencionales, implica que siempre se puede encontrar una fuente de energía renovable de carácter autóctono, tomando en cuenta la importancia ambiental y su aceptación social, justifican la necesidad de la intervención del Estado para fomentar su desarrollo y que sean incluidas como una parte de planificación energética. La cual deberá basarse en la estimación de los recursos, la evaluación de la demanda y el desarrollo de planes de integración apropiados, que tenga en cuenta las tecnologías disponibles y las restricciones económicas, sociales y ambientales.

A lo largo del territorio nacional se presentan diferentes características en el relieve, clima y vegetación, por lo que se pueden implementar muchas formas de energías renovables, tales como: módulos fotovoltaicos en el norte del país, debido a los altos índices de radiación; energía eólica en el extremo sur debido a los fuertes vientos que aprovecharían los aerogeneradores; la energía mareomotriz a lo largo de las costas en todo el país, entre otros.

Hoy se sigue investigando en nuevas formas de obtener energía eléctrica desde una fuente natural y renovable. Entre ellas se encuentran las algas para la producción de Biocombustibles, granjas eólicas aéreas como también placas eléctricas en el cielo, Pellets de combustible a partir de desechos y energía eléctrica a partir de diferencias calóricas (Alternative Energy, 2015).

La Termoelectricidad se conoce desde el siglo XIX, pero no se ha masificado para el uso civil como una fuente de energía por sus bajos rendimientos obtenidos en la época y solo existe aplicación en el campo militar, medicinal y aparatos científicos de potencia pequeña y puntual aplicación.

El primero efecto termoeléctrico(Efecto Seebeck), fue descubierto el año 1821 por el físico Estonio-Alemán Thomas Johann Seebeck, que consistió en la investigación de aplicar calor o generar una diferencia de temperatura en los extremos unidos de los materiales de características diferentes como dos conductores eléctricos, produciendo una diferencia de potencial entre ellos, es decir energía eléctrica. La cantidad de electricidad producida dependerá de los dos metales elegidos y también de la diferencia de temperatura entre la unión de ambos y los extremos libres. Incluso en el mejor de los casos, la cantidad de electricidad será bastante modesta, sin embargo, estos termopares pueden ser verdaderamente pequeños, por lo que, en poco espacio se pueden disponer muchas de ellas en serie

(sumamos tensiones), o en paralelo (sumamos intensidad), o mezcla de ambos (serie y paralelo). De este modo, la cantidad de electricidad generada puede ser significativa (Martínez, 2007).

El Efecto Peltier, también un efecto termoeléctrico, fue descubierto en 1834 por Jean Peltier, trece años después del descubrimiento de Seebeck. El efecto Peltier hace referencia a la creación de una diferencia de temperatura debida a un voltaje eléctrico. Sucede cuando una corriente se hace pasar por dos metales o semiconductores conectados por dos "junturas de Peltier". La corriente propicia una transferencia de calor de una juntura a la otra: una se enfría en tanto que otra se calienta. Este efecto realiza la acción inversa al efecto Seebeck (Tecnomedition, 2010).

Si pudiésemos incorporar esta tecnología a una edificación, lograríamos que cada una de esta sea una productora del total o parte de la energía eléctrica que consume, generando así un nuevo sitio de obtención de energía renovable. Pero, ¿Dónde se genera un intercambio calórico dentro de una edificación?.

De acuerdo a las normas de acondicionamiento térmico, existe un intercambio de temperatura alrededor de toda la edificación, por lo que es necesario incorporar aislación en cada punto en el que queramos evitar esta pérdida de inercia térmica. De los materiales utilizados como aislantes se encuentran: Poliestireno expandido, lana mineral, espuma de poliuretano, lana de vidrio y los llamados paneles sándwich o paneles aislantes compactos, entre otros.

Los paneles compactos se componen de una chapa – núcleo aislante – chapa. Los núcleos aislantes son fabricados con poliestireno expandido o poliuretano expandido, mientras las chapas pueden ser de planchas de madera, metal o plástico. Además de componente aislante puede ser usado como elemento estructural.

Es este elemento constructivo el que se visualiza de mejor forma para la incorporación de la tecnología Termoeléctrica, por su rigidez lo que permitiría mantener las distancias aptas entre conectores y daría mayor facilidad para la incorporación de estos en la fabricación, su uso estructural le da acceso directo al interior y exterior de la edificación, para así obtener la diferencia de temperatura requerida.

Es en este proyecto de tesis donde queremos hacer posible la modificación de este elemento de construcción añadiendo tecnología termoeléctrica logrando así proyectarlo hacia un futuro de elementos eficientes constructiva y energéticamente, por sobre otras fuentes de energía renovable.

1.2. Pregunta de Investigación

- ¿Es posible obtener energía eléctrica de forma rentable incorporando tecnología termoeléctrica a un panel compuesto?

1.3. Objetivos

1.3.1 General

Evaluar la factibilidad técnica y económica de la producción de energía eléctrica mediante un panel aislante compuesto que incorpore tecnología termoeléctrica.

1.3.2. Específicos

- Evaluar la factibilidad técnica de la fabricación de un panel aislante compuesto que incorpore tecnología termoeléctrica.
- Determinar la cantidad de energía producida para paneles producidos bajo distintas configuraciones.
- Evaluar económicamente el sistema propuesto .

1.4. Alcances

Para esta investigación se considerarán:

1. 2 tipos de Planchas como Chapa del panel compuesto: Aluminio y Acero Galvanizado.
2. 1 tipo de Aislante para el panel compuesto: Poliestireno Expandido.
3. 1 tipo de Placa Termoeléctrica en el panel compuesto: TEC1-12706 de dimensiones 40x40x3,5mm.
4. La medición se realizó mediante un Multímetro Digital UT20B.
5. La experiencia de cada panel se realizará en un cajón de madera contrachapada de dimensiones 100x35x30cm.

1.5. Metodología de la Investigación

La metodología para este trabajo de investigación se inicia con un estudio bibliográfico, con el objetivo de recopilar la información necesaria de diversos investigadores, que estudiaron temas similares y lograron llegar a conclusiones que pueden ser de gran utilidad para este proyecto de tesis. Obtenido esta información previa, nos permite desarrollar la fase experimental de la investigación, la que dará respuesta a nuestros objetivos planteados previamente.

En primer lugar se hará un estudio de los materiales que tengan las mejores cualidades para ser parte del panel aislante compuesto. En el caso de la chapa del panel tendrá que tener una alta transmitancia térmica y en cuanto al núcleo aislante deberá ser el material con la mejor aislación térmica para lograr una mayor diferencia de temperatura en las dos caras del panel y que cumpla con las normas de acondicionamiento térmico. Luego se seleccionaran los módulos termoeléctricos o placas peltier de manera minuciosa para encontrar las placas con el mayor mérito Z disponibles en el mercado y así poder producir la mayor cantidad de energía eléctrica. Estas serán elegidas respecto a sus dimensiones, materialidad y accesibilidad.

Además se requerirá de un acumulador (o batería) el cual vaya almacenando la potencia que generara el panel termoeléctrico y así poder abastecer cuando se requiera.

Una vez adquiridos los materiales necesarios se construirán distintos paneles termoeléctricos a escala considerando distintas configuraciones y condiciones de exposición con diferentes variables, ya sea 3 tipos de ancho de panel, 3 espesores de chapa y se someterán a diferencias de temperatura desde los 10, 15, 20, 25 y 30 grados Celsius.

Estas diferentes temperaturas se aplicarán en la cara externa del panel mientras que la interna será sometida a una temperatura fija, queriendo lograr los mejores resultados de obtención de energía eléctrica.

Después de cada ensayo con las distintas variables en cuanto a espesores, materialidad y temperatura se documentará y procesarán los datos obtenidos.

Una vez analizados los datos obtenidos en cada ensayo, se realizará una comparación de estos mediante un análisis estadístico y se finalizará con la obtención de conclusiones.

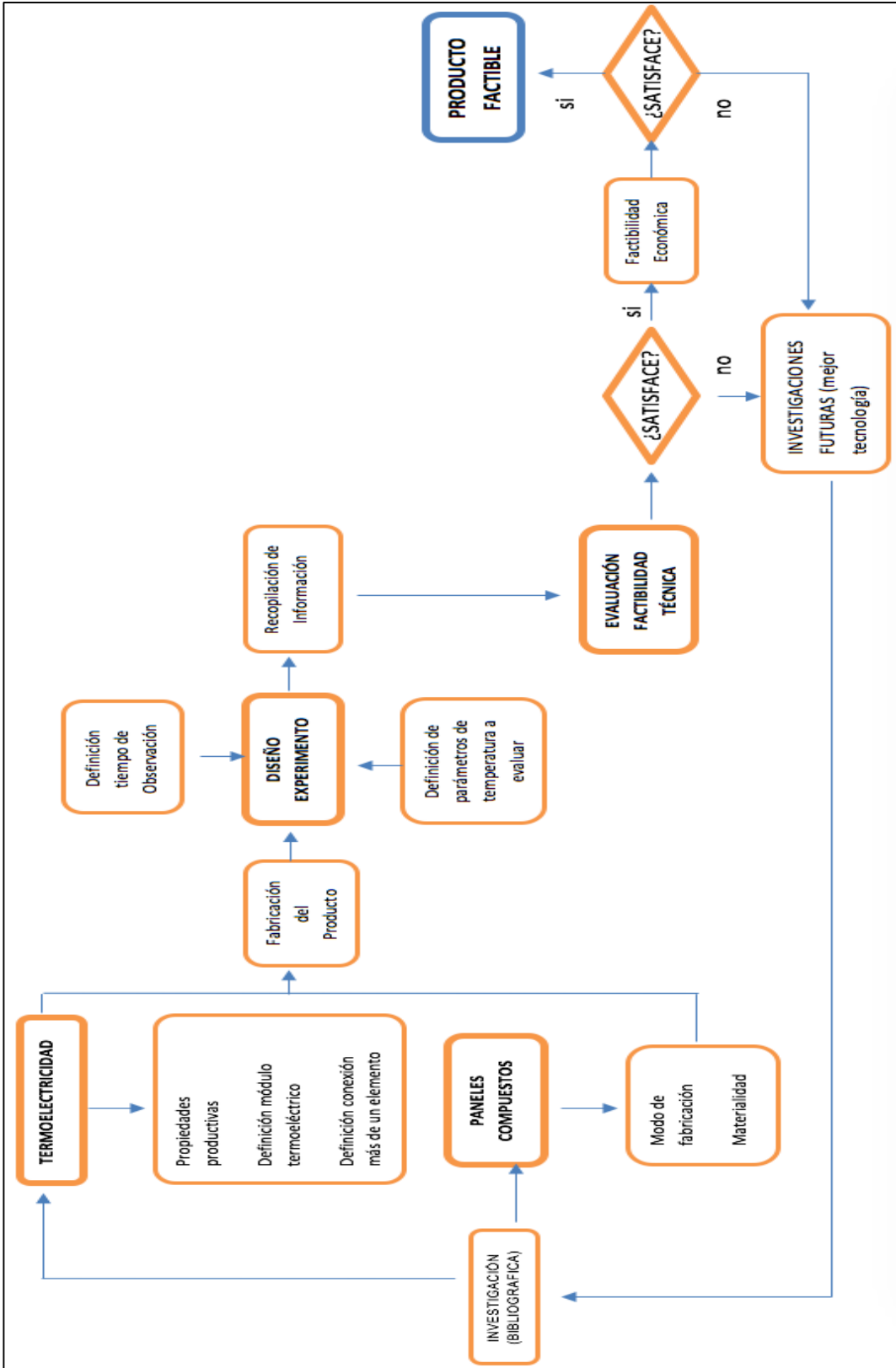


Figura 1.1 Mapa conceptual Metodología de la Investigación.

Capitulo 2:
Marco Teórico

2.1. Marco Teórico

La termoelectricidad se puede definir como el campo que relaciona la termodinámica con la electricidad, es decir, es el estudio de los fenómenos en los que intervienen el calor y la electricidad de forma conjunta. El efecto termoeléctrico en un material relaciona el flujo de calor que lo recorre con la corriente eléctrica que lo atraviesa o, expresado de otra forma, es la diferencia de potencial que se crea entre dos puntos de dicho material cuando están a diferentes temperaturas (Serrano, 2010).

En la naturaleza existen tres tipos de fenómenos termoeléctricos: el efecto Seebeck, el Peltier y el Thomson (Lord Kelvin), de los cuales los dos primeros son, hasta ahora, los de mayor aplicación.

En 1821 Thomas Johann Seebeck descubrió el efecto termoeléctrico al observar la desviación de una aguja metálica al situarla entre dos conductores de materiales distintos, unidos por uno de sus extremos y sometidos a una diferencia de temperatura. Para una pequeña diferencia de temperaturas entre las dos uniones de los materiales A y B (Figura 2.1), el voltaje del circuito abierto desarrollado es proporcional a la diferencia de temperatura y se da por:

$$\Delta E = \alpha_{AB} \times \Delta T$$

Dónde:

ΔE : voltaje del circuito abierto desarrollado

α_{AB} : coeficiente de Seebeck relativo (la diferencia entre coeficiente absoluto de Seebeck para los materiales A y B).

ΔT : diferencia de temperatura entre las uniones de los materiales A y B.

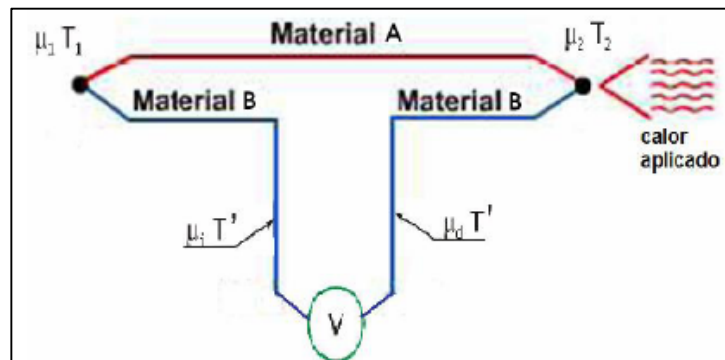


Figura 2.1 Efecto Seebeck (Ángeles y Márquez, 2005)

Explicando mejor este efecto lo ejemplificamos de la siguiente manera: primero se colocan dos materiales distintos formando una juntura, la diferencia en densidades electrónicas a ambos lados de la interface se traduce en una fuerza neta sobre los electrones, que tienden a moverse del material con mayor densidad a aquel con menos. Este flujo de electrones induce la aparición de un campo eléctrico y consecuentemente de una diferencia de potencial en la juntura (Bentley, 1998).

Consideremos ahora un circuito formado por dos de estas junturas puestas en serie, en lo que comúnmente se denomina un termopar. Si la temperatura de las dos junturas que confirman el termopar es la misma, los campos eléctricos formados en cada juntura tendrán igual módulo, pero signos distintos, por lo que la diferencia de potencial a lo largo de la juntura más caliente vibraran más y el campo eléctrico generado en esta juntura será distinto (mayor) al generado en la juntura a menor temperatura. De esta manera, la diferencia de temperaturas entre las junturas se evidencia como una diferencia de potencial en el circuito (Kai-Zhen et ál, 2008).

En 1834, Jean-Charles Peltier descubre el segundo efecto termoeléctrico. En la unión de dos materiales distintos, aparece una diferencia de temperaturas cuando los atraviesa una corriente eléctrica. Peltier descubrió que las uniones de dos materiales distintos se enfriaban o calentaban, dependiendo de la dirección con la que una corriente eléctrica pasara a través de ellas.

El calor, que es generado por la circulación de la corriente eléctrica en una dirección, es absorbido si se invierte su dirección. El efecto Peltier es, por lo tanto, la base para la aplicación de los materiales termoeléctricos en sistemas de refrigeración. En la figura 2.2, se representa un ejemplo del efecto de Peltier (proceso inverso al realizado en el efecto Seebeck) donde se aplica una diferencia de potencial entre los puntos C y D para que una corriente, con intensidad I , circule en el sentido de las agujas del reloj alrededor del circuito. Entonces se observa que la energía eléctrica está siendo transformada en energía térmica en el punto A, punto de unión de los materiales a y b. En el punto B, esta energía térmica se vuelve a transformar en energía eléctrica. Estas transformaciones provocan en el punto A un calentamiento (q), y en el punto B un enfriamiento ($-q$). Cuando la corriente se invierte, el punto A estará caliente mientras que el punto B estará frío.

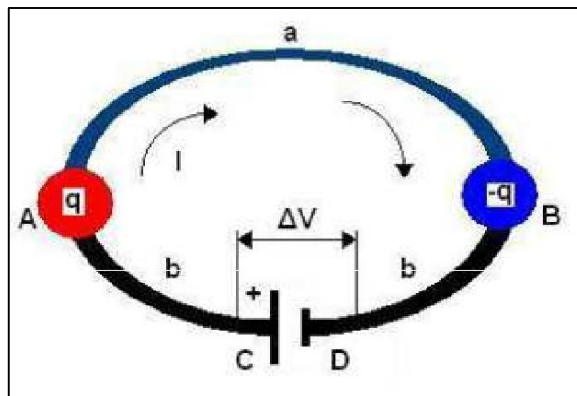


Figura 2.2 Efecto Peltier en termopar (Serrano, 2010)

La relación entre la corriente y el calor, determinan el coeficiente de Peltier, que se expresa con la siguiente ecuación:

$$\Pi_{ab} = Q/I$$

Siendo:

Π_{ab} : coeficiente de Peltier. [W /A]

I : intensidad de la corriente que recorre el circuito. [A]

Q : calor absorbido o cedido. [W]

En 1851, William Thomson, (Lord Kelvin), demuestra que los efectos Seebeck y Peltier están relacionados. Cuando se somete a un material a una diferencia de temperatura y, por lo tanto, es recorrido por un flujo de calor, se genera una corriente eléctrica. El efecto de Thomson se distingue de los efectos de Seebeck y Peltier en la existencia de un único material, a diferencia de estos dos que necesitan de la unión de dos materiales distintos. El efecto de Thomson relaciona el efecto de Seebeck y el efecto de Peltier con la cantidad de calor reversible generado, el cual es resultado de la circulación de una corriente eléctrica.

Esta corriente eléctrica circula a lo largo de una región de un conductor en el cual hay una diferencia de temperaturas, es decir, el efecto de Thomson consiste en la existencia de un flujo de calor en cada segmento del material cuando existen simultáneamente un gradiente de temperaturas y una corriente eléctrica. Aunque el efecto de Thomson no es de una importancia primordial en dispositivos termoeléctricos, no debe ser descuidado en cálculos detallados. Si la diferencia de temperaturas es pequeña, la ecuación que describe el efecto de Thomson es la siguiente:

$$Q = \tau * I * \Delta T$$

Donde,

Q= calor que se genera. [W]

I: intensidad de corriente que circula por el material termoeléctrico. [A]

ΔT : diferencia de temperaturas en el material termoeléctrico. [°C]

τ : coeficiente de Thomson.

El coeficiente de Thomson (τ), puede definirse directamente para un único material, al contrario que los coeficientes de Seebeck y de Peltier. Sin embargo, los tres coeficientes, Seebeck, Peltier y Thomson, no son independientes entre sí, si no que están relacionados por unas ecuaciones denominadas relaciones de Kelvin. La validez de estas relaciones se ha demostrado para muchos materiales termoeléctricos y se asume, por tanto, su aptitud para todos los materiales empleados en aplicaciones termoeléctricas.

El enfriamiento termoeléctrico no llegó a ser factible hasta los estudios de Telkes en los años 30, y de Ioffe en 1956, que dieron lugar a la llamada “figura de mérito (**Z**)”, la cual se define para materiales o dispositivos con el objetivo de determinar su utilidad relativa para un uso. Para caracterizar la eficiencia de los materiales termoeléctricos se determina la figura de mérito, representada por Z. Esta figura de mérito tiene dependencia con la temperatura y su valor es directamente proporcional a la eficacia del material termoeléctrico. Tanto para la generación de

energía como para los requerimientos de enfriamiento, los materiales termoeléctricos elegidos necesitan tener un coeficiente Seebeck (α) a alto, una conductividad eléctrica (σ) elevada y una conductividad térmica (κ) lo más baja posible. La eficiencia de un material termoeléctrico depende directamente de la figura de mérito (Z), definida como:

$$Z = 2\alpha\sigma/\kappa$$

Donde,

- Z = Figura de mérito Z .
- α : Coeficiente Seebeck.
- σ : Conductividad Eléctrica.
- κ : Conductividad Térmica.

Los materiales con un valor elevado de la figura de mérito son precisamente los semiconductores, en especial los muy densamente dopados. Los más conocidos son los telururos de antimonio y bismuto.

A partir de los estudios de Ioffe y Telkes, y el desarrollo y la demanda de la industria electrónica, se dio el gran impulso a la ciencia de los materiales, siendo el descubrimiento y la constante innovación de los semiconductores lo que posibilitó el aumento de la eficiencia, siempre muy baja, de los generadores termoeléctricos y lograr enfriamientos con dispositivos basados en el efecto Peltier de temperatura ambiente a bajo cero. Incluso con la aparición y uso de los semiconductores no se han llegado a obtener los resultados esperados, en gran parte debido a la lenta evolución de éstos.

2.1.1. Materiales termoeléctricos

Los dispositivos termoeléctricos se basan en el hecho de que cuando ciertos materiales son calentados, generan un voltaje eléctrico significativo. Por el contrario, cuando se les aplica un voltaje, se vuelven más calientes en un lado, y más fríos en el otro. El proceso surge efecto en diversos materiales, y funciona especialmente bien en los semiconductores. Pero siempre tuvo un gran inconveniente: es muy ineficiente.

El problema fundamental para crear materiales termoeléctricos eficientes es que necesitan ser muy buenos transmitiendo la electricidad, pero no el calor. De ese modo, un extremo del aparato puede calentarse mientras el otro permanece frío, en lugar de que el material iguale rápidamente la temperatura. La comparación de propiedades termoeléctricas de metales, semiconductores y aislantes a 25 °C se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Comparación de propiedades termoeléctricas de metales, semiconductores y aislantes a 25 °C. Coeficiente Seebeck (S), conductividad eléctrica (σ) y la figura de mérito Z (K^{-1}), (Zheng, 2008).

