

SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA POR COMBUSTIÓN APLICABLE A
ZONAS NO INTERCONECTADAS.

ALEJANDRA ESTEFANIA JARAMILLO PONCE
MARLENY LIBERTAD CARVAJAL IBARRA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
SAN JUAN DE PASTO
2016

SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA POR COMBUSTIÓN APLICABLE A
ZONAS NO INTERCONECTADAS.

ALEJANDRA ESTEFANIA JARAMILLO PONCE
MARLENY LIBERTAD CARVAJAL IBARRA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Electrónico

DIRECTOR
M.SC. DARIO FERNANDO FAJARDO FAJARDO
INGENIERO ELECTRÓNICO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
SAN JUAN DE PASTO
2016
NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Presidente de Tesis

Jurado 1

Jurado 2

San Juan de Pasto, Mayo de 2014

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Grupo de Investigación de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Nariño y el proyecto “ANÁLISIS DE OPORTUNIDADES ENERGÉTICAS CON FUENTES ALTERNATIVAS EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO – ALTERNAR” que contribuyeron al desarrollo de la investigación. De igual manera un agradecimiento a nuestro asesor M. Sc Darío Fajardo Fajardo, y los docentes del departamento de Ingeniería Electrónica por su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

DEDICATORIA

A mi papi cuyo amor y dedicación se convirtieron en mi ejemplo de responsabilidad y a mi mami por su paciencia y constante motivación para superarme.

Libertad

A mis padres porque al cumplir esta etapa, junto a mis hermanos hemos cumplido su sueño más grande.

Alejandra

RESUMEN

El documento presenta el desarrollo y análisis de un sistema de generación de energía por efecto termoeléctrico, por medio de la combustión eficiente de leña, para poblaciones de la Costa Pacífica donde se realizó una caracterización del consumo de energía eléctrica e identificación de necesidades y hábitos de cocción por medio de encuestas.

La generación se realiza a través de dos Etapas la primera es el diseño de un prototipo de estufa mejorada de leña como fuente de energía térmica, en primer lugar, se analizó parámetros de funcionamiento de 5 modelos de estufas de leña, que se obtienen con la evaluación mediante el protocolo WBT y de seguridad, posteriormente se integra los requerimientos de pobladores de la zona de estudio.

Para la segunda Etapa, se caracteriza el dispositivo Explorer® encargado de transformar la energía térmica producida en la estufa de leña en energía eléctrica (DC), su principio de funcionamiento es el Efecto Termoeléctrico por medio del cual se obtiene el modelo matemático de generación.

Se determina la potencia y la energía generada por el Explorer® en condiciones reales de funcionamiento. Para dimensionar la energía generada, se analiza la capacidad del sistema al momento de cargar una batería.

Finalmente, con la estimación de la capacidad del sistema diseñado se evalúa si éste, es capaz de suplir una carga mínima típica de la zona de estudio, para lo cual se identificó una curva de consumo de energía eléctrica en la población.

ABSTRACT

This paper presents the development and analysis of a power generation system by thermoelectric effect, through a efficient combustion of firewood, for populations of the Pacific Coast where the survey was conducted for the characterization of power consumption and to identify the cooking needs and habits.

The generation of electricity (will) be done through two-step, the first is the design of a prototype of improved wood stove as an thermal energy source, on this stage was analyzed the operating parameters of 5 wood stove models using the Water Boiling Test and security protocol and later integrates the requirements of residents of the study area.

In the second stage is characterized the device Explorer responsible for transforming the thermal energy (produced in wood stove) to power electrical energy (DC), its operating principle is thermoelectric effects through which the mathematical model is obtained.

The power and energy generated are determined by the Explorer under real operating conditions. To design energy generated, the capacity of systems is analyzed while the battery is charging.

