



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

**CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE
GENERACIÓN TERMOELÉCTRICO ACOPLADO A UN
SISTEMA TÉRMICO PARA LA OBTENCIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA EN COMUNIDADES RURALES**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA**

PRESENTA:

ELISA LÓPEZ ARELLANO

DIRECTORES:

**JESÚS ESCOBEDO ALATORRE
JOSÉ ANTONIO MARBÁN SALGADO**

SINODALES:

**DIEGO SEURET JIMENEZ
OMAR PALILLERO SANDOVAL
JOSÉ GUADALUPE VELÁZQUEZ AGUILAR**

CUERNAVACA, MORELOS

OCTUBRE, 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

Jefatura de Posgrado en Sustentabilidad Energética

"1919-2019: en memoria del General Emiliano Zapata Salazar"

ASUNTO: APROBACIÓN DE TESIS

Cuernavaca, Morelos, a 06 de diciembre de 2019.

**C. ELISA LÓPEZ ARELLANO
P R E S E N T E**

Por este conducto le notifico que su tesis de Maestría titulada **"Caracterización de un sistema de generación termoeléctrico acoplado a un sistema térmico para la obtención de energía eléctrica en comunidades rurales"**

Fue aprobada en su totalidad por el jurado revisor y examinador integrado por los ciudadanos:

NOMBRE	FIRMA
DR. DIEGO SEURET JIMÉNEZ	
DR. OMAR PALILLERO SANDOVAL	
DR. J. GUADALUPE VELÁSQUEZ AGUILAR	
DR. JOSÉ ANTONIO MARBAN SALGADO	
DR. J JESÚS ESCOBEDO ALATORRE	

Por consiguiente, se autoriza a editar la presentación definitiva de su trabajo de investigación para culminar en la defensa oral del mismo.

Sin otro particular aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

DRA. ELSA CARMINA MENCHACA CAMPOS
DIRECTORA INTERINA DEL CIICAp

DSJ*MLGE/nmc
Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209.
Tel. (777) 329 70 00, Ext. 6212 / correo: merle.garcia@uaem.mx



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023

RESUMEN

Una de las principales fuentes de energía en México es la leña, la cual es consumida por aproximadamente 28 millones de personas, principalmente por familias que viven en zonas rurales. La leña se usa esencialmente como combustible para la cocción de alimentos, calentamiento de agua, como calefacción y como forma de iluminación. (Maserá, y otros, 2011, pág. 12).

En el año 2003 inicia en nuestro país el proyecto Patsari (estufa ahorradora de leña) que gracias al rediseño Guatemalteco de la estufa LORENA (hecha de lodo y arena) y a grupos multidisciplinarios comprometidos con estos sectores de la población, han desarrollado mejoras a la estufa LORENA incrementando su eficiencia, seguridad, durabilidad y sobre todo mejoras a la salud debido a la integración de un chacuaco (escape, chimenea) para la canalización de las emisiones de los gases de la combustión hacia el exterior de la vivienda, reduciendo 8 veces menos de humo

El objetivo de este proyecto es la implementación de un arreglo de dispositivos electrónicos para crear un sistema de generación termoeléctrico sustentable, mediante el aprovechamiento del calor residual generado por el desfogue de los gases de combustión y el calentamiento del tubo de escape, con el cual se obtendrá un gradiente de temperatura térmico entre el tubo de escape y el medio ambiente, el sistema convierte esta esta diferencia de temperaturas en energía eléctrica, la cual será aplicada como iluminación dentro de las viviendas.

Para llevar a cabo la conversión de la energía térmica en eléctrica se utilizaron módulos de generación termoeléctricos (TEGs) comerciales; los cuales funcionan con el efecto Seebeck que transforman la diferencia de temperatura en un diferencial de voltaje. Los TEGs se compone de dos disipadores de igual

tamaño, uno para la cara caliente (temperatura del escape) y otro para la cara frío (temperatura ambiente). Para garantizar la conductividad térmica se usó pasta térmica semiconductor, como aislante térmico se usó papel refractario cerámico colocado alrededor del módulo TEG; para ayudar a disipar la temperatura del lado frío se usó un recipiente con agua a temperatura ambiente para mantener el diferencial de temperatura.

La elección del módulo comercial Seebeck fue debido a las temperaturas obtenidas en el escape a una altura de 50 cm para su fácil manipulación. Los TEGs comerciales cuentan con datos de funcionamiento para conocer el voltaje que se produce con respecto al diferencial de temperatura.

Para la evaluación del desempeño energético y caracterización del dispositivo se construyó una estufa ahorradora de leña tipo Patsari; para la adquisición y monitoreo de la capacidad térmica y eléctrica se utilizó como interfaz un módulo Arduino y un adquisidor de datos con sensores para la medición de temperatura en el tubo de escape y en ambas caras de los TEGs; así como también para la medición del voltaje generado.

Los resultados obtenidos dan una opción viable para el aprovechamiento del calor residual producido por el calentamiento del tubo de escape para generar energía eléctrica utilizable dentro de la vivienda con posibilidad de almacenamiento.

Adicionalmente, para robustecer el diseño de esta mejora, se propone almacenar esta energía para que pueda ser utilizada en momentos en que la estufa se encuentre apagada, de esta manera se estaría contribuyendo en la eficiencia de este tipo de estufas ahorradoras de leña tipo Patsari, la cual se verá reflejada en una mejor calidad de vida dentro de las comunidades; así como también en el desarrollo de la comunidad.

ABSTRACT

One of the main sources of energy in Mexico is firewood, which is consumed by approximately 28 million people, mainly by families living in rural areas. Firewood is easily used as fuel for cooking food, water heating, as heating and as a form of lighting (Masera, y otros, 2011, pág. 12).

In 2003, the Patsari project (wood-saving stove) started in our country, which thanks to the Guatemalan redesign of the LORENA stove (made of mud and sand) and multidisciplinary groups committed to these sectors of the population, have developed improvements to the stove LORENA increasing its efficiency, safety, durability and above all health improvements due to the integration of a chacuaco (exhaust, chimney) for the channeling of flue gas emissions to the exterior of the house, reducing 8 times less of smoke.

The objective of this project is the implementation of an arrangement of electronic devices to create a sustainable thermoelectric generation system, by taking advantage of the residual heat generated by the flue gas venting and the heating of the exhaust pipe, with which You will get a thermal temperature gradient between the exhaust pipe and the environment, the system converts this temperature difference into electrical energy, which will be applied as lighting inside the homes.

To carry out the conversion of thermal energy into electricity, commercial thermoelectric generation modules (TEGs) were used; which work with the Seebeck effect that transform the temperature difference into a voltage differential. The TEGs are composed of two heatsinks of equal size, one for the hot face (exhaust temperature) and the other for the cold face (ambient temperature). To ensure thermal conductivity, semiconductor thermal paste was used, as thermal insulation ceramic refractory paper placed around the TEG module was used; To help dissipate the cold side temperature, a vessel with room temperature water was used to maintain the temperature differential.

The choice of the Seebeck commercial module was due to the temperatures obtained in the exhaust at a height of 50 cm for easy handling. Commercial TEGs have operating data to know the voltage that is produced with respect to the temperature differential.

For the evaluation of the energy performance and characterization of the device, a wood-burning stove Patsari type was built; for the acquisition and monitoring of thermal and electrical capacity, an Arduino module and a data acquisition system with sensors for temperature measurement in the exhaust pipe and on both sides of the TEGs were used; as well as for measuring the generated voltaje.

The results obtained give a viable option for the use of residual heat produced by heating the exhaust pipe to generate usable electrical energy inside the house with the possibility of storage.

Additionally, in order to strengthen the design of this improvement, it is proposed to store this energy so that it can be used at a time when the stove is off, thus contributing to the efficiency of this type of wood-saving Patsari-type stoves, which will be reflected in a better quality of life within the communities; as well as in the development of the community.

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores por confiar en mi para este trabajo, por preocuparse por las personas que viven en comunidades rurales mejorando su calidad de vida y al mismo tiempo cuidar el medio ambiente.

Al Dr. Jesús Escobedo Alatorre, al Dr. José A. Marbán Salgado, al Dr. Diego Seuret Jiménez, al Dr. José Guadalupe Velásquez Aguilar y al Dr. Omar Palillero Sandoval; por la aportación de sus conocimientos, sus sugerencias, por su apoyo, compromiso e interés para que este proyecto llegará a buen fin.

Al Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas por el contar con las instalaciones y personal académico que me permitieron realizar mi estancia de maestría.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-SENER) por las facilidades económicas brindadas.

Al LOU por su apoyo para utilizar las instalaciones y los equipos que me permitieron hacer una comparativa de las lecturas obtenidas.

DEDICATORIA

A Dios por su gran amor y bendiciones, por ponerme a las personas correctas y que gracias a ello me permite concluir este trabajo de investigación. Jesús en ti confié.

Con amor infinito a mis padres que me dieron la vida, por su cariño, sus consejos en momento de duda y sobre todo el apoyo incondicional en cada uno de mis proyectos. Los amo con todo mi corazón.

A toda mi familia por su aliento y sus demostraciones de cariño en cada etapa de mi vida.

A mis amigos que me conocen mejor que yo y saben que decir en los momentos de duda.

A todas las personas que directa e indirectamente me apoyaron en este proyecto. Gracias de todo corazón

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Uso de la leña en México	15
1.2 Justificación.....	17
1.3 Alcance	18
1.4 Objetivo general.....	18
1.4.1 Objetivos particulares.....	19
2 MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 La estufa ahorradora de leña tipo Patsari.....	21
2.2 Efecto Seebeck.....	23
2.3 Módulos de generación termoeléctricos (TEGs)	27
2.4 Sistemas procesadores de potencia.....	29
2.4.1 Convertidor o regulador conmutado CC-CC.....	29
2.4.2 Convertidor o regulador conmutado CC-CC Step Up (elevador, boost converter). 30	
3 DESARROLLO TEÓRICO-EXPERIMENTAL.....	34
3.1 Diseño y construcción de la estufa ahorradora de leña Patsari	34
3.2 Diseño y construcción del módulo generador (TEG) propuesto.....	41
3.3 Dispositivo para el acondicionamiento del voltaje.....	44
3.4 Caracterización de dispositivos de medición y monitoreo de la energía eléctrica obtenida.	47
3.4.1 Medición de temperaturas con placa Arduino UNO (Método 1)	48
3.4.2 Medición de temperaturas con un adquisidor de datos (Método 2).	54
3.4.3 Calibración de los termopares.....	57
3.5 Medición de temperaturas en el chacuaco (escape)	59
3.6 Selección del TEG.....	60
3.6 Diseño del sistema termoeléctrico.....	62
3.7 Sistemas de enfriamiento propuestos en la cara fría para mantener un mayor gradiente de temperatura entre las caras.....	63
3.8 Implementación del sistema de generación termoeléctrico	64
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
4.1 Calidad de energía térmica disponible	67
4.2 Temperaturas obtenidas en la cara caliente y fría en el TEG del dispositivo	70
4.3 Diferencias de temperatura disponibles vs voltajes obtenidos	74
4.4 Cantidad de energía eléctrica	75
4.5 Aplicación de la energía eléctrica obtenida	75
5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	78
5.1 Conclusiones	78
5.2 Recomendaciones.....	82

5.3 Trabajo futuro.....	83
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
7 APÉNDICES	86
Apéndice A Plano de construcción de esta estufa Patsari	86
Apéndice B Código de programación Arduino para medir dos temperaturas	87
Apéndice C Proceso de calibración termopares adquisidor de datos 34970A.....	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipos de termopares.....	25
Tabla 2.2 Código de colores de los tipos de termopares para establecer una uniformidad su designación	25
Tabla 3.1 Descripción de los componentes del dispositivo termoeléctrico propuesto.....	42
Tabla 3.2 Descripción de elementos del dispositivo de acondicionamiento del voltaje.	45
Tabla 3.3 Especificaciones y características de la placa Arduino UNO.....	49
Tabla 3.4 Descripción de los elementos usados en la construcción de este dispositivo para la medición de las temperaturas	50
Tabla 3.5 Conexión de los termopares en el módulo multiplexor HP 34901A	57
La tabla 3.6 Valores de la pendiente (gain) y ordenada (offset)	59
Tabla 3.7 Adquisición de las temperaturas vs distancias por ambos métodos	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.8 Características del módulo de generación modelo SP1848	61
Tabla 3.9 Parámetros termoeléctricos.....	61
La tabla 3.10 muestra los datos entre la ficha de datos y los reales obtenidos por el dispositivo propuesto.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.1 Gráfica de temperaturas vs tiempo; donde se observan las lecturas máximas y mínimas por cada método de medición a 30 cm, 50 cm y 70 cm de altura sobre el escape .	68
La tabla 4.2 muestra las 3 gráficas de temperaturas vs tiempo a las alturas de 30 cm, 50 cm y 70 cm sobre el escape de la estufa	69
Tabla 4.3 Valores de las temperaturas máximas y mínimas a una altura de 30 cm, 50 cm y 70 cm sobre el escape por los dos métodos.....	70
Tabla 4.4 Gráficas de temperaturas vs tiempo; donde se observan las lecturas máximas y mínimas sobre la cara caliente.....	71
Tabla 4.5 Gráficas de temperaturas vs tiempo; donde se observan las lecturas máximas y mínimas sobre la cara fría del dispositivo	72
Tabla 4.6 Gráficas de temperaturas vs tiempo; donde se observan las lecturas máximas y mínimas sobre la cara caliente y la cara fría del dispositivo	73
En la tabla 4.7 se encuentran las gráficas de las diferencias de temperaturas vs tiempo alcanzadas por el dispositivo	73
En la tabla 4.8 Valores de las temperaturas máximas y mínimas de las dos caras (caliente y fría) por ambos métodos así como también sus diferencias de temperaturas (DT)	73
Tabla 4.9 Gráficas de los voltajes obtenidos por el método de adquisición de datos	74
Tabla 4.10 Valores de voltajes máximos y mínimos en mV	75
Tabla 4.11 Propuestas o arreglos para aumentar la potencia real obtenida	76
Tabla 5.1 Costo del sistema de medición para dos temperaturas en Arduino	80
Tabla 5.2 Costo del dispositivo termoeléctrico	80
Tabla 5.3 Costos del dispositivo de acondicionamiento	81
Tabla 5.4 Costos de la construcción de la estufa tipo Patsari	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Equivalente a una carga de leña	16
Figura 1.2 Fogón tradicional (a), estufa ahorradora de leña tipo Patsari (b)	17
Figura 2.1 Estufa ahorradora de leña tipo Patsari.....	21
Figura 2.2 Efecto Seebeck.....	24
Figura 2.3 Esquema de un termopar o termocupla.....	24
Figura 2.4 Efecto Seebeck, campo eléctrico y dirección del flujo de corriente	26
Figura 2.5 Voltaje producido por la diferencia de temperaturas dependiendo del tipo de termopar.....	27
Figura 2.6 Materiales semiconductores dopados de portadores de carga positivos (huecos-tipo p) y dopados de portadores de carga negativos (electrones- tipo n).....	28
Figura 2.7 Muestra los sistemas procesadores de potencia	29
Figura 2.8 Regulador conmutado CC-CC.....	30
Figura 2.9 Esquema básico de una fuente conmutada Step Up.....	31
Figura 2.10 Almacenamiento de la energía en forma de corriente eléctrica	31
Figura 2.11 Obtención del aumento de tensión $V_{IN} + V_L$	32
Figura 2.12 Carga del campo magnético en la inducción y tensión mantenida por el condensador de salida.....	32
Figura 2.13 Convertidor o regulador conmutado Step Up (elevador, boost converter) CC-CC (MT3608).....	33
Figura 3.1. Construcción muros (a) y colado de la base (b) para la estufa Patsari	35
Figura 3.2.- Kit para estufa Patsari.....	36
Figura 3.3 Construcción de la cámara de combustión	37
Figura 3.4 Colocación de hilada para alcanzar la altura de la estufa (a), relleno con escombros hasta la primer hilada (b).....	38
Figura 3.5 Preparación de la segunda mezcla (a) y vaciado (b).....	39
Figura 3.6 Construcción que soporta a los comales (a), colocación del derivador y construcción de topes (b)	39
Figura 3.7 Colocación del barro refractario	40
Figura 3.8 Colocación de comales	40
Figura 3.9 Instalación del escape y limpieza de comales (a), encendido de la estufa ahorradora de leña tipo Patsari (b).....	41
Figura 3.10 Dispositivo TEG propuesto	43
Figura 3.11 Dispositivo TEG acoplado en el tubo de escape.....	44
Figura 3.12 Dispositivo para el acondicionamiento del voltaje de entrada (voltaje entregado por el módulo Seebeck)	46
Figura 3.13 Montaje del dispositivo para el acondicionamiento de la señal de entrada (voltaje).....	47
Figura 3.14 Métodos utilizados para la obtención de temperaturas; Arduino (a) Agilent (b).....	48

Figura 3.15 Placa Arduino UNO, lado frontal (a), lado posterior (b)	49
Figura 3.16 Diagrama de la conexión eléctrica (a) y esquema final (b)	52
Figura 3.17 Mediciones de temperaturas tanto en los display del dispositivo como en la computadora por medio de las herramientas de Arduino	53
Figura 3.18 Diagrama de bloques del código de programación Arduino	54
Figura 3.19 Adquisidor de datos 34970A	55
Figura 3.20 Computadora de escritorio con software Keysight BenchLink Data Logger 3	56
Figura 3.21 Termopares tipo T	57
Figura 3.22 Calibración de los termopares, parrilla eléctrica (a); registro y almacenamiento de los datos de temperatura obtenidos(b).....	58
Figura 3.23 Gráficas de la ficha de datos del módulo de generación SP1848	62
Figura 3.24. Dispositivo propuesto.....	64
Figura 3.25 Instalación del dispositivo de generación termoeléctrico	65
Figura 3.26 Conexión entre el dispositivo de generación termoeléctrico y el dispositivo de acondicionamiento del voltaje	66
Figura 4.1 Propuesta para la construcción del dispositivo.....	77

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

En el mundo existen poco menos de 1,000 millones de hogares aproximadamente que no cuentan con energía eléctrica al 2017, (equivalente al 17% de la población mundial), esto convierte a la madera en la principal fuente de energía renovable, proporcionando así el 6% de la energía a nivel mundial.