Propiedad	Metales	Semiconductores	Aislantes
S ($\mu V K^{-1}$)	5	200	1000
σ ($\Omega^{-1} cm^{-1}$)	10^6	10^3	10^{-12}
Z (K^{-1})	3×10^{-6}	2×10^{-3}	5×10^{-17}

En la mayoría de los materiales, la conductividad eléctrica y la térmica van de la mano. Así que los investigadores tuvieron que encontrar formas de modificar los materiales para separar las dos propiedades.

Actualmente, en la fabricación de dispositivos termoeléctricos se emplean mayoritariamente aleaciones semiconductoras, las cuales alcanzan valores de Z próximos a uno, por ejemplo Bi-Te, Sb-Te o Si-Ge. De hecho, la historia de los materiales termoeléctricos puede ser caracterizada por el progreso en aumento de la figura de mérito y la temperatura de servicio como se muestra en las figuras 2.3 y 2.4.

El uso de nano estructuras ha servido para dar un salto en el desarrollo de los materiales térmicos basados en semiconductores. Se fabricaron compuestos de Bi_2Te_3 y Sb_2Te_3 con resultados que daban ZT de 2.4 para material tipo p y 1.6 para el tipo n (Venkatasubramanian et al).

Otros trabajos teóricos basados en el desarrollo de nano hilos para el bismuto y Bi-Sb sugieren que el límite de ZT es posible incrementarlo incluso a valores de 20.

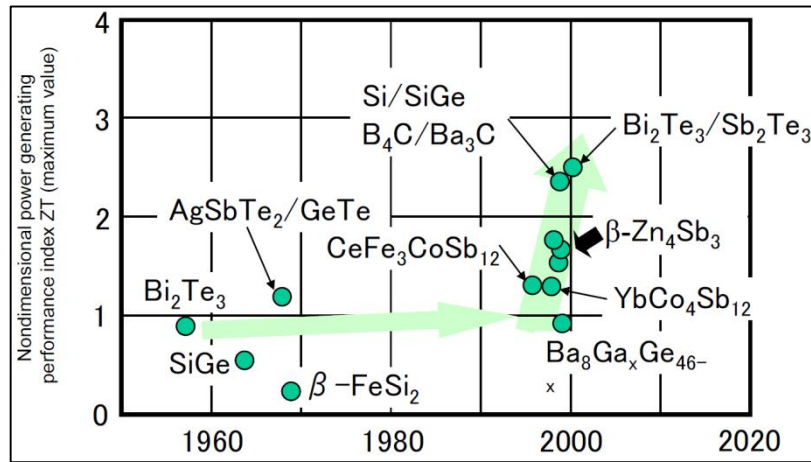


Figura 2.3 Figura de mérito (Z) de muchos materiales termoeléctricos en función de su año reinención (Kawamoto, 2009).

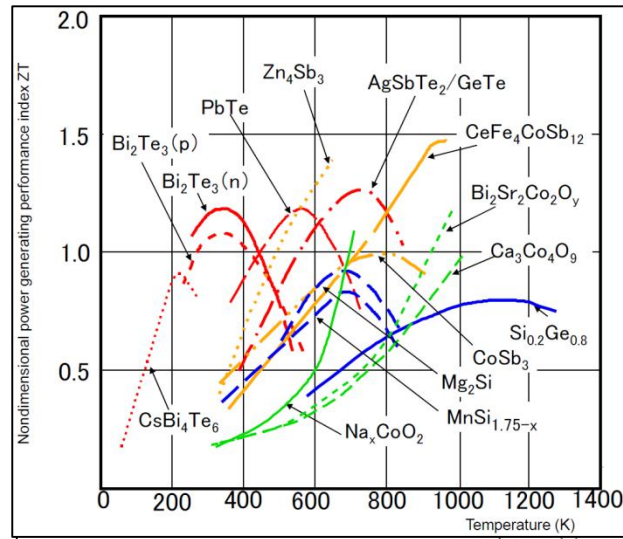


Figura 2.4 Dependencia de la temperatura en el índice de rendimiento de generación de energía adimensional de los principales materiales termoeléctricos (Kawamoto, 2009).

Se está trabajando con óxidos debido a que poseen muchas ventajas, como elevada resistencia a la oxidación, estabilidad a elevadas temperaturas, no son tóxicos, entre otros. Los óxidos habían sido ignorados durante mucho tiempo por la comunidad científica hasta el descubrimiento del Na_xCoO_2 en 1997. Este hecho activó el interés por la investigación de los óxidos basados en el cobalto, lo que ha llevado al descubrimiento de otros miembros de esta familia, denominados cobaltitas. El máximo valor de Z generado por este grupo de compuestos ha superado la unidad. En contraste, los materiales de tipo n que han sido descubiertos sólo han generado valores de Z bajos,

menores de la unidad. Para mejorar las prestaciones de generación termoeléctrica utilizando óxidos, la fabricación de módulos es indispensable. Sin embargo, se han encontrado algunos problemas en la fabricación de estos módulos, ya que los óxidos ofrecen baja resistencia mecánica, y una elevada resistencia en el contacto entre óxidos y electrodos. Por este motivo, en ocasiones la utilización de los óxidos en los dispositivos termoeléctricos ha sido discutida. La competitividad en la búsqueda de nuevos óxidos con propiedades termoeléctricas ha llevado a investigaciones desde diferentes puntos de vista, desde el diseño de los materiales a la búsqueda de uniones con menor resistencia eléctrica.

En los últimos años se han realizado esfuerzos en el estudio de materiales semiconductores llamados skutterudites por sus particulares propiedades eléctricas y térmicas en rango de temperatura alto que consigue obtener elevadas figuras de mérito(López, 2006).

2.1.2. Módulos termoeléctricos

El diseño de cualquier aplicación termoeléctrica conlleva, desde el punto de vista térmico, el estudio de dos grandes problemas muy relacionados entre sí. Por un lado estaría el estudio de los fenómenos termoeléctricos en los semiconductores (efecto Seebeck, efecto Thomson y efecto Peltier) que debemos tener en cuenta en el diseño del módulo termoeléctrico; y por otro lado la influencia de los efectos irreversibles (efecto Fourier y el efecto Joule) que aparecen siempre como consecuencia de establecerse un gradiente térmico y del potencial eléctrico respectivamente en los termoelementos.

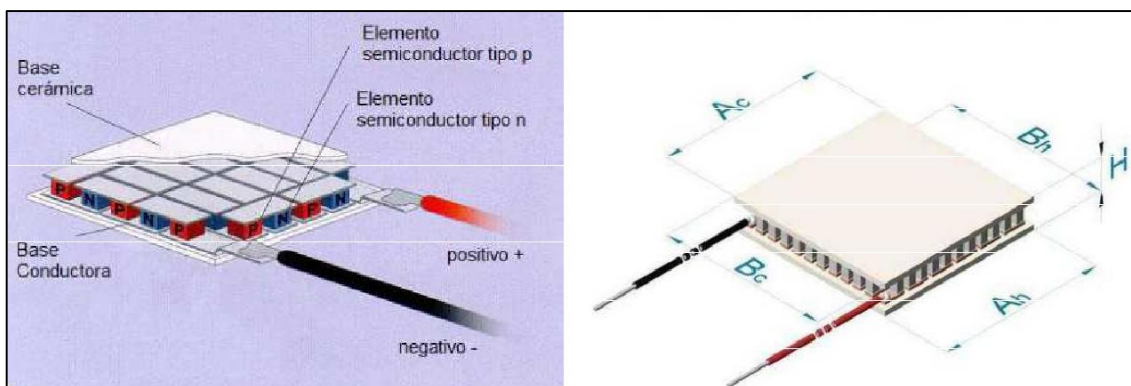
La optimización de los módulos termoeléctricos ante unas determinadas condiciones de operación, conlleva un estudio detallado del salto térmico, cargas térmicas a disipar, etc. Así como el estudio de las condiciones geométricas (espacio disponible, tamaño de la aplicación), y punto de trabajo (máxima eficiencia o máxima potencia frigorífica bombeada). Bajo estas condiciones se podría determinar cuál es, para dicha aplicación específica, el tamaño óptimo del termoelemento (sección transversal y altura), distancia entre pares termoeléctricos, dimensiones de los puentes eléctricos, etc.

La evolución de los módulos termoeléctricos, así como los desarrollos alcanzados en ellos dependen esencialmente de dos factores, por una parte las propiedades termoeléctricas de los materiales que lo constituyen, principalmente los semiconductores, y por otra parte la estructura externa a dichos semiconductores y que constituyen la arquitectura del módulo. Cuando se trata de evaluar la estructura completa se utiliza el coeficiente de rendimiento COP (Coefficient of Performance) que relaciona la potencia eléctrica con la potencia calorífica del módulo.

El modo de conexión de los módulos termoeléctricos puede verse en la Figura 2.5(a), se conecta eléctricamente en serie, es decir, se intercalan los elementos de modo que resulten negativo-positivo-negativo-positivo-negativo-positivo y así sucesivamente. La conexión térmica se realiza en paralelo, esto quiere decir que todas las uniones donde la corriente va del elemento p al n, estén en contacto térmico con la misma cara del módulo donde se liberará calor, y todas las uniones donde la corriente va del elemento n al p, estén en contacto térmico con la otra cara, que absorberá calor. Los elementos semiconductores se colocan entre dos placas cerámicas, de elevada conductividad térmica pero baja conductividad eléctrica, para formar lo que se denominan módulos termoeléctricos.

Un módulo termoeléctrico es un sistema de conversión termoeléctrica cuya construcción, en bloque, es muy similar para las aplicaciones de generación de electricidad y de refrigeración. Su principal diferencia radica en la geometría de los termoelementos, debe ser alargada, ya que su aplicación es de generación y, en el caso de refrigeración, la forma será más gruesa y achatada. El tamaño de los módulos termoeléctricos es muy variable, puede ir desde 1.5 hasta más de 50 mm².

El funcionamiento de los módulos termoeléctricos se basa en dos efectos conocidos y mencionados anteriormente, el efecto de Seebeck, y el efecto de Peltier. Los que operan en aplicaciones de intercambio de calor, normalmente refrigerando, son los llamados módulos Peltier (Figura 2.5(b)). En la figura 2.6 se puede observar un ejemplo de las diferentes partes en el montaje de un módulo Peltier.



(a)

(b)

Figura 2.5 (a) Modo de conexión de un módulo termoeléctrico, (b) módulo termoeléctrico peltier (Serrano, 2010)



Figura 2.6 Montaje de un módulo Peltier (Serrano, 2010)

Los módulos Peltier se utilizan también en dispositivos científicos, siendo un componente común en los Termocicladores (recicladores térmicos de PCR), que se utilizan para la síntesis de ADN por reacción en cadena de la polimerasa, una técnica biológica molecular común que requiere el rápido calentamiento y enfriamiento de la mezcla de la reacción para la desnaturalización, hibridación de los cebadores y los ciclos de síntesis enzimática. Una de sus primeras aplicaciones, aprovechando el efecto Seebeck, se usaron como generadores de energía termoeléctrica en satélites y naves espaciales, ya que no en todas partes es posible usar paneles fotovoltaicos. Desde 1961, algunas naves no tripuladas (incluyendo el vehículo Curiosity explorador de Marte) utilizan generadores termoeléctricos de radioisótopos (RTG) que convierten la energía térmica en energía eléctrica, gracias al efecto Seebeck. Tanto los detectores de fotones como CCDs en telescopios astronómicos, espectrómetros, o cámaras digitales de muy alta gama, a menudo se enfrían con módulos Peltier.

Un recuento oscuro se produce cuando un píxel registra un electrón debido a una fluctuación térmica y no por haber recibido un fotón. En las fotos digitales tomadas con poca luz se muestra un efecto de "nieve", llamado "ruido pixel".

También los refrigeradores termoeléctricos se pueden utilizar para enfriar los componentes informáticos para mantener la temperatura dentro de los límites de diseño, o para conseguir un funcionamiento estable cuando se realiza overclocking. Un enfriador Peltier con un disipador de calor o bloque de agua puede enfriar un chip muy por debajo de la temperatura ambiente. En aplicaciones de fibra óptica, donde la longitud de onda de un láser o un componente es altamente dependiente de la temperatura, se emplean enfriadores Peltier junto con un termistor en un circuito de retroalimentación para mantener una temperatura constante y con ello estabilizar la longitud de onda del dispositivo. Algunos equipos electrónicos científicos para uso en el campo también se enfrían con módulos Peltier.

Como resultado del gran desarrollo que ha sufrido la tecnología, y los avances en los materiales de los últimos años, la vida útil de los módulos termoeléctricos es un factor a su favor. Los módulos termoeléctricos actuales proporcionan un largo período de uso, con un rango entre las 100.000 y las 200.000 horas. Esto se debe a que en el proceso de fabricación y mejora de las propiedades de los materiales termoeléctricos se les somete a procesos a elevadas temperaturas por tanto, durante su funcionamiento, estos dispositivos, al estar operando en elevadas temperaturas, sufren un continuo proceso de mejora de sus propiedades.

La máxima diferencia de temperaturas que puede ser lograda con un único módulo puede verse limitada a las propiedades de los materiales empleados. Sin embargo, es posible incrementar esta diferencia de temperaturas mediante la instalación de varios módulos de manera superpuesta, como se observa en la figura 2.7. Otra forma de aumentar esta diferencia de temperatura es aumentar el espesor de uno de los pisos de los que se compone el módulo.



Figura 2.7 Módulos termoeléctricos superpuestos (Serrano, 2010)

En esta investigación, los módulos irán dispuestos a lo largo dentro de un panel compuesto y no de manera superpuesta, en el cual lograríamos aprovechar la diferencia de temperatura generada al interior y exterior de una edificación, alcanzando generar el total o parte de la energía eléctrica consumida por el inmueble en cuestión, gracias al intercambio calórico que se generara.

De acuerdo a las normas de acondicionamiento térmico, existe un intercambio de temperatura alrededor de toda la edificación, por lo que es necesario incorporar aislación en cada punto en el que queramos evitar esta pérdida de inercia térmica. De los materiales utilizados como aislantes se encuentran: Poliéstireno expandido, lana mineral, espuma de poliuretano, lana de vidrio y los llamados paneles sándwich o paneles aislantes compactos, entre otros. Además de componente aislante puede ser usado como elemento estructural.

2.2. Paneles Compactos o Sándwich

El panel compacto está formado por un núcleo aislante de poliestireno expandido unido a dos capas de cobertura exteriores metálicas y no metálicas, las metálicas generalmente de acero galvanizado o aluminio y las no metálicas de madera o plástico. Durante el proceso de fabricación, se preparan las capas de cobertura perfilando y troquelando si es necesario de acuerdo a la forma inicial deseada, se transportan a la prensa y allí el cabezal mezclador inyecta los componentes con una dosificación predeterminada, formando el poliestireno expandido en fase líquida, su reacción química produce un crecimiento de la espuma adhiriéndose a las dos capas de cobertura, inferior y superior, con el desarrollo de calor y presión, está un tiempo bajo presión que será menor o mayor en función del espesor hasta su curado (estabilidad dimensional). Los paneles sándwich fabricados se cortaran o no según necesidad a las longitudes predeterminadas.

De forma característica los paneles incluyen al menos las siguientes funciones: aislamiento térmico u acústico, y propiedades de cerramiento o compartimentación (impermeabilidad al aire o al agua, resistencia a cargas de viento, etc.).

Generalmente se trata de conjuntos formados por dos caras externas de pequeño grosor entre las que se encuentran adherida una capa de material aislante. El comportamiento y las prestaciones del panel variarán en gran medida en función de los materiales utilizados, sus espesores, rigidez y la coherencia alcanzada entre núcleo y caras.

Los paneles se fijan a la estructura mediante elementos mecánicos como tornillos, clips, pletinas, etc. Otra de las características específicas de estos sistemas constructivos es la existencia de juntas perimetrales que se permiten a cada panel unirse con el resto de paneles vecinos, manteniendo las propiedades del conjunto (aislamiento térmico, estanqueidad, etc.).

Como características propias de los paneles sándwich se pueden citar las siguientes:

- Ligereza frente a otros sistemas
- Modularidad
- Instalación estandarizada
- Prefabricación
- Capacidad mecánica mejorada, principalmente rigidez.
- Incorporación en un único producto de productos con funciones diversas.

Las ventajas de los sistemas de paneles sándwich debidas a sus características son múltiples y por este motivo son un material apropiado para la incorporación de la tecnología termoeléctrica, manteniendo las distancias aptas entre conectores y mayor facilidad para la incorporación de estos en la fabricación y además su uso estructural le da acceso directo al interior y exterior de la edificación, para así obtener la diferencia de temperatura requerida.

2.2.1 Acero Galvanizado

El acero galvanizado es aquel que se obtiene luego de un proceso de recubrimiento de varias capas de la aleación de hierro y zinc. Por lo general se trata de tres capas de la aleación, las que se denominan “gamma”, “delta” y “zeta”. Finalmente se aplica una última y cuarta capa externa que sólo contiene zinc, a la que se le llama “eta”, y es la que le da aquel típico aspecto gris brillante al acero.

El recubrimiento galvanizado le otorga al acero una excelente protección, entregándole propiedades fabulosas entre las que se encuentra su gran resistencia a la abrasión, así como también a la corrosión. Esta última característica produce tres excelentes efectos. El primero, denominado “protección por efecto de barrera” consta en la aislación frente a un medio ambiente que podría ser bastante agresivo. En segundo lugar, la “protección catódica o de sacrificio” es aquella en la que el zinc se comporta como la parte anódica de la corrosión, de este modo, mientras haya recubrimiento de zinc, entonces el acero estará protegido. Por último, la “restauración de zonas desnudas” se refiere a que la corrosión del zinc logra tapar aquellas discontinuidades que pueden existir en el recubrimiento a causa de la corrosión u otro tipo de daños, como por ejemplo, un golpe fuerte.

Por otra parte, el galvanizado aporta protección contra la corrosión atmosférica, que responde a las condiciones climáticas del lugar en la que la pieza de acero se encuentre ubicada, así como también contra los agentes contaminantes como el óxido de azufre y los cloruros típicos de las zonas cercanas a la costa. Otra de las protecciones que brinda el galvanizado guarda relación con el agua, tanto dulce, como de mar.

En resumen, dentro de las múltiples ventajas que hacen de este proceso de galvanizado algo tan positivo y necesario se encuentra que otorgan al acero una durabilidad mucho mayor, así como también una gran resistencia. Cabe destacar la gran protección que este recubrimiento le otorga, protegiéndolo como una barrera física, de forma electroquímica y brindándole un proceso de auto curado con los productos de la corrosión del zinc. Su conductividad térmica esta entre 47-58 (W/(m*K)).

2.2.2 Aluminio

El aluminio es un elemento químico metálico, de símbolo Al y número atómico 13, que pertenece al grupo IIIA del sistema periódico. El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles. Las aleaciones de aluminio son ligeras, fuertes, y de fácil formación para muchos procesos de metalistería; son fáciles de ensamblar, fundir o maquinar y aceptan gran variedad de acabados. Por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en el metal no ferroso de mayor uso.

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza. Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de aluminio silicato. Cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos. En esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en la producción de aluminio.

El aluminio es un metal plateado con una densidad de 2.70 g/cm^3 a 20°C (1.56 oz/in^3 a 68°F). El que existe en la naturaleza consta de un solo isótopo, $^{27}_{13}\text{Al}$. El aluminio cristaliza en una estructura cúbica centrada en las caras, con lados de longitud de 4.0495 angstroms. (0.40495 nanómetros). También se reconoce por su alta conductividad eléctrica y térmica, lo mismo que por su gran reflectividad. Su conductividad térmica es de $237 \text{ (W/(m}\cdot\text{K))}$.

2.2.3. Poliestireno Expandido

El poliestireno es un derivado plástico que se elabora a partir de diversos productos obtenidos por la destilación del petróleo. Como material utilizado en la construcción, y concretamente como material aislante, se fabrican dos clases diferentes de poliestireno: poliestireno expandido y poliestireno extruido.

Concretamente, el poliestireno expandido se encuentra comercializado como material de aislamiento en forma de espuma rígida de poliestireno expandido (EPS), aunque comúnmente se le conoce con la denominación de Plumavit. Este tipo de producto se obtuvo en los años 50, a partir de añadir al poliestireno plástico un producto químico con propiedades de expansión, es decir, aumentando el volumen de los huecos en el interior del material.

En realidad, en su proceso de elaboración, el plástico se somete a la acción del vapor de agua con lo que aumenta unas 50 veces el volumen de sus moléculas, al aprisionar aire en su interior.

Como propiedades más significativas cabe destacar:

- Es de color blanco, e incluso ligeramente traslúcido cuando tiene muy poco grosor.
- Es estable térmicamente hasta los 70°.
- Se comercializa en planchas rígidas, en piezas de 1 a 1,20 m de ancho y de 1; 1,20; 1,50; 2 y hasta 3 m de alto.
- Los espesores más comunes en este tipo de placas suelen ser de 1; 2; 2,5; 3 y 10 cm.
- La densidad habitual oscila entre los 10 y los 30 kg/m³.

2.2.4 Acumuladores de energía (baterías)

Si la cantidad de volts producidos por los paneles es muy baja, esta energía se puede aprovechar como energía secundaria o de apoyo, es decir, por si fallase algo, tenerla como fuente eléctrica de repuesto, y mientras funcionan los suministros normales de energía, ir acumulando la que produce el generador termoeléctrico en baterías o acumuladores de energía.

Una vez producida una tensión por los paneles con tecnología termoeléctrica, la energía será recibida por un receptor, en este caso un acumulador eléctrico. La función de esta batería será acumular la energía que se producirá durante las horas en que se produzca diferencia de temperatura en las caras de los paneles. Este acumulador cumple además la función de proveer una intensidad de corriente superior a la generada por los paneles con tecnología termoeléctrica en determinado momento.

La capacidad nominal del banco de baterías recomendado es de 12 voltios. Luego de existir una acumulación significativa en la batería, se debe realizar una conversión de potencia. Esta conversión se realiza a través de un convertidor de energía eléctrica de una forma a otra, en este caso de corriente continua a corriente alterna. Realizada esta conversión la energía eléctrica puede ser aprovechable.

Capitulo 3:

Desarrollo de la Investigación

3.1. Diseño Experimental

3.1.1. Generalidades

El diseño de la experiencia se encuentra descrito en el presente capítulo, guiando la secuencia de etapas de la investigación que conducen a conseguir los objetivos de este proyecto de tesis.

Esta experiencia busca cuantificar la cantidad de energía producida al experimentar con distintas configuraciones de materialidad y diferencias de temperatura aplicadas a un panel aislante con tecnología termoeléctrica.