With the estimated system capacity, is evaluated if this can substitute a typical minimum load of the study area, for which was identified a electrical energy consumption curve in the population

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	18
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3. MARCO TEÓRICO.....	21
3.1 BIOMASA	21
3.1.1 Clasificación de la biomasa.	21
3.1.1.1 Natural.....	21
3.1.1.2 Residual.....	21
3.1.2 Análisis Físico-Químicos aplicados a las muestras de madera	21
3.1.3 Combustión de la madera.	23
3.2 GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA.....	24
3.2.1 Estufas Mejoradas de Leña.....	25
3.2.1.1 Definición.....	25
3.2.2 Evaluación de Desempeño Energético y Seguridad en Estufas de Leña. 25	
3.2.2.1 Protocolo WBT Prueba de Ebullición de Agua.....	25
3.2.2.2 Protocolo de Seguridad.	27
3.2.2.3 Normatividad de Estufas Mejoradas de Leña.....	29
3.3 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELECTRICA.....	31
3.3.1 Fundamentos de la Termoelectricidad.....	31
3.3.1.1 Efecto Seebeck.....	31
3.3.2 Dispositivo de conversión de energía térmica a eléctrica.	34
4. METODOLOGÍA	37
5. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	39
5.1 CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO BIOMÁSICO.....	39
5.2 MODELAMIENTO DE LAS ETAPAS DEL SISTEMA.....	39
5.2.1 Instrumentación para pruebas.....	39
5.2.2 ETAPA 1: Generación de energía térmica.....	40
5.2.2.1 Metodología de Diseño del prototipo.....	40

5.2.2.2	Modelos evaluados con el protocolo WBT y Nivel de Seguridad.	41
5.2.2.3	Aplicación del Protocolo WBT.....	43
5.2.2.4	Prueba de Nivel de Seguridad.	48
5.2.3	ETAPA 2. Generación Eléctrica.....	48
5.3	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EN CONDICIONES REALES.....	52
5.4	CURVA DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE UNA VIVIENDA TÍPICA DEL PACÍFICO.	56
6.	RESULTADOS.....	57
6.1	CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO BIOMÁSICO.	57
6.2	MODELAMIENTO DE LAS ETAPAS DEL SISTEMA.....	60
6.2.1	ETAPA 1: Generación de energía térmica.....	60
6.2.1.1	FASE I: Organización de parámetros físicos influyentes en el desempeño de cada estufa evaluada.....	60
6.2.1.2	FASE II: Selección del modelo con el mejor desempeño energético.....	62
6.2.1.3	FASE III: Requerimientos de funcionamiento para la zona de la Costa Pacífica.....	79
6.2.2	Prototipo de Estufa Mejorado de Leña	85
6.2.2.1	Estructura.	85
6.2.2.2	Horno, rejilla para la leña y platina separadora.	86
6.2.2.3	Ladrillos aislantes y placa separadora de cámara y horno.....	87
6.2.2.4	Estufa enchapada y flujo de calor	87
6.2.2.5	Estufa completa	88
6.2.2.6	Plancha para la disposición de ollas y recipiente de agua.	89
6.2.2.7	Adaptadores para ollas.	90
6.2.2.8	Patas.	90
6.2.3	Metodología para diseñar una estufa Mejorada de Leña.....	90
6.2.4	ETAPA 2: Generación Eléctrica.....	93
6.2.4.1	Modelo Matemático	93
6.3	ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EN CONDICIONES REALES.....	101
6.3.1	Estimación de la Energía Generada por el Sistema	105
6.3.1.1	Fuente de calor constante.....	105
6.3.1.2	Fuente de calor variable (Estufa de leña).....	107

6.3.2	Análisis de Carga AC	111
6.3.3	Eficiencia del Sistema	113
6.4	CURVA DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE UNA VIVIENDA TÍPICA DEL PACÍFICO	115
6.4.1	Caracterización del consumo de energía eléctrica.	115
6.4.1.1	Mosquera.....	115
6.4.1.2	Vaquería.....	120
6.5	CONCLUSIONES.....	125
6.6	RECOMENDACIONES.....	127