Su mayor consumo se encuentra en países en vías de desarrollo, gracias a su fácil acceso, así como también a sus nobles condiciones de uso, la madera es utilizada por aproximadamente 2,800 millones de personas (equivalente al 38% de la población mundial), cuyas aplicaciones principales son la calefacción, la cocción de alimentos, el calentamiento de agua y como sistema de iluminación entre otros usos. (International Energy Agency, 2018)

Como es bien sabido y está bastante documentado, la quema de la biomasa en el interior de las viviendas, genera una mala calidad del aire, hablando específicamente de la combustión de la leña que es usada por las comunidades rurales contribuye con altas concentraciones de partículas finas y gruesas (McNamara, Thornburg, Semmens, Ward, & Noonana, 2017).

La exposición a los gases de combustión dentro de las cocinas son un importante riesgo a la salud, causando a nivel mundial entre 3 y 4 millones de muertes prematuras al año; por lo que la implementación de estufas mejoradas reduce los riesgos a la salud asociados a la combustión dentro de los hogares.

La implementación de estufas mejoradas traerían grandes beneficios en la salud, para la economía, en el cuidado ecológico debido a la reducción en el

uso de la madera así como una importante reducción de las emisiones a la atmosfera (Masera, y otros, 2007).

1.1 Uso de la leña en México

Existen más de 500 mil viviendas mexicanas sin acceso a la electricidad, debido a que se encuentran muy alejadas de las fuentes de suministro eléctrico o en áreas de difícil acceso, estas zonas se encuentran habitadas principalmente por comunidades indígenas y rurales (Celis Aguirre, 2016).

Una cuarta parte de los hogares mexicanos utilizan la leña como fuente de energía residencial representando un 50% del total de la energía del país, del cual el 80% es utilizada por hogares que viven en zonas rurales o periurbanas (Masera, Díaz, & Berrueta, From cookstoves to cooking systems: the integrated program on sustainable household energy use in Mexico, 2005).

Por tal motivo se calcula que en México aproximadamente 28 millones de personas utilizan la leña como combustible, convirtiéndola así en una de las principales fuentes de energía del país (Masera, y otros, 2011).

En nuestro país la leña se vende por rajas (leño de aproximadamente un metro de largo) o por carga que equivale a la cantidad de leña que un caballo puede cargar (20 rajas por cada costado del caballo aproximadamente) y transportarla en un solo viaje. La figura 1.1 muestra el equivalente a una carga de leña compuesta por 40 rajas.



Figura 1.1 Equivalente a una carga de leña

Actualmente se está logrando insertar tecnologías rurales para apoyar a estas comunidades, con las llamadas cocinas ahorradoras de leña en sustitución al fogón tradicional, ya que estos no cuentan con un sistema que confine o contenga la energía térmica, por lo que se tiene una pérdida de energía considerable, haciendo mayor el gasto de leña. Este tipo de estufas ahorradoras de leña logran contribuir directamente en la salud y la economía de estos hogares, a la vez que se vuelven más amigables con el medioambiente (Ruiz-Mercado, Maserá, Zamora, & Smith, 2011).

La figura 1.2 muestra un fogón tradicional en comparación con una estufa Patsari. El fogón tradicional (figura 1.2 (a)), tiene mayor gasto de energía por su forma de construcción abierta, lo que provoca más consumo de la leña, causa varios tipos de enfermedades y mayor contaminación ambiental. El diseño de la estufa ahorradora de leña tipo Patsari (figura 1.2 (b)), tiene una construcción fácil, segura y duradera, también cuenta con una mayor transferencia de calor lo cual lleva a un ahorro en el consumo del combustible (leña), generando un uso sustentable de la leña.



Figura 1.2 (a)



Figura 1.2 (b)

Figura 1.2 Fogón tradicional (a), estufa ahorradora de leña tipo Patsari (b)

1.2 Justificación

Para las comunidades rurales es difícil contar con energía eléctrica de calidad de forma económica, este proyecto permitirá su acceso a las familias que se encuentran bajo estas condiciones aunado a que es energía generada de manera sustentable y económica, para así mejorar su calidad de vida al igual que se está contribuyendo al desarrollo dentro de la comunidad.

Es posible dar cumplimiento teóricamente a los objetivos de generación eléctrica sustentable al adicionar tecnologías limpias, se está contribuyendo en mejorar aspectos que recaen directamente en la sociedad como son en la salud, en lo económico, en el tiempo invertido en la recolección de leña, en la cantidad de gasto del combustible, entre otros factores; siempre y cuando las comunidades acepten estas tecnologías y las usen a su favor ya que todavía existe mucha resistencia hacia su implementación. También se da cumplimiento a las Estrategias Nacionales de Cambio Climático y Calidad del

Aire, en los siguientes apartados de la Sostenibilidad Energética que son: (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2017)

- Seguridad Energética
- Equidad Social
- Mitigación del impacto ambiental

Al diseñar e implementar este dispositivo termoeléctrico, se pretende aprovechar la temperatura producida por el calor residual a lo largo del tubo de escape de una estufa ahorradora de leña tipo Patsari, para la generación de energía eléctrica de manera sustentable, con el objetivo de satisfacer las necesidades de la sociedad actual que ya cuenta con esta tecnología rural, sin comprometer la estabilidad de las necesidades futuras de estas comunidades, ya que como investigadores y miembros de la sociedad debemos garantizar el acceso y utilización del conocimiento, que en este caso referente al uso de la energía eléctrica sustentable.

1.3 Alcance

Implementar un primer prototipo, evaluar su funcionamiento en condiciones reales de operación y determinar su aceptación dentro de las comunidades.

1.4 Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es el siguiente:

Diseñar e implementar un sistema de aprovechamiento de energía térmica residual proveniente de una estufa ahorradora de leña Patsari para la generación de energía eléctrica en comunidades rurales.

1.4.1 Objetivos particulares

1. Construir una estufa Patsari, con el propósito de generar energía eléctrica a partir del gradiente de temperatura entre el tubo de escape y un medio disipador a menor temperatura.
2. Realizar pruebas experimentales con la finalidad de seleccionar el módulo generador termoeléctrico adecuado a partir de las temperaturas registradas en el tubo de escape.
3. Diseñar e implementar el sistema termoeléctrico para analizar si la cantidad de energía eléctrica generada es suficiente para su aplicación y aprovechamiento.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los conceptos y fundamentos teóricos sobre la estufa tipo Patsari. También se muestra la teoría empleada para la generación de energía eléctrica a partir de una diferencia de temperatura, para su adecuación hasta llegar a ser energía eléctrica sustentable de calidad utilizable.

Debido al voraz consumo de los recursos de la tierra, se han encontrado fuentes de energías sustentables alternativas, dentro de las cuales se encuentra la recolección de energía proveniente de forma ecológica derivada de la energía natural. Este tipo de energía trae muchos beneficios convirtiéndose en una solución amigable al consumo de los recursos naturales del planeta (Marlow Industries, Inc, 2019).

La generación de energía eléctrica por recolección de fuentes de energía disponibles en el entorno que no suelen ser aprovechadas, como son las ondas de radio, energía solar, energía cinética, gradientes de salinidad y gradientes de temperatura, las cuales proporcionan una alternativa de baja potencia semejantes al uso de baterías ya que solo se pueden generar energía en pequeñas cantidades (Marlow Industries, Inc, 2019).

Estas fuentes las podemos encontrar y recolectar de manera gratuita gracias a que se encuentran disponibles en el entorno, en este proyecto por ejemplo se obtendrá de los gradientes de temperatura que se crean durante el funcionamiento de la estufa Patsari

2.1 La estufa ahorradora de leña tipo Patsari

La figura 2.1 muestra una estufa ahorradora de leña tipo Patsari, la cual es el resultado en conjunto del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la Universidad Autónoma de México (UNAM) junto con el Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, A.C. (GIRA); las cuales adaptan tecnologías rurales dentro comunidades rurales desde el año 2003, con este diseño de estufa lograron eficiencias de hasta un 60% de ahorro en el consumo del combustible (leña), además de resolver problemas de salud gracias a la canalización hacia fuera de la vivienda de las emisiones emitidas por la combustión, disminuyendo problemas en la vista, respiratorios que en muchos casos llegaban hasta la muerte en menores de edad por la inhalación de humo y al mismo tiempo al quemar menos leña da como resultado una disminución en la producción de CO₂. (Berrueta et al, 2017).



Figura 2.1 Estufa ahorradora de leña tipo Patsari

Las estufas Patsari como su nombre en purépecha lo indica (la que guarda) tienen la función primordial de repercutir directamente en los siguientes aspectos (Masera, y otros, 2011):

- En la economía de las familias, ya que utilizan hasta un 50% menos de leña; en la salud, ya que se presenta un 30% de menos enfermedades en los pulmones, ojos, huesos, etc.; en su construcción, ya que se utilizan materiales que se encuentran disponibles en la misma localidad.
- En la seguridad del hogar, debido al aislamiento del fuego directo con construcciones fuertes, duraderas; así como la canalización hacia afuera de los gases de combustión.
- En un bienestar ambiental, gracias a una reducción en la tala de árboles lo cual influye en otros tipos de consecuencias y en particular una reducción del 60% en la contribución a los gases de efecto invernadero.

(Díaz, Gabriel, Molina, Marcos, & Masera, 2003) Presentan en el documento “La Estufa Patsari, Manual del Constructor” las ventajas y beneficios de la estufa Patsari al mencionar las mejoras que influyen en la calidad de vida de los usuarios de las mismas; así como también menciona paso a paso su proceso de construcción a través de imágenes para una fácil comprensión del Proyecto PATSARI®, Uso Sustentable de la Leña; cabe mencionar que algunos puntos mostrados en este manual ya no son aplicados actualmente gracias a la adopción de técnicas mejoradas en su construcción como por ejemplo ya no se hace uso de los moldes metálicos. Este informe de esta tecnología rural se encuentra disponible en internet gracias a que es de tipo abierta (PATSARI®).

En cuanto a su construcción la estufa Patsari aprovecha los materiales disponibles propios en la región; al igual que dependerá de la resistencia o durabilidad que desee la familia, derivado del costo beneficio al considerar su ergonomía y utilidad, con base a las posibilidades económicas propias de cada hogar, por lo tanto, dentro de los materiales sugeridos o comunes se encuentran: cemento, adobe, herrería, madera, tabique, alguna mezcla de los anteriores, entre otros.

En el manual de la estufa ahorradora de leña tipo Patsari se pueden encontrar prácticas recomendaciones para su construcción así como de su mantenimiento (<http://tecnoconect.org/PDFs/ManualPatsari.pdf>, s.f.).

Al ser esta tecnología abierta se cuenta con información suficiente para poder construir la estufa ya que se pueden encontrar manuales, fotos, videos, contacto vía electrónica con los encargados de este proyecto; dentro de esta información se pueden encontrar experiencias de mejoras, de cómo las familias se han ido adaptando a estas tecnologías y de su vivaz participación para su beneficio aunque por otro lado hay quienes no las han querido adoptar.

2.2 Efecto Seebeck

El efecto Seebeck (figura 2.2), también conocido como efecto termoeléctrico o efecto Seebeck-Peltier, convierte de forma directa una diferencia de temperaturas entre dos conductores eléctricos en una diferencia de potencial; este es el principio del funcionamiento de los sensores termoeléctricos actuales, fue descubierto por Thomas Johann Seebeck en 1821, funciona por medio de dos dispositivos usados para la medición de temperatura llamados termopar (Uribe Garavito & Ortega Torres, 2014)

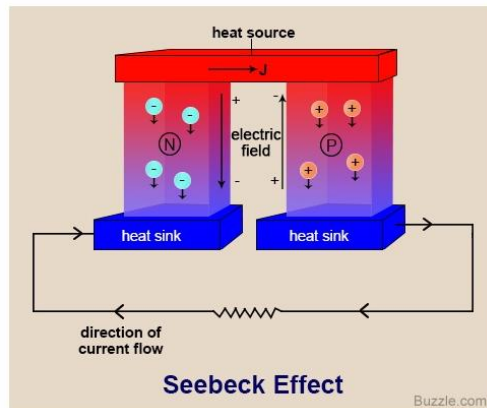


Figura 2.2 Efecto Seebeck

Un termopar está formado por la unión de dos conductores o aleaciones metálicas diferentes, que con la presencia de una diferencia de temperatura, entre sus uniones, se origina el flujo de una corriente eléctrica (este flujo de electrones va desde el lado caliente hacia el lado frío) generando un diferencial de voltaje (ver figura 2.3).

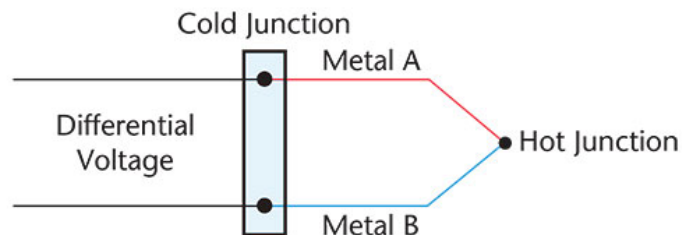


Figura 2.3 Esquema de un termopar o termocupla

La tabla 2.1 muestra los diferentes tipos de termopares con sus principales características como son tipo, sus máximos y mínimos de las temperaturas que soportan así como los materiales y aleaciones de su composición. La tabla 2.2 muestra el código de colores en el aislamiento para así identificar su tipo, su composición y su polaridad con el fin de establecer una uniformidad en la designación de los mismos (Medrano Guerrero, 2002).

Tabla 2.1 Tipos de termopares

Tipo de termopar	Alcance de Temperatura °C	Materiales y Aleaciones (+) vs (-)
Metal – Base		
E	-270 a 1000	Níquel-Cromo vs Cobre-Níquel
J	-210 a 1200	Hierro vs Cobre-Níquel
T	-270 a 400	Cobre vs Cobre-Níquel
K	-270 a 1372	Níquel-Cromo vs Níquel- Aluminio
N	-270 a 1300	Níquel-Cromo-Silicio vs Níquel-Silicio-Magnesio
Metal – Noble		
R	-50 a 1768	Platino-13 Rodio vs Platino
S	-50 a 1768	Platino-10 Rodio vs Platino
B	0 a 820	Platino-30 Rodio vs Platino-6% Rodio

Tabla 2.2 Código de colores de los tipos de termopares para establecer una uniformidad su designación

Código ANSI	Combinación de la aleación		Código de color	
	+	-	Termopar	Extensión
E	Cromel níquel - cromo Ni-Cr	Constantan cobre - níquel Cu-Ni		
J	hierro Fe	Constantan cobre - níquel Cu-Ni		
T	cobre Cu	Constantan cobre - níquel Cu-Ni		
K	Cromel níquel - cromo Ni-Cr	Alumel níquel - aluminio Ni-Al		
N	Nicrosil níquel - cromo - silicio Ni-Cr-Si	Nisil níquel - silicio - magnesio Ni-Si-Mg		
R	platino - 13% rodio Pt-13% Rh	platino Pt	No establecido	
S	platino - 10% rodio Pt-10% Rh	platino Pt	No establecido	
B	platino - 30% rodio Pt-30% Rh	platino - 6% rodio Pt-6% Rh	No establecido	

La magnitud de esta fuerza generada por el efecto Seebeck debido a la diferencia de temperatura depende del tipo de material de los conductores así como de la temperatura aplicada en cada uno de ellos, ya que responden según las propiedades eléctricas y semiconductoras particulares en la

composición de los conductores, para crear una corriente eléctrica que generará un campo magnético (Alzate Rodriguez, Montes Ocampo, & Silva Ortega, 2007). La figura 2.4 muestra el efecto de generación termoeléctrico el cual crea un campo eléctrico así como también se observa la dirección de su flujo de corriente.

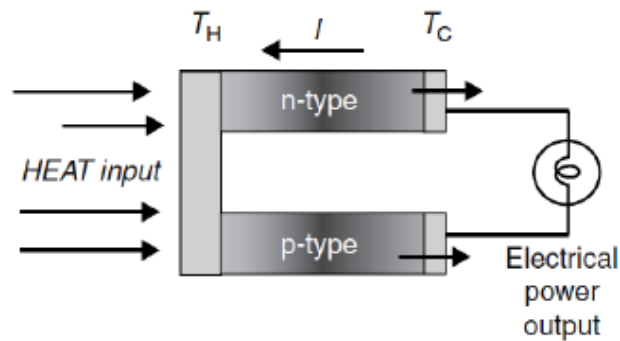


Figura 2.4 Efecto Seebeck, campo eléctrico y dirección del flujo de corriente

El voltaje producido debido a este efecto es proporcional a la diferencia de temperatura entre las dos uniones metálicas (figura 2.5). (Marlow Industries, Inc, 2019).