En primer lugar se confeccionarán paneles de 30x35 centímetros los que se diferenciarán uno de otro en el espesor y tipo de materialidad de su chapa y en el espesor del aislante, para luego ser sometidos a diferencias de temperatura logrando determinar con que panel se obtiene mayor cantidad de energía eléctrica. Cada panel será puesto a prueba generando una diferencia de temperatura desde 10 a 30 grados celsius entre sus caras, con el fin de generar una situación similar a la realidad de las condiciones climáticas del país.

A continuación se detallará de acuerdo a la metodología implementada, los criterios adoptados para la correcta ejecución de las pruebas, con la aplicación de las normas correspondientes, los procedimientos y equipamientos utilizados para determinar las variables.

3.1.2. Materiales y Métodos que intervienen en el estudio

Los materiales a utilizar en la confección de los paneles fueron Acero Galvanizado, Aluminio, poliestireno expandido y módulos termoeléctricos.

3.1.2.1. Aluminio

La plancha de aluminio a utilizar en la investigación, será de tipo liso, de 1 mm de espesor, la cual cumple con la norma de fabricación ASTM A-240/480.

3.1.2.2. Acero Galvanizado

Las planchas de acero galvanizado a utilizar en la investigación, serán de 0.35, 0.65 y 1mm de espesor, las cuales cumplen con la norma chilena Nch 222 of 1999.

3.1.2.3. Poliestireno Expandido

El poliestireno expandido a utilizar en esta investigación, será de espesores 2, 4 y 6 centímetros, de marca Aislapol, de 10kg/m³ de densidad.

3.1.2.4. Módulo termoelectrico

Se utilizará un tipo de placa termoelectrica modelo TEC1-12706 de marca GENERICA, el cual estará aislado térmicamente para proteger debidamente los componentes del generador termoelectrico. Esta placa es de dimensiones 4 x 4 x 0,35 centímetros, como se ilustra en la figura 3.1.

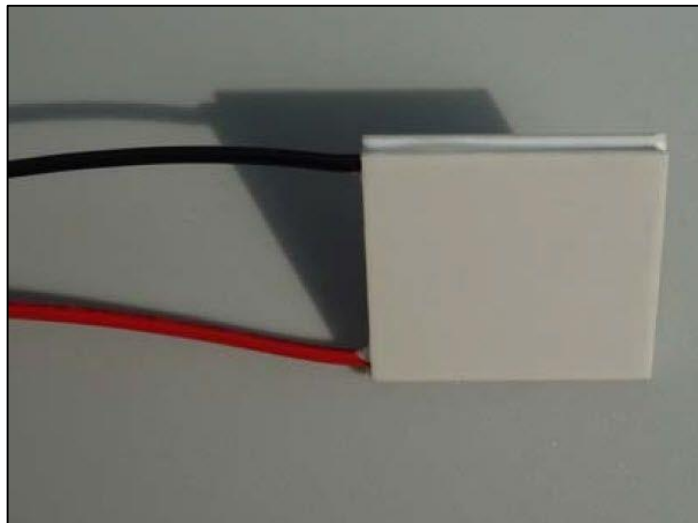


Figura 3.1 Módulo termoelectrico TEC1-12706 GENERICO.

Información proporcionada por el fabricante (por cada pelt):

- Coeficiente de Seebeck $\alpha = 200 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Longitud de cada pelt $L = 1,3 \text{ mm}$
- Área de cada pelt $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} A = 4 \text{ mm}^2$
- Resistividad eléctrica $\rho = 1 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$
- Conductividad térmica $k = 1.5 \text{ W/mK}$
- Factor de mérito $Z \approx 2.5 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
- Termopares 127 $\rightarrow n = 254$ pelts

3.1.3. Planteamiento y definición de variables

3.1.3.1. Variables independientes

Las variables independientes de esta investigación tienen relación con los factores que se modificarán para obtener las variables de respuesta; como lo es la materialidad, el espesor de chapa y espesor de Aislante de cada panel puesto a prueba, como muestra la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Definición de Variables Independientes.

Variable	Niveles	Definición
Tipo de Chapa	2	Acero Galvanizado
		Aluminio
Espesor de Chapa (mm)	3	0,35
		0,6
		1
Espesor de Aislantes (cm)	3	4
		8
		12
Diferencias de Temperatura ($^\circ\text{Celsius}$)	5	10
		15
		20
		25
		30

3.1.3.2. Variables dependientes

Las variables dependientes corresponderán a la cantidad de Voltaje obtenido en las pruebas a las que serán sometidos los paneles, aplicando diferencias de temperatura en ambas caras.

3.1.3.3. Parámetros de Control

1. Tipo de Aislación: La aislación a utilizar será poliestireno expandido en paneles con chapa de Acero Galvanizado y paneles con chapa de Aluminio.
2. Módulos termoeléctricos: Tec1-12706 Genérico.
3. Conexión de Módulos termoeléctricos: Conexión en serie de 4 placas Peltier TEC1-12706, distribuidas uniformemente al interior del panel (para no alterar la eficiencia termica del panel).
4. Tiempo de Observación: Se mantendrá en estudio cada panel durante una hora por cada diferencia de temperatura establecida, controlando y registrando la cantidad de voltaje e intensidad generada.

3.1.4 Factorial de experimento

Tipo de Chapa		Acero Galvanizado									Aluminio		
Espesor Chapa		0,35mm			0,6mm			1mm			1mm		
Espesor Aislante(m m)		40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120
ΔT°	10	X _{AG,0.3} 5,40,10	X _{AG,0.35} ,80,10	X _{AG,0.35} 120,10	X _{AG,0.6} ,40,10	X _{AG,0.6} ,80,10	X _{AG,0.6} 120,10	X _{AG,1} 40,10	X _{AG,1} 80,10	X _{AG,1} 120,10	X _{AL,1} 40,10	X _{AL,1} 80,10	X _{AL,1,1} 20,10
	15	X _{AG,0.3} 5,40,15	X _{AG,0.35} ,80,15	X _{AG,0.35} 120,15	X _{AG,0.6} ,40,15	X _{AG,0.6} ,40,15	X _{AG,0.6} 120,15	X _{AG,1} 40,15	X _{AG,1} 80,15	X _{AG,1} 120,15	X _{AL,1} 40,15	X _{AL,1} 80,15	X _{AL,1,1} 20,15
	20	X _{AG,0.3} 5,40,20	X _{AG,0.35} ,80,20	X _{AG,0.35} 120,20	X _{AG,0.6} ,40,20	X _{AG,0.6} ,40,20	X _{AG,0.6} 120,20	X _{AG,1} 40,20	X _{AG,1} 80,20	X _{AG,1} 120,20	X _{AL,1} 40,20	X _{AL,1} 80,20	X _{AL,1,1} 20,20
	25	X _{AG,0.3} 5,40,25	X _{AG,0.35} ,80,25	X _{AG,0.35} 120,25	X _{AG,0.6} ,40,25	X _{AG,0.6} ,40,25	X _{AG,0.6} 120,25	X _{AG,1} 40,25	X _{AG,1} 80,25	X _{AG,1} 120,25	X _{AL,1} 40,25	X _{AL,1} 80,25	X _{AL,1,1} 20,25
	30	X _{AG,0.3} 5,40,30	X _{AG,0.35} ,80,30°	X _{AG,0.35} 120,30	X _{AG,0.6} ,40,30	X _{AG,0.6} ,40,30	X _{AG,0.6} 120,30	X _{AG,1} 40,30	X _{AG,1} 80,30	X _{AG,1} 120,30	X _{AL,1} 40,30	X _{AL,1} 80,30	X _{AL,1,1} 20,30

$X_{i,j,k,z}$ = Voltaje producido para materialidad de chapa i, espesor de chapa j, Espesor de aislante k, y diferencia de temperatura z.

Con las variables independientes se confecciono la factorial de experimento, el cual determinó los distintos paneles que se confeccionaran con respecto a los espesores de chapa y espesores de panel.

En total se construirán 12 tipos de paneles para desarrollar las distintas suposiciones a distintas diferencias de temperatura.

3.1.4.1. Procedimiento a realizar

Para construir un panel con tecnología termoeléctrica, primero se debe trazar y cortar los distintos espesores de poliestireno expandido a utilizar en el panel y los agujeros en los que se insertaran los módulos termoeléctricos, como se muestra en la figura 3.2 y 3.3. Además cortar las distintas planchas de acero galvanizado y aluminio a utilizar (Figura 3.4).



Figura 3.2 Trazado y corte de planchas de poliestireno expandido. Fuente: Elaboración Propia, 2016.

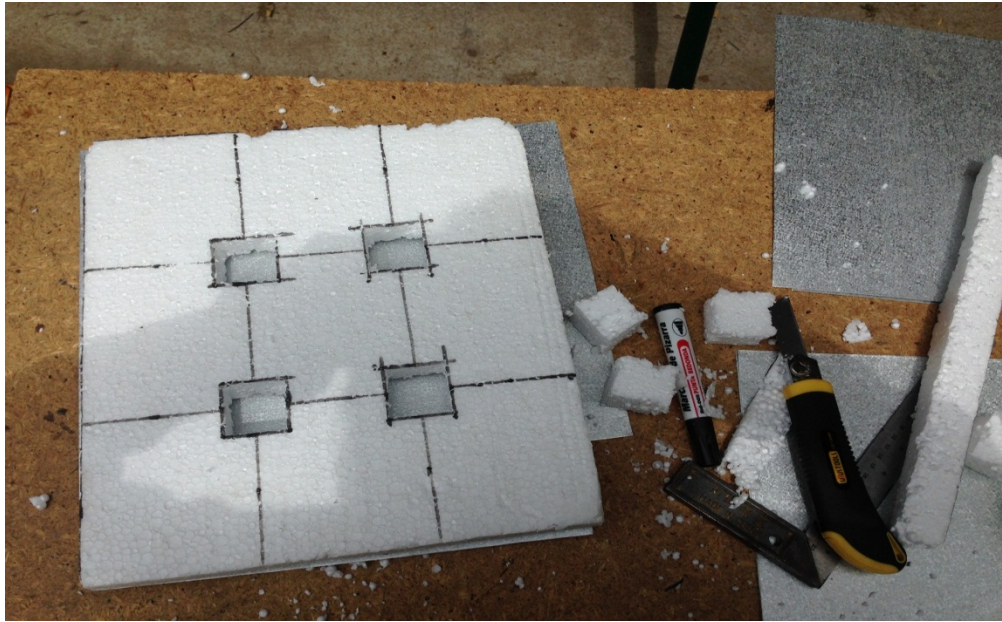


Figura 3.3 Corte de agujeros en planchas de poliestireno expandido. Fuente: Elaboración propia, 2016.

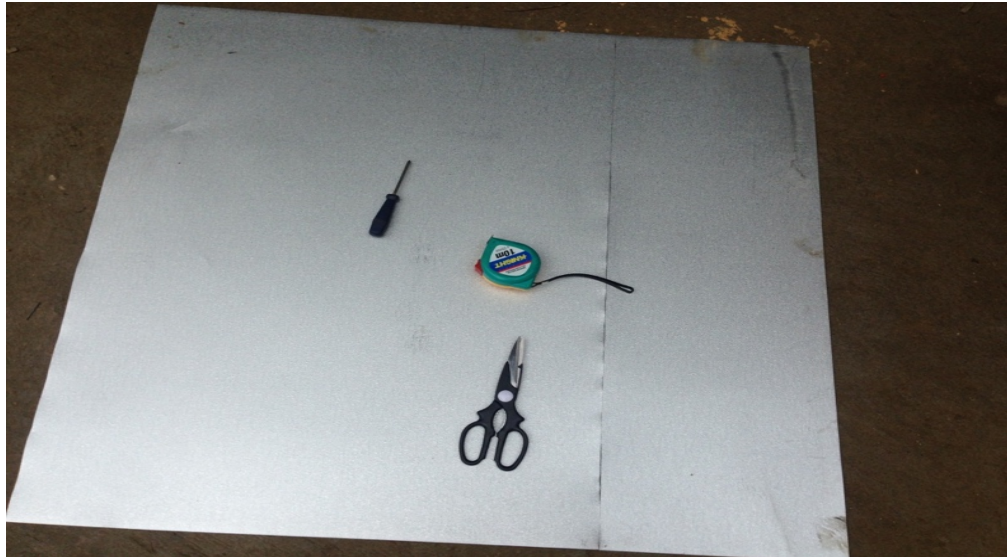


Figura 3.4 Trazado y corte de planchas de acero galvanizado. Fuente: Elaboración propia, 2016.

Luego de haber cortado las planchas de poliestireno, se realiza la puesta y conexión de los módulos termoeléctricos en cada aislante de panel. Los paneles con chapa de acero galvanizado y aluminio presentan la misma conexión en serie de 4 placas peltier como se puede verificar en la Figura 3.5.

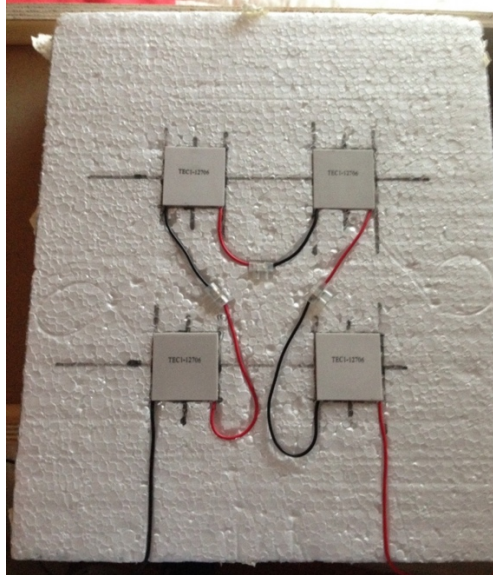


Figura 3.5 Conexión en serie de placas peltier, para paneles con chapa de acero galvanizado y aluminio. Fuente: Elaboración propia, 2016.

Para el experimento se construyó una cámara sellada de madera terciada de dimensiones 1 mt x 0,35mt x 0,30mt (Figura 3.6), en donde se instala el panel construido justo en el medio de esta cámara y en la cual se le aplicaran las diferencias de temperatura antes mencionadas en ambas caras del panel con tecnología termoeléctrica.

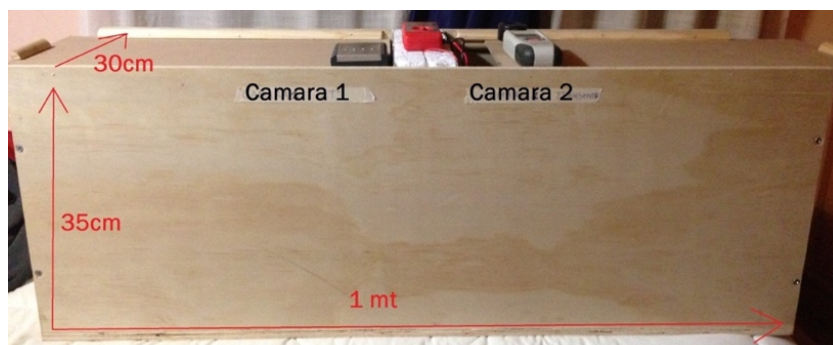


Figura 3.6 Cámara de madera terciada de dimensiones 1x0.35x0.3 metros. Fuente: Elaboración propia, 2016.

Cada panel será colocado a prueba dentro de esta cámara y será sometido a una diferencia de temperatura en el cual se mantendrá en estudio. Se realizará la medición de la temperatura en cada ambiente y la electricidad generada por el panel medida mediante un multímetro digital UT20B, como muestra la figura 3.7.

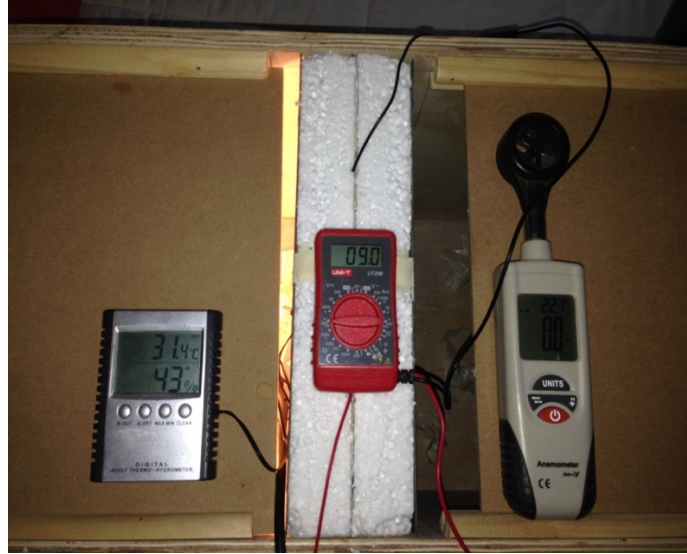


Figura 3.7 Panel con tecnología termoeléctrica puesto a prueba en la cámara. Fuente: Elaboración propia, 2016.

Esta acción se realizara con todos los paneles fabricados para así lograr los resultados propuestos y realizar una comparación respecto a los espesores de chapa y aislantes ocupados en el experimento.

Capitulo 4:

Presentación y Análisis de Resultados

4.1.2 Presentación de Resultados

La Tabla 4.2 presenta el resumen del voltaje medido para el panel 1, expuesto a diferentes diferencias de temperatura.

Tabla 4.2 Rendimiento panel con chapa de 0,35mm de Acero Galvanizado y Aislante de 4 cm de Espesor.

Tipo de Chapa	Acero Galvanizado 0,35mm									
Tipo de Aislante	Poliestireno Expandido 4 cm									
Tiempo de Observación (minutos)	ΔT° 10		ΔT° 15		ΔT° 20		ΔT° 25		ΔT° 30	
	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV
0	0,9	0,0	11,0	10,5	16,4	15,3	20,0	19,3	27,2	23,6
10	10,5	11,5	15,4	14,4	19,9	19,2	24,8	24,7	28,1	25,3
20	10,2	9,4	15,1	14,1	19,8	18,6	25,2	22,6	29,4	25,6
30	9,5	9,5	15,0	14,2	19,8	19,0	26,0	22,7	29,4	24,8
40	10,2	9,6	15,2	14,2	20,0	19,3	25,0	22,6	29,1	25,7
50	10,1	9,6	15,0	14,2	20,1	19,4	25,1	22,6	29,0	25,6
60	9,8	9,4	14,9	14,1	20,0	19,3	25,2	22,7	29,1	25,7
Promedio mV	9,8		13,7		18,6		22,5		25,2	
mV por m ²	88,5		123,0		167,3		202,1		226,7	

Donde, Panel 1: P.AG 0.35mm/4cm Conexión Serie \approx Panel con Chapa de Acero Galvanizado de 0,35mm y aislante de Poliестireno Expandido de 4cm de espesor. Conexión en serie de 4 placas termoeléctricas.

mV/m² \approx mili volts por metro cuadrado

ΔT° \approx Diferencia de Temperatura

La figura 4.1 presenta la relación existente entre el voltaje, medido en mili volts por metro cuadrado de panel y la diferencia de temperatura aplicada:

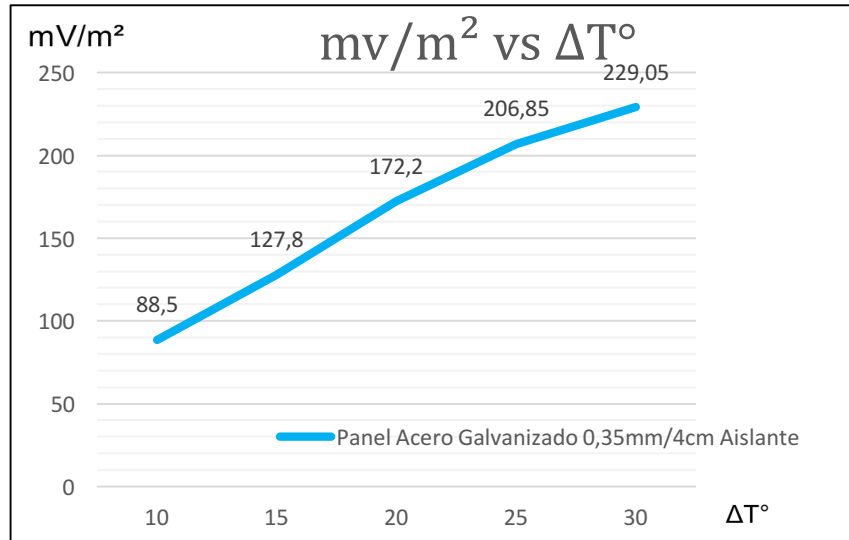


Figura 4.1 Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 0.35mm y 4 cm de aislante.

La Tabla 4.3 presenta el resumen del voltaje medido para el panel 2, expuesto a diferentes diferencias de temperatura.

Tabla 4.3 Rendimiento panel con chapa de 0,35mm de Acero Galvanizado y Aislante de 8 cm de Espesor.

Tipo de Chapa	Acero Galvanizado 0,35mm									
Tipo de Aislante	Poliestireno Expandido 8 cm									
Tiempo de Observación (minutos)	ΔT° 10		ΔT° 15		ΔT° 20		ΔT° 25		ΔT° 30	
	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV
0	8,3	6,8	14,9	12,2	19,9	18,2	24,8	24,3	30,3	33,3
10	8,7	7,3	15,2	13,3	20,0	18,3	24,2	25,0	30,0	32,9
20	9,9	7,9	15,1	13,7	19,8	18,2	25,2	26,4	30,1	32,7
30	10,1	8,4	14,5	13,4	20,1	18,4	24,9	26,2	30,2	32,9
40	9,9	8,4	14,9	13,6	20,0	18,3	24,9	26,1	30,7	32,8
50	10,1	8,5	15,0	13,5	20,1	18,4	24,8	26,0	30,2	32,7
60	10,0	8,4	15,1	13,6	19,9	18,3	24,3	25,8	30,1	32,7
Promedio mV	8,0		13,3		18,3		25,7		32,9	
mV por m ²	71,6		120,0		164,7		231,2		295,7	

Donde, P.AG 0.35mm/8cm Conexión Serie \approx Panel con Chapa de Acero Galvanizado de 0,35mm y aislante de Poliestereno Expandido de 8cm de espesor. Conexión en serie de 4 placas termoeléctricas. mV/m² \approx mili volts por metro cuadrado. ΔT° \approx Diferencia de Temperatura.