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de análisis Físico-Químicos aplicados a las muestras de madera...	22
Tabla 2 Cálculo del puntaje total (S)	28
Tabla 3 Clasificación general de seguridad en estufa	29
Tabla 4. Niveles de rendimiento IWA para evaluación de eficiencia	30
Tabla 5. Niveles de rendimiento IWA para evaluación de seguridad.....	30
Tabla 6. Resultados de análisis de cada muestra de Mangle – Base seca	57
Tabla 7. Resultados análisis muestra de Achapo	58
Tabla 8. Poder Calorífico Inferior para diferentes muestras de aserrín	58
Tabla 9. Poder Calorífico Inferior	59
Tabla 10. Parámetros Físicos de diseño de las Estufas Evaluadas	60
Tabla 11. Análisis de temperaturas adquiridas en algunas secciones de las estufas	68
Tabla 12. Resultados WBT de 5 modelos evaluados	70
Tabla 13. Indicadores de desempeño Alta Potencia	72
Tabla 14. Grado total de seguridad S-Estufa móvil.....	75
Tabla 15. Resultados evaluación de seguridad. Estufa fija	76
Tabla 16. Promedio de tiempo de preparación para las tres comidas más importantes.....	82
Tabla 17. Resultados Encuesta. Parámetros de diseño.....	83
Tabla 18. Coeficientes del modelo matemático.....	100
Tabla 19. Consumos básicos y eficientes de subsistencia Sanquianga.....	116
Tabla 20. Consumos básicos de subsistencia en el Pacífico Sur.....	120
Tabla 21. Casos de refrigeración Vaquería-Tumaco.....	122

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Poder calorífico Vs Humedad en Base Seca y Base Húmeda	23
Figura 2. Temperatura del agua durante las tres fases de la prueba de ebullición.	26
Figura 3. Esquema del efecto Seebeck. Circuito térmico compuesto de dos metales A y B sometidos a un gradiente de temperatura	31
Figura 4. Unión de dos conductores α y β , los extremos de ambos metales se mantienen a una diferencia de temperatura (T_0 , T_1), lo cual genera un gradiente de potencial (ϕ_1 , ϕ_3).....	32
Figura 5. Estructura interna de un generador termoeléctrico	33
Figura 6. Dispositivo Explorer® ¹¹	34
Figura 7. Placas del Dispositivo Explorer®	35
Figura 8. Fogón tradicional costa pacífica.....	41
Figura 9. Fogón tradicional tres piedras.....	41
Figura 10. Estufa mejorada. Modelo sabana (diseño mejorado)	42
Figura 11. Estufa mejorada-modelo móvil (diseño mejorado)	42
Figura 12. Estructura de estufa mejorada-modelo fija (diseño mejorado)	43
Figura 13. Termocuplas estufa sabana.....	44
Figura 14. Termocuplas tipo J en las ollas-estufa móvil.....	45
Figura 15. Sensores ubicados en cámara de combustión y debajo de olla secundaria-estufa móvil.....	45
Figura 16. Termocupla tipo K. horno y trampa de ceniza-estufa móvil.....	45
Figura 17. Termocuplas tipo J. ollas-estufa fija.....	46
Figura 18. Termocuplas tipo K. cámara de combustión y horno-estufa fija	46
Figura 19. Termocuplas tipo K. debajo de ollas secundarias y trampa de cenizas-estufa fija	46
Figura 20. Imagen termografía de la parte inferior del Explorer®.....	49
Figura 21. Fotografía del montaje para el registro de temperatura y voltaje.....	50
Figura 22. Divisor de voltaje	50
Figura 23. Diagrama de bloque para la adquisición de temperatura, voltaje y corriente	51
Figura 24. Fotografía de la adquisición y las tarjetas National Instruments	52
Figura 25. Temperaturas durante el protocolo WBT. Estufa sabana	63
Figura 26. Temperaturas durante el protocolo WBT. Estufa móvil	64
Figura 27. Temperaturas después de WBT. Estufa móvil	65
Figura 28. Temperaturas WBT. Estufa fija	66
Figura 29. Temperatura después de WBT. Estufa fija.....	67
Figura 30. Temperatura durante WBT. 3 piedras	68
Figura 31. Temperaturas en el piso cerca de la estufa móvil	73
Figura 32. Temperaturas en la pared posterior, estufa móvil	73
Figura 33. Temperaturas en la pared posterior, estufa móvil	74