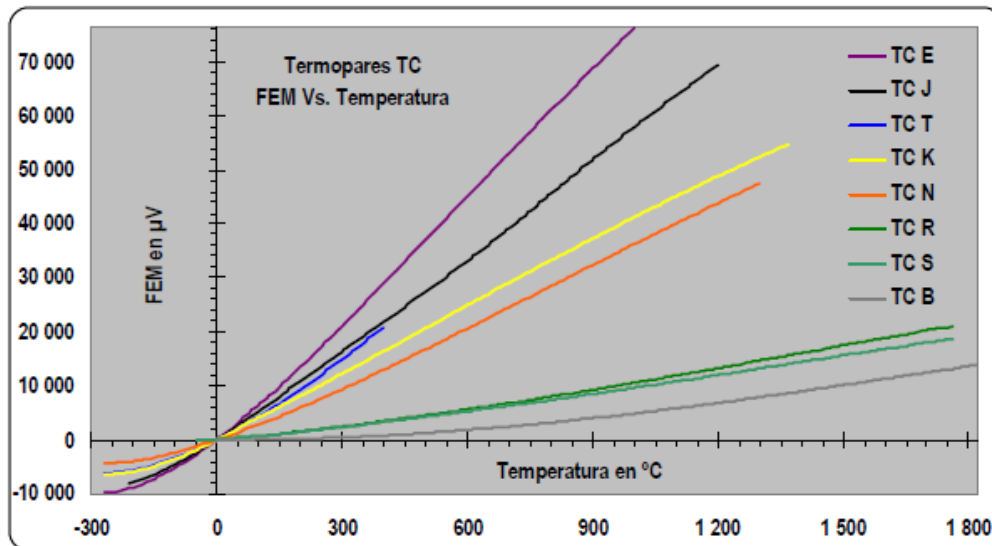


Figura 2.5 Voltaje producido por la diferencia de temperaturas dependiendo del tipo de termopar

Los materiales termoeléctricos ideales tienen una baja conductividad térmica, una alta conductividad eléctrica y un alto coeficiente Seebeck; este último es la capacidad de los materiales o dispositivos para generar voltaje por unidad de temperatura. La siguiente ecuación proporciona el valor del coeficiente Seebeck (S) el cual se define como la derivada de $S = \frac{dE}{dT}$ donde (E) es la tensión con respecto a la temperatura (T) (Medrano Guerrero, 2002).

Las combinaciones de materiales más utilizados en la creación del Efecto Seebeck son de constantán (cobre 55%-níquel 45%) con cobre, hierro, cromo o aluminio (Marlow Industries, Inc, 2019).

Las unidades de la termopotencia es voltios por kelvin (V/K), dándose con más frecuencia en microvoltios por kelvin ($\mu\text{V/K}$) debido pequeñas cantidades de generación.

2.3 Módulos de generación termoeléctricos (TEGs)

Derivado de la búsqueda por encontrar métodos útiles de energía eléctrica se emplean métodos para la recolectar energía utilizando gradientes de temperatura que se manifiestan tanto en entornos naturales como artificiales, permitiendo así la generación de electricidad por medio del calor residual; estos métodos llamados termoeléctricos son extremadamente estables y proporcionan un funcionamiento continuo durante miles de horas, además de ser usados en todo tipo de clima (Marlow Industries, Inc, 2019).

Los módulos de generación termoeléctricos (TEGs, del idioma inglés Thermoelectric Generators) son dispositivos que usan electrones como fluido de trabajo, se basan en los principios de funcionamiento de los sensores

termoeléctricos. Son convertidores de energía de estado sólido cuya combinación térmica (propiedades eléctricas y semiconductoras) les permiten ser utilizadas para convertir el calor residual en electricidad o energía eléctrica directamente en refrigeración y calefacción. Los módulos termoeléctricos son compactos, ligeros y no producen ruidos por su funcionamiento (Bell, 2008).

Los TEGs son considerados motores térmicos de estado sólido formados por pares de elementos tipo p y tipo n. Los elementos tipo p están hechos de materiales semiconductores dopados de portadores de carga positivos (huecos) y el coeficiente Seebeck es positivo. Los elementos tipo n están hechos de materiales semiconductores dopados de portadores de carga negativos (electrones) y el coeficiente Seebeck es negativo (ver figura 2.6).

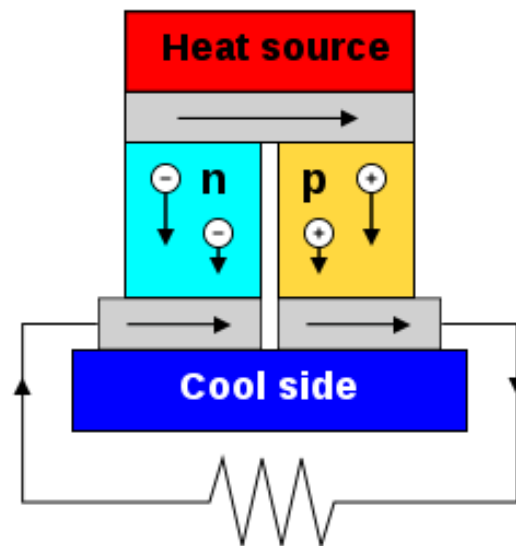


Figura 2.6 Materiales semiconductores dopados de portadores de carga positivos (huecos-tipo p) y dopados de portadores de carga negativos (electrones- tipo n)

En la actualidad una de las aportaciones de los módulos TEGs se encuentran en los automóviles, al tomar el calor residual del motor y convertirlo en energía; aumentando así la eficiencia del automóvil (Marlow Industries, Inc, 2019).

2.4 Sistemas procesadores de potencia

Los sistemas procesadores de potencia son usados para transformar la potencia de entrada (V_{in} , I_{in}) en una potencia de salida (V_o , I_o) de una forma adecuada de acuerdo a las especificaciones requeridas por la carga maximizando el rendimiento de la conversión.

Dentro de sus funciones electrónicas básicas se encuentran: la regulación de la tensión, la adaptación de impedancias en corriente continua, la capacidad de asociación con otros procesadores de potencia y la generación de señales de potencia a partir del seguimiento de referencias (Martinez Salamero, Cid-Pastor, El Aroudi, Giral, & Calvente, 2009).

El diagrama de bloques de la figura 2.7 muestra los sistemas procesadores de potencia existen las siguientes conversiones con máximo rendimiento de tensión CA/CC, CC/CC, CC/CA, CA/CA. Para este proyecto nos enfocaremos en los convertidores de corriente continua Step Up.

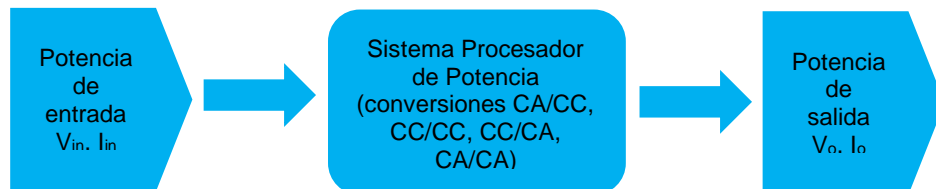


Figura 2.7 Muestra los sistemas procesadores de potencia

2.4.1 Convertidor o regulador conmutado CC-CC

Un convertidor de corriente continua o regulador conmutado CC-CC tiene la función de regular el voltaje de corriente continua (CC) variable (no regulado) a un voltaje de corriente continua (CC) fijo (regulado) (Saravanan & Babu,

2017). La figura 2.8 presenta el diagrama de bloques de un regulador conmutado CC-CC.

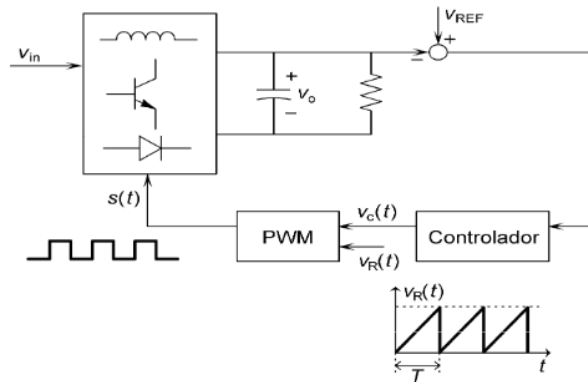


Figura 2.8 Regulador conmutado CC-CC

2.4.2 Convertidor o regulador conmutado CC-CC Step Up (elevador, boost converter)

Este tipo de convertidor (step up) se basa en el principio de incremento su principal función se encuentra en la capacidad de generar un alto voltaje en la salida diez veces mayor a partir de una entrada (voltaje de entrada, V_{in}) con un solo interruptor de semiconductor de potencia (Saravanan & Babu, 2017). Cumpliendo con la ley de la conservación de la energía que dice que si aumentamos la tensión de salida su intensidad disminuirá proporcionalmente de modo que se cumpla la ley:

$$V_{in} * I_{in} = V_{out} * I_{out}$$

La figura 2.9 muestra el esquema básico de una fuente conmutada Step Up, la cual usa un transistor Mosfet de potencia y la inducción, se genera un corto circuito a los extremos del inductor debido a la conducción en el transistor; lo que permite que se cargue un campo magnético almacenando la energía en la inducción.

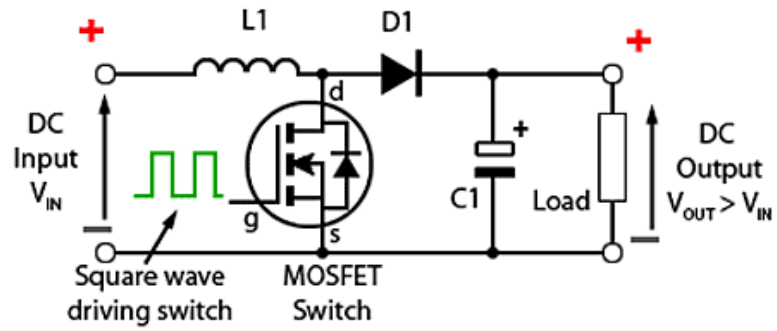


Figura 2.9 Esquema básico de una fuente conmutada Step Up

En la figura 2.10 se observa cómo se carga el campo magnético en el inductor debido a la corriente eléctrica; al momento de que esta energía de corriente eléctrica cesa, el campo eléctrico generado por la misma colapsa devolviendo la energía de corriente eléctrica al circuito. Las impedancia en D1 y C1 son mayores que en el transistor así que la corriente circula por el primer circuito alimentando al inductor (Prometec, s.f.).

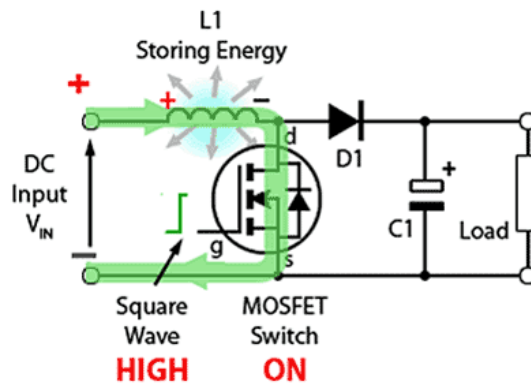


Figura 2.10 Almacenamiento de la energía en forma de corriente eléctrica

La figura 2.11 muestra que al cortar la conducción en el transistor, el inductor para compensarlo intenta mantener el flujo de corriente descargando la energía almacenada en el campo magnético, obteniendo una tensión de descarga V_L adicional a la tensión de entrada V_{IN} obteniendo un aumento en la tensión. Al sumar estas dos tensiones se fuerza la conducción en D1 debido

a la condición de corto del transistor, carga al condensador C1 al mismo tiempo que alimenta la carga de salida (Prometec, s.f.).

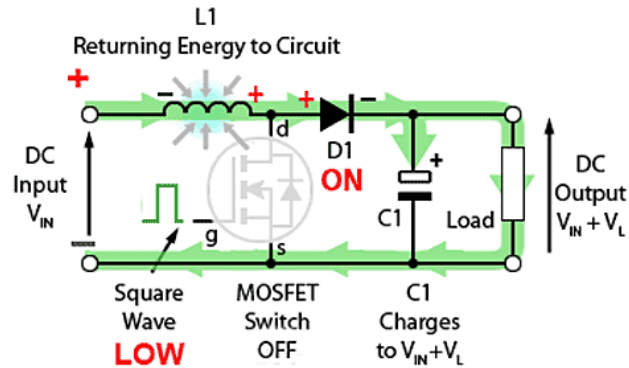


Figura 2.11 Obtención del aumento de tensión $V_{IN} + V_L$

Una vez que el transistor vuelve al estado de conducción, cortocircuita el primer bloque de la fuente cargando el campo magnético en la inducción, pero ahora se puede mantener la tensión debido a que el condensador de salida se encuentra cargado (Prometec, s.f.) (Figura 2.12).

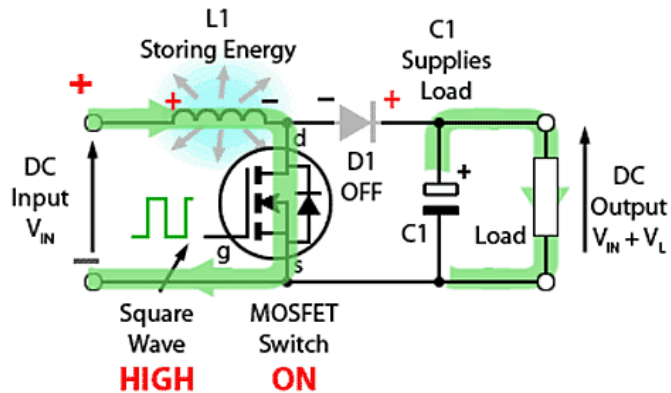


Figura 2.12 Carga del campo magnético en la inducción y tensión mantenida por el condensador de salida

Dentro de las principales características que este tipo de convertidores tiene es; una alta eficiencia de conversión, excelente regulación de línea y bajo voltaje de rizado.

Las tensiones de entrada al convertidor pueden venir de diferentes tipos de fuentes intermitentes o impredecibles como en el caso de los paneles solares va a depender de la radiación solar, si viene de una batería va a depender del estado en el que se encuentre la batería, si viene de algún generador de viento dependerá de la velocidad del viento y en el caso de este proyecto que viene de una fuente de calor dependerá de la cantidad de leña y de las condiciones de combustión (Prometec, s.f.). La figura 2.13 muestra el convertidor o regulador conmutado Step Up (elevador, boost converter) CC-CC (MT3608) usado en este proyecto.



Figura 2.13 Convertidor o regulador conmutado Step Up (elevador, boost converter) CC-CC (MT3608)

CAPÍTULO 3

3 DESARROLLO TEÓRICO-EXPERIMENTAL

En este capítulo se describe el proceso de la construcción tanto de la estufa ahorradora de leña tipo Patsari, como de los equipos y dispositivos utilizados para el monitoreo de adquisición de datos de temperatura y voltaje obtenidos en el sistema, además de la descripción de los diferentes componentes que conforman la caracterización del dispositivo termoeléctrico propuesto.

3.1 Diseño y construcción de la estufa ahorradora de leña Patsari

Para el diseño y construcción de la estufa Patsari se utilizó el documento “La Estufa Patsari, Manual del Constructor”, fotos y dibujos (GIRA, A.C., CIEco, UNAM, UCI-Irvine, INSP, & INE-CENICA, s.f.), artículos (Appropedia, s.f.) y videos (MyTwoHands, s.f.) que se encuentra disponible en internet gracias a que esta tecnología rural es de tipo abierta; también se consultó vía correo electrónico (Maserá O. R., s.f.) con los encargados de la promoción, construcción y capacitación referente a esta tecnología; los consultores hicieron observaciones en cuanto a nuevas formas de construcción ya que con el tiempo han ido simplificando las mejoras adaptadas para una fácil construcción (Energía Rural, GIRA, A.C., s.f.).

Basados en esta información, se inició con la construcción de la base que soporta la estufa. Se utilizó tabique con la idea de aparentar una vista rústica y resistente, pero de rápida y fácil construcción; para esto se construyeron dos muros de tabique aparente los cuales soportan una losa de cemento de 10 cm de espesor construida en su interior por un armado en varilla de ¼”. En la figura 3.1(a) se muestra la construcción de dos muros de tabique colocados de canto incrustados al muro existente que dentro de la junta (mezcla) se

colocan varillas incrustadas a la pared para aportar mayor resistencia y agarre; la figura 3.1(b) muestra el colado de la base que soportara a la Patsari.

Los materiales utilizados para la construcción de esta base fueron los siguientes: tabique rojo, cemento, arena, mortero, varilla de $\frac{1}{4}$ ", grava de $\frac{3}{4}$ " y agua. La junta para el pegado de tabiques que se ocupó en esta y las siguientes etapas identificada como primer mezcla fue hecha con cemento, arena y mortero; se colocó de un espesor de aproximadamente 1 cm; pero para el colado de la losa se añadió a esta primer mezcla grava de $\frac{3}{4}$ ".



Figura 3.1 (a)



Figura 3.1 (b)

Figura 3.1. Construcción muros (a) y colado de la base (b) para la estufa Patsari

Según los criterios de medidas mínimas sugeridas mencionadas en el manual para la base de este tipo de estufa deben ser de 130 cm de fondo, 75 cm ancho a una altura de 60 cm a nivel de piso terminado (n.p.t.); pero por diseño particular en este proyecto se construyó en forma de L cuyas medidas son las siguientes: 142 cm de fondo, 80 cm de ancho en la parte de atrás y el frente es de 135 cm de ancho por 60 cm de fondo; cuenta con una altura de 72cm a n.p.t.. El cambio en el diseño no afecta en lo absoluto el funcionamiento de la estufa, ya que las medidas superan las mínimas requeridas mencionadas en

el manual del constructor y satisface las necesidades propias de cada una de las familias.