La figura 4.2 presenta la relación existente entre el voltaje, medido en mili volts por metro cuadrado de panel y la diferencia de temperatura aplicada:

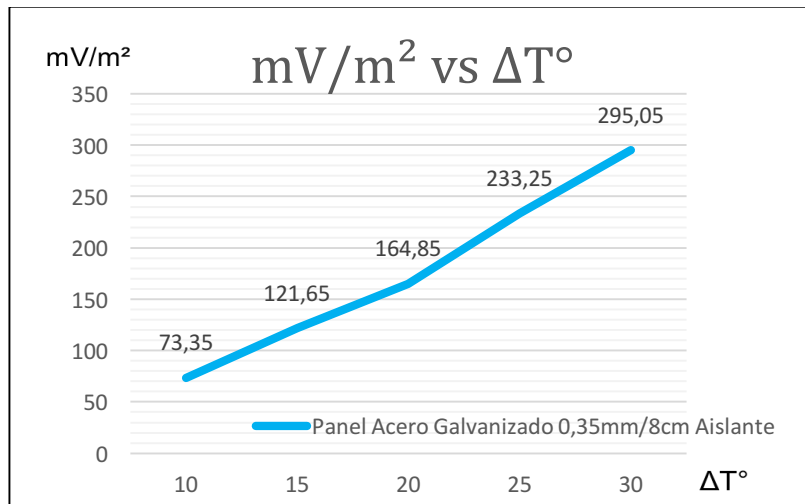


Figura 4.2 Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 0.35mm y 8 cm de aislante.

La Tabla 4.4 presenta el resumen del voltaje medido para el panel 3, expuesto a diferentes diferencias de temperatura.

Tabla 4.4 Rendimiento panel con chapa de 0,35mm de Acero Galvanizado y Aislante de 12 cm de Espesor.

Tipo de Chapa	Acero Galvanizado 0,35mm									
Tipo de Aislante	Poliestireno Expandido 12 cm									
Tiempo de Observación (minutos)	ΔT° 10		ΔT° 15		ΔT° 20		ΔT° 25		ΔT° 30	
	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV
0	8	7,5	14,8	11,5	19,8	19,8	24,4	24,7	29,8	33,2
10	9,6	8,3	14,8	12,3	19,6	20,1	24,5	25,4	29,9	33,9
20	10	9,6	14,7	13,3	19,7	21	25	26,1	29,9	34,2
30	10,1	9,4	14,9	13,4	19,9	21,1	24,7	26,3	29,8	35,4
40	10	9,2	15	13,9	20,1	21,3	25,1	26,5	29,8	36,3
50	9,9	9,3	14,8	14,2	20	21,4	25	26,4	30	36,6
60	9	8,9	14,8	14,3	19,9	21,3	24,8	26,3	29,9	36,5
Promedio mV	8,9		13,3		20,9		26,0		35,2	
mV por m ²	80,0		119,4		187,7		233,6		316,4	

Donde, P.AG 0.35mm/12cm Conexión Serie \approx Panel con Chapa de Acero Galvanizado de 0,35mm y aislante de Poliestireno Expandido de 12cm de espesor. Conexión en serie de 4 placas termoeléctricas.

mV/m² \approx mili volts por metro cuadrado

ΔT° \approx Diferencia de Temperatura

La figura 4.3 presenta la relación existente entre el voltaje, medido en mili volts por metro cuadrado de panel y la diferencia de temperatura aplicada:

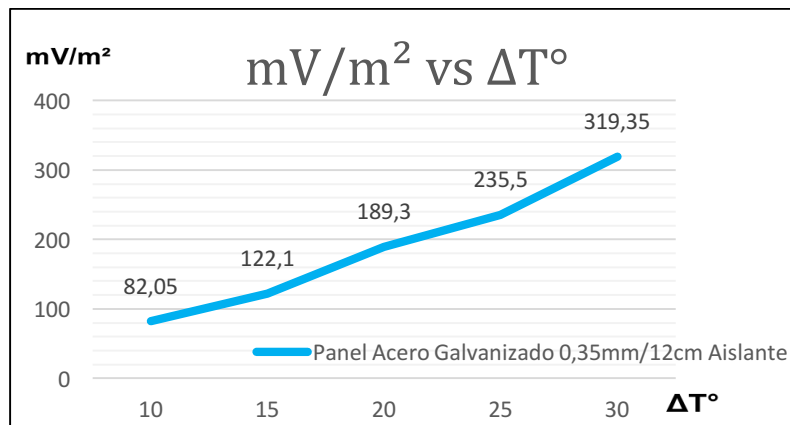


Figura 4.3 Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 0.35mm y 12 cm de aislante.

La Tabla 4.5 presenta el resumen del voltaje medido para el panel 4, expuesto a diferentes diferencias de temperatura.

Tabla 4.5 Rendimiento panel con chapa de 0,6mm de Acero Galvanizado y Aislante de 4 cm de Espesor.

Tipo de Chapa	Acero Galvanizado 0,6mm									
Tipo de Aislante	Poliestireno Expandido 4 cm									
Tiempo de Observación (minutos)	$\Delta T^{\circ} 10$		$\Delta T^{\circ} 15$		$\Delta T^{\circ} 20$		$\Delta T^{\circ} 25$		$\Delta T^{\circ} 30$	
	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV
0	10,4	10,1	14,8	14,8	20,5	15,3	22,8	23,1	29,8	26,1
10	9,7	9,6	15,0	14,7	21,0	19,2	22,9	23,0	29,9	26,3
20	9,9	9,9	15,1	14,8	21,0	18,6	25,0	23,2	29,8	26,2
30	10,2	10,1	15,2	14,5	21,3	19,0	25,0	23,3	29,8	26,5
40	10,7	9,8	14,9	14,5	21,4	19,3	25,1	23,0	29,9	26,5
50	10,2	9,9	14,9	14,7	21,5	19,4	25,0	23,2	30,2	26,4
60	10,1	9,8	15,0	14,8	21,6	19,3	24,9	23,2	29,8	26,4
Promedio mV	9,9		14,7		18,6		23,1		26,3	
mV por m ²	89,0		132,2		167,3		208,3		237,1	

Donde, P.AG 0.6mm/4cm Conexión Serie \approx Panel con Chapa de Acero Galvanizado de 0,6mm y aislante de Poliestereno Expandido de 4cm de espesor. Conexión en serie de 4 placas termoeléctricas.
 mV/m² \approx mili volts por metro cuadrado
 ΔT° \approx Diferencia de Temperatura

La figura 4.4 presenta la relación existente entre el voltaje, medido en mili volts por metro cuadrado de panel y la diferencia de temperatura aplicada:

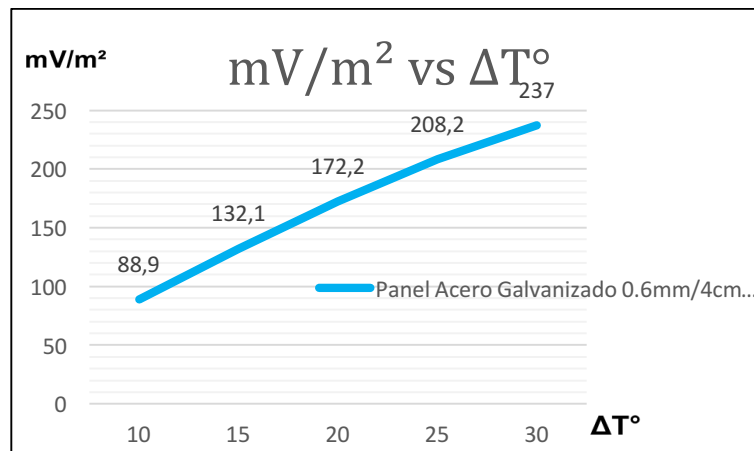


Figura 4.4 Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 0.6mm y 4 cm de aislante.

La Tabla 4.6 presenta el resumen del voltaje medido para el panel 5, expuesto a diferentes diferencias de temperatura.

Tabla 4.6 Rendimiento panel con chapa de 0,6mm de Acero Galvanizado y Aislante de 8 cm de Espesor.

Tipo de Chapa	Acero Galvanizado 0,6mm									
Tipo de Aislante	Poliestireno Expandido 8 cm									
Tiempo de Observación (minutos)	ΔT° 10		ΔT° 15		ΔT° 20		ΔT° 25		ΔT° 30	
	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV
0	10,0	9,6	15,1	13,9	19,7	19,3	25,3	28,3	30,0	33,3
10	10,1	9,5	14,9	13,8	19,7	19,2	25,1	28,0	30,3	33,5
20	10,3	9,7	14,6	13,9	20,1	19,4	25,2	28,4	30,2	33,4
30	10,0	9,5	14,9	14,0	20,1	19,5	24,8	28,3	30,2	33,4
40	9,9	9,6	15,0	13,8	19,9	19,5	24,9	28,3	30,2	33,2
50	9,9	9,6	15,1	13,9	19,7	19,4	25,0	28,2	30,1	33,4
60	10,0	9,8	15,2	13,7	20,3	19,6	24,8	28,0	29,9	33,2
Promedio mV	9,6		13,9		19,4		28,2		33,3	
mV por m ²	86,5		124,7		174,7		253,9		300,1	

Donde, P.AG 0.6mm/8cm Conexión Serie \approx Panel con Chapa de Acero Galvanizado de 0,6mm y aislante de Poliestereno Expandido de 8cm de espesor. Conexión en serie de 4 placas termoelectricas.
 mV/m² \approx mili volts por metro cuadrado
 ΔT° \approx Diferencia de Temperatura

La figura 4.5 presenta la relación existente entre el voltaje, medido en mili volts por metro cuadrado de panel y la diferencia de temperatura aplicada:

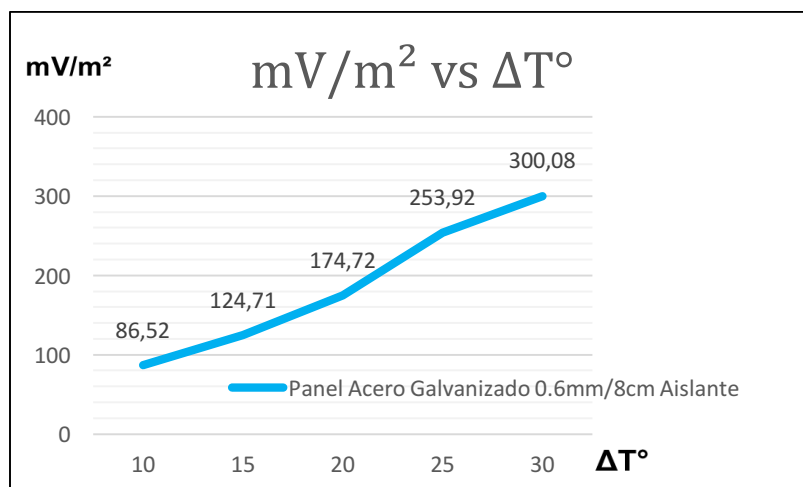


Figura 4.5 Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 0.6mm y 8 cm de aislante.

La Tabla 4.7 presenta el resumen del voltaje medido para el panel 6, expuesto a diferentes diferencias de temperatura.

Tabla 4.7 Rendimiento panel con chapa de 0,6mm de Acero Galvanizado y Aislante de 12 cm de Espesor.

Tipo de Chapa	Acero Galvanizado 0,6mm									
Tipo de Aislante	Poliestireno Expandido 12 cm									
Tiempo de Observación (minutos)	ΔT° 10		ΔT° 15		ΔT° 20		ΔT° 25		ΔT° 30	
	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV
0	9,6	9,3	15,5	14,1	19,8	19,3	24,8	26,1	30,3	35,2
10	9,9	9,2	14,3	14,2	19,9	19,2	24,7	26,0	30,0	35,1
20	9,8	9,3	15,1	13,9	20,2	19,0	24,8	25,9	30,0	35,3
30	10,0	9,4	15,3	14,0	20,1	9,1	25,2	26,3	29,9	34,9
40	10,0	9,4	15,3	14,2	20,4	19,1	25,6	26,5	29,7	34,8
50	10,2	9,3	15,4	14,1	20,3	19,2	24,9	26,4	30,2	35,0
60	9,9	9,2	15,0	14,3	19,9	19,3	25,0	26,3	30,3	34,9
Promedio mV	9,3		14,1		17,7		26,2		35,0	
mV por m ²	83,7		127,0		159,7		235,9		315,3	

Donde, P.AG 0.6mm/12cm Conexión Serie \approx Panel con Chapa de Acero Galvanizado de 0,6mm y aislante de Poliéstireno Expandido de 12cm de espesor. Conexión en serie de 4 placas termoeléctricas.

mV/m² \approx mili volts por metro cuadrado.

ΔT° \approx Diferencia de Temperatura.

La figura 4.6 presenta la relación existente entre el voltaje, medido en mili volts por metro cuadrado de panel y la diferencia de temperatura aplicada:

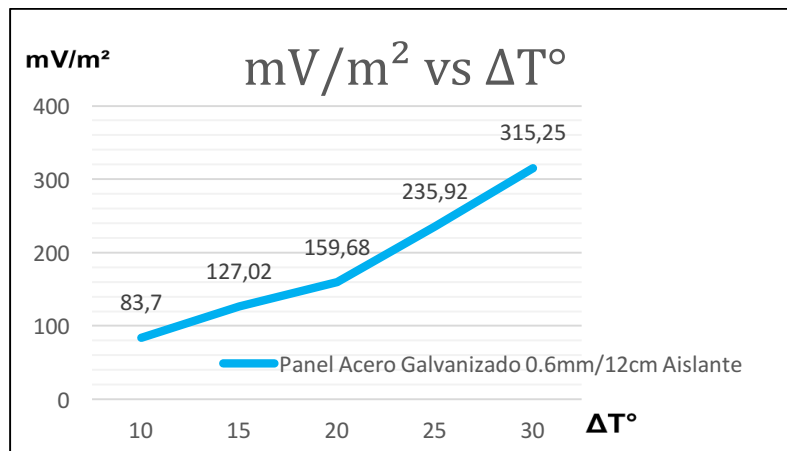


Figura 4.6 Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 0.6mm y 12 cm de aislante.

La Tabla 4.8 presenta el resumen del voltaje medido para el panel 7, expuesto a diferentes diferencias de temperatura.

Tabla 4.8 Rendimiento panel con chapa de 1mm de Acero Galvanizado y Aislante de 4 cm de Espesor.

Tipo de Chapa	Acero Galvanizado 1mm									
Tipo de Aislante	Poliestireno Expandido 4 cm									
Tiempo de Observación (minutos)	ΔT° 10		ΔT° 15		ΔT° 20		ΔT° 25		ΔT° 30	
	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV
0	9,9	9,5	14,9	14,8	19,3	18,5	25,2	23,6	30	28,8
10	9,9	9,6	14,7	14,8	19,7	18,9	25,1	24,3	29,5	29,1
20	10,0	8,6	14,6	15,1	20	19,2	24,9	24,4	30	29,4
30	10,1	8,8	14,8	15,2	20	19,9	25	24,5	30	29,4
40	10,0	8,9	15,0	15,3	20,1	20,3	25,1	24,5	30,1	29,5
50	9,9	9,1	14,8	15,2	20	20,2	25,1	24,5	30,3	29,5
60	9,9	9,3	14,6	15,2	19,9	20,2	25	24,4	29,9	29,4
Promedio mV	9,1		15,1		19,6		24,3		29,3	
mV por m ²	82,0		135,8		176,4		218,8		263,7	

Donde, P.AG 1mm/4cm Conexión Serie \approx Panel con Chapa de Acero Galvanizado de 1mm y aislante de Poliestireno Expandido de 4cm de espesor. Conexión en serie de 4 placas termoelectricas.

mV/m² \approx mili volts por metro cuadrado

ΔT° \approx Diferencia de Temperatura

La figura 4.7 presenta la relación existente entre el voltaje, medido en mili volts por metro cuadrado de panel y la diferencia de temperatura aplicada:

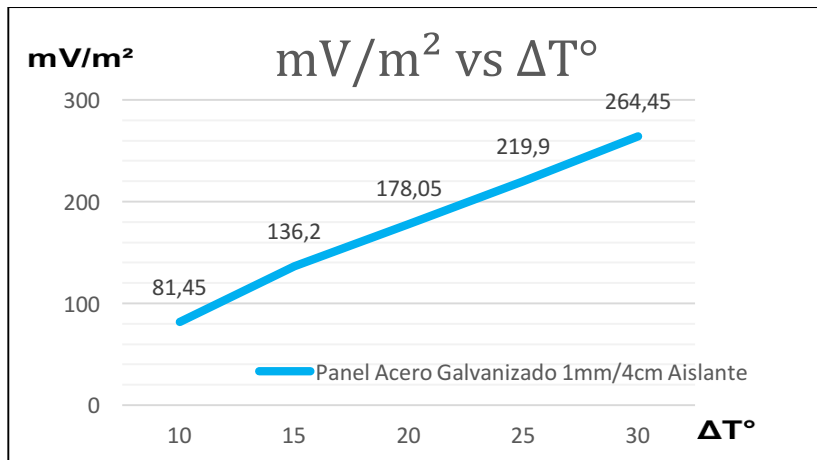


Figura 4.7 Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 1mm y 4 cm de aislante.

La Tabla 4.9 presenta el resumen del voltaje medido para el panel 8, expuesto a diferentes diferencias de temperatura.

Tabla 4.9 Rendimiento panel con chapa de 1mm de Acero Galvanizado y Aislante de 8 cm de Espesor.

Tipo de Chapa	Acero Galvanizado 1mm									
Tipo de Aislante	Poliestireno Expandido 8 cm									
Tiempo de Observación (minutos)	ΔT° 10		ΔT° 15		ΔT° 20		ΔT° 25		ΔT° 30	
	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV
0	9,7	9,6	15,0	15,6	19,8	19,5	24,9	28,9	30,1	34,2
10	9,8	9,4	14,8	15,8	17,0	19,3	25,1	29,0	30,4	34,3
20	10,0	9,3	15,0	15,5	20,2	19,5	25,2	29,2	30,2	34,5
30	10,1	9,2	15,0	15,5	20,3	19,5	25,3	29,3	30,0	34,5
40	10,0	9,4	14,9	15,4	19,8	19,4	25,1	29,3	30,0	34,5
50	10,0	9,6	15,1	15,4	20,0	19,6	25,1	29,2	30,1	34,4
60	10,0	9,6	15,0	15,6	20,1	19,6	24,7	29,2	30,0	34,2
Promedio mV	9,4		15,5		19,5		29,2		34,4	
mV por m ²	85,0		139,9		175,4		262,4		309,3	

Donde, P.AG 1mm/8cm Conexión Serie \approx Panel con Chapa de Acero Galvanizado de 1mm y aislante de Poliestireno Expandido de 8cm de espesor. Conexión en serie de 4 placas termoelectricas.

mV/m² \approx mili volts por metro cuadrado

ΔT° \approx Diferencia de Temperatura

La figura 4.8 presenta la relación existente entre el voltaje, medido en mili volts por metro cuadrado de panel y la diferencia de temperatura aplicada:

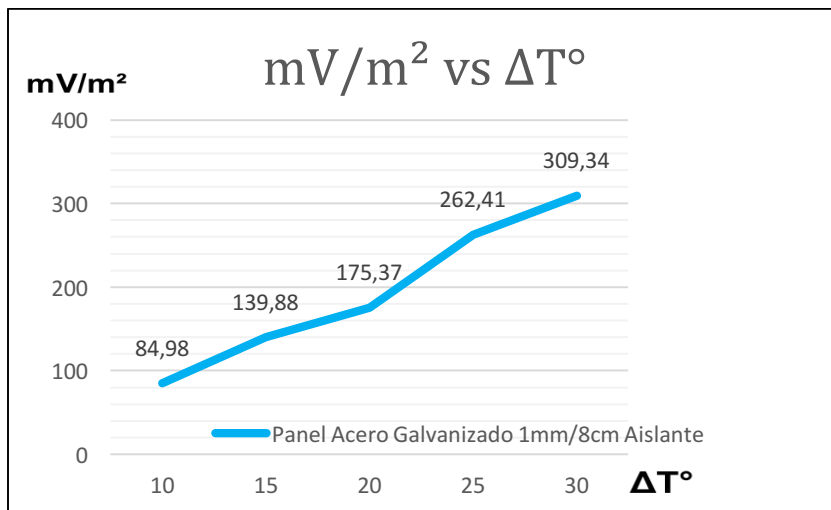


Figura 4.8 Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 1mm y 8 cm de aislante.

La Tabla 4.10 presenta el resumen del voltaje medido para el panel 9, expuesto a diferentes diferencias de temperatura.

Tabla 4.10 Rendimiento panel con chapa de 1mm de Acero Galvanizado y Aislante de 12 cm de Espesor.

Tipo de Chapa	Acero Galvanizado 1mm									
Tipo de Aislante	Poliestireno Expandido 12 cm									
Tiempo de Observación (minutos)	ΔT° 10		ΔT° 15		ΔT° 20		ΔT° 25		ΔT° 30	
	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV
0	9,9	9,4	14,9	16,3	20	22	24,7	30,6	19,8	36,6
10	9,9	9,8	14,8	16,3	19,9	22,4	25	30,7	19,8	36,2
20	10,0	10	14,8	16,6	19,9	22,9	25,1	30,7	19,8	36,3
30	10,3	10,2	15	16,7	20,1	23,2	25	30,6	19,8	36,4
40	10,3	10,1	14,9	16,5	20,1	23,1	24,9	30,5	19,8	36,6
50	10,0	10	15,1	16,6	20	23,3	24,9	30,5	19,8	36,5
60	9,9	9,9	15	16,6	20	23,4	25,1	30,7	19,8	36,7
Promedio mV	9,9		16,5		22,9		30,6		36,5	
mV por m ²	89,2		148,6		206,1		275,5		328,2	

Donde, P.AG 1mm/12cm Conexión Serie \approx Panel con Chapa de Acero Galvanizado de 1mm y aislante de Poliestireno Expandido de 12cm de espesor. Conexión en serie de 4 placas termoeléctricas.
 mV/m² \approx mili volts por metro cuadrado
 ΔT° \approx Diferencia de Temperatura

La figura 4.9 presenta la relación existente entre el voltaje, medido en mili volts por metro cuadrado de panel y la diferencia de temperatura aplicada:

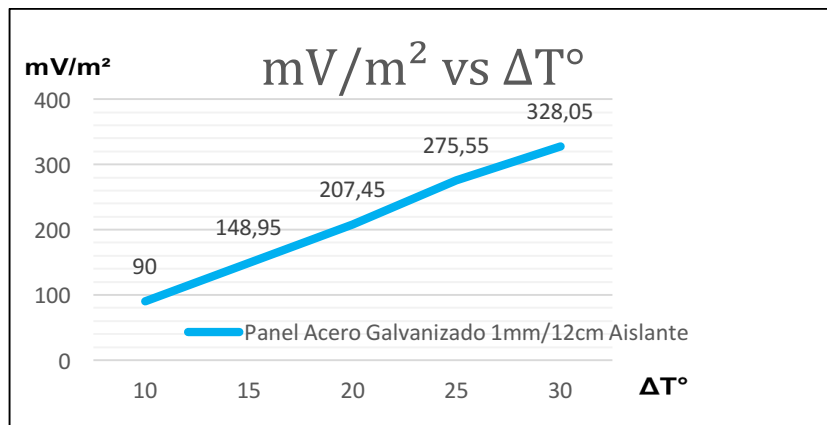


Figura 4.9 Tensión generada por Panel de Acero Galvanizado 1mm y 12 cm de aislante.