Figura 34 Temperaturas elementos operación (a) Manija cámara (b) Perilla horno (c) Mango bandeja de cenizas, estufa móvil.	74
Figura 35. Temperaturas de elementos de operación y chimenea. Seguridad. Estufa fija.....	75
Figura 36. Temperatura transferida al ambiente. Estufa fija	76
Figura 37. Alturas de la estufa de acuerdo a la Estatura del usuario	78
Figura 38. Uso de combustible principal para cocción en veredas de Mosquera ..	79
Figura 39. Combustible para la cocción en diferentes estufas – Región Vaqueria	79
Figura 40. Horas que usa una persona para adquirir la leña vs Número de casos encuestados	80
Figura 41. Cantidad de leña en Kg necesaria para un día completo	82
Figura 42. Estructura principal del prototipo.....	85
Figura 43. Horno, rejilla para la leña y platina separadora	86
Figura 44. Ladrillos aislantes y placa separadora	87
Figura 45. Estufa enchapada y flujo de calor	87
Figura 46. Estructura completa de la estufa diseñada	88
Figura 47. Plancha de hornillas y recipiente de agua.....	89
Figura 48. Adaptador para ollas.....	90
Figura 49. Caso 1: Curvas de temperatura y voltaje	94
Figura 50. Caso 2: Curvas de temperatura y voltaje	94
Figura 51. Curvas de voltaje y ΔT en los casos 1 y 2.....	95
Figura 52. Curva de tendencia para voltaje generado $\leq 1V$ (a) Caso 1 (b) Caso2	96
Figura 53. Curva de tendencia para voltaje generado $> 1V$ (a) Caso 1 (b) Caso2	96
Figura 54. Caso 3: Curvas de temperatura y voltaje	97
Figura 55. Caso 4: Curvas de temperatura y voltaje	98
Figura 56. Curvas de voltaje y ΔT en los casos 3 y 4.....	98
Figura 57. Curva de tendencia para voltaje generado $\leq 1V$ (a) Caso 3 (b) Caso 4	99
Figura 58. Curva de tendencia para voltaje generado $> 1V$ (a) Caso 3 (b) Caso 4.	99
Figura 59. Rango en que oscila el coeficiente y la pendiente de la ecuación (33)	101
Figura 60. Rango en que oscila el coeficiente y la pendiente de la ecuación (34)	101
Figura 61. Temperatura cámara de combustión	102
Figura 62. Curva de temperaturas en Explorer®.....	102
Figura 63. Curva de Voltaje Calculado y Medido	103
Figura 64. Curva de Voltaje Calculado y Sensado	104
Figura 65. Registro de voltaje y corriente en una carga	105
Figura 66. Voltaje y corriente en su punto máximo y mínimo	106
Figura 67. Curva de potencia de la bombilla	106
Figura 68. Curva de energía	107
Figura 69. Temperatura en la cámara de combustión	108
Figura 70. Voltaje y Corriente en la carga. Fuente de calor, combustión de leña	108
Figura 71. Curva de potencia de la carga en condiciones reales	109
Figura 72. Voltaje y Corriente después del primer hervor.	110

Figura 73. Energía Acumulada Generada durante 91 minutos de prueba.....	111
Figura 74. Curva de carga de batería 2.4 V	112
Figura 75. Tiempo encendido bombilla(s) tipo incandescente vs Número de casas	117
Figura 76. Tiempo de encendido bombilla(s) ahorradoras vs Número de casas .	117
Figura 77. Horas de Uso vs. Casos de Refrigeración	117
Figura 78. Horas de Uso vs. Energía Consumida para cada caso de refrigeración	118
Figura 79. Promedio de la Energía en (kWh/día)	118
Figura 80. Tiempo encendido bombilla(s) tipo incandescente vs Número de casas	121
Figura 81. Tiempo encendido bombilla(s) tipo ahorradoras vs Número de casas	121
Figura 82. Consumo residencial con 3 cargas (iluminación, Licuadora, Tv Convencional) para una casa en Cocal Payanes – Mosquera (2012).....	123
Figura 83. Consumo residencial con 4 cargas (Iluminación, Licuadora, Tv Convencional, Equipo de Sonido) para una casa en Cocal Payanes – Mosquera (Noviembre 2014).....	124