En esta primera etapa se dejó secar por el colado de la base durante 15 días para después continuar con el cuerpo principal de la estufa Patsari; para lo cual se siguieron los procedimientos revisados de la literatura y de información adicional de videos disponibles en la red que muestran su construcción.

La segunda etapa consistió con la compra por internet del kit de la estufa Patsari el cual incluye lo siguiente (ver figura 3.2):

- dos comales de 27 cm de diámetro de lámina negra calibre 16
- un comal de 54 cm de diámetro de lámina negra calibre 14
- un derivador de chimenea
- tres tubos de lámina galvanizada de 4"
- un sombrero de lámina galvanizada de 4"



Figura 3.2.- Kit para estufa Patsari

La construcción de la estufa Patsari inició colocando sobre la base una primera serie (hilada) de tabiques rojos de canto formando una U, dejando la abertura al frente ya que esta servirá para la entrada de leña y para la cámara de

combustión; se colocaron 4 tabiques que delimitan el largo de la estufa en ambos costados y 3 tabiques al fondo que delimitan el ancho de la estufa. Se repite este proceso colocando sobre esto otra hilada de canto, la cual delimita la altura de la estufa. Los materiales utilizados fueron los siguientes: tabique rojo, cemento, arena, mortero, barro, escombro (como relleno), celosía (para el paso de los gases de combustión internamente) y agua.

Para formar la cámara de combustión se colocan 3 tabiques de canto hacia adentro en cada lado de la abertura de la primera hilada, sobre estos se colocan otras 2 hiladas de tabiques pero acostados (colocación normal) para formar una casita que será la entrada de la leña en la cámara de combustión, quedando una ventana de 23 cm de ancho por 15 cm de alto, como se muestra la figura 3.3.



Figura 3.3 Construcción de la cámara de combustión

Para concluir la construcción de la cámara se coloca otro tabique como extensión en cada uno de los tabiques centrales los cuales delimitan su fondo a 35 cm donde se coloca otro tabique perpendicular a estos. Sobre estos tabiques se coloca otra hilada de tabiques acostados para alcanzar la altura de la estufa (figura 3.4 (a)); posteriormente se rellena con escombro el resto

del cuerpo principal hasta alcanzar la altura de la primera hilada, como se muestra en la figura 3.4 (b).



Figura 3.4 (a)



Figura 3.4 (b)

Figura 3.4 Colocación de hilada para alcanzar la altura de la estufa (a), relleno con escombro hasta la primer hilada (b)

Posteriormente se prepara una segunda mezcla de arena, barro, mortero y agua como se muestra la figura 3.5(a); la cual se utilizó para rellenar el cuerpo principal hasta el tabique acostado que delimita la altura de la cámara de combustión (figura 3.5(b))



Figura 3.5 (a)



Figura 3.5 (b)

Figura 3.5 Preparación de la segunda mezcla (a) y vaciado (b)

Para después comenzar a armar las bases que reciben a los comales; aquí se utilizan tabiques dándoles la forma redonda del tamaño para cada uno de los 3 comales; también se colocan las dos celosías que sirven como pasos para los gases a alta temperatura generados en la cámara de combustión; pasando del comal grande a los dos comales chicos (figura 3.6 (a)).

En esta etapa también se coloca el derivador de chimenea (figura 3.6 (b)) además de rellenar los espacios hasta el nivel de la última hilada con la segunda mezcla, para después hacer una especie de tope en cada uno de los espacios que reciben los 3 comales.



Figura 3.6 (a)



Figura 3.6 (b)

Figura 3.6 Construcción que soporta a los comales (a), colocación del derivador y construcción de topes (b)

En este trabajo se propuso aplicar una capa de barro refractario en los tres espacios que sostienen a los comales así como también en la cámara de combustión; para sellar las grietas que pudieran existir debido a las propiedades mismas de los materiales de construcción y así evitar posibles fugas de combustión lo cual ayuda a disminuir las pérdidas de calor hacia el

entorno; el barro refractario se empleó aquí con la finalidad de aumentar la eficiencia de la estufa Patsari ya que no viene en el manual de construcción (Figura 3.7).



Figura 3.7 Colocación del barro refractario

En la figura 3.8 se observa la colocación de cada uno de los 3 comales en la estufa Patsari para ser sellados o recibidos con la llamada primer mezcla.



Figura 3.8 Colocación de comales

Finalmente, la figura 3.9 (a) muestra la colocación de los tubos que forman el escape (chacuaco); se hace la limpieza de los comales, se colocan y encienden los 3 leños para así quedar lista para su utilización, tal como se puede apreciar en la figura 3.9 (b).



Figura 3.9 (a)



Figura 3.9 (b)

Figura 3.9 Instalación del escape y limpieza de comales (a), encendido de la estufa ahorradora de leña tipo Patsari (b)





En el apéndice A se muestra el plano a escala de esta estufa Patsari con las medidas reales de su construcción realizado en AutoCAD.



3.2 Diseño y construcción del módulo generador (TEG) propuesto

El dispositivo termoelectrico es el que hace la función más importante del proyecto; convertir la diferencia de temperatura que existe entre sobre el tubo de escape y el medio ambiente a un diferencial de potencial; entre mayor sea este potencial mayor uso se puede dar a esta energía.

La tabla 3.1 detalla los componentes utilizados para el diseño y construcción del dispositivo termoeléctrico propuesto.

Tabla 3.1 Descripción de los componentes del dispositivo termoeléctrico propuesto.

<p>Módulo Seebeck o Generador Termoeléctrico TEG (SP1848)</p>	<p>Proporciona un diferencia de potencia gracias a una diferencia de temperatura entre sus caras (cara caliente y cara fría)</p>	
<p>Soporte del TEG (2 placas de aluminio)</p>	<p>Placas con una cara plana que tendrá contacto con el TEG y una curvada que tiene contacto con el tubo de escape y el disipador. Abrazan al TEG formando un tipo sándwich.</p>	
<p>Papel refractario cerámico</p>	<p>Sirve como aislante térmico entre las dos caras planas del soporte</p>	
<p>Materiales de fijación: abrazaderas sin fin y tornillería varios</p>	<p>Método de fijación del dispositivo termoeléctrico tanto al tubo de escape como al disipador (olla con agua)</p>	

<p>Disipador de aluminio (olla llena de agua a temperatura ambiente)</p>	<p>Sirve para mantener la cara fría del TEG retirando calor de esta cara hacia el agua</p>	
<p>Pasta térmica (Conductor de calor)</p>	<p>Ofrece una alta conductividad térmica. Para un mejor contacto entre las caras del TEG a la fuente de calor y al disipador.</p>	

La figura 3.10 muestra el prototipo del dispositivo generador termoelectrico propuesto en su etapa final, con las piezas y elementos electrónicos que lo componen, listo para ser colocado en el tubo de escape.



Figura 3.10 Dispositivo TEG propuesto

La figura 3.11 muestra el dispositivo generador termoeléctrico acoplado al escape con el recipiente lleno de agua, cuya función es disipar la temperatura en la cara fría del TEG.



Figura 3.11 Dispositivo TEG acoplado en el tubo de escape

3.3 Dispositivo para el acondicionamiento del voltaje


La tabla 3.2 presenta la descripción de los elementos que integran el dispositivo de acondicionamiento del voltaje.

Este dispositivo no requiere de programación y cada elemento electrónico tiene una función específica; fue utilizado para monitorear la lectura del voltaje de salida obtenido, los elementos que lo integran se colocaron sobre una placa de acrílico para su armado conexión y una fácil transportación; la pantalla display funciona al conectarse a una batería de 9 V. En este dispositivo se integra el convertidor CC step up; el cual es el que aporta la principal función al elevar el voltaje de salida entregada por el módulo TEG en un rango de

funcionamiento mínimo de 2 V hasta un máximo de 5 V; el cual es el voltaje que se desea obtener para su aplicación dentro del hogar.

Tabla 3.2 Descripción de elementos del dispositivo de acondicionamiento del voltaje

Batería 9V con conector broche	Energiza el Voltímetro- Amperímetro digital	
Voltímetro- Amperímetro digital (DSN- VC288)	Muestra en su display las lecturas alcanzadas del Voltaje	
Convertidor CC- cC Step-Up (MT3608)	Regulador de tipo conmutado elevador de tensión (siempre y cuando alcance 2V a la entrada lo eleva a 5V en la salida)	
Cargador de Salida Step Up Power Module Mini Converter DC-DC Boost DC 3V a 5V USB	USB Cargador de salida para conectar nuestra lámpara led	
Banco de terminales de 2 filas	Recibe empalmes de los cables de conexión	

Cables de Conexiones	Para realizar las conexiones entre los dispositivos electrónicos	
----------------------	--	--

La figura 3.12 presenta el dispositivo con las puntas (caimanes) listas para recibir el voltaje obtenido por el módulo generador termoeléctrico propuesto.

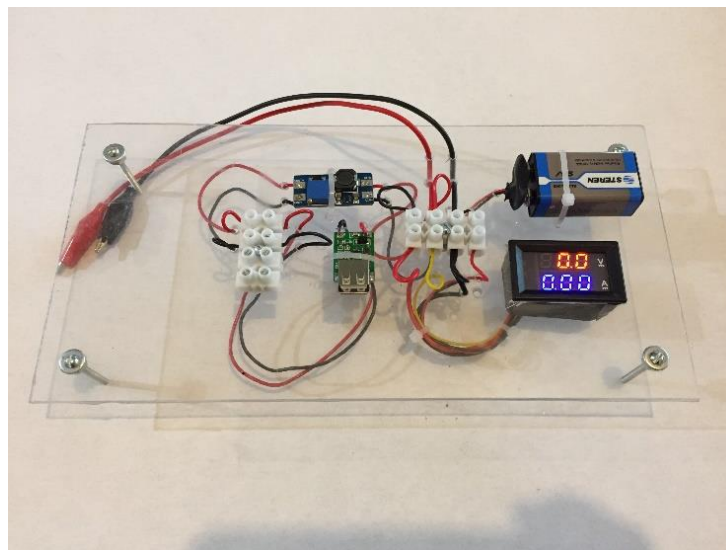


Figura 3.12 Dispositivo para el acondicionamiento del voltaje de entrada (voltaje entregado por el módulo Seebeck)

En la figura 3.13 se puede observar su aplicación. A la entrada se encuentra conectado el módulo Seebeck en paralelo a una pinza amperimétrica con la finalidad de corroborar la lectura que despliega el voltímetro digital del dispositivo; aquí se aprecia que la lectura del voltímetro equivale al valor redondeado del obtenido por la pinza amperimétrica. También se puede observar que a la salida del dispositivo; esto es después de acondicionar el voltaje de entrada, se encuentra conectada una lámpara USB tipo led.



Figura 3.13 Montaje del dispositivo para el acondicionamiento de la señal de entrada (voltaje)

3.4 Caracterización de dispositivos de medición y monitoreo de la energía eléctrica obtenida.

En esta sección se describen los dos métodos o equipos utilizados para la obtención de las temperaturas, estas tomas se realizan a diferentes alturas sobre el tubo de escape dentro de un rango manipulable por una persona con altura promedio, para así garantizar su manipulación; estas temperaturas se obtienen por dos métodos diferentes solo para garantizar la certidumbre en los valores obtenidos.

El primer método utilizado fue la plataforma de Arduino (figura 3.14 (a)) y el segundo fue un adquisidor de datos 34970A (Agilent, figura 3.14 (b)). Teniendo ambas propuestas para medir las temperaturas evaluadas a lo largo del proceso del proyecto.



Figura 3.14 (a)



Figura 3.14 (b)

Figura 3.14 Métodos utilizados para la obtención de temperaturas; Arduino (a) Agilent (b)

3.4.1 Medición de temperaturas con placa Arduino UNO (Método 1)

Esta placa (board) UNO está basada en el Microcontrolador ATmega328P (figura 3.15), es el modelo más robusto de la familia Arduino así como la más usada para iniciarse en la electrónica con una codificación (programación) amigable, debido a que es una plataforma de código abierto la coloca como una de las boards más documentadas dando como resultado su rápida y fácil su comprensión (ARDUINO, s.f.).



Figura (a)



Figura (b)

Figura 3.15 Placa Arduino UNO, lado frontal (a), lado posterior (b)

La tabla 3.3 muestra las características principales de la placa board Arduino UNO. Debido a sus características, fácil codificación y traslado; funciona conectándose a un puerto de computadora o una fuente externa portátil de 5V.

Tabla 3.3 Especificaciones y características de la placa Arduino UNO

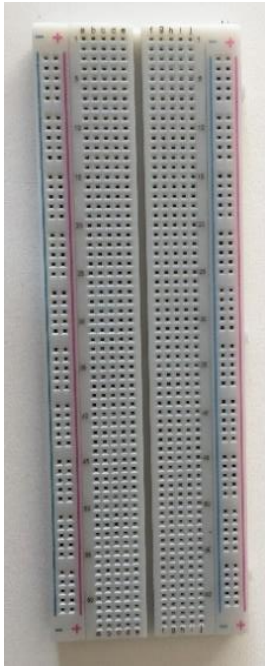


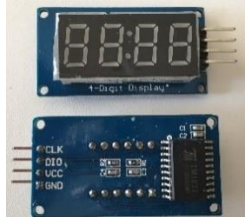
Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje Operativo	5V
Voltaje de Entrada (Recomendado)	7-12V
Voltaje de Entrada (Límite)	6-20V
Pines de Entradas /Salidas Digital	14 (de los cuales 6 son salidas PWM)
Pines de Entrada Análogos	6
Corriente CC por pin de Entrada / Salida	20mA
Corriente CC para pin de 3.3 V	50mA
Memoria Flash	32KB (ATmega328P) de los cuales 0.5KB son usados por bootloader
SRAM	2KB (ATmega328P)
EEPROM	1KB (ATmega328P)
Velocidad del reloj	16 MHZ
LED_BUILTIN	13
Longitud	68.6 mm
Anchura	43.4 mm
Peso	25g



A continuación, se describe la construcción del dispositivo usado para las mediciones de temperaturas requeridas a lo largo del proyecto así como de cada uno de los componentes utilizados.

La tabla 3.4 presenta la descripción de los elementos usados en la construcción de este dispositivo para la medición de temperatura mediante programación Arduino; la figura 3.16 (a) muestra el diagrama de la conexión eléctrica de los elementos del dispositivo y en la figura 3.16 (b) se presenta el esquema final de su construcción.

Tabla 3.4 Descripción de los elementos usados en la construcción de este dispositivo para la medición de las temperaturas

<p>Placa Arduino UNO Basada en el microcontrolador ATmega328P</p>	<p>Plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo (software), es el enlace entre el hardware y software que facilita el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.</p>	
---	---	---

<p>Placa de pruebas o placa de inserción (Protoboard)</p>	<p>Tablero con orificios interconectados eléctricamente entre sí, en la cual se pueden insertar componentes electrónicos y cables; usados para la creación y comprobación de prototipos de circuitos electrónicos.</p>	
<p>Convertidor Analógico-Digital (MAX6675)</p>	<p>Módulo de interfaz para termopar tipo K</p>	
<p>Termopar tipo K. Níquel-Cromo (+) Vs Níquel-Aluminio(-)</p>	<p>Aplicación en atmósferas oxidantes. Temperaturas entre 500°C 1000°C</p>	
<p>Modulo (TM1637) 4 dígitos 7 segmentos</p>	<p>Display de led para visualización numérica de 4 dígitos</p>	

Cables Puentes para Placas Prototipo (Jumper) Macho-Hembra Macho-Macho Hembra-Hembra	Cable con un conector en cada punta usado para unir o hacer interconexiones entre dos terminales cerrando así un circuito	
Fuente Externa Portátil	Fuente externa a 5V que permite el funcionamiento y para transportar el dispositivo	

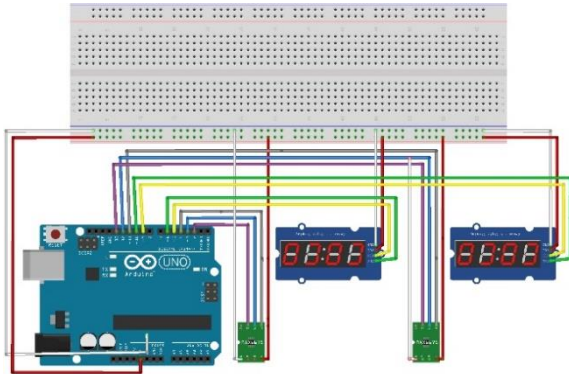


Figura 3.16 (a)

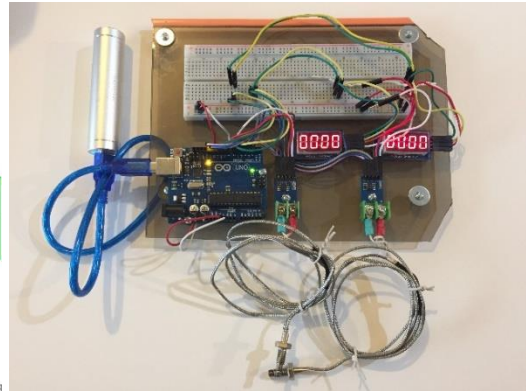


Figura 3.16 (b)

Figura 3.16 Diagrama de la conexión eléctrica (a) y esquema final (b)

Este dispositivo mide hasta dos temperaturas al mismo tiempo ya que cuenta con dos termopares tipo k cada uno conectados a un display programado donde se muestra el valor de la temperatura cada 5 segundos, este dispositivo es energizado por medio de una computadora portátil a través del puerto USB.