La Tabla 4.11 presenta el resumen del voltaje medido para el panel 10, expuesto a diferentes diferencias de temperatura.

Tabla 4.11 Rendimiento panel con chapa de 1mm de Aluminio y Aislante de 4 cm de Espesor.

Tipo de Chapa	Aluminio 1mm									
Tipo de Aislante	Poliestireno Expandido 4 cm									
Tiempo de Observación (minutos)	ΔT° 10		ΔT° 15		ΔT° 20		ΔT° 25		ΔT° 30	
	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV
0	9,8	9,1	15,0	15,3	19,8	22,4	24,8	29,0	29,9	35,7
10	10,2	9,3	14,7	15,5	20,0	22,5	24,9	29,5	29,9	35,6
20	10,2	9,1	14,7	15,6	20,2	22,6	25,0	29,5	30,0	35,7
30	10,0	9,0	14,9	15,7	20,0	22,5	24,3	29,4	29,8	35,6
40	10,0	8,9	14,8	15,7	19,9	22,5	24,6	29,4	29,9	35,7
50	10,2	8,9	15,0	15,5	20,1	22,6	24,9	29,6	30,0	35,7
60	9,9	9,0	15,0	15,7	20,0	22,7	25,0	29,7	29,9	35,6
Promedio mV	9,0		15,6		22,6		29,4		35,6	
mV por m ²	81,3		140,1		203,0		264,9		320,8	

Donde, P.AL 1mm/4cm Conexión Serie \approx Panel con Chapa de Aluminio de 1mm y aislante de Poliestereno Expandido de 4cm de espesor. Conexión en serie de 6 placas termoelectricas.

mV/m² \approx mili volts por metro cuadrado

ΔT° \approx Diferencia de Temperatura

La figura 4.10 presenta la relación existente entre el voltaje, medido en mili volts por metro cuadrado de panel y la diferencia de temperatura aplicada:

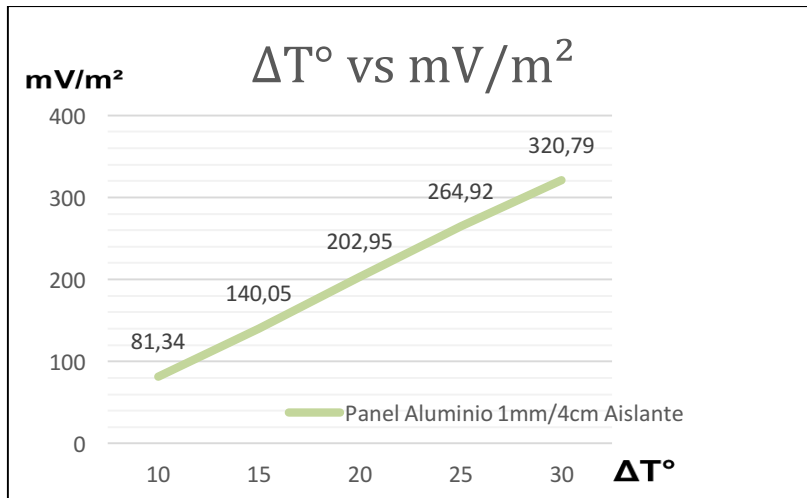


Figura 4.10 Tensión generada por Panel de Aluminio 1mm y 4 cm de aislante.

La Tabla 4.12 presenta el resumen del voltaje medido para el panel 11, expuesto a diferentes diferencias de temperatura.

Tabla 4.12 Rendimiento panel con chapa de 1mm de Aluminio y Aislante de 8 cm de Espesor.

Tipo de Chapa	Aluminio 1mm									
Tipo de Aislante	Poliestireno Expandido 8 cm									
Tiempo de Observación (minutos)	ΔT° 10		ΔT° 15		ΔT° 20		ΔT° 25		ΔT° 30	
	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV
0	11,0	9,0	15,3	14,2	20,0	20,6	25,3	27,1	29,8	33,3
10	10,9	8,9	15,4	14,3	20,2	20,7	24,9	26,7	30,0	34,1
20	10,6	8,8	15,6	14,4	20,1	20,7	25,2	26,7	30,0	34,1
30	10,5	8,8	15,2	14,3	20,0	20,5	25,0	26,6	29,9	34,1
40	10,4	8,9	15,1	14,3	20,1	20,6	24,8	26,6	29,8	34,1
50	10,4	8,9	15,0	14,3	20,2	20,8	25,3	26,8	29,9	34,2
60	10,3	8,9	14,9	14,2	20,0	20,7	25,1	26,7	29,9	34,1
Promedio mV	8,9		14,3		20,7		26,7		34,0	
mV por m ²	79,9		128,6		186,0		240,7		305,9	

Donde, P.AL 1mm/8cm Conexión Serie \approx Panel con Chapa de Aluminio de 1mm y aislante de Poliestereno Expandido de 8cm de espesor. Conexión en serie de 6 placas termoelectricas.

mV/m² \approx mili volts por metro cuadrado

ΔT° \approx Diferencia de Temperatura

La figura 4.11 presenta la relación existente entre el voltaje, medido en mili volts por metro cuadrado de panel y la diferencia de temperatura aplicada:

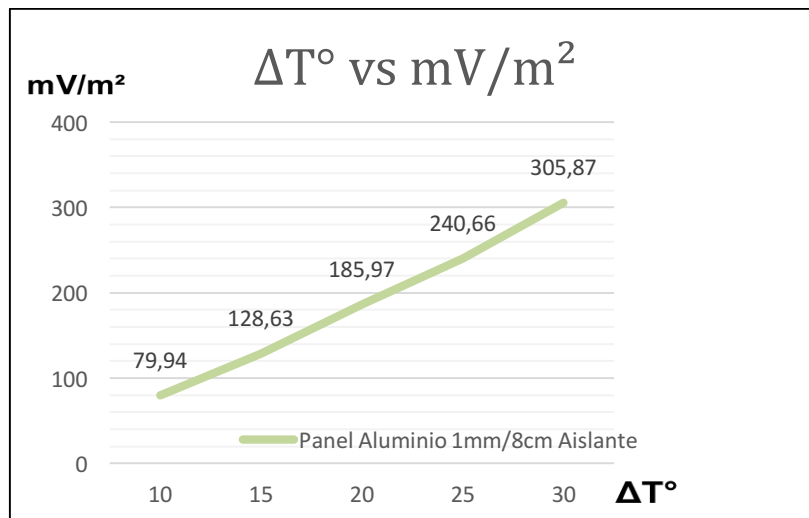


Figura 4.11 Tensión generada por Panel de Aluminio 1mm y 8 cm de aislante.

La Tabla 4.13 presenta el resumen del voltaje medido para el panel 12, expuesto a diferentes diferencias de temperatura.

Tabla 4.13 Rendimiento panel con chapa de 1mm de Aluminio y Aislante de 12 cm de Espesor.

Tipo de Chapa	Aluminio 1mm									
Tipo de Aislante	Poliestireno Expandido 12 cm									
Tiempo de Observación (minutos)	ΔT° 10		ΔT° 15		ΔT° 20		ΔT° 25		ΔT° 30	
	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV	ΔT°	mV
0	11,1	8,5	15,6	12,6	19,6	18,3	24,9	24,5	30,3	30,1
10	10,8	8,5	14,8	12,9	19,4	18,4	25,5	24,7	30,1	30,2
20	10,8	8,6	15,0	12,9	20,0	18,6	25,3	24,8	30,0	30,1
30	10,6	8,5	15,1	12,9	20,0	18,5	24,9	24,7	29,8	30,1
40	10,3	8,5	15,2	13,0	19,9	18,7	25,0	24,8	30,1	30,3
50	10,1	8,4	15,1	13,1	20,0	18,8	25,1	24,7	30,1	30,3
60	10,0	8,5	15,0	13,1	20,1	18,7	24,9	24,8	30,0	30,2
Promedio mV	8,5		12,9		18,6		24,7		30,2	
mV por m ²	76,5		116,2		167,2		222,5		271,7	

Donde, P.AL 1mm/12cm Conexión Serie \approx Panel con Chapa de Aluminio de 1mm y aislante de Poliestereno Expandido de 12cm de espesor. Conexión en serie de 6 placas termoelectricas.

mV/m² \approx mili volts por metro cuadrado

ΔT° \approx Diferencia de Temperatura

La figura 4.12 presenta la relación existente entre el voltaje, medido en mili volts por metro cuadrado de panel y la diferencia de temperatura aplicada:

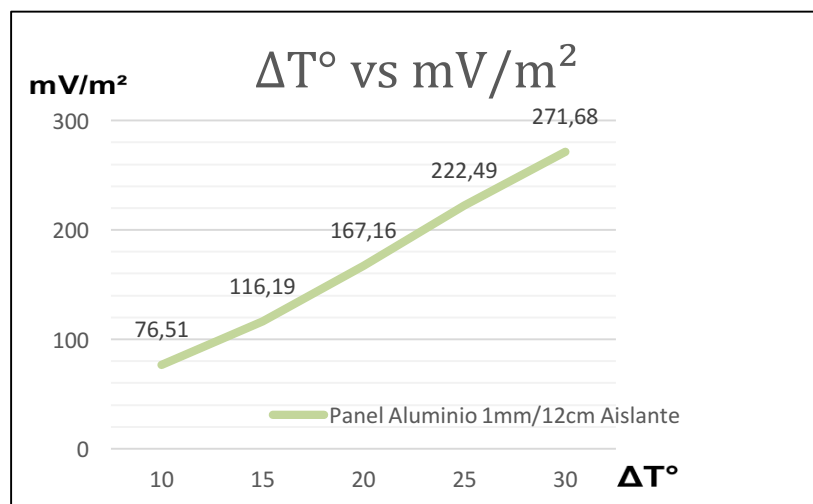


Figura 4.12 Tensión generada por Panel de Aluminio 1mm y 12 cm de aislante.

4.1.3 Análisis comparativos de resultados

Las Figuras 4.13 y 4.14 presentan un resumen de los resultados obtenidos para chapas de acero galvanizado y aluminio respectivamente.

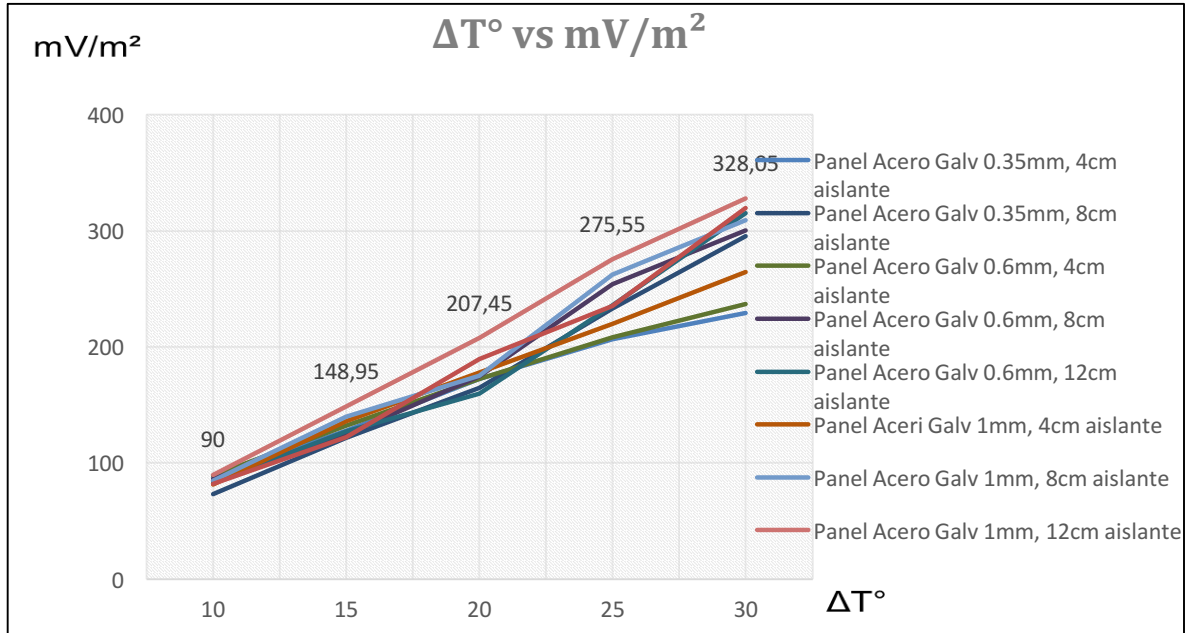


Figura 4.13 Comparación voltaje obtenido por paneles con chapa acero galvanizado.

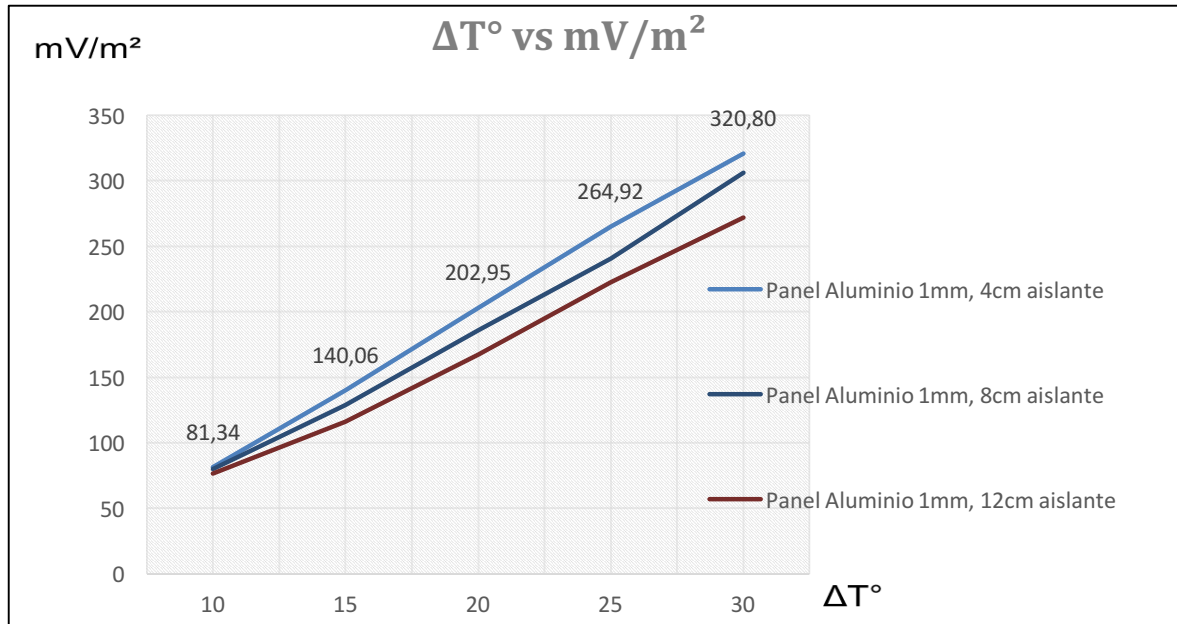


Figura 4.14 Comparación voltaje obtenido por paneles con chapa de aluminio.

Según los resultados obtenidos y como lo muestran los gráficos comparativos, se puede inferir que en los paneles fabricados con chapa de Acero Galvanizado, el que obtuvo la mayor cantidad de voltaje generado fue el panel con aislación de 12 centímetros y chapa de 1 milímetro de espesor, que alcanzó 0,328 volts por metro cuadrado de panel para 30° de diferencia de temperatura y superó a los demás para todas las diferencias de temperatura.

En el caso de los paneles montados con chapa de Aluminio, las tres tipologías tuvieron un buen rendimiento en la producción de energía eléctrica, pero no destacaron respecto a los de chapa de acero galvanizado, a pesar de que el Aluminio es cuatro veces mejor conductor del calor que el Acero Galvanizado. De igual forma el panel que logró generar la mayor tensión o diferencia de voltaje para todas las diferencias de temperatura, fue el con menor espesor de aislante, logrando 0,32 volts a los 30 grados Celsius de diferencia aplicada.

Un fenómeno interesante de observar, es el comportamiento contradictorio que presenta la interacción de las variables tipo de chapa y espesor de aislante, ya que a medida que aumenta el espesor de aislante para los paneles fabricados con chapa de acero galvanizado aumenta el voltaje producido, mientras que para los paneles fabricados con chapa de aluminio, la influencia del espesor de aislante es totalmente opuesta.

4.2 Análisis Estadístico de los Resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación fueron analizados con el software Design Expert versión 10.0.2.

4.2.1 Voltaje en paneles con chapa de Acero Galvanizado

Para estimar los efectos de los factores en estudio (A:Espesor de Chapa, B: Espesor de Aislante, B:Diferencia de Temperatura) sobre la variable de respuesta (Voltaje Producido) se examinó la gráfica de probabilidad normal, en donde los factores que son insignificantes tienden a ubicarse en una línea recta, siguiendo una distribución normal, sin embargo, las variables significativas del modelo se alejarán de ella (Figura 4.15).

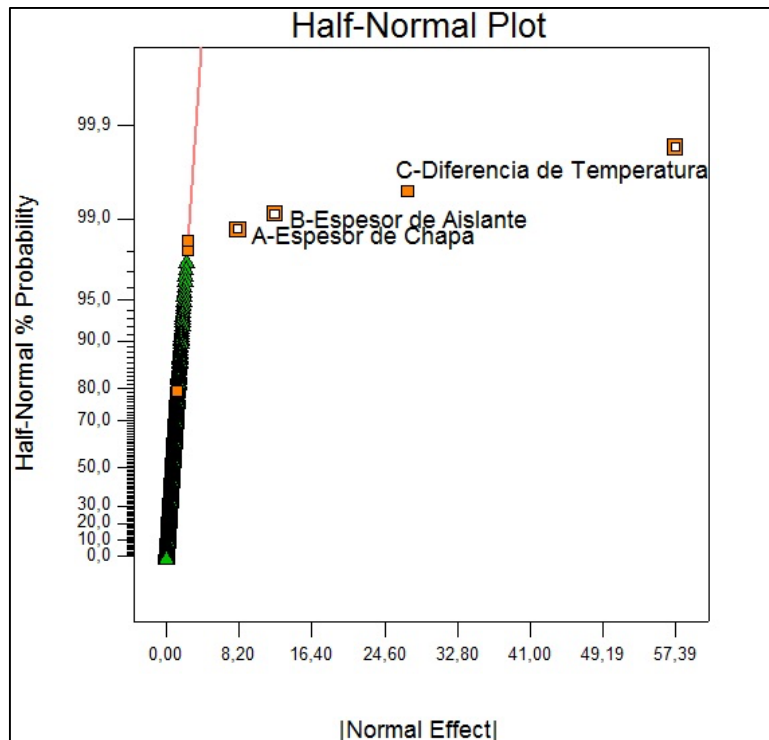


Figura 4.15 Gráfica de Probabilidad normal para paneles con chapa de Acero Galvanizado.

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

De acuerdo a la gráfica de probabilidad normal, la diferencia de temperatura es la variable que tiene una mayor significancia estadística sobre el voltaje producido, luego es el espesor de aislante y finalmente el espesor de chapa.

Posteriormente mediante un análisis de varianza (ANOMA), el estadístico F de 856,39 implica que el modelo es significativo y posee solo un 0,01% de probabilidad que un valor F del modelo esté afectado por factores de materialidad. Valores de probabilidad > F menores de 0,05, indican las variables significativas del modelo. En este caso estos factores son el espesor de Chapa (A), espesor de Aislante (B) y la Diferencia de Temperatura (C) (Figura 4.16).

Response 1		Voltaje				
ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	21294,02	8	2661,75	856,39	< 0.0001	significant
A-Espesor de	218,98	2	109,49	35,23	< 0.0001	
B-Espesor de	486,28	2	243,14	78,23	< 0.0001	
C-Diferencia	20588,76	4	5147,19	1656,05	< 0.0001	
Residual	951,08	306	3,11			
Lack of Fit	846,78	36	23,52	60,89	< 0.0001	significant
Pure Error	104,30	270	0,39			
Cor Total	22245,11	314				

Figura 4.16 Análisis de Varianza.

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

El análisis de los residuales y de varianza permiten en este caso concluir la idoneidad del modelo, el cual queda representando por la ecuación 4.1. Asimismo, el análisis de regresión del modelo lineal planteado determina que el coeficiente de determinación (R^2) predicho es de 0,9909, y el coeficiente de terminación (R^2) ajustado es de 0,9918. Esto indica que el modelo permite predecir con buena fidelidad el valor del voltaje en función de las variables mencionadas anteriormente.

$$\text{Voltaje} = 20,33 - 0,86 \cdot A(1) - 0,27 \cdot A(2) - 1,67 \cdot B(1) + 0,38 \cdot B(2) - 11,00 \cdot C(1) - 5,87 \cdot C(2) - 0,67 \cdot C(3) + 5,87 \cdot C(4)$$

Ecuación 4.1 Voltaje en función de las variables A, B y C.

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2

Donde:

A: Espesor de Chapa

B: Espesor de Aislante

C: Diferencia de Temperatura

4.2.2 Análisis del Modelo

Al analizar el comportamiento del modelo definido en forma independiente para cada variable se observa:

❖ Espesor de Chapa (A):

El voltaje aumenta, al aumentar el espesor de la chapa, considerando las variables B y C en su nivel medio de 8 [cm] y 30° Celsius respectivamente. Lo cual es coherente con el comportamiento de los demás paneles, en los cuales aumentaba el voltaje a mayor espesor de chapa.