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A Reporte de resultados-Análisis de Achapo; Error! definido.7	Marcador	no
--	-----------------	-----------

GLOSARIO

ESTUFA MEJORADA O EFICIENTE: Este tipo de estufa es fruto de muchos intentos para mejorar la combustión de la leña, producir menor cantidad de humo y gastar menos combustible.

EFICIENCIA TÉRMICA PARA ESTUFAS MEJORADAS: Proporción de la energía producida por el combustible utilizada para calentar y evaporar agua.

EVALUACIÓN DE ESTUFAS MEJORADAS: Procesos mediante los cuales se cuantifica el desempeño de una estufa de leña, entre los protocolos utilizados están el WBT (Water Boiling Test) para analizar la eficiencia energética y un protocolo que permite saber el Nivel de Seguridad de la estufa.

EXPLORER®: Dispositivo generador de energía eléctrica, que funciona a partir de energía térmica gracias al efecto termoeléctrico.

FOGÓN TRADICIONAL: o estufa de fuego abierto (tres piedras), es un equipo para cocinar alimentos que no ha sido objeto de modificaciones para mejorar su desempeño, su combustible generalmente es leña.

INDICADORES DE DESEMPEÑO: parámetros que evalúan el desempeño de la estufa son resultado de la aplicación del protocolo WBT.

VALOR CALORÍFICO: Permite determinar la cantidad de biomasa requerida para generar una determinada cantidad de energía. Se puede obtener de forma directa en un laboratorio especializado usando la técnica Bomba Calorimétrica.

1. INTRODUCCION

Según la Unidad de Planeamiento Minero Energético (UPME)¹ el 81% de la energía consumida a nivel mundial proviene de fuentes fósiles, mientras que el 19% restante proviene de fuentes renovables, a esta última se asocia el uso de biomasa como la leña para cocción de alimentos y calentamiento de espacios.

Cadena² afirma que en el departamento de Nariño para el 2012, el déficit en el índice de cobertura de energía eléctrica corresponde a un 3.99% y 15.685 viviendas carecen del servicio y no hacen parte del sistema nacional de interconexión eléctrica, estas viviendas se ubican en zonas definidas como zonas no interconectadas (ZNI), donde la ausencia de este servicio responde a las dificultades en el acceso geográfico, condiciones socioeconómicas y la condición del departamento de Nariño como cola del sistema interconectado nacional.

Sin embargo, es sobresaliente la cantidad de recursos disponibles en el departamento, que son útiles para el desarrollo de procesos de generación de energía renovable con bajo impacto ambiental, moderada inversión económica y sostenible en el tiempo.

Por lo anterior, se estudia y evalúa la viabilidad de generación de energía a través de un sistema que está integrado por dos etapas: Transformación de la biomasa, donde se estudia el proceso de cocción, el combustible (leña) y estufas utilizadas para esta tarea, además se tiene en cuenta las necesidades y hábitos de cocción de una población estudiada (Costa Pacífica), de este proceso resulta el diseño de un prototipo de estufa mejorada que genera energía térmica para cocción y generación eléctrica.

En el proceso de caracterización y modelamiento de la etapa de transformación de la biomasa, se incluye el protocolo WBT (Water Boiling Test) para la evaluación de eficiencia y seguridad en estufas de leña para la cocción.

¹ COLOMBIA. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Santafé de Bogotá: La Unidad, 2015. [En línea]. <http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/RESUMEN_EJECUTIVO_INTEGRACION_ENERGIAS_UPME2015.pdf>. [citado el 20 de Enero de 2016].