La aplicación de Arduino cuenta con sus propias herramientas donde podemos ver las lecturas entre otras funciones (ver figura 3.17).



Figura 3.17 Mediciones de temperaturas tanto en los display del dispositivo como en la computadora por medio de las herramientas de Arduino

En el apéndice B se presenta el código de programación del dispositivo con la plataforma de Arduino; el cual debe ser compilado y descargado en la placa (board) UNO para establecer la comunicación entre el dispositivo y la computadora. Dentro del código se declaran cada uno de los elementos según nuestras necesidades además de definir los intervalos de tiempo entre mediciones.

La figura 3.18 muestra el diagrama de bloques del código de programación Arduino para la medición de dos temperaturas.

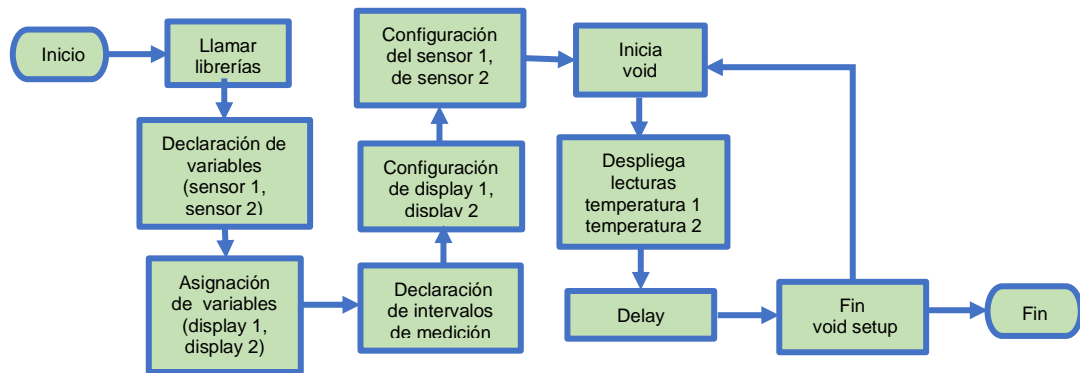


Figura 3.18 Diagrama de bloques del código de programación Arduino

3.4.2 Medición de temperaturas con un adquisidor de datos (Método 2)

Para realizar estas mediciones se utilizó un adquisidor de datos de la marca Keysight serie 34970A (figura 3.19) con capacidad para hasta 120 canales analógicos, con tres ranuras para inserción de módulos multiplexores, resolución de 6 ½ dígitos (22 bits) y velocidad de muestreo de hasta 250 canales por segundo. El acondicionamiento de las señales se lleva a cabo en el multímetro digital interno (DMM) del adquisidor de datos. En él se realiza la medición de voltaje, corriente o resistencia. Las señales son amplificadas y convertidas de la forma analógica a la digital para el procesamiento de la información. Se usó un módulo multiplexor HP 34901A con 20 canales de entrada de voltaje (voltaje máximo de entrada de 300 V) cada uno para la medición directa de los sensores de temperatura (termopares tipo T) y para la medición de voltaje del TEG.



Figura 3.19 Adquisidor de datos 34970^a

Para la adquisición de datos se utilizó una computadora de escritorio y el software Keysight BenchLink Data Logger 3 que proporciona una manera conveniente de recopilar y analizar los datos registrados ver figura 3.20. El software es una aplicación basada en Windows® que utiliza un entorno familiar de hoja de cálculo para definir los datos de medición que se recopilarán. El software comercial permite enviar y recibir datos entre el adquisidor de datos y la computadora. Los valores registrados por cada sensor de temperatura y voltaje son enviados del adquisidor de datos a la computadora mediante un cable de interfaz RS-232.

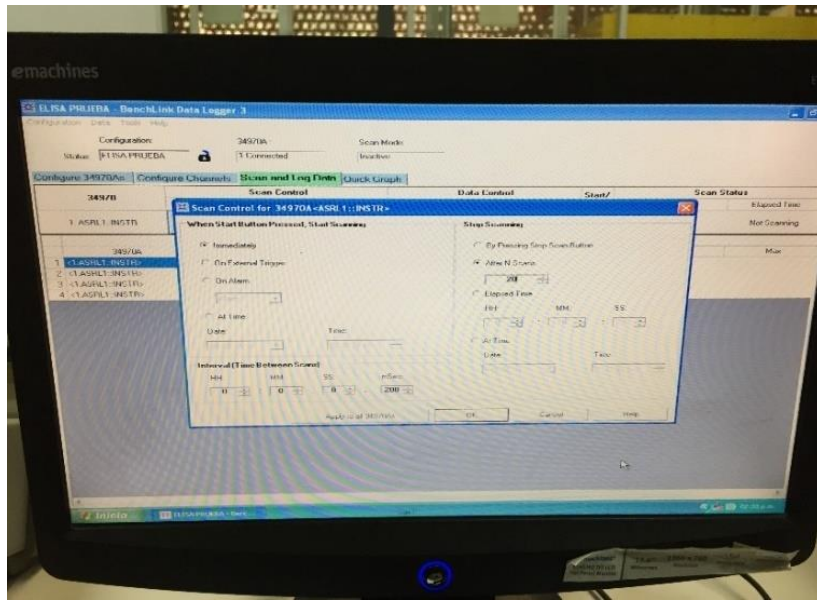


Figura 3.20 Computadora de escritorio con software Keysight BenchLink Data Logger 3

Para la medición de la temperatura se utilizaron termopares tipo T (cobre Constantán) calibre 24 de la marca Cole-Parmer con un rango de medición de temperatura de - 200 a 204 °C y una fem de -6.258 mV a 20.872 mV, con un error de medición de ± 1 °C de -65 a 130 °C. La figura 3.21 muestra el tipo de termopar empleado en la medición de temperaturas y en la tabla 3.5 se muestran las características de este tipo de termopar para una correcta conexión.

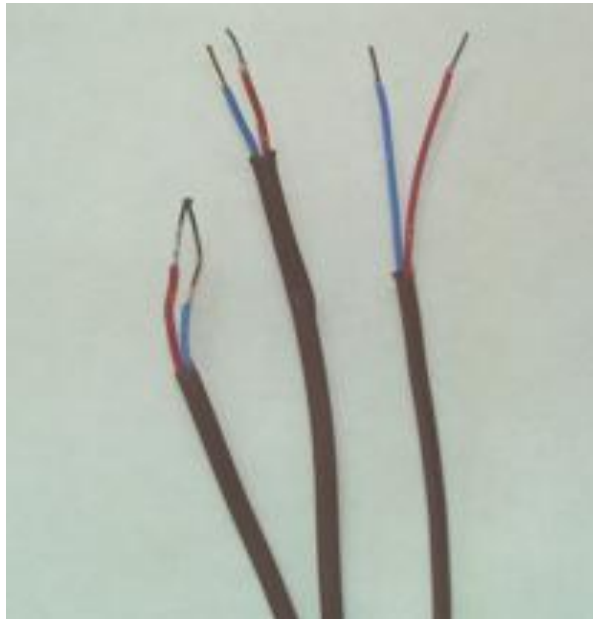


Figura 3.21 Termopares tipo T

Tabla 3.5 Conexión de los termopares en el módulo multiplexor HP 34901A

Material	Color de Aislante	Terminal eléctrica	Terminal del módulo multiplexor
Cobre	Azul	+	H
Constantán	Rojo	-	L

3.4.3 Calibración de los termopares

En la calibración de los termopares tipo T se utilizaron los siguientes equipos: una parrilla eléctrica, un matraz con agua, un termómetro de alcohol, el adquisidor de datos y la computadora de escritorio. Los termopares junto con el termómetro se sumergieron en el agua a las siguientes temperaturas: 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 86 y 104 °C. El calentamiento se realizó mediante la parrilla eléctrica (ver figura 3.22 (a)). Una vez obtenidos con el adquisidor (ver figura 3.22 (b)) se registran y almacenan en la computadora, para posteriormente realizar la calibración de los termopares.

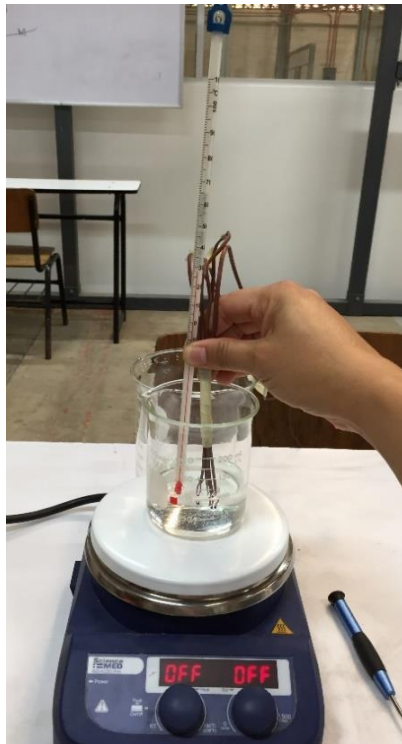


Figura 3.22 (a)

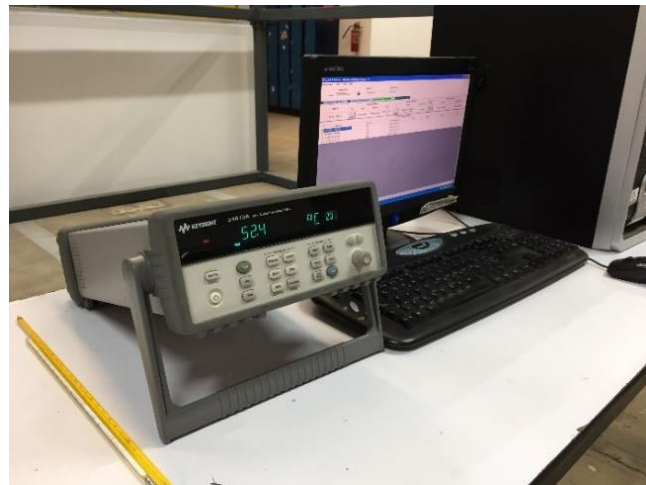


Figura 3.22 (b)

Figura 3.22 Calibración de los termopares, parrilla eléctrica (a); registro y almacenamiento de los datos de temperatura obtenidos(b)

La ecuación de ajuste para la calibración de los termopares fue la siguiente:

ecuación de línea recta, $y = mx + b$,

donde

x , y = variables en un plano

m = pendiente de la recta, (relacionada con la inclinación que toma la recta respecto a un par de ejes)

b = término independiente (ordenada), (es el valor del punto en el cual la recta corta al eje vertical en el plano)

La tabla 3.6 indica los valores de la pendiente (gain) y ordenada (offset) de la ecuación lineal de ajuste para cada termopar, en el adquisidor de datos.

La tabla 3.6 Valores de la pendiente (gain) y ordenada (offset)

Termopar (chanel)	Pendiente de la recta (gain, m)	Ordenada (offset, b)	Coefficiente de regresión lineal (R²)
101	0.9653	0.6594	0.9985
102	0.9827	-0.0645	0.9903
103	1.0101	-0.9762	0.9903
107	0.9644	0.6201	0.9982
108	0.9646	0.6342	0.9982

En el apéndice C se muestran las gráficas resultado del ajuste de cada uno de los termopares.

3.5 Medición de temperaturas en el chacuaco (escape)

Se aplican los dos métodos descritos anteriormente para obtener las mediciones de temperaturas a lo largo del tubo de escape. Tomando como punto de referencia la base del escape, los termopares se colocaron a las distancias de 30, 50 y 70 cm hacia arriba desde la base del tubo de escape. La propuesta para medir la temperatura a estas alturas se basa en la accesibilidad de una persona con altura promedio para colocar a estas alturas el dispositivo de generación termoeléctrico propuesto.

En el caso del método con Arduino se realizaron dos pruebas ya que solo se pueden medir como máximo dos datos de temperatura a la vez. En la tabla 3.7 se observan las cantidades comparativas de los datos obtenidos de las temperaturas vs distancias por cada uno de los métodos.

También se decide que se harán estas pruebas con dos diferentes tipos de medición para validar que los valores obtenidos que se pueden adquirir por

métodos sencillos y portátiles como el usado con la placa Arduino Uno son confiables.

Tabla 3.7 Adquisición de las temperaturas vs distancias por ambos métodos

Distancia	Adquisidor de datos			Arduino		
	30 cm (°C)	50 cm (°C)	70 cm (°C)	30 cm (°C)	50 cm (°C)	70 cm (°C)
Temperatura mínima	51.9	45.4	39.2	40.7	52.7	31.7
Temperatura máxima	143.4	125.1	102.5	117.5	135.5	87.0

3.6 Selección del TEG

Con base en los datos obtenidos de temperaturas en función de la distancia y a las características requeridas para la mayor obtención del diferencial de temperatura; así como también al considerar su fácil manipulación por encontrarse al alcance de las personas con altura promedio, se colocó el dispositivo propuesto a una distancia de 50 cm sobre la base del tubo de escape.

Una vez definida la altura de colocación del dispositivo se procedió a elegir de entre los TEG's comerciales, el adecuado para las temperatura obtenidas a 50 cm de distancia, ya que esta es la referencia para la cara caliente. En la tabla 3.8 se muestran las características del módulo de generación utilizado y en la tabla 3.9 se observan sus parámetros termoeléctricos con base a la diferencia de temperatura obtenida; por último en la figura 3.23 se muestran las gráficas de la ficha de datos del módulo SP1848 (Marlow Industries, 2002).

Tabla 3.8 Características del módulo de generación modelo SP1848

Características	Módulo Generador SP1848
Temperatura Lado Caliente (°C)	27-150
Diferencia Máxima de Temperatura (°C)	100
Corriente Máxima (A)	0.669
Voltaje Máximo (V)	4.8
Resistencia del Módulo (Ohms)	0.323
Temperatura Máxima de Operación (°C)	150

Tabla 3.9 Parámetros termoeléctricos

Diferencia de Temperatura (°C)	Voltaje de Circuito Abierto (V)	Corriente Generada (mA)
20	0.97	225
40	1.8	368
60	2.4	469
80	3.6	558
100	4.8	669

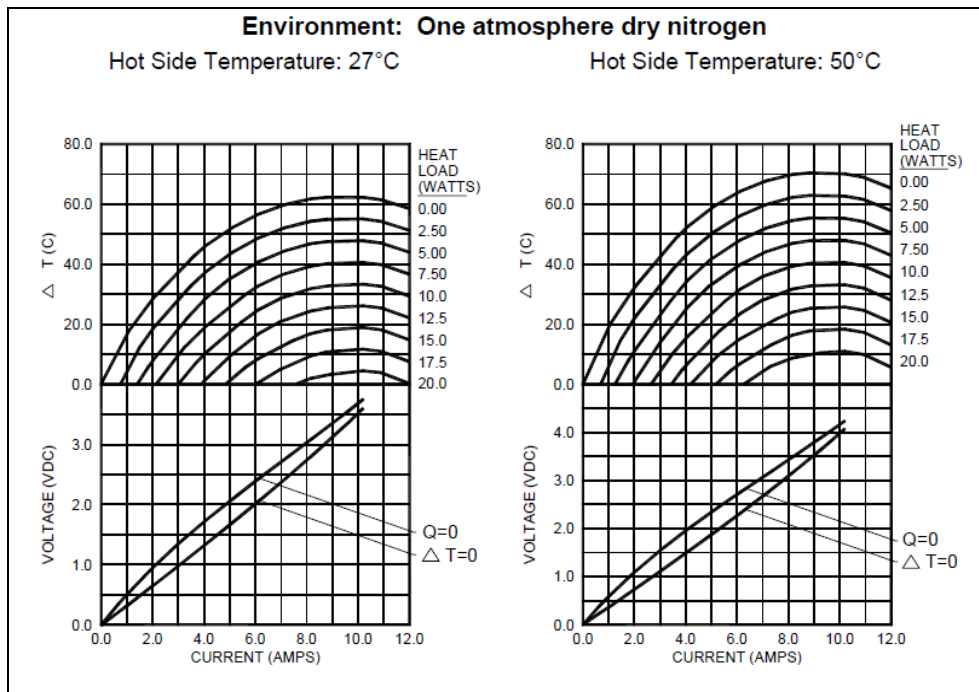


Figura 3.23 Gráficas de la ficha de datos del módulo de generación SP1848

3.6 Diseño del sistema termoeléctrico

Gracias a los estudios en la tecnología termoeléctrica, así como a su importancia en la generación de energía eficiente y sostenible se puede decir que existe un amplio panorama de aplicaciones las cuales se pretenden llevar a los sectores más vulnerables de nuestra sociedad a través de adaptaciones y mejoras en las tecnologías rurales que cada día están siendo aceptadas por los habitantes de estas comunidades.