El voltaje alcanza su máximo valor en esta grafica cuando:

- La variable B se encuentra en su nivel 12 centímetros.
- La variable C se encuentra en su nivel 30° Celsius.

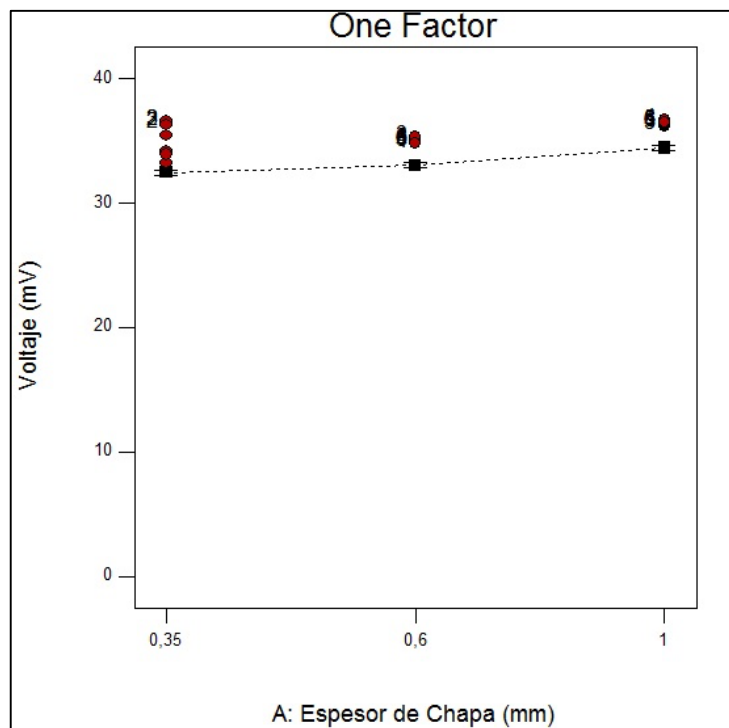


Figura 4.17 Espesor de Chapa

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

❖ Espesor de Aislante (B):

El voltaje aumenta, al aumentar el espesor de aislante, considerando las variables A y C en su nivel medio de 0,6 [mm] y 20° Celsius respectivamente.

El voltaje alcanza su máximo valor en esta gráfica cuando:

- La variable A se encuentra en su nivel de 1 [mm].
- La variable C se encuentra en su nivel de 30° Celsius.

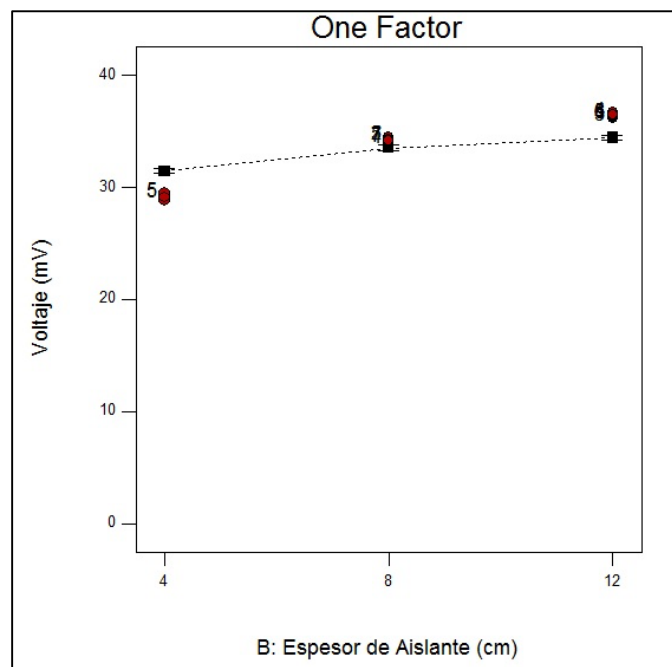


Figura 4.18 Espesor de Aislante

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

❖ Diferencia de Temperatura (C):

El voltaje aumenta, al aumentar la diferencia de temperatura, considerando las variables A y B en su nivel medio de 0,6 [mm] y 8 [cm] respectivamente.

El voltaje alcanza su máximo valor en esta grafica cuando:

- La variable A se encuentra en su nivel de 1 [mm].
- La variable B se encuentra en su nivel de 12 [cm].

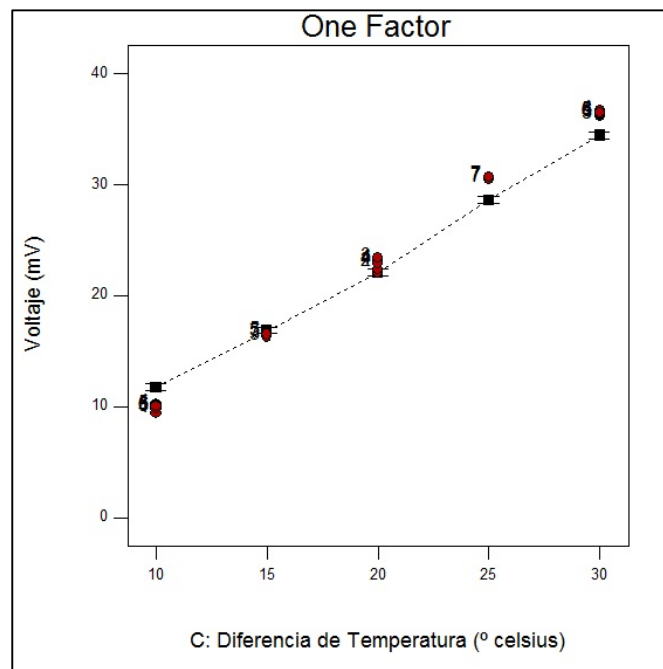


Figura 4.19 Diferencia de Temperatura

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

En la siguiente gráfica se pueden visualizar los valores del voltaje para los distintos niveles de las variables significativas (Figuras 4.20). Al analizarla se puede apreciar que el voltaje alcanza su máximo valor (36,7[mV]) al considerar un espesor de chapa de 1 [mm], un espesor de aislante de 12 [cm] y una diferencia de temperatura de 30° Celsius. De esta misma manera para un cantidad de voltaje mínima de 7,9 [mV], el espesor de chapa debe ser 0,35 [mm], el aislante debe ser de 8 [cm] de espesor y la diferencia de temperatura de 10° Celsius.

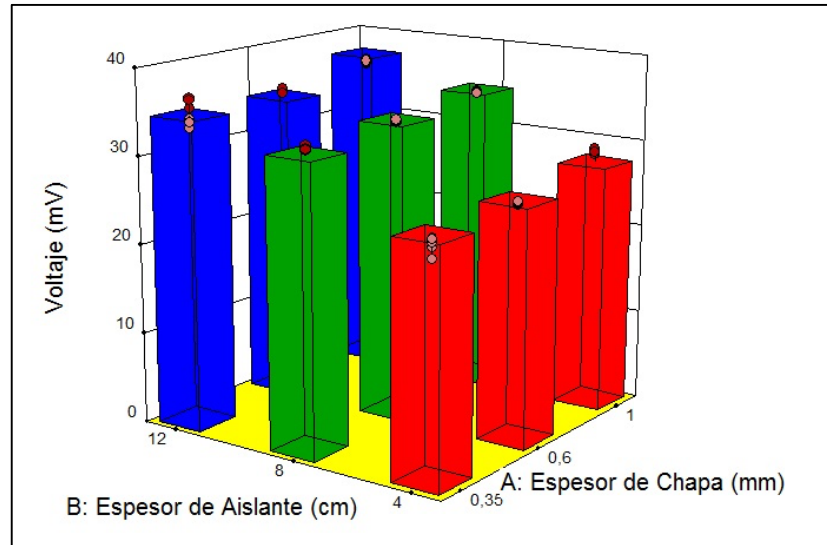


Figura 4.20 Voltaje, 30° Celsius (C).

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

4.3 Voltaje en paneles con chapa de Aluminio

Para estimar los efectos de los factores en estudio (A:Espesor de Chapa, B: Espesor de Aislante, B:Diferencia de Temperatura) sobre la variable de respuesta (Voltaje Producido) se examinó la gráfica de probabilidad normal, en donde los factores que son insignificantes tienden a ubicarse en una línea recta, siguiendo una distribución normal, sin embargo, las variables significativas del modelo se alejarán de ella (Figura 4.21).

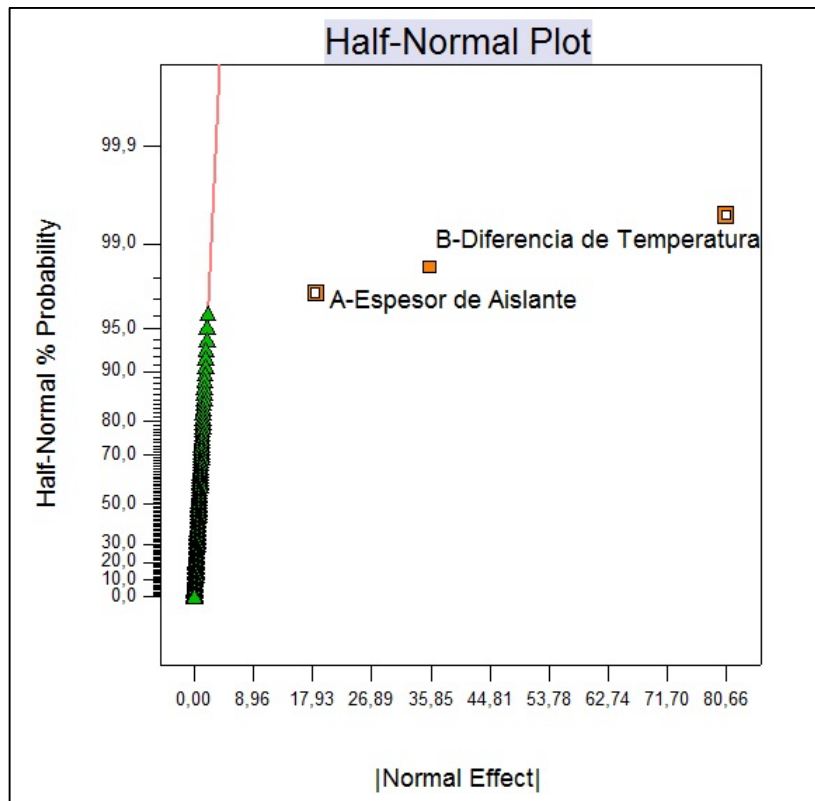


Figura 4.21 Gráfica de Probabilidad normal para paneles con chapa de Aluminio.

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

De acuerdo a la gráfica de probabilidad normal, la diferencia de temperatura es la variable que tiene una mayor significancia estadística sobre el voltaje producido, seguido del espesor de aislante.

Posteriormente mediante un análisis de varianza (ANOMA), el estadístico F de 2232,98 implica que el modelo es significativo y posee solo un 0,01% de probabilidad que un valor F del modelo esté afectado por factores de materialidad. Valores de probabilidad > F menores de 0,05, indican las variables significativas del modelo. En este caso estos factores son el espesor de Aislante (A) y la Diferencia de Temperatura (B) (Figura 4.22)

Response 1 Voltaje					
ANOVA for selected factorial model					
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	8199,42	6	1366,57	2232,98	< 0.0001 significant
A-Espesor de	211,81	2	105,90	173,05	< 0.0001
B-Diferencia	7987,61	4	1996,90	3262,94	< 0.0001
Residual	59,98	98	0,61		
Lack of Fit	57,98	8	7,25	326,11	< 0.0001 significant
Pure Error	2,00	90	0,022		
Cor Total	8259,40	104			

Figura 4.22 Análisis de Varianza.

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

El análisis de los residuales y de varianza permiten en este caso concluir la idoneidad del modelo, el cual queda representando por la ecuación 4.2. Asimismo, el análisis de regresión del modelo lineal planteado determina que el coeficiente de determinación (R^2) predicho es de 0,9917, y el coeficiente de terminación (R^2) ajustado es de 0,9923. Esto indica que el modelo permite predecir con buena fidelidad el valor del voltaje en función de las variables mencionadas anteriormente.

$$\text{Voltaje} = 20,78 - 1,67 \cdot A(1) - 0,13 \cdot A(2) - 11,97 \cdot B(1) - 6,52 \cdot B(2) - 0,19 \cdot B(3) + 6,18 \cdot B(4)$$

Ecuación 4.2 Voltaje en función de las variables A y B.

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2

Donde:

A: Espesor de Chapa

B: Diferencia de Temperatura

4.3.1 Análisis del Modelo

Al analizar el comportamiento del modelo definido en forma independiente para cada variable se observa:

❖ Espesor de Aislante (A):

El voltaje aumenta, al disminuir el espesor de aislante, considerando las variable B en su nivel medio de 20° Celsius.

El voltaje alcanza su máximo valor en esta gráfica cuando:

- La variable A se encuentra en su nivel de 4 [cm].
- La variable B se encuentra en su nivel de 30° Celsius.

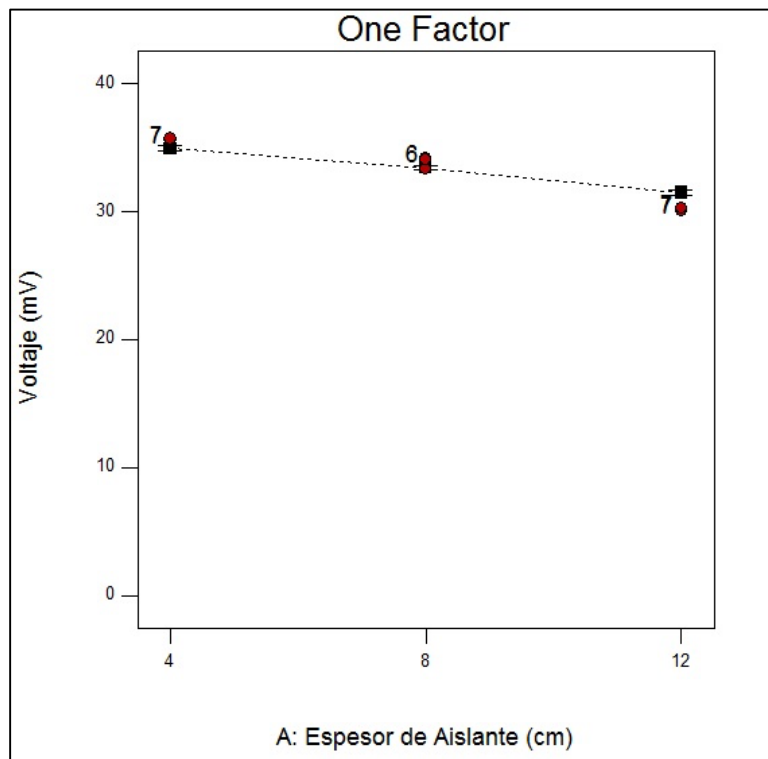


Figura 4.23 Espesor de Aislante

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

❖ Diferencia de Temperatura (B):

El voltaje aumenta, al aumentar la diferencia de temperatura, considerando las variables A en su nivel medio.

El voltaje alcanza su máximo valor en esta grafica cuando:

- La variable A se encuentra en su nivel de 4 [cm].
- La variable B se encuentra en su nivel de 30° Celsius.

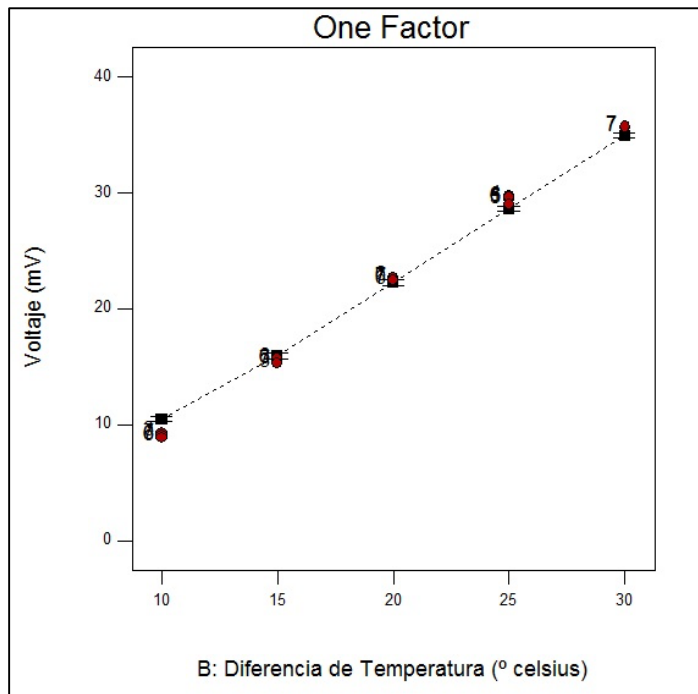


Figura 4.24 Diferencia de Temperatura

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

En la siguiente gráfica se pueden visualizar los valores del voltaje para los distintos niveles de las variables significativas (Figuras 4.25). Al analizarla se puede apreciar que el voltaje alcanza su máximo valor (29,5[mV]) al considerar un espesor de chapa de 1 [mm], un espesor de aislante de 4 [cm] y una diferencia de temperatura de 30° Celsius. De esta misma manera para un cantidad de voltaje mínima de 8,4 [mV], el espesor de chapa debe ser 1 [mm], el aislante debe ser de 12 [cm] de espesor y la diferencia de temperatura de 10° Celsius.

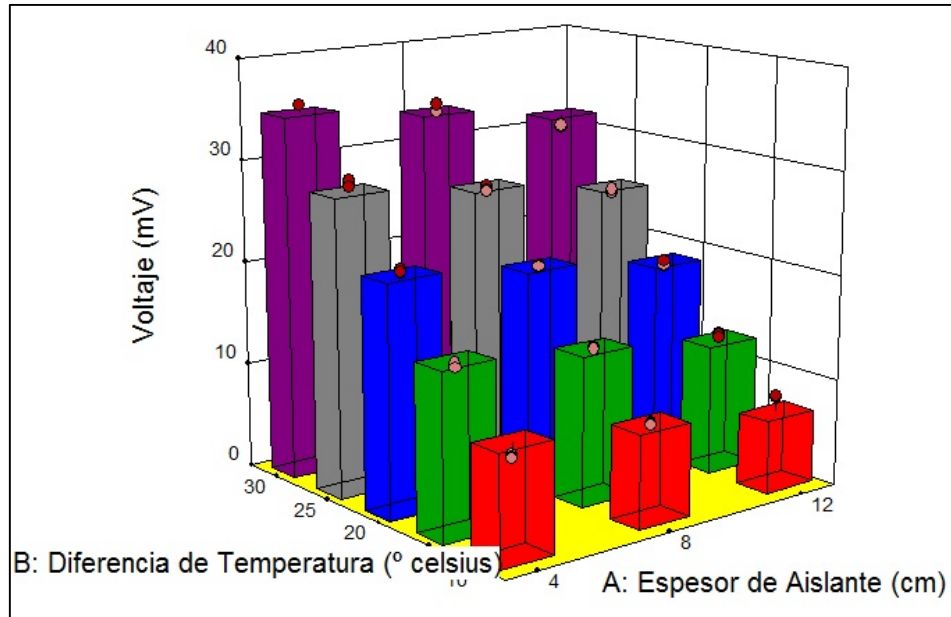


Figura 4.25 Voltaje

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

4.4 Voltaje en paneles con chapa de Acero Galvanizado vs Aluminio, ambos con 1mm de espesor

Para estimar los efectos de los factores en estudio (A:Espesor de Aislante, B:Diferencia de Temperatura y C:Tipo de Chapa) sobre la variable de respuesta (Voltaje Producido) se examinó una comparación de la gráfica de probabilidad normal, en donde los factores que son insignificantes tienden a ubicarse en una línea recta, siguiendo una distribución normal, sin embargo, las variables significativas del modelo se alejarán de ella (Figura 4.26).

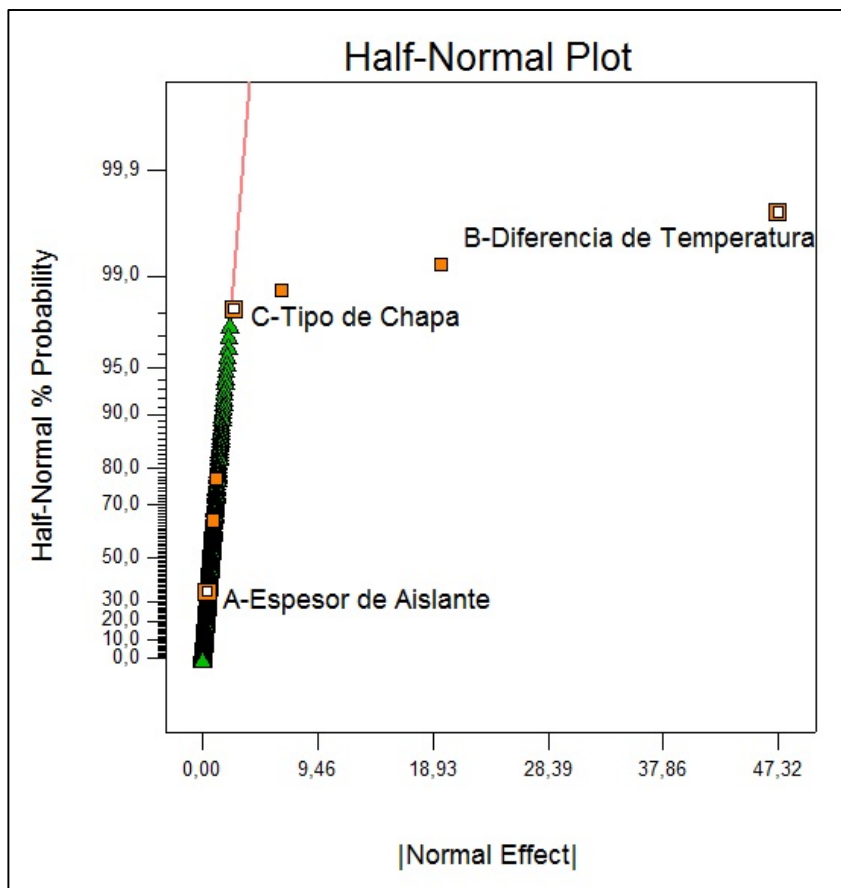


Figura 4.26 Gráfica de Probabilidad normal para paneles con chapa de Acero Galvanizado vs Aluminio

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

De acuerdo a la gráfica de probabilidad normal, la diferencia de temperatura es la variable que tiene una mayor significancia estadística sobre el voltaje producido. Al comparar la influencia que el

espesor de aislante tiene sobre el voltaje producido para paneles fabricados con chapa de aluminio y con acero galvanizado ambos con 1 mm de espesor, se puede inferir que no existe una influencia significativa desde el punto de vista estadístico de esta variable.