² CADENA, Angela Inés. Planeamiento energético y energías alternativas en Colombia. En: I SEMINARIO INTERNACIONAL DE ENERGIZACIÓN CON FUENTES ALTERNATIVAS (11: 2013 : San Juan de Pasto). [En línea]. http://www.upme.gov.co/presentaciones/2013/upme_pers-n_planeamientoenergetico-energiasalternativas_vf.pdf. [citado el 24 Junio de 2014].

En la segunda etapa, se caracteriza el Explorer® por medio de un modelo matemático basado en los principios del efecto termoeléctrico donde se transforma energía térmica a energía eléctrica.

La última parte de la investigación es el análisis de funcionamiento de todo el sistema, integrado por las dos etapas mencionadas anteriormente, resultados que se comparan con el consumo eléctrico de una vivienda típica, información que se obtiene a partir de encuestas aplicadas a la población de la Costa Pacífica.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Caracterizar un sistema de energización por combustión a partir de residuos forestales, especificando las características que conlleva la incorporación de un mecanismo de conversión termoeléctrico y biomasa como combustible para la generación eléctrica, en aras a ser implementado en una vivienda o carga en potencia similar, y pueda ser replicable en otras zonas no interconectadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Caracterizar física-químicamente el recurso biomásico existente en la región.
- Modelar las etapas del sistema de generación de energía por combustión y efecto termoeléctrico (uso de Explorer®) como métodos de transformación de biomasa y generación de energía respectivamente.
- Implementar un sistema generador de energía a pequeña escala para la evaluación y adecuación de este, de acuerdo a su capacidad de generar energía para alimentar una carga variable.
- Definir una curva del comportamiento en el consumo de energía en una vivienda y compararla con la energía generada por el sistema adaptado a las condiciones.

3. MARCO TEÓRICO.

3.1 BIOMASA

Según Ley Colombiana 697 de 2001 “La biomasa es cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico, y toda materia vegetal originada por el proceso de fotosíntesis, así como de los procesos metabólicos de los organismos heterótrofos”³.

3.1.1 Clasificación de la biomasa.

3.1.1.1 Natural.

Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana, y que se puede aprovechar como fuente energética. Como por ejemplo los troncos, hojas, ramas, frutos, etc.

3.1.1.2 Residual.

Son los residuos que se generan en las actividades de la industria que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo podemos considerar el aserrín, la cáscara de almendra, las podas de frutales, etc.

En la presente investigación se emplea como combustible biomasa natural forestal específicamente residuos de madera. Para lograr su caracterización se aplican los siguientes análisis físico-químicos a muestras seleccionadas.

3.1.2 Análisis Físico-Químicos aplicados a las muestras de madera

La Tabla 1 describe los tipos de análisis que se aplican a las muestras de madera.

Al respecto de la humedad contenida en la leña destinada para cocción, Waclaw⁴ expone que para la combustión es necesario que el contenido de la madera no supere el 20%, por debajo de este porcentaje la madera se considera apta para el proceso.

³ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 697 de 2001. Bogotá D.C: El congreso, 2001. 2p.

⁴ WACLAW, Micuta. Modern Stoves For All. Londres: Intermediate Technology Publications, 1985. p. 3

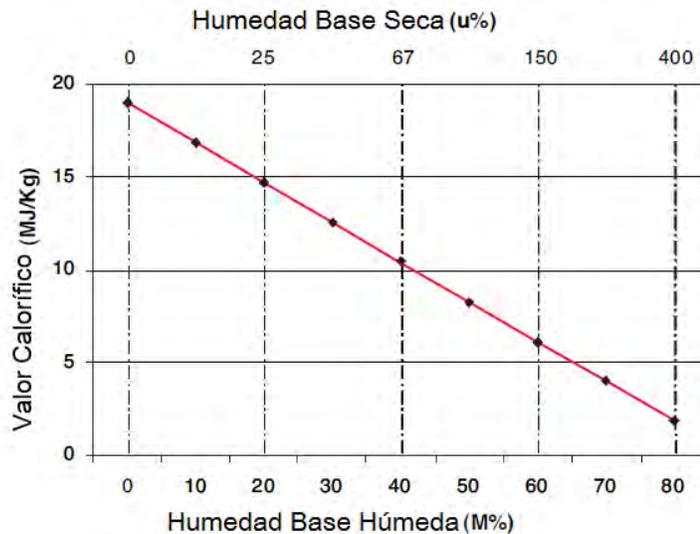
Tabla 1. Tipo de análisis Físico-Químicos aplicados a las muestras de madera