Este proyecto experimental propone un dispositivo externo que se adapte con facilidad, accesibilidad, que sea económico y sobre todo que cuente con la funcionalidad con la cual se esté contribuyendo a la sociedad así como al cuidado del medio ambiente. En este proyecto se combinan conocimientos de transferencia de calor, térmicos, eléctricos, de electrónica aunado a

habilidades tecnológicas prácticas para ensamblar y adecuar las partes móviles y materiales que componen el dispositivo (ver figura 3.23)

3.7 Sistemas de enfriamiento propuestos en la cara fría para mantener un mayor gradiente de temperatura entre las caras

Partiendo del hecho que lo que se pretende es generar energía eléctrica, las consideraciones para enfriamiento son:

1.-Medio ambiente.- En este caso la temperatura ambiente de la ubicación de la estufa no es suficiente para enfriar la cara fría, debido a que la cara caliente transfiere rápidamente calor a la cara fría hasta el punto de que estas puede llegar a igualar su grado de temperatura; por lo que no se considera la principal opción pero contribuye por el ambiente abierto en el que se encuentra la estufa.

2.-Disipador enfriado por agua.- Lo que se propone es disipar el calor transmitido de la cara caliente a la cara fría por medio de una jarra de aluminio (que funciona como disipador) llena de agua a temperatura ambiente, gracias a que se requiere mucha energía térmica para elevar la temperatura del agua se adaptó a la cara fría esta jarra para funcione como disipador.

3.-Papel refractario cerámico.-Este papel fue usado para aislar el calor por convección y radiación presente en el dispositivo de generación térmica debido a lo delgado del TEG por lo que colocando este aislante se espera disminuya estas transmisiones de calor.

4.-Pasta térmica.- Esta pasta se usó para que entre las caras y sus medios de transmisión o disipación del calor exista una mejor conductividad térmica,

gracias a esto el escape transmite mejor el calor a la cara caliente y la cara fría mejora la disipación a la jarra llena de agua debido a un mayor contacto.

La figura 3.24 muestra el dispositivo propuesto terminado con todos los elementos mencionados; listo para ser colocado sobre el escape a una altura de 50cm, se puede observar que lo que se desea es que cada cara se asemeje en sus temperaturas a cada uno sus medios de trasmisión o disipación que para así obtener y mantener constante una diferencia de temperatura entre sus caras.



Figura 3.24. Dispositivo propuesto

3.8 Implementación del sistema de generación termoeléctrico

La figura 3.25 muestra la instalación del dispositivo de generación termoeléctrico sobre el escape listo para ser probado, a primera vista el dispositivo es practico, portátil y de fácil instalación ya que solo se requiere abrazar y ajustar los tornillos de las abrazaderas sin fin con el uso de un desarmador plano.



Figura 3.25 Instalación del dispositivo de generación termoeléctrico

La conexión entre el dispositivo de generación termoeléctrico y el dispositivo de acondicionamiento del voltaje se realiza fácilmente mediante un par de caimanes, dejando listo el módulo USB para conectar cualquier dispositivo que trabaje a 5 V en su entrada (ver figura 3.26).



Figura 3.26 Conexión entre el dispositivo de generación termoeléctrico y el dispositivo de acondicionamiento del voltaje

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan todos los resultados de datos medidos necesario para la realización de este proyecto, sus análisis, sus comparativos hasta llegar a la obtención de datos los que el objetivo general propone. Por otro lado se presenta la discusión de los mismos para posibles mejoras considerando que su caracterización se basa en los requerimientos mínimos que los elementos electrónicos comerciales actuales nos pueden proporcionar; para su diseño se utilizaron materiales comerciales debido a su fácil adquisición.

4.1 Calidad de energía térmica disponible

En esta sección se muestran los datos obtenidos de las temperatura de referencia para la cara caliente del TEG tomada sobre el tubo de escape así como sus valores máximos y mínimos durante el encendido de la estufa Patsari. Como se comentó anteriormente se hicieron mediciones con dos métodos diferentes a 30 cm, 50 cm y 70 cm de altura.

En la tabla 4.1 se presentan las gráficas de temperaturas vs tiempo; donde se observan las lecturas máximas y mínimas durante el encendido de la estufa Patsari estas lecturas fueron realizadas con el adquisidor de datos y con el programa de Arduino a las alturas de 30 cm, 50 cm y 70 cm, cada prueba se realizó de forma independiente, es decir; se realizaron dos encendidos de la estufa por método de medición.

La tabla 4.2 muestra las 3 gráficas de temperaturas vs tiempo a las alturas de 30 cm, 50 cm y 70 cm sobre la estufa, donde se observan las lecturas máximas y mínimas durante el encendido de la estufa Patsari por los dos métodos de medición.

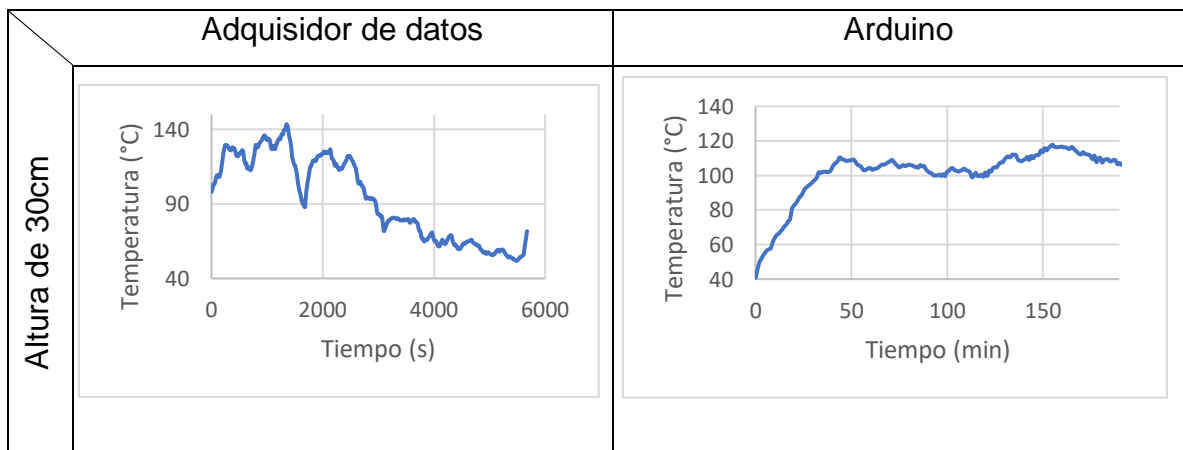
Por ultimo en la tabla 4.3 se muestran los valores de las temperaturas máximas y mínimas de las 3 alturas por los dos métodos; con estos resultados se

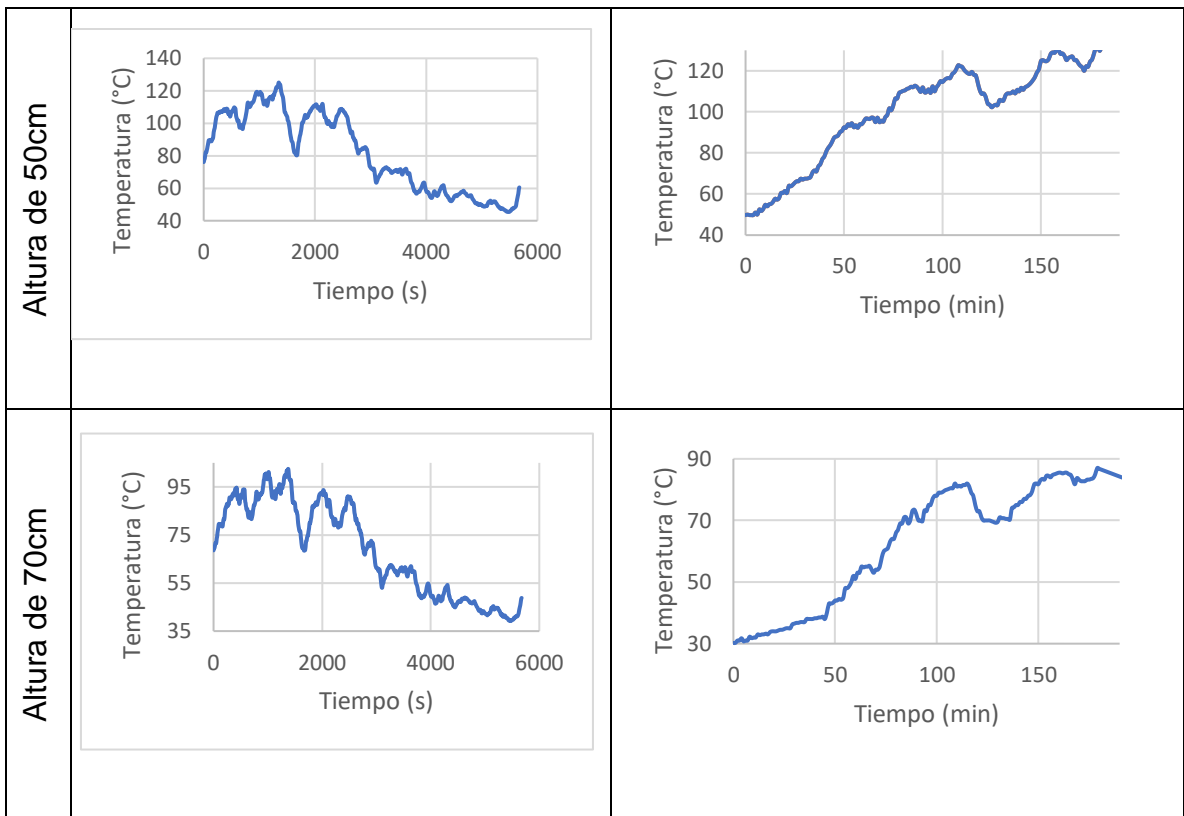
observa que las temperaturas alcanzadas en cada una de las alturas propuestas son buenas opciones.

La elección de la altura de 50 cm se basó en que los datos de las temperaturas entre 50 cm y 70 cm son similares y porque es una altura accesible para la manipulación del dispositivo por una persona con altura promedio; con lo que respecta a la altura de 30 cm quedo descartada debido a que el dispositivo estorba por su cercanía con los comales secundarios que provocan obstrucción con algún recipiente de más de 30 cm de alto.

Con base a estos datos se eligió el TEG modelo SP1848 adecuado para estas temperaturas. Gracias a que este tipo de TEGs son de tipo comercial ya cuentan con su ficha de datos que nos indica que voltaje, potencia, corriente, etc. proporcionada debido a la diferencia de temperatura se cuenta con una referencia viable, dándonos un panorama de voltajes a obtener.

Tabla 4.1 Gráfica de temperaturas vs tiempo; donde se observan las lecturas máximas y mínimas por cada método de medición a 30 cm, 50 cm y 70 cm de altura sobre el escape





La tabla 4.2 muestra las 3 gráficas de temperaturas vs tiempo a las alturas de 30 cm, 50 cm y 70 cm sobre el escape de la estufa

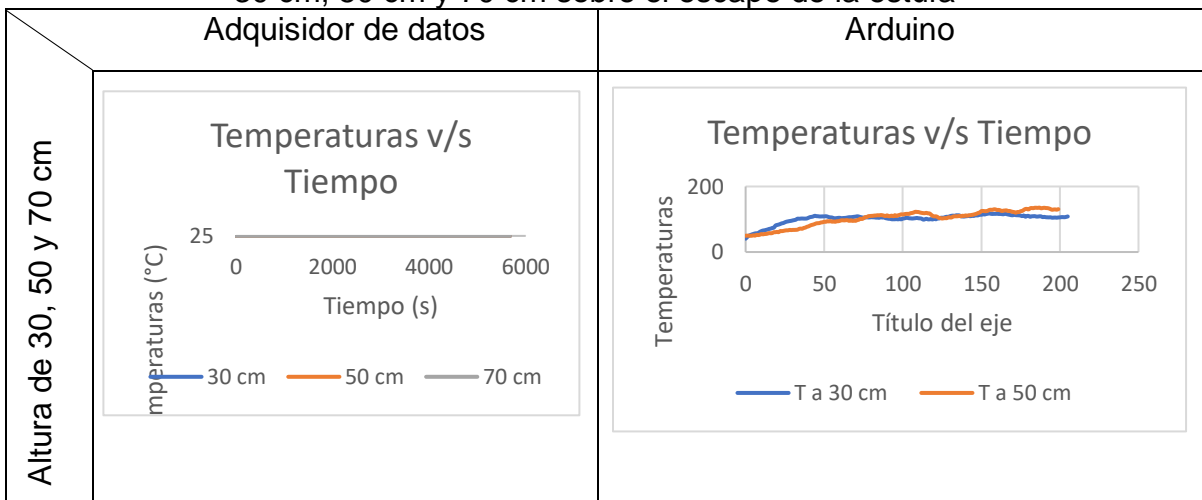


Tabla 4.3 Valores de las temperaturas máximas y mínimas a una altura de 30 cm, 50 cm y 70 cm sobre el escape por los dos métodos

Distancia	Adquisidor de datos			Arduino		
	30 cm (°C)	50 cm (°C)	70 cm (°C)	30 cm (°C)	50 cm (°C)	70 cm (°C)
Temperatura mínima	51.9	45.4	39.2	40.7	52.7	31.7
Temperatura máxima	143.4	125.1	102.5	117.5	135.5	87

4.2 Temperaturas obtenidas en la cara caliente y fría en el TEG del dispositivo

En la tabla 4.4 se presentan las gráficas de temperaturas vs tiempo; donde se observan las lecturas máximas y mínimas sobre la cara caliente del dispositivo tomadas con los dos métodos de medición; cada prueba se realizó de forma independiente, esto es; se encendió la estufa para cada método.

La tabla 4.5 se pueden observar las gráficas de temperaturas vs tiempo; donde se observan las lecturas máximas y mínimas sobre la cara fría del dispositivo tomadas con los dos métodos de medición; este toma se realizaron al mismo tiempo que se midió la cara caliente en cada método de medición.

En la tabla 4.6 se presentan las gráficas de temperaturas vs tiempo; donde se observan las lecturas máximas y mínimas sobre la cara caliente y la cara fría del dispositivo por cada método de medición.

En la tabla 4.7 se encuentran las gráficas de las diferencias de temperaturas vs tiempo alcanzadas por el dispositivo.

La tabla 4.8 se enlistan los valores de las temperaturas máximas y mínimas de las dos caras (caliente y fría) por ambos métodos así como también sus diferencias de temperaturas (ΔT).

Tabla 4.4 Gráficas de temperaturas vs tiempo; donde se observan las lecturas máximas y mínimas sobre la cara caliente

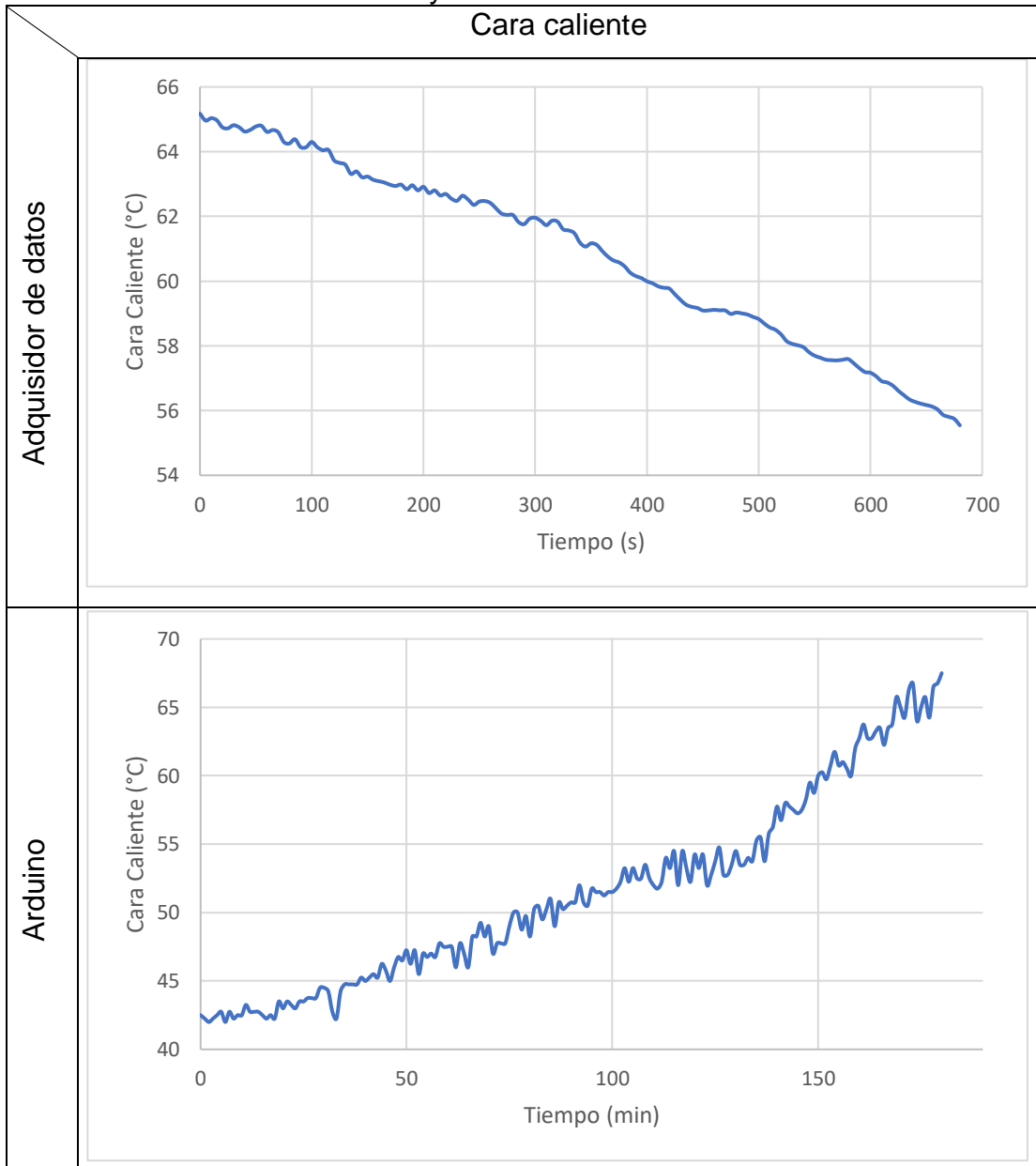


Tabla 4.5 Gráficas de temperaturas vs tiempo; donde se observan las lecturas máximas y mínimas sobre la cara fría del dispositivo