Posteriormente mediante un análisis de varianza (ANOVA), el estadístico F de 2229,26, implica que el modelo es significativo y posee solo un 0,01% de probabilidad que un valor F del modelo esté afectado por factores de materialidad. Valores de probabilidad > F menores de 0,05, indican las variables significativas del modelo. En este caso estos factores son el tipo de chapa (C), espesor de aislante (A) y la Diferencia de Temperatura (B) (Figura 4.27).

Response 1		Voltaje				
ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	15604,83	7	2229,26	645,84	< 0.0001	significant
A-Espesor de	2,96	2	1,48	0,43	0,6518	
B-Diferencia	15578,07	4	3894,52	1128,28	< 0.0001	
C-Tipo de Ch	23,80	1	23,80	6,90	0,0093	
Residual	697,25	202	3,45			
Lack of Fit	686,99	22	31,23	547,84	< 0.0001	significant
Pure Error	10,26	180	0,057			
Cor Total	16302,08	209				

Figura 4.27 Análisis de Varianza de chapa de Acero Galvanizado vs Aluminio
Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

El análisis de los residuales y de varianza permiten en este caso concluir la idoneidad del modelo, el cual queda respresentando por la ecuación 4.3. Asimismo, el análisis de regresión del modelo lineal planteado determina que el coeficiente de determinación (R^2) predicho es de 0,9991, y el coeficiente de terminación (R^2) ajustado es de 0,9993. Esto indica que el modelo permite predecir con buena fidelidad el valor del voltaje en función de las variables mencionadas anteriormente.

$$\begin{aligned} \text{Voltaje} = & +21,12 - 0,15 \cdot A[1] + 0,14 \cdot A[2] - 11,97 \cdot B[1] - 6,13 \cdot B[2] - 0,49 \cdot B[3] + 6,38 \cdot B[4] - \\ & 0,34 \cdot C + 0,080 \cdot A[1]B[1] - 0,12 \cdot A[2]B[1] + 0,49 \cdot A[1]B[2] - 0,21 \cdot A[2]B[2] + 0,60 \cdot A[1]B[3] - 0,69 \cdot A[2]B[3] - \\ & 0,47 \cdot A[1]B[4] + 0,31 \cdot A[2]B[4] + 1,82 \cdot A[1]C - 6,190E-003 \cdot A[2]C - 3,810E-003 \cdot B[1]C - \\ & 0,39 \cdot B[2]C + 0,30 \cdot B[3]C - 0,19 \cdot B[4]C - 1,52 \cdot A[1]B[1]C + 0,068 \cdot A[2]B[1]C - \\ & 0,85 \cdot A[1]B[2]C + 0,10 \cdot A[2]B[2]C - 0,31 \cdot A[1]B[3]C + 0,63 \cdot A[2]B[3]C + 1,27 \cdot A[1]B[4]C - 0,67 \cdot A[2]B[4]C \end{aligned}$$

Ecuación 4.3 Voltaje en función de las variables A, B y C

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2

Donde:

A: Espesor de aislante

B: Diferencia de temperatura

C: Tipo de chapa

4.2.2 Análisis del Modelo

Al analizar el comportamiento del modelo definido en forma independiente para cada variable se observa:

❖ Diferencia de Temperatura (C):

El voltaje aumenta, al aumentar la diferencia de temperatura, considerando la variable A en su nivel medio de 8 [cm] y la variable C los dos tipos de chapa respectivamente.

El voltaje alcanza su máximo valor en esta grafica cuando:

- La variable A se encuentra en su nivel de 4 [cm].
- La variable B se encuentra en su nivel de 30° C.
- La variable C se encuentra en Aluminio 1 [mm].

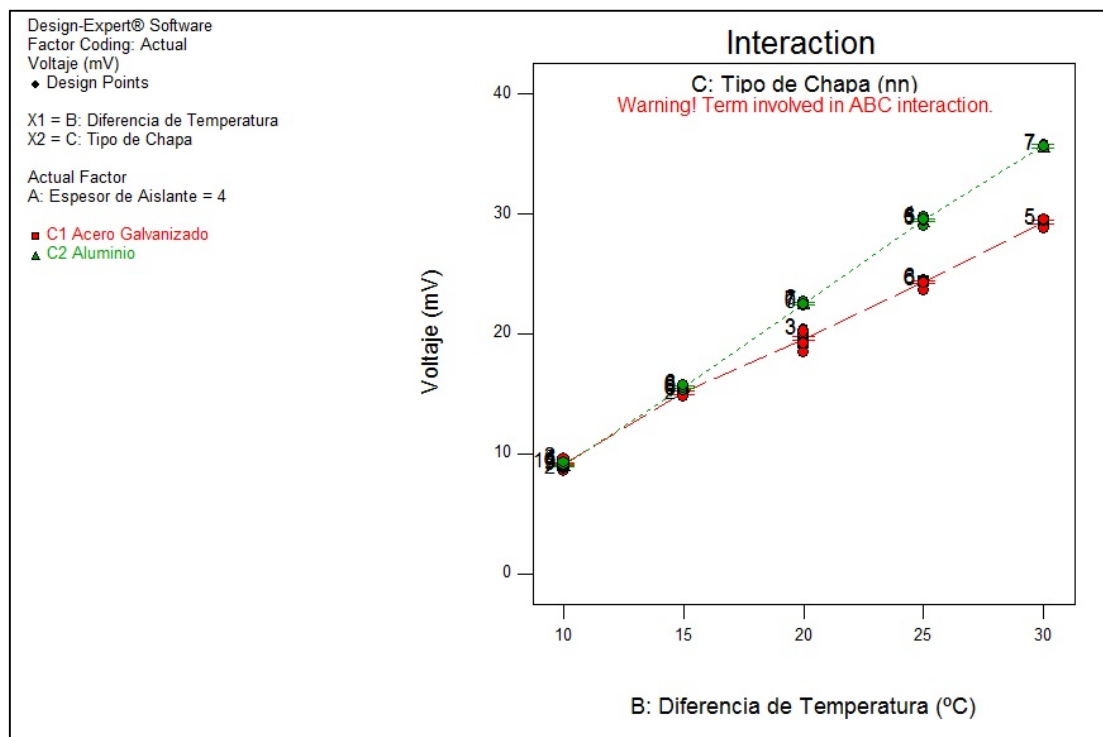


Figura 4.28 Diferencia de Temperatura en panel con 4[cm] de aislante.

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

El voltaje alcanza su máximo valor en esta grafica cuando:

- La variable A se encuentra en su nivel de 12 [cm].
- La variable B se encuentra en su nivel de 30° C.
- La variable C se encuentra en Acero Galvanizado 1 [mm].

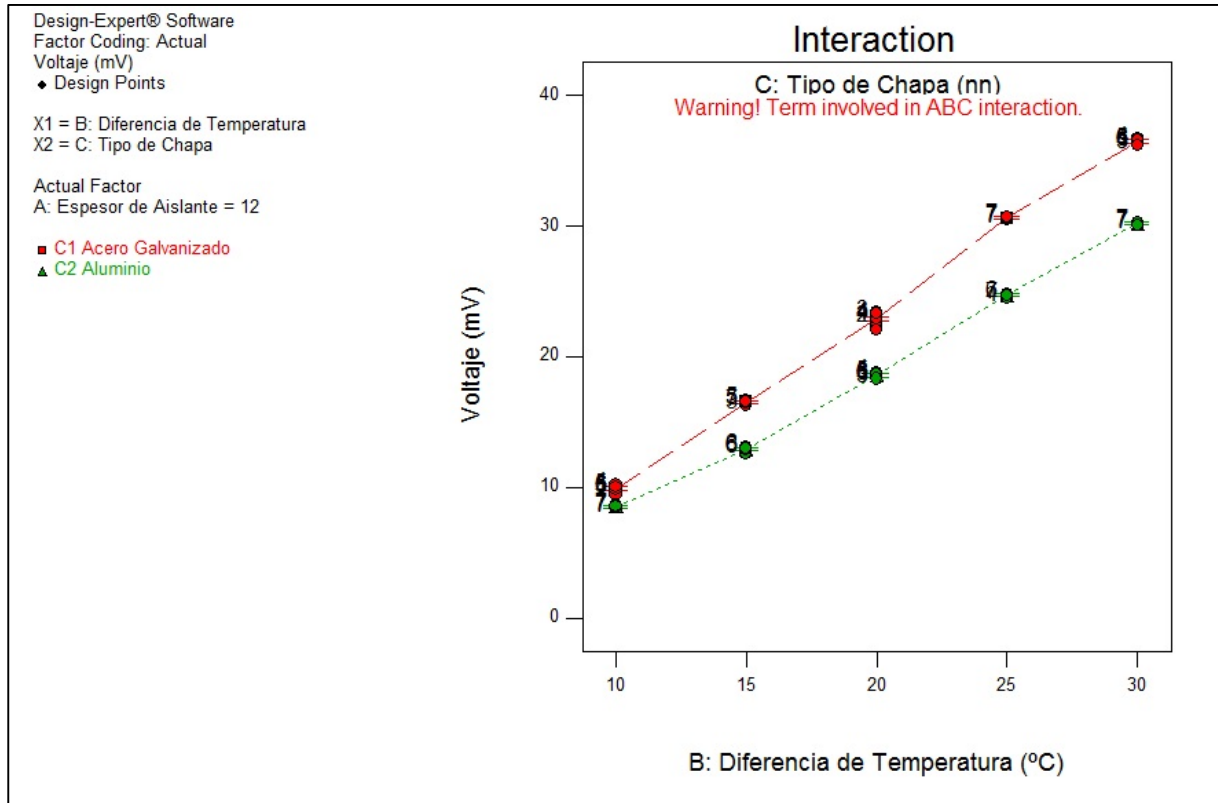


Figura 4.29 Diferencia de Temperatura en panel con 12[cm] de aislante.

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

En la siguiente gráfica se pueden visualizar los valores del voltaje para los distintos niveles de las variables significativas (Figuras 4.30). Al analizarla se puede apreciar que el voltaje alcanza su máximo valor en panel con chapa de acero galvanizado 1[mm], al considerar un espesor de aislante de 12 [cm] y una diferencia de temperatura de 30° Celsius. De esta misma manera para una cantidad de voltaje máximo en panel con chapa de aluminio, se considera un espesor de aislante de 4[cm] y una diferencia de temperatura de 30° Celsius.

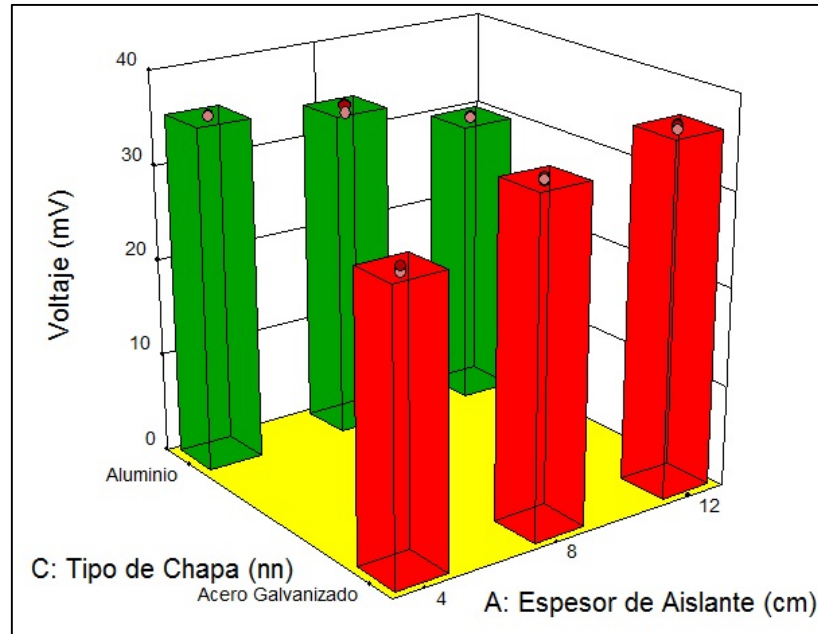


Figura 4.30 Voltaje, 30° Celsius (B).

Fuente: Software Design Expert versión 10.0.2.

Capitulo 5:
Evaluación Económica

5.1 Análisis Financiero

Para ejecutar el modelo explicado y analizado anteriormente, se realizó el siguiente análisis de precio unitario para poder construir un panel de 1 m² con tecnología termoeléctrica. Para este caso se estimaron los costos directos de producción de un panel de 1 [mm] de espesor de chapa de acero galvanizado y 12 [cm] de aislante, el cual entrega los valores mas altos de producción de energía eléctrica de acuerdo a lo descrito en el capítulo anterior. La tabla 5.1 presenta el detalle de este análisis de precio unitario.

Tabla 5.1 Analisis de Precio Unitario Panel con Tecnología Termoeléctrica.

Unidad	Descomposición	Rendimiento	Precio unitario	Precio partida
m ²	Panel sándwich aislante para fachadas, de 122 mm de espesor y 1000x1000 superficie, formado por doble cara metálica de lámina lisa de acero, acabado galvanizado, de espesor exterior 1 mm y espesor interior 1 mm y alma aislante de poliestireno expandido de densidad media 10 kg/m ³ , con junta diseñada para fijación con tornillos ocultos, remates y accesorios.	1,000	10071,42	10071,42
unidad	Módulo Termoeléctrico TEC1-12706	36,000	1260,50	45378,15
unidad	Tornillo autorroscante de 6,5x130 mm de acero inoxidable, con arandela.	8,000	528,87	4230,96
m	Junta de estanqueidad para láminas perfiladas de acero.	2,000	594,99	1189,98
h	Maestro 1 ^º montador de cerramientos industriales.	0,500	4984,34	2492,17
h	Ayudante montador de cerramientos industriales.	0,500	3550,66	1775,33
%	Maquinas y Herramientas	2,000	65138,01	1302,76
			COSTO DIRECTO	66440,77
			Gastos Generales 3%	1993,22
			Utilidad 6,5%	4318,65
			Valor por m2	72752,64
			IVA 19%	13823,0022
			VALOR TOTAL M2	\$86.575,65

El costo de materiales para poder construir 1 metro cuadrado de panel con tecnología termoeléctrica implica costos muy elevados, por lo que la idea si bien resulta ingeniosa, construir una edificación con estos paneles no sería la opción más rentable, para detallar aún mas este análisis se realizó un estudio económico de una futura inversión en esta nueva forma de edificar mediante un flujo de caja.

Para lograr una cantidad de energía aprovechable con los paneles, se debe realizar una instalación de m^2 que generen un 10% mas de tensión que el voltaje del acumulador de energía y así poder recargar la batería, para luego suministrar lo que el cliente estime conveniente. Por lo tanto debemos calcular esta tensión respecto a las condiciones mínimas de diferencia de temperatura, logrando que los paneles generen en el peor de los casos el voltaje necesario para acumular la energía en baterías.

Por lo tanto, para poder realizar un análisis financiero, consideramos el panel que se comportó de mejor manera frente a las distintas diferencias de temperatura, el cual fue el panel con chapa de Acero Galvanizado de 1 [mm] de espesor y aislante de 12 [cm] de espesor. La mínima diferencia de temperatura que se aplico fue de 10 grados Celsius, obteniendo el panel una cantidad de 90 mili volts por m^2 , lo que implica la construcción de mínimo 150 [m^2] de fachada para poder generar 13,5 volts pudiendo acumular esta energía en una batería de 12 volts y sacar provecho a esta con una mínima diferencia de temperatura de 10 grados Celsius, pero con una baja intensidad de corriente debido a la conexión en serie entre los módulos del panel (1 M^2). De igual forma, la siguiente tabla presenta la cantidad de voltios y Amperios obtenidos al construir e instalar 150 [m^2] de panel en la envolvente de una vivienda y el equivalente a watts de potencia, para diferencias de temperatura entre 10°C y 30°C..

Tabla 5.2 Calculo de rendimiento de 150 m2 del panel con chapa de Acero Galvanizado y Aislante de 12cm de espesor(conexión en serie).

ΔT°	mV por m^2	Amps por m^2	Volts por 150 m^2	Amps por 150 m^2	Watts
10	89,2	0,00034	13,38	0,00034	0,0045492
15	148,6	0,00048	22,29	0,00048	0,0106992
20	206,1	0,0006	30,91	0,0006	0,018546
25	275,5	0,00084	41,32	0,00084	0,0347088
30	328,2	0,00034	49,20	0,00099	0,048708

Como se quiere lograr una cantidad de energía aprovechable y poder aumentar la intensidad de corriente para incrementar la cantidad de watts, se debe conectar cada metro cuadrado de panel en serie y paralelo para ir aumentando ambas cantidades de tensión e intensidad de corriente. Al realizar esta conexión necesitaremos construir 300 metros cuadrados para poder cargar un acumulador de energía con la mínima diferencia de temperatura, como lo indica la siguiente tabla 5.3.

Tabla 5.3 Calculo de rendimiento de 150 m² del panel con chapa de Acero Galvanizado y Aislante de 12cm de espesor(conexión en serie y paralelo).

ΔT°	mV por m ²	Amps por m ²	Volts por 300 m ²	Amps por 300 m ²	Watts
10	89,2	0,00034	13,38	0,051	0,68238
15	148,6	0,00048	22,29	0,072	1,60488
20	206,1	0,0006	30,91	0,09	2,7819
25	275,5	0,00084	41,32	0,126	5,20632
30	328,2	0,00034	49,20	0,1485	7,3062

Por lo tanto la potencia generada por hora a los 10 grados Celsius de diferencia de temperatura son equivalentes a 0,68238 watts, los que en el transcurso de un año corresponden a 5977,6 watts que significarían los ingresos del siguiente flujo de caja para determinar si es recomendable la inversión de construir con paneles con tecnología termoeléctrica.

El costo total de inversión (Costo Directo) para la compra de solamente los módulos termoeléctricos más 1 acumulador de energía equivalen a \$17.869.000, el cual puede ser financiado por un capital propio o un préstamo como se demuestran en las siguientes tablas 5.4 y 5.5.

Tabla 5.4 Credito Bancario (interés,cuota y capital).

CREDITO BANCARIO	
INTERES	4,50%
CUOTAS	5
CAPITAL	\$17.869.000

Tabla 5.5 Cálculo de interés y cuotas.

	Capital	interes	pago	saldo
Año 1	17.869.000	\$804.105	-\$4.070.409	14.602.696
Año 2	14.602.696	\$657.121	-\$4.070.409	11.189.408
Año 3	11.189.408	\$503.523	-\$4.070.409	7.622.523
Año 4	7.622.523	\$343.014	-\$4.070.409	3.895.127
Año 5	3.895.127	\$175.281	-\$4.070.409	0

Una vez realizada la simulación del crédito, se realizó el análisis financiero a través del cálculo del VAN y TIR (Anexo 1, 2, 3, 4 y 5) para todos los promedios de diferencias de temperaturas que se podrían presentar al construir con paneles con tecnología termoeléctrica, identificando los distintos escenarios propicios dentro del país, los cuales se detallan a continuación.

Chile se caracteriza por tener una enorme variedad de climas. Esto se explica por la posición geográfica de nuestro país con respecto a las zonas de altas presiones, por la presencia del frente polar y la influencia del mar, además de los factores de latitud, altitud y el relieve del país.

Dentro del país las zonas con temperaturas con mayor índice de alta y baja sensación térmica la encontramos con distintos tipos de climas, en los cuales encontramos el desértico normal, Desértico y Estepárico de altura, Estepario frío, Hielo de Alturas y clima polar.

El Desértico normal se da desde el límite norte del país hasta Vallenar, con dos modalidades: árido hasta Copiapó y semiárido de Copiapó a Vallenar. Presenta gran oscilación térmica diaria que puede bordear los 35 °C. Posee escasas precipitaciones y cielos limpios con sequedad atmosférica. El árido tiene en la época más calurosa 18° y en la más fría 11 °C y, su oscilación térmica puede alcanzar los 35°. En la noche la temperatura baja a menos de 0°. En esta zona del país con este tipo clima, podemos tener una diferencia de 10 a 15 grados Celsius de temperatura promedio.

En el clima estepárico de la altura, que se presenta por sobre los 2.500 m. de altura en la Cordillera de los Andes, las lluvias son relativamente abundantes con un promedio anual de 350 mm.y las temperaturas son muy bajas, llegando a mínimas de grados bajo cero. En esta zona de la cordillera con este tipo clima, podemos tener una diferencia de 20 grados Celsius de temperatura promedio.

Estepario frío, se presenta con escasa influencia en los sectores andinos a la altura de Coyhaique y posee menos pluviosidad el occidental marítimo lluvioso. Enero es un mes cálido, con temperaturas que bordean los 15,2 °C. Las lluvias alcanzan los 1485 mm. de promedio, aunque en Balmaceda baja a 721 mm. El segundo sector domina el clima de estepa frío; disminuyen las precipitaciones y la temperatura: en verano Punta Arenas llega a los 11,7 °C y en invierno, 2,5 grados como promedio. En esta zona, podemos tener una diferencia de 15 grados Celsius de temperatura promedio.