TIPO DE ANÁLISIS	PARÁMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MASA	DESCRIPCION
Composición Física	Humedad	%	Puede ser expresada de dos formas diferentes: Base seca (u%) Es el cociente entre la masa de agua del material y su masa seca. Base Húmeda (H%): Es el cociente entre la masa de agua del material y su masa total.
Análisis último o Elemental	Carbono, Azufre, Nitrógeno, Hidrógeno y oxígeno	%	El azufre da lugar a partículas perjudiciales y forma óxidos muy contaminantes. La cantidad de oxígeno presente en la biomasa ayuda a reducir las necesidades de aire en la combustión, pero reduce su poder calorífico.
Análisis Próximo	Cenizas	%	En este proceso se evalúa entre otras cosas las cenizas que corresponden a la cantidad de materia sólida no combustible presente en un material.
Contenido Energético	Energía Valor o Poder Calorífico	KJ	El PC expresa la cantidad de energía liberada durante la combustión completa de una unidad de masa del combustible. Existen dos tipos de poder calorífico el PCS (Poder calorífico superior) que es aquel donde el vapor de agua se considera totalmente condensado y PCI (Poder calorífico inferior).que considera que el vapor de agua no se condensa.

La Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa⁵ en la Figura 1 expone la relación que existe entre el Poder Calorífico y la humedad en la madera, donde a valores mínimos de humedad, los valores del poder calorífico son máximos.

⁵ ESPAÑA. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA. Manual de Combustibles de Madera. España. La Asociación, 2008. 26p.

Figura 1. Poder calorífico Vs Humedad en Base Seca y Base Húmeda



Fuente: Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa⁵

3.1.3 Combustión de la madera.

Este es un proceso de transformación químico y físico de la madera, en donde se produce energía térmica, al respecto Baldwin⁶ y Waclaw⁷ describen en general las principales etapas del proceso de combustión:

La leña se calienta alrededor de los 100°C y el agua contenida es evaporada o migra a lo largo de los hilos hacia las áreas más frías y se recondensa. Mientras más alto sea el contenido de humedad de la leña, mayor será esta etapa inicial dando como consecuencia la pérdida de energía.

A medida que la temperatura aumenta alrededor de los 150°C empieza la descomposición de la leña, la salida de gases empieza y el alquitrán semilíquido empieza a aparecer, la leña arde seguida de un fuerte olor. Esta etapa debe ser evitada manteniendo una llama constante.

La descomposición se hace más notable a partir de los 225°C alcanzando un pico alrededor de los 300°C, sobre esta temperatura la leña es gradualmente transformada en brasas y los volátiles producidos por esta descomposición

⁶ BALDWIN, Samuel. Biomass Stoves: Engineering Desing, Development and Dissemination. Virginia: Universidad de Princeton, 1987. p. 58

⁷ WACLAW, Micuta. Op cit, p. 5

pueden escapar como humo o pueden recondensarse dentro de la leña lejos de la zona calentada.

La transferencia de calor dentro de la leña se produce principalmente por conducción, mientras los volátiles que salen de la zona calentada llevan una parte de calor por convección.

A medida que los volátiles salen de la madera, estos se mezclan con oxígeno y alrededor de los 550°C prenden fuego que produce una flama amarilla sobre la leña. Aunque el calor por radiación de la flama representa menos del 14% de la energía total de la combustión, esta es importante para mantener la combustión.