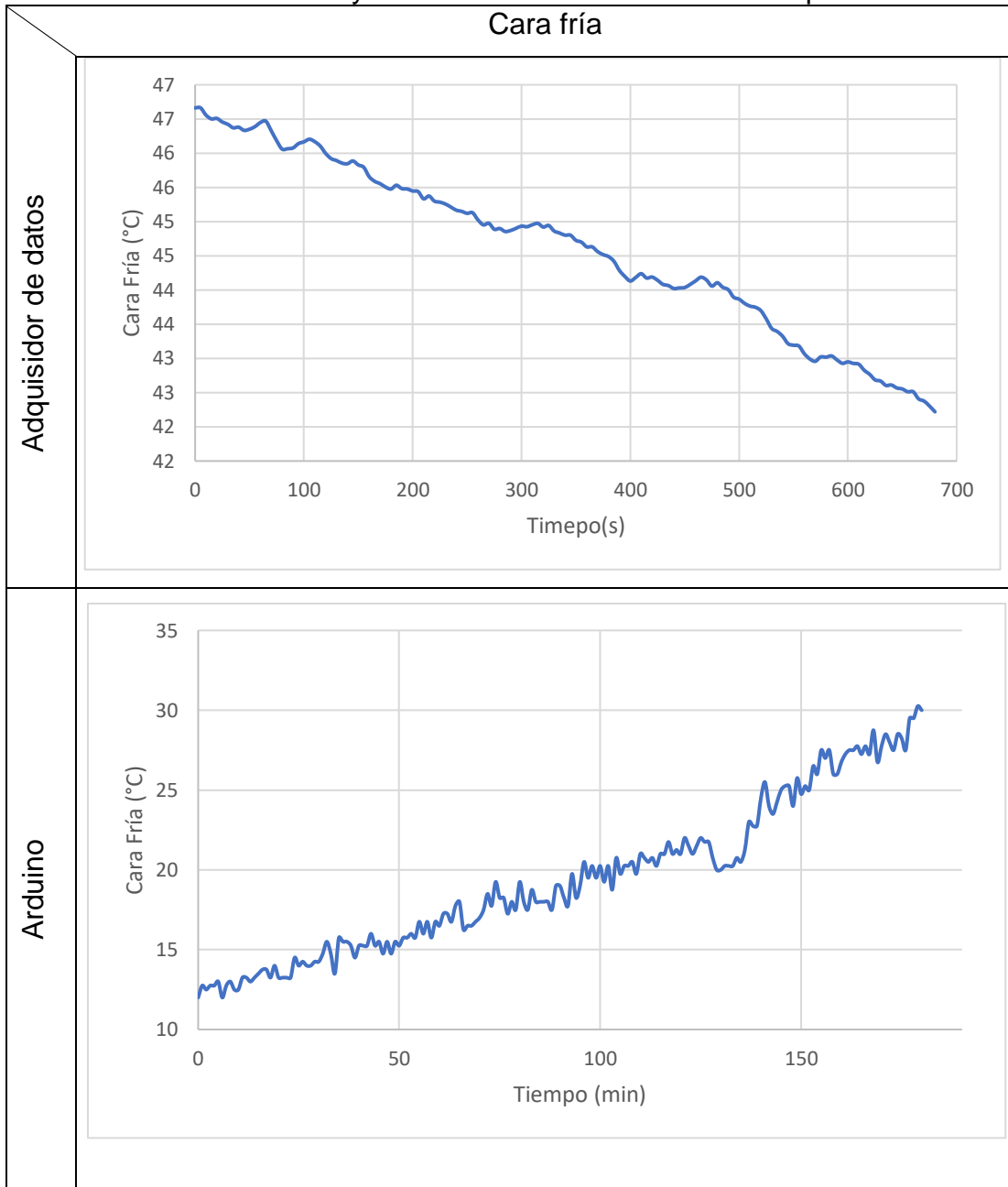
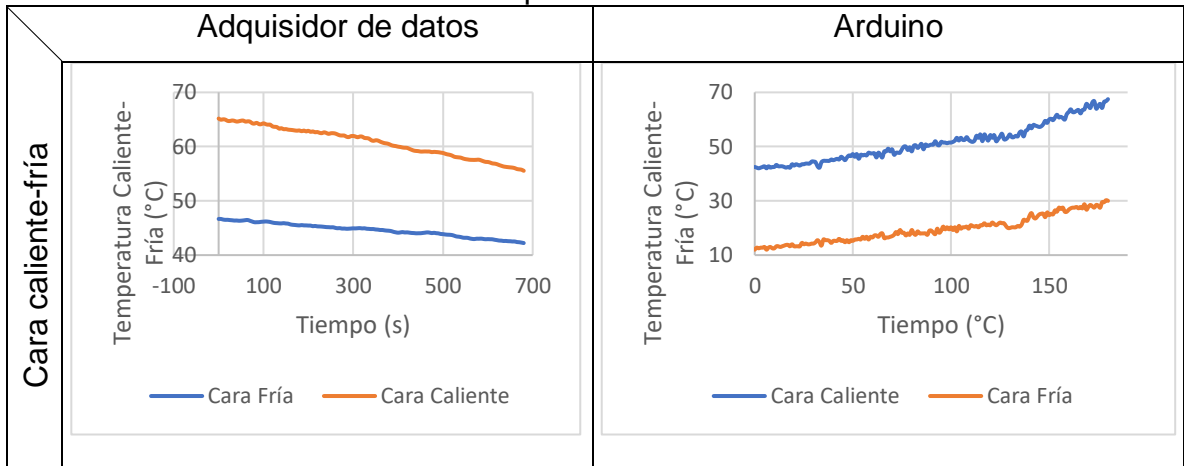
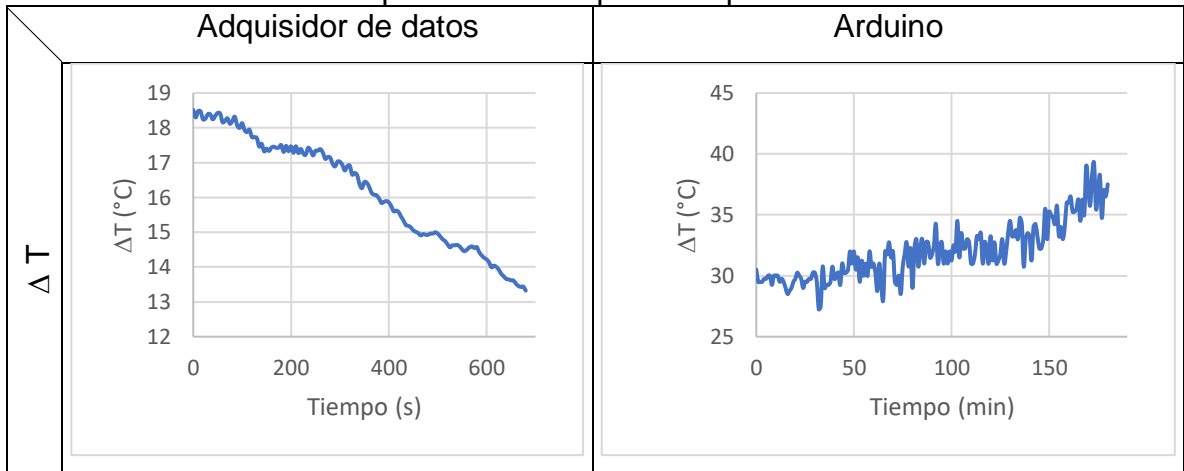


Tabla 4.6 Gráficas de temperaturas vs tiempo; donde se observan las lecturas máximas y mínimas sobre la cara caliente y la cara fría del dispositivo



En la tabla 4.7 se encuentran las gráficas de las diferencias de temperaturas vs tiempo alcanzadas por el dispositivo



En la tabla 4.8 Valores de las temperaturas máximas y mínimas de las dos caras (caliente y fría) por ambos métodos así como también sus diferencias de temperaturas (DT)

Distancia	Adquisidor de datos			Arduino		
	Cara caliente	Cara fría	ΔT	Cara caliente	Cara fría	ΔT
Temperatura mínima	55.54	42.22	13.32	42	12	27.25
Temperatura máxima	65.18	46.66	18.51	67.5	30.25	39.25

4.3 Diferencias de temperatura disponibles vs voltajes obtenidos

A continuación se grafican solamente los valores de voltajes obtenidos por el método de adquisición de datos (tabla 4.9); cabe mencionar que debido a que con el programa de Arduino no es posible almacenar los valores y que solo se despliegan en la pantalla display del voltímetro-amperímetro digital DSN-VC288 pero se registraron de manera manual; ambos resultados se muestran en la tabla 4.10 donde aparecen los valores máximos y mínimos del voltaje vs ΔT que los genero.

Como se menciona anteriormente los voltajes obtenidos por estos sistemas de aprovechamiento residual son muy pequeños por lo general se manejan en el rango de milivolts (mV); la propuesta de este dispositivo funciona solo con un TEG y él se aprecia que el valor máximo obtenido registrado en el adquisidor fue de 689.12 mV y por el voltímetro-amperímetro fue de 803 mV.

Cabe mencionar que en una de las pruebas el valor de voltaje obtenido fue de 803 mV y fue medido tanto por el voltímetro-amperímetro digital como con un amperímetro de gancho (Koban KP-05).

Tabla 4.9 Gráficas de los voltajes obtenidos por el método de adquisición de datos

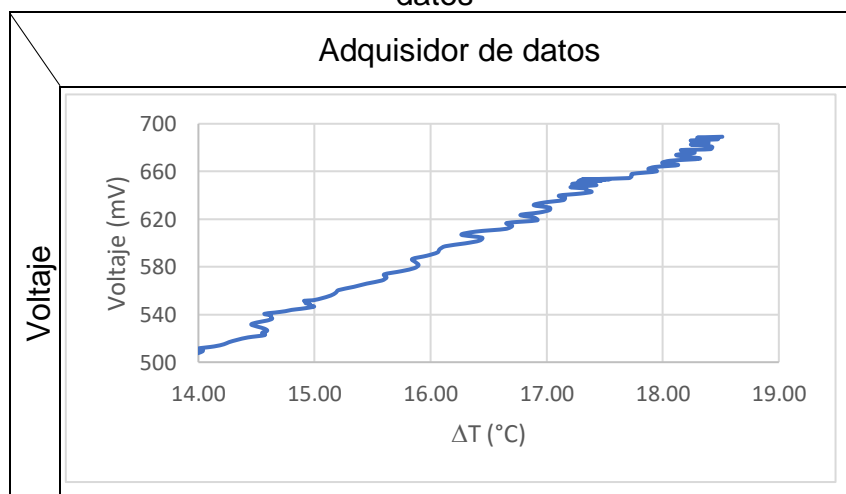


Tabla 4.10 Valores de voltajes máximos y mínimos en mV

Valor	Adquisidor de datos		Arduino	
	ΔT (°C)	Voltajes (mV)	ΔT (°C)	Voltajes (mV)
mínimo	13.32	492.38	27.25	171
máximo	18.51	689.12	39.25	803

4.4 Cantidad de energía eléctrica

Analizando la tabla 4.10 tenemos que se puede lograr con el dispositivo actual (constituido por un módulo Seebeck) por hasta un voltaje de 803 mV intermitente ya que depende de la eficiencia para el enfriamiento de la cara fría; aunado a que el cargador de Salida Step Up Power Module Mini Converter DC-DC (Boost DC 3V a 5V USB) realiza su función elevadora hasta que registra un voltaje mínimo a la entrada de 3 V (experimentalmente se comprobó que funciona con mínimo 2 V a la entrada) por lo que es insuficiente para la obtención de 5 V necesarios para su aplicación.

4.5 Aplicación de la energía eléctrica obtenida

Debido a que no se logró obtener el voltaje mínimo requerido para su uso y gracias a los resultados obtenidos podemos suponer los siguientes arreglos con los que teóricamente se puede alcanzar el voltaje de 5 V. Haciendo el análisis del diferencial de temperatura entre las caras de la ficha de datos del TEG SP1848 y las obtenidas reales, facilita hacer una serie de cálculos para la obtención de un arreglo más eficiente de TEGs en el dispositivo propuesto; esta propuesta ya no se realizó físicamente debido a que se requiere de más tiempo para continuar haciendo pruebas además de probar otras opciones de generadores termoeléctricos.

La siguiente tabla 4.11 muestra el dato real obtenido de un módulo TEG basándose en esta información se hacen una serie de propuestas o arreglos para aumentar el voltaje real obtenido y así alcanzar el voltaje mínimo requerido para el funcionamiento del dispositivo de acondicionamiento del voltaje de entrada para realizar su función elevadora y alcanzar el voltaje deseado de 5V. Haciendo el análisis teórico de los posibles arreglos de módulos se podrían obtener valor suficientes para lograr el objetivo principal a partir de 5 módulos en serie (ver tabla 4.11).

Tabla 4.11 Propuestas o arreglos para aumentar la potencia real obtenida

Cantidad de TEGs o Módulos	Arreglo de Módulos	Voltaje Máximo (mV) Adquisidor	Voltaje Máximo (mV) Arduino	Cumple con el Voltaje Mínimo
1	N/A	689.1	803	X
2	En serie	1378.2	1606	X
3	En serie	2067.4	2409	X
4	En serie	2756.4	3212	X
5	En serie	3445.5	4015	Ok

Por otro lado en la figura 4.1 se muestra otra propuesta para la construcción del dispositivo para la disipación del calor y poder aumentar el rango del diferencial de temperatura al lograr una mejor disipación del calor que es transferido de la cara caliente a la cara fría de cada TEG.

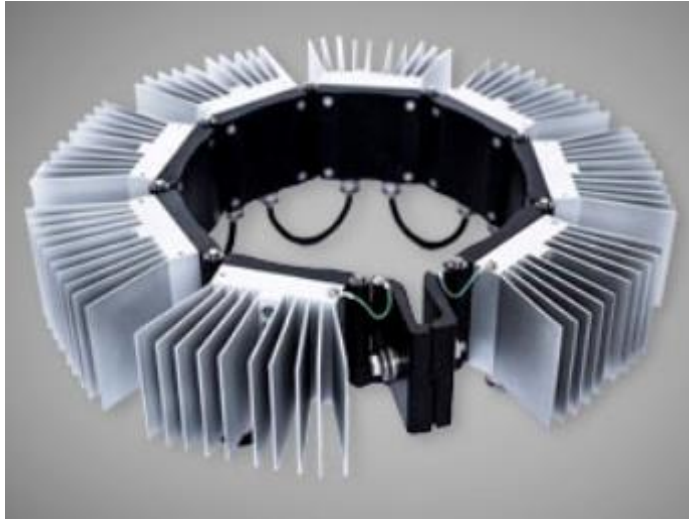


Figura 4.1 Propuesta para la construcción del dispositivo

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 Conclusiones

Conclusión 1

Se construyó una estufa ahorradora de leña tipo Patsari con base en la información bibliográfica. La estufa cuenta con un comal primario de x cm y dos secundarios de x cm. Cuenta con un tubo de escape para la canalización de los gases de combustión y la generación de energía eléctrica.

Como una contribución en el diseño de la construcción de la estufa Patsari se agregó un recubrimiento de barro refractario del que comúnmente se utiliza en los hornos de cerámica; con el propósito de sellar uniones en su interior y evitar la degradación de las paredes internas de la cámara de combustión de la estufa.

Conclusión 2

Se realizaron pruebas experimentales en la estufa Patsari para registrar la temperatura en la superficie del tubo de escape a 30, 50 y 70 cm sobre la base de la estufa.

Se registro la mayor temperatura de 143.4 °C a 30 cm, a 50 cm se registraron temperaturas máximas de 125.1 °C y a 70 cm se obtuvieron de 102.5 °C.

A partir de los datos obtenidos se seleccionó el módulo de generación termoeléctrico comercial SP1848 con una temperatura máxima de operación de 150 °C para la generación de voltaje máximo de 4.8 para una diferencia de temperaturas de 100 °C.

Se obtuvo una diferencia de temperaturas máxima entre las caras fría y caliente de 18.51 °C (Adquisidor de datos) y de 39.25 °C (Arduino).

Conclusión 3

Se diseñó e implementó el sistema termoeléctrico consistente en: un generador termoeléctrico, un fuente disipadora de calor, una fuente step-up para elevar el voltaje de 1.5 V a un valor 5 V.

El valor máximo de voltaje obtenido fue de 0.8 V con un módulo generador SP1848.

El sistema de generación termoeléctrica se colocó sobre el escape a una altura de 50 cm sobre la base de la estufa; debido a que a que a 30 cm se interfiere con algún recipiente colocado en los comales secundarios y a 70 cm dificulta la manipulación del sistema.

Los datos de temperatura se registraron mediante un sistema de adquisición de datos comercial; así como también con un sistema de adquisición de datos de bajo costo desarrollado en Arduino.