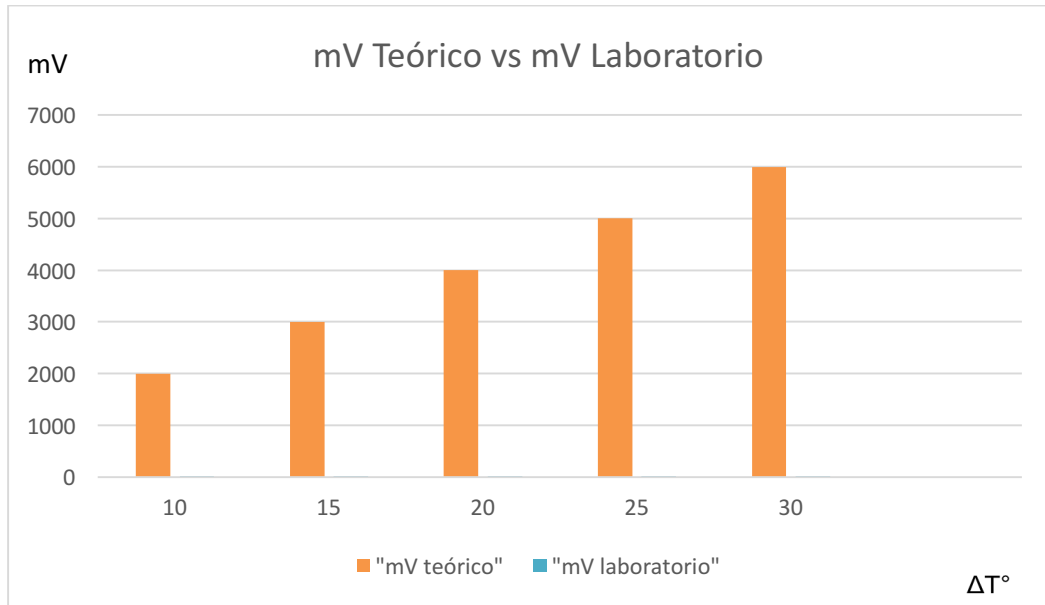
El Hielo de alturas y clima polar, predomina en las cumbres cubiertas de hielo y nieves eternas que se presentan de trecho en trecho a lo largo de todo el país (desde el norte hasta la Tierra del Fuego). Se llama nivel de las nieves perpetuas el nivel por debajo del cual la nieve se funde en el verano. Este nivel varía especialmente por la latitud: aumenta en altitud en la medida que está más lejos de la zona polar. El clima polar verdadero se manifiesta en el territorio Antártico chileno. Las precipitaciones acuosas son escasas, no así las sólidas. En la Base O'Higgins durante el mes de enero registra 0 °C y en julio, -12°C. En esta zona del extremo sur del país, podemos tener una diferencia de 25 grados Celsius de temperatura promedio.

La prefactibilidad de construir con paneles tecnología termoeléctrica, en todos los casos que se evaluó fueron negativos en cuanto a rentabilidad, debido a la baja producción de watts de potencia por lo paneles y al alto costo que conlleva la construcción de estos. El Valor Actual Neto (VAN) denotó perdidas por sobre los 30 millones, lo que indica que una próxima inversión en este elemento constructivo no se recuperará en el futuro. La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR), también muestra un porcentaje negativo o error, lo que infiere en que la suma de los flujos de fondo es menor a la inversión inicial.

Respecto a los resultados obtenidos a las distintas diferencias de temperatura, se realizó una comparación de los resultados obtenidos en laboratorio con los resultados teóricos de cantidad de energía obtenida según formulas indicadas en el marco teorico, las cuales arrojaron los siguientes resultados, representados en la siguiente tabla 5.6 y grafica en la figura 5.1.

Tabla 5.6 Voltaje obtenido teóricamente comparado al obtenido en laboratorio.

ΔT°	mV Teóricos	mV Laboratorio
10	2000	0,70
15	3000	1,17
20	4000	1,62
25	5000	2,17
30	6000	2,58

**Figura 5.1 Voltaje obtenido teóricamente comparado al obtenido en laboratorio.**

Según esta comparación, los resultados obtenidos considerablemente se vieron afectados por la posición que tenía el módulo peltier dentro del panel, el cual no pudo recibir de manera perfecta y completa la temperatura aplicada por una o sus dos caras, lo que se traduce en los bajos resultados obtenidos. Se puede concluir que la chapa utilizada en los 12 tipos de panel tiene una muy baja transmitancia térmica, la cual no deja que la temperatura sobrepase hasta llegar a las caras de la placa termoeléctrica.

Capitulo 6:

Conclusiones y Proposición de Futuras Investigaciones

6.1 Conclusiones

En relación a los objetivos planeados en esta investigación, se puede decir que inicialmente en la realización de esta memoria se planteó como tema central determinar la cantidad de voltaje producido respecto a distintas variables y configuraciones, por lo que una vez finalizado este estudio se puede afirmar que se cumplió con el principal objetivo.

Por otra parte los objetivos específicos cumplieron un rol fundamental, ya que permitieron guiar de mejor manera la investigación. En este caso también se verificaron, ya que fue posible definir las variables que podían influir en la obtención de energía de cada panel y evaluar estadísticamente la importancia relativa de cada una de ellas mediante el software Design Expert versión 10.0.2.

En relación al análisis estadístico del voltaje producido por cada panel se pudo concluir mediante un análisis ANOMA que en los paneles con chapa de acero galvanizado, las variables más significativas para el voltaje obtenido (variable de respuesta), son la diferencia de temperatura (C), seguido por el espesor de aislante (B) y finalmente el espesor de chapa (A). Estos factores son los que poseen los valores F más elevados y significativos, comenzando con 1656,05 la variable C, 78,23 la variable B y 35,23 la variable A. Además los valores de los coeficientes de determinación son satisfactorios, lo que confirma que el modelo planteado en el capítulo anterior permite predecir con buena fidelidad el valor del voltaje producido en función de las variables mencionadas.

En cuanto a los paneles con chapa de aluminio, el análisis estadístico (ANOMA) arrojó que las variables más significativas para el voltaje obtenido (variable de respuesta), son la diferencia de temperatura (B), seguido del espesor de aislante (A). Estos factores son los que poseen los valores F más elevados y significativos, comenzando con 3262,94 la variable B y 173,05 la variable A. De igual forma los valores de los coeficientes de determinación son satisfactorios, lo que confirma que el modelo planteado en el capítulo anterior permite predecir con buena fidelidad el valor del voltaje producido en función de las variables mencionadas.

Además se realizó un análisis estadístico comparativo entre los paneles con chapa de acero galvanizado de 1[mm] y aluminio también en 1 [mm], donde el análisis ANOMA concluyó que en los paneles la única variable significativa para el voltaje obtenido (variable de respuesta), es la diferencia de temperatura (B), debido a que ambas chapas presentan diferentes características que las hacen comportarse de manera distintas, afectando la cantidad de voltaje obtenido. Esto se explica ya que en el caso del acero galvanizado al aumentar la variable A (espesor de aislante) el voltaje también aumenta y al contrario el panel con chapa de aluminio, el voltaje disminuye.

Luego al analizar el comportamiento del modelo definido en forma independiente para cada variable se observa que el voltaje aumenta al aumentar el espesor de chapa, el espesor de aislante y la diferencia de temperatura en paneles con chapa de acero galvanizado. Caso contrario ocurre con los paneles con chapa de aluminio, en los cuales aumenta el voltaje al disminuir el espesor de aislante y aumentar la diferencia de temperatura.

El aumento del voltaje se debe a que la temperatura aplicada a la cara del panel, es recibida por las placas termoeléctricas encontradas en su interior. La diferencia de temperatura está directamente relacionada con el voltaje producido, no así el espesor de aislante, ya que éste tendrá significancia dependiendo la materialidad de la chapa utilizada y sus respectivas características como la transmitancia térmica que presente.

Luego de la recopilación de información, y tras realizar una evaluación de la factibilidad técnica y económica del producto, puedo concluir que este elemento constructivo no satisface las cantidad de voltaje producido versus el costo de producción de cada panel, pero si la calidad del producto. Por lo tanto este no es un producto factible, lo que obliga a que futuras investigaciones realicen distintas configuraciones para paneles con tecnología termoeléctrica, incorporando módulos termoeléctricos con mejores capacidades y materiales más eficientes en cuanto a transmitancia térmica, sin dejar de lado los estándares de calidad del producto.

Finalmente, los objetivos fueron cumplidos satisfactoriamente ya que aunque no se desarrollaron las mejoras propuestas debido a la falta de material y presupuesto, los paneles diseñados y construidos funcionan correctamente, por lo que la idea general es correcta y nos da una orientación clara de lo que estos paneles pueden producir si se aplican en emplazamientos en los que la diferencia de temperatura pueda ser considerable, como las investigadas y comentados en este proyecto de tesis.

6.2 Proposición de Futuras Investigaciones

Al termino de esta memoria se propone poner a prueba paneles con distinta materialidad y configuración, modificando las variables significativas como el espesor y tipo de chapa y aislante, poniendo a prueba materiales con mejores características que ayuden a obtener una mayor cantidad de voltaje e intensidad en el menor espacio posible.

Además, la utilización de módulos termoeléctricos con mejores cualidades, los cuales puedan generar un mayor voltaje a una menor diferencia de temperatura. También se expone la idea de poner

a prueba paneles con una mayor cantidad de módulos por m^2 , pero sin afectar el trabajo que realiza el aislante en el panel, pudiendo disminuir el comportamiento térmico de este.

Finalmente se expone la idea de evaluar estadísticamente la importancia relativa de otras variables que no han sido contempladas en este estudio, poniendo a prueba paneles con distintos espesores de chapa de aluminio, con el propósito de ampliar más la precisión del análisis del voltaje.

Bibliografía

- Alternative Energy, disponible en: <http://www.desarrollosustentable.co/2013/05/nuevas-fuentes-de-energia.html>
- Centro de Energías Renovables, Ministerio de Energía, disponible en: cer.gob.cl
- Climas de Chile, disponible en: <http://www.uchile.cl/>
- Energías Renovables en Colombia, disponible en:
http://www.energrecol.com/ficheros_pdf/Energia%20para%20areas%20rurales%20en%20Colombia.pdf
- Energía y desarrollo económico en América Latina, disponible en: <http://www.energiasur.com>
- Eficiencia energética en edificios: certificación y auditorías energéticas, Rey y Velasco, 2008.
- Energía Mareomotriz Chile, disponible en: www.energiamareomotriz.cl
- Grupo de Investigación de Ingeniería Térmica (<http://www.unavarra.es>)
- Hiroshi Kawamoto. R&D Trends in High Efficiency Thermoelectric Conversion Materials for Waste Heat Recovery. Quarterly Review, N° 30, 2009, 54-69, disponible en:
http://www.cienciapopular.com/n/Tecnologia/Materiales_Termoelectricos/Materiales_Termoelectricos.php
- J.-C. Zheng. Recent Advances on Thermoelectric Materials. Front. Phys. China, Vol. 3, 2008, 269-279.
- López Martínez Antonio Miguel. Caracterización de skutterudites como material termoeléctrico desarrollado con nanotecnología. Tesis doctoral Universitat Politècnica de Catalunya, Departament D'enginyeria Electrònica. 2006.
- Medio ambiente en España, 2003.
- Noticias de la Ciencia y la Tecnología disponible en: <http://noticiasdelaciencia.com/>
- Paneles Sándwich, disponible en: <https://www.mapfre.com>
- Planificación Integrada de la Energía para el desarrollo Sostenible, disponible en:
<http://www.iaea.org/>
- Producción de paneles prefabricados PPS, disponible en: <http://www.isotecnica.com.uy>

- “Potencial termodinámico para dispositivos termoeléctricos”, disponible en:
<http://www.repositoriodigital.ipn.mx/>
- Rosa Angélica Ángeles Zurita, José Eduardo Márquez Tavera. Estudio de las características de los sistemas termoeléctricos y su aplicación en refrigeración. Tesis para obtener el título de ingeniero mecánico en el Instituto Politécnico Nacional (México), 2005 .
- Serrano Canals, Iván. Estudio de nuevos materiales termoeléctricos basados en óxidos de hierro. PFC Universidad de Zaragoza, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza, 2010.
- Santiago Tornos Tejedor y Andrés E. Sotelo Mieg. Termoelectricidad d, la energía del desequilibrio. Técnica Industrial 262, 2006, 62-68.
- Tecnomedición, 2010, disponible en: <http://www.tecnomedicion.com/inicio/efecto-seebeck-y-peltier.html>
- TESIS “Optimización de Módulos Peltier para Refrigeración” por César Olivares
- Villasevil Marco Francisco Javier. Desarrollo y caracterización de estructuras termoeléctricas con pellets constituidos por nuevos materiales y geometrías no estándar. Tesis doctoral Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería Electrónica, 2006.

Anexos

Anexo 1: Análisis Financiero para diferencia de temperatura promedio de 10° C.

FLUJO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	
INGRESOS	-	672	672	672	672	672	672	672	672	672	672	672	672	672	672	672	
EGRESOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEPRECIACIÓN	-	2.233.625	2.084.717	1.935.808	1.786.900	1.637.992	1.489.083	1.340.175	1.191.267	1.042.358	893.450	744.542	595.633	446.725	297.817	148.908	
COSTO FINANCIERO	-	804.105	657.121	503.523	343.014	175.281	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
UTILIDAD ANTES IMPUESTO	-	-3.037.058	-2.741.166	-2.438.660	-2.129.242	-1.812.601	-1.488.412	-1.339.503	-1.190.595	-1.041.687	-892.778	-743.870	-594.962	-446.053	-297.145	-148.237	
IMPUESTO 20%	-	-607.412	-548.233	-487.732	-425.848	-362.520	-297.682	-267.901	-238.119	-208.337	-178.556	-148.774	-118.992	-89.211	-59.429	-29.647	
UTILIDAD DESPUES IMPUESTO	-	-2.429.647	-2.192.933	-1.950.928	-1.703.393	-1.450.081	-1.190.729	-1.071.603	-952.476	-833.349	-714.223	-595.096	-475.969	-356.843	-237.716	-118.589	
DEPRECIACIÓN	-	2.233.625	2.084.717	1.935.808	1.786.900	1.637.992	1.489.083	1.340.175	1.191.267	1.042.358	893.450	744.542	595.633	446.725	297.817	148.908	
APORTE DE SOCIOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEVOLUCIÓN APORTE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PRESTAMO	\$17.869.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEVOLUCION DE PRESTAMO	-	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	TOTAL
GANANCIAS (UTILIDADES)	-17.869.000	-4.266.430	-4.178.625	-4.085.529	-3.986.902	-3.882.498	298.354	268.572	238.791	209.009	179.227	149.446	119.664	89.882	60.101	30.319	-36.625.620

TASA DE DSCTO 10%	VAN	-32.689.335	> 0
	TIR	#NUM!	> 2%

Anexo 2: Análisis Financiero para diferencia de temperatura promedio de 15° C.

FLUJO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	
INGRESOS	-	1.580	1.580	1.580	1.580	1.580	1.580	1.580	1.580	1.580	1.580	1.580	1.580	1.580	1.580	1.580	
EGRESOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEPRECIACIÓN	-	2.233.625	2.084.717	1.935.808	1.786.900	1.637.992	1.489.083	1.340.175	1.191.267	1.042.358	893.450	744.542	595.633	446.725	297.817	148.908	
COSTO FINANCIERO	-	804.105	657.121	503.523	343.014	175.281	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
UTILIDAD ANTES IMPUESTO	-	-3.036.150	-2.740.258	-2.437.752	-2.128.333	-1.811.692	-1.487.503	-1.338.595	-1.189.687	-1.040.778	-891.870	-742.962	-594.053	-445.145	-296.237	-147.328	
IMPUESTO 20%	-	-607.230	-548.052	-487.550	-425.667	-362.338	-297.501	-267.719	-237.937	-208.156	-178.374	-148.592	-118.811	-89.029	-59.247	-29.466	
UTILIDAD DESPUES IMPUESTO	-	-2.428.920	-2.192.206	-1.950.201	-1.702.667	-1.449.354	-1.190.003	-1.070.876	-951.749	-832.623	-713.496	-594.369	-475.243	-356.116	-236.989	-117.863	
DEPRECIACIÓN	-	2.233.625	2.084.717	1.935.808	1.786.900	1.637.992	1.489.083	1.340.175	1.191.267	1.042.358	893.450	744.542	595.633	446.725	297.817	148.908	
APORTE DE SOCIOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEVOLUCIÓN APORTE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PRESTAMO	\$17.869.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEVOLUCION DE PRESTAMO	-	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GANANCIAS (UTILIDADES)	-17.869.000	-4.265.704	-4.177.899	-4.084.802	-3.986.176	-3.881.771	299.081	269.299	239.517	209.736	179.954	150.172	120.391	90.609	60.827	31.046	-36.614.719
																	TOTAL

TASA DE DSCTO 10%	VAN	-32.683.807	> 0
	TIR	#¡NUM!	> 2%

Anexo 3: Análisis Financiero para diferencia de temperatura promedio de 20° C.

FLUJO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	
INGRESOS	-	2.738	2.738	2.738	2.738	2.738	2.738	2.738	2.738	2.738	2.738	2.738	2.738	2.738	2.738	2.738	
EGRESOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEPRECIACIÓN	-	2.233.625	2.084.717	1.935.808	1.786.900	1.637.992	1.489.083	1.340.175	1.191.267	1.042.358	893.450	744.542	595.633	446.725	297.817	148.908	
COSTO FINANCIERO	-	804.105	657.121	503.523	343.014	175.281	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
UTILIDAD ANTES IMPUESTO	-	-3.034.992	-2.739.100	-2.436.594	-2.127.175	-1.810.534	-1.486.345	-1.337.437	-1.188.529	-1.039.620	-890.712	-741.804	-592.895	-443.987	-295.079	-146.170	
IMPUESTO 20%	-	-606.998	-547.820	-487.319	-425.435	-362.107	-297.269	-267.487	-237.706	-207.924	-178.142	-148.361	-118.579	-88.797	-59.016	-29.234	
UTILIDAD DESPUES IMPUESTO	-	-2.427.994	-2.191.280	-1.949.275	-1.701.740	-1.448.427	-1.189.076	-1.069.950	-950.823	-831.696	-712.570	-593.443	-474.316	-355.190	-236.063	-116.936	
DEPRECIACIÓN	-	2.233.625	2.084.717	1.935.808	1.786.900	1.637.992	1.489.083	1.340.175	1.191.267	1.042.358	893.450	744.542	595.633	446.725	297.817	148.908	
APORTE DE SOCIOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEVOLUCIÓN APORTE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PRESTAMO	\$17.869.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEVOLUCION DE PRESTAMO	-	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	TOTAL
GANANCIAS (UTILIDADES)	-17.869.000	-4.264.777	-4.176.972	-4.083.875	-3.985.249	-3.880.845	300.007	270.225	240.444	210.662	180.880	151.099	121.317	91.535	61.754	31.972	-36.600.823

TASA DE DSCTO 10%	VAN	-32.676.761	> 0
	TIR	#¡NUM!	> 2%

Anexo 4: Análisis Financiero para diferencia de temperatura promedio de 25° C.

FLUJO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	
INGRESOS	-	5.124	5.124	5.124	5.124	5.124	5.124	5.124	5.124	5.124	5.124	5.124	5.124	5.124	5.124	5.124	
EGRESOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEPRECIACIÓN	-	2.233.625	2.084.717	1.935.808	1.786.900	1.637.992	1.489.083	1.340.175	1.191.267	1.042.358	893.450	744.542	595.633	446.725	297.817	148.908	
COSTO FINANCIERO	-	804.105	657.121	503.523	343.014	175.281	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
UTILIDAD ANTES IMPUESTO	-	-3.032.606	-2.736.714	-2.434.208	-2.124.789	-1.808.148	-1.483.959	-1.335.051	-1.186.143	-1.037.234	-888.326	-739.418	-590.509	-441.601	-292.693	-143.784	
IMPUESTO 20%	-	-606.521	-547.343	-486.842	-424.958	-361.630	-296.792	-267.010	-237.229	-207.447	-177.665	-147.884	-118.102	-88.320	-58.539	-28.757	
UTILIDAD DESPUES IMPUESTO	-	-2.426.085	-2.189.371	-1.947.366	-1.699.832	-1.446.519	-1.187.167	-1.068.041	-948.914	-829.787	-710.661	-591.534	-472.407	-353.281	-234.154	-115.027	
DEPRECIACIÓN	-	2.233.625	2.084.717	1.935.808	1.786.900	1.637.992	1.489.083	1.340.175	1.191.267	1.042.358	893.450	744.542	595.633	446.725	297.817	148.908	
APORTE DE SOCIOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEVOLUCIÓN APORTE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PRESTAMO	\$17.869.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEVOLUCION DE PRESTAMO	-	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GANANCIAS (UTILIDADES)	-17.869.000	-4.262.869	-4.175.063	-4.081.967	-3.983.340	-3.878.936	301.916	272.134	242.353	212.571	182.789	153.008	123.226	93.444	63.663	33.881	TOTAL
																	-36.572.191

TASA DE DSCTO 10%	VAN	-32.662.243	> 0
	TIR	#¡NUM!	> 2%

Anexo 5: Análisis Financiero para diferencia de temperatura promedio de 30° C.

FLUJO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	
INGRESOS	-	7.191	7.191	7.191	7.191	7.191	7.191	7.191	7.191	7.191	7.191	7.191	7.191	7.191	7.191	7.191	
EGRESOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEPRECIACIÓN	-	2.233.625	2.084.717	1.935.808	1.786.900	1.637.992	1.489.083	1.340.175	1.191.267	1.042.358	893.450	744.542	595.633	446.725	297.817	148.908	
COSTO FINANCIERO	-	804.105	657.121	503.523	343.014	175.281	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
UTILIDAD ANTES IMPUESTO	-	-3.030.539	-2.734.647	-2.432.141	-2.122.722	-1.806.081	-1.481.892	-1.332.984	-1.184.076	-1.035.167	-886.259	-737.351	-588.442	-439.534	-290.626	-141.717	
IMPUESTO 20%	-	-606.108	-546.929	-486.428	-424.544	-361.216	-296.378	-266.597	-236.815	-207.033	-177.252	-147.470	-117.688	-87.907	-58.125	-28.343	
UTILIDAD DESPUES IMPUESTO	-	-2.424.431	-2.187.718	-1.945.713	-1.698.178	-1.444.865	-1.185.514	-1.066.387	-947.261	-828.134	-709.007	-589.881	-470.754	-351.627	-232.501	-113.374	
DEPRECIACIÓN	-	2.233.625	2.084.717	1.935.808	1.786.900	1.637.992	1.489.083	1.340.175	1.191.267	1.042.358	893.450	744.542	595.633	446.725	297.817	148.908	
APORTE DE SOCIOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEVOLUCIÓN APORTE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PRESTAMO	\$17.869.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEVOLUCION DE PRESTAMO	-	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-\$4.070.409	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	TOTAL
GANANCIAS (UTILIDADES)	-17.869.000	-4.261.215	-4.173.410	-4.080.313	-3.981.687	-3.877.282	303.569	273.788	244.006	214.224	184.443	154.661	124.879	95.098	65.316	35.534	-36.547.387

TASA DE DSCTO 10%	VAN	-32.649.665	> 0
	TIR	#¡NUM!	> 2%