A continuación enlistamos los costos (ver tabla 5.1) del sistema de medición para dos temperaturas en Arduino; en la tabla 5.2 se muestran los costos del dispositivo termoeléctrico; la tabla 5.3 indica los costos del dispositivo de acondicionamiento y por último la tabla 5.4 muestra los costos de la construcción de la estufa tipo Patsari.

Tabla 5.1 Costo del sistema de medición para dos temperaturas en Arduino

Nombre	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Costo total
Placa Arduino UNO Generico	1	Pza	\$ 457.53	\$ 457.53
Protoboard	1	Pza	\$ 120.00	\$ 120.00
Convertidor Analógico-Digital (MAX6675) con Termopar tipo K.	2	Jgo	\$ 106.50	\$ 213.00
Modulo (TM1637) 4 dígitos 7 segmentos	2	Pza	\$ 65.00	\$ 130.00
Jumper	1	Jgo	\$ 79.00	\$ 79.00
Cable caimán	1	Jgo	\$ 57.00	\$ 57.00
Fuente Externa Portátil	1	Pza	\$ 107.00	\$ 107.00
			Total	\$ 1,163.53

Tabla 5.2 Costo del dispositivo termoelectrico

Nombre	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Costo total
Módulo TEG (SP1848)	1	Pza	\$ 172.32	\$ 172.32
Placas de aluminio	2	Pza	\$ 380.00	\$ 760.00
Papel refractario cerámico	1	M	\$ 300.00	\$ 300.00
Abrazaderas sin fin	2	Pza	\$ 32.00	\$ 64.00
Tornillería varios	8	Jgo	\$ 3.50	\$ 28.00
Olla de aluminio	1	Pza	\$ 90.00	\$ 90.00
Pasta térmica	1	Pza	\$ 61.00	\$ 61.00
			Total	\$ 1,475.32

Tabla 5.3 Costos del dispositivo de acondicionamiento

Nombre	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Costo total
Batería 9V con conector broche	1	Pza	\$ 105.00	\$ 105.00
Voltímetro-Amperímetro digital (DSN-VC288)	1	Pza	\$ 55.00	\$ 55.00
Convertidor CC-cC Step-Up (MT3608)	1	Pza	\$ 25.00	\$ 25.00
Cargador de Salida Step Up Power Module Mini Converter DC-DC Boost DC 3V a 5V USB	1	Pza	\$ 59.71	\$ 59.71
Banco de terminales de 2 filas	2	Pza	\$ 19.00	\$ 38.00
Cables de Conexiones	1	Lote	\$ 9.00	\$ 9.00
			Total	\$ 291.71

Tabla 5.4 Costos de la construcción de la estufa tipo Patsari

Nombre	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Costo total
Tabique rojo	145	Pza	\$ 3.00	\$ 435.00
Cemento	1	Bulto	\$ 150.00	\$ 150.00
Mortero	1	Bulto	\$ 100.00	\$ 100.00
Arena	10	Botes	\$ 80.00	\$ 800.00
Grava 3/4"	6	Botes	\$ 80.00	\$ 480.00
Varilla de 1/4"	1	Pza	\$ 128.00	\$ 128.00
Barro	2	Botes	\$ 40.00	\$ 80.00
kit Patsari	1	Jgo	\$1,000.00	\$ 1,000.00
			Total	\$ 3,173.00

Cabe mencionar que todo lo utilizado en esta caracterización del sistema generador termoeléctrico así como todos los materiales, los componentes electrónicos y la programación son de uso comercial; con el propósito de que se pueda integrar en una estufa de este tipo en cualquier lugar; además de que siendo comercial se pretende que sea económico y de fácil implementación.

La idea de usar dos métodos de medición es para verificar que los datos obtenidos por el dispositivo de Arduino tuviera lecturas cercanas o iguales a las adquiridas con el adquirente de datos, esto con el fin de que el dispositivo Arduino es portátil y funciona hasta con una batería de 5 V.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda mejorar las placas de aluminio que funcionan como transmisores de calor en el caso de la cara caliente y como disipador en el caso de la cara fría, lo cual ayudara a tener un mayor delta de temperaturas.

Se recomienda poner en práctica el arreglo de celdas termoeléctricas en serie propuestas según el cálculo teórico para elevar el voltaje al mínimo requerido por la fuente elevadora de voltaje para así hacerla funcionar dentro de sus rangos de operación y gracias a la información de su ficha técnica sabemos que obtendremos 5V a la salida de nuestro dispositivo lista para ser almacenada mientras la fuente de energía siga encendida.

Mejorar el dispositivo de acondicionamiento de voltaje ya la eficiencia de los elementos utilizados en su construcción tienen en si pérdidas y esto genera que decaiga el voltaje a la salida.

5.3 Trabajo futuro

Debido a que nuestra fuente de energía térmica es variable según la intensidad de nuestro combustible se desea que mientras la fuente este encendida genere la mayor cantidad de energía eléctrica para su almacenamiento en una pila que al final del día sea capaz de proporcionar a la familia su uso por medio de echar andar iluminación de tecnología tipo led dentro de su vivienda.

Para llegar a un nivel de aprovechamiento de la cantidad de energía térmica disponible a lo largo de toda la estufa pero en nuestro caso particular en el chacuaco (escape), sería conveniente hacer un arreglo de varios sistemas termoeléctricos a lo largo de este para sacarle provecho a todo esta energía térmica disponible que se está desperdiciando.

Gracias a que este tipo de estufa cuando se encuentra encendida es en su totalidad es una importante fuente de energía, se pueden explotar todo el cuerpo de la estufa o caras de la misma para extraer energía térmica que sea la que proporcione la temperatura suficiente en la cara caliente.

Se propone realizar las pruebas físicas de los arreglos de módulos Seebeck para tener datos de su viabilidad.

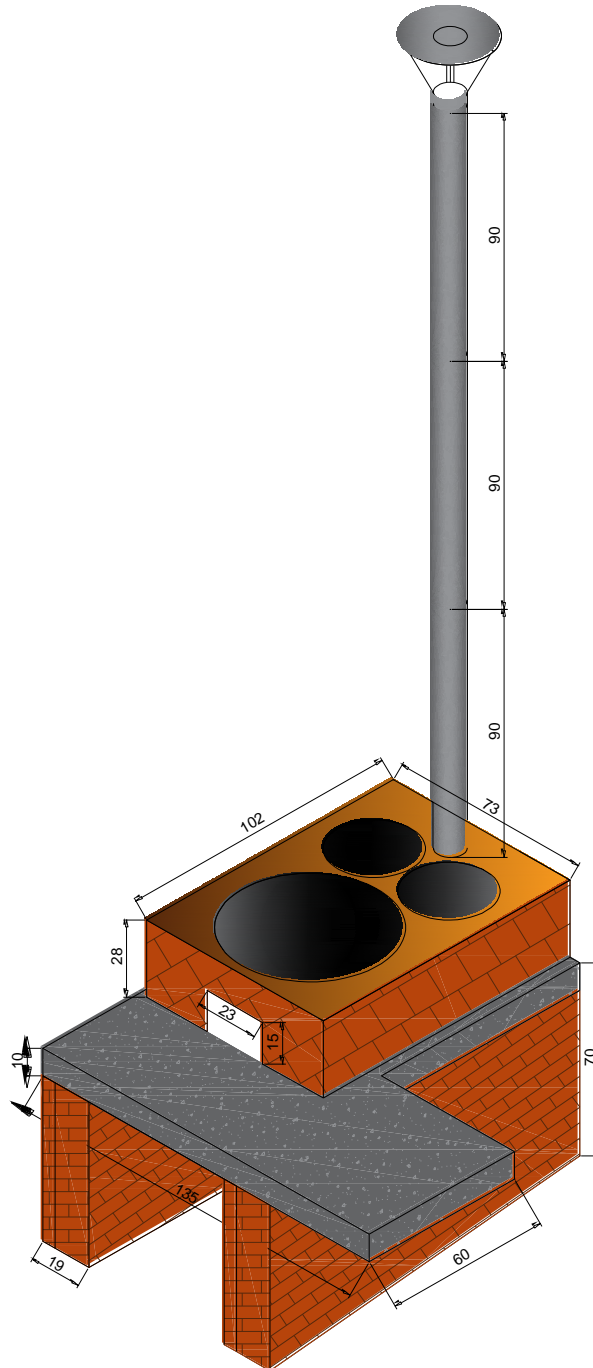
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alzate Rodriguez, E. J., Montes Ocampo, J. W., & Silva Ortega, C. A. (2007). Medición de temperatura: sensores termoelectricos. *Scientia Et Technica*, XIII(34), 6. Recuperado el Julio de 2019
- Appropedia. (s.f.). Obtenido de https://www.appropedia.org/Patsari_Cookstove
- ARDUINO. (s.f.). Recuperado el Marzo de 2018, de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Bell, L. (12 de 09 de 2008). Cooling, Heating, Generating Power and Recovering Waste Heat with Thermoelectrics Systems. *Sciencemag*, 321. Recuperado el 29 de Abril de 2019, de <http://science.sciencemag.org>
- Celis Aguirre, J. M. (2016). Boletín No. 1343. *Plantea Celis Aguirre reformar la Constitución para garantizar a toda persona el derecho y acceso a este servicio*. México.
- Díaz, R., Gabriel, R., Molina, O., Marcos, S., & Masera, O. (Septiembre de 2003). <http://stoves.bioenergylists.org/files/ManualPatsari.pdf>.
- Energía Rural, GIRA, A.C. (s.f.). Obtenido de www.gira.org.mx,: <http://patsari.blogspot.com/>
- GIRA, A.C., CIEco, UNAM, UCI-Irvine, INSP, & INE-CENICA. (s.f.). *Proyecto PATSARI®, Uso Sustentable de la Leña*. Recuperado el Febrero de 2018, de <http://patsari.blogspot.com/p/manuales.html>
- <http://tecnoconect.org/PDFs/ManualPatsari.pdf>. (s.f.).
- International Energy Agency. (2018). Resumen Ejecutivo. *World Energy Outlook*.
- Marlow Industries, I. 2. (2002). <http://pdf.dzsc.com/200810211/200809270137083777.pdf>. Recuperado el Agosto de 2019
- Marlow Industries, Inc. (2019). <https://www.marlow.com/resources/thermoelectric-energy-harvesting/introduction>. Recuperado el 08 de 2019
- Martinez Salamero, L., Cid-Pastor, A., El Aroudi, A., Giral, R., & Calvente, J. (Octubre de 2009). Modelado y Control de Convertidores Conmutados Continua-Continua: Una perspectiva Tutorial. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 6(4), 5-20. Recuperado el 09 de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791209701049>
- Masera, O. R. (s.f.). *Unidad de Ecotecnologías*. Obtenido de www.iies.unam.mx/laboratorios/bioenergia/: <http://ecotec.unam.mx/Ecotec/>
- Masera, O. R., Díaz, R., & Berrueta, V. (Marzo de 2005). From cookstoves to cooking systems: the integrated program on sustainable household energy use in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, IX(1). Recuperado el Mayo de 2018
- Masera, o., Coralli, F., García, C., Riegelhaupt, E., Arias, T., Vega, J., & Cecotti, L. (Agosto de 2011). La Bioenergía en México. Situación Actual y Perspectivas. *Red Mexicana de Bioenergía*.
- Masera, O., Edwards, R., Armendáriz, C., Berrueta, V., Johnson, M., Rojas Bracho, L., . . . Smith, K. R. (Junio de 2007). Impact of Patsari improved cookstoves

- on indoor air quality in Michoacán, Mexico. *Energy for Sustainable Development*, XI(2). Recuperado el Abril de 2018
- McNamara, M. L., Thornburg, J., Semmens, E., Ward, T. J., & Noonana, C. W. (18 de Marzo de 2017). Reducing indoor air pollutants with air filtration units in wood. *Science of the Total Environment*, 488-494. Recuperado el Agosto de 2018, de www.elsevier.com/locate/scitotenv
- Medrano Guerrero, S. (julio de 2002). <http://www.metas.com.mx/metas.html>. Recuperado el Octubre de 2019
- MyTwoHands*. (s.f.). Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=TJaO-jq8Tv4>
- PATSARI®, P. (s.f.). <http://patsari.blogspot.com/p/manuales.html>. (A. (. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, Ed.) Recuperado el 2019
- Prometec*. (s.f.). Recuperado el 09 de 2019, de <https://www.prometec.net/boost-converters/>
- Proyecto PATSARI®, Uso Sustentable de la Leña*. (s.f.). Obtenido de <http://patsari.blogspot.com/p/fotos-y-dibujos.html>
- Ruiz-Mercado, I., Maser, O., Zamora, H., & Smith, K. R. (9 de March de 2011). Adoption and sustained use of improved cookstoves. *Energy Policy*. Recuperado el Abril de 2018, de www.elsevier.com/locate/enpol
- Saravanan, S., & Babu, N. R. (2017). A modified high step-up non-isolated DC-DC converter for PV application. *Journal of Applied Research and Technology*, 15, 242-249. Recuperado el 09 de 2019, de <http://www.jart.ccadet.unam.mx/index.php/jart/article/view/655/638>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2017). *Estrategía Nacional de Calidad del Aire*.
- Uribe Garavito, E. J., & Ortega Torres, S. (2014). *Módulos Termoeléctricos Flexibles*. Master en Energies Renovables i Sostenibilitat Energetica, Universitat de Barcelona.

7 APÉNDICES

Apéndice A Plano de construcción de esta estufa Patsari



Apéndice B Código de programación Arduino para medir dos temperaturas

Código de programación del dispositivo con la plataforma de Arduino el cual debe ser compilado y descargado en la placa (board) UNO para establecer la comunicación entre el dispositivo y la computadora. Dentro del código se declaran cada uno de los elementos según nuestras necesidades además de definir los intervalos de tiempo entre mediciones.

```
//Lectura de dos temperaturas con display
//Proyecto de Maestría diciembre 2018
//Elisa López Arellano

//Arduino Uno
//2 Sensores tipo K con ADC Max6675
//2 Display Digital TM1637

//Librerías
#include <Arduino.h>           //Librería de Arduino
#include "max6675.h"          //Librería del Max6675
#include <TM1637Display.h>     //Librería del display TM1637

//Variables del sensor 1 para lectura de temperatura 1
//Definición de pines
int sensorDO = 2;
int sensorCS = 3;
int sensorCLK = 4;

//Variables del sensor 2 para lectura de temperatura 2
//Definición de pines
int sensorDO2 = 13;
int sensorCS2 = 12;
int sensorCLK2 = 11;

//Display sensor 1 (temperatura 1)
//Definición de pines digitales
#define CLK 6
```

```

#define DIO 5

//Display sensor 2 (temperatura 2)
//Definición de pines digitales
#define CLK2 10
#define DIO2 9

//Declaración de la cantidad de tiempo entre sensores de temperaturas (en milisegundos)
#define TEST_DELAY 5000          //5 minutos
//Configuración de la pantalla display 1
TM1637Display display1(CLK, DIO);

//Configuración de la pantalla display 2
TM1637Display display2(CLK2, DIO2);

//Configuración del sensor de temperatura 1
MAX6675 sensortemp(sensorCLK, sensorCS, sensorDO);
int vccPin = 8;
int gndPin = 7;
//Configuración del sensor de temperatura 2
MAX6675 sensortemp2(sensorCLK2, sensorCS2, sensorDO2);
int vccPin2 = 1;
int gndPin2 = 0;

void setup() {

  Serial.begin(9600);
  pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin, HIGH);
  pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin, LOW);
  Serial.println("MAX6675 test");

  pinMode(vccPin2, OUTPUT); digitalWrite(vccPin2, HIGH);
  pinMode(gndPin2, OUTPUT); digitalWrite(gndPin2, LOW);
  Serial.println("MAX6675 test");

  //Tiempo de espera para estabilizar el chip MAX6675
  delay(100);
}

```

```

void loop() {

    display1.setBrightness (0x0f);           //Configuración del brillo del display 1
    uint8_t data[] = { 0x0, 0x0, 0x0, 0x0};
    display1.setSegments (data);
    delay (1);
    int temp = (int) sensortemp.readCelsius();
    display1.showNumberDec (temp, true, 4, 0);

    display2.setBrightness (0x0f);           //Configuración del brillo del display 2
    uint8_t data2[] = { 0x0, 0x0, 0x0, 0x0};
    display2.setSegments (data2);
    delay (1);
    int temp2 = (int) sensortemp2.readCelsius();
    display2.showNumberDec (temp2, true, 4, 0);

    //Sensor 1 Lectura en monitor serial
    Serial.print("Temp1 = ");
    Serial.println(sensortemp.readCelsius());
    Serial.println(" °C");

    //Sensor 2 Lectura en monitor serial
    Serial.print("Temp2 = ");
    Serial.println(sensortemp2.readCelsius());
    Serial.println(" °C");

    delay(1000);
}

```

Apéndice C Proceso de calibración termopares adquisidor de datos 34970A

Datos y gráficas del proceso para la calibración de los termopares utilizados en el adquisidor de datos aplicando la ecuación de línea recta, $y = mx + b$, donde

x , y = variables en un plano

m = pendiente de la recta, (relacionada con la inclinación que toma la recta respecto a un par de ejes)

b = término independiente (ordenada), (es el valor del punto en el cual la recta corta al eje vertical en el plano)

Termopar (chanel)	Pendiente de la recta (gain, m)	Ordenada (offset, b)	Coefficiente de regresión lineal (R ²)
101	0.9653	0.6594	0.9985
102	0.9827	-0.0645	0.9903
103	1.0101	-0.9762	0.9903
107	0.9644	0.6201	0.9982
108	0.9646	0.6342	0.9982