Una parte del calor por radiación de esta flama alcanza la leña, calentándola y fomentando su descomposición, causando que la leña suelte más volátiles que se quemarán, cerrando así el ciclo. Por lo tanto se puede decir que la velocidad de combustión depende de la velocidad a la cual se suelten los volátiles.

Piezas muy pequeñas de leña, tienen una mayor área superficial para absorber calor por radiación de la flama comparado con las pequeñas distancias a través del cual el calor y los volátiles deben pasar dentro de la leña, es así que los volátiles escapan con mayor facilidad. Sucede lo contrario para piezas gruesas de leña debido a la gran masa que debe ser calentada.

La temperatura de la flama soltada durante la combustión está alrededor de los 800°C y está limitada por las pérdidas de calor por radiación y por la mezcla con el aire frío del ambiente.

A medida que los volátiles aumentan, estos reaccionan con otras moléculas volátiles formando hollín y humo, simultáneamente se queman a medida que éstos se mezclen con el oxígeno.

Si un objeto frío tal como una olla es colocada muy cerca del fuego, lo enfriará y detendrá la combustión de una parte de esos volátiles, dejando un denso humo negro. En términos generales, los volátiles calientes representan alrededor de 2/3 de la energía liberada del fuego de la leña. El carbón dejado atrás representa la tercera parte restante.

Dado que los volátiles son liberados siempre que la leña esté caliente, al cerrar el suministro de aire se detiene sólo la combustión, aunque la intensidad del fuego se reduce, la leña sigue siendo consumida mientras que esta esté caliente, liberando volátiles sin quemar como humo, dejando carbón.

3.2 GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA.

En esta investigación se aplica la combustión como método para transformar la biomasa y obtener energía térmica. Entre los instrumentos utilizados para realizar este proceso se encuentran las Estufas Mejoradas de Leña, con las cuales se pretende aprovechar una mayor fracción de calor emitido en la combustión.

3.2.1 Estufas Mejoradas de Leña

3.2.1.1 Definición.

El Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción de Perú define las estufas o cocinas mejoradas como “aquella cocina que utiliza biomasa como combustible y que ofrece mejores condiciones que la cocina tradicional de fuego abierto: menor emisión de humo al interior de la vivienda, menor consumo de combustible que repercute en menor emisión de gases de efecto invernadero y mejores condiciones de seguridad”⁸

Existen dos tipos de estufas mejoradas: Fijas y Móviles.

Con el fin de garantizar que las estufas ofrecen mejores condiciones y asegurar su calidad, se debe hacer una evaluación del funcionamiento, cuantificar la reducción de emisión de gases y determinar el nivel de seguridad que produce su utilización, para ello, en el mundo se han desarrollado pruebas como el Protocolo de Ebullición de Agua WBT (Water Boiling Test) reconocido ampliamente porque proporciona resultados del desempeño energético y emisiones de gases. por su parte, el Protocolo de Determinación del Nivel de Seguridad calcula cuán segura es una estufa al momento de su utilización.

3.2.2 Evaluación de Desempeño Energético y Seguridad en Estufas de Leña.

A continuación se describen los métodos de evaluación del desempeño de estufas de leña aplicados en la presente investigación

3.2.2.1 Protocolo WBT Prueba de Ebullición de Agua.

La Alianza Mundial para Estufas Limpias (The Global Alliance for Clean Cookstoves)⁹ al respecto define esta la prueba de ebullición de agua (Water Boiling Test, WBT) como una simulación simplificada del proceso de cocinado con la finalidad de medir cuan eficiente es una estufa en utilizar un combustible para

⁸ PERÚ. SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN. Reglamento para la evaluación y certificación de la cocina mejorada. Perú:El Servicio, 2011. 3p.

⁹ THE GLOBAL ALLIANCE FOR CLEAN COOKSTOVES. The Water Boiling Test. The Alliance, 2014.

calentar el agua (hasta llegar a su punto de ebullición) en una olla y obtener la cantidad de emisiones producidas durante el proceso

Según la fuente el protocolo se realiza a través de 3 Fases:

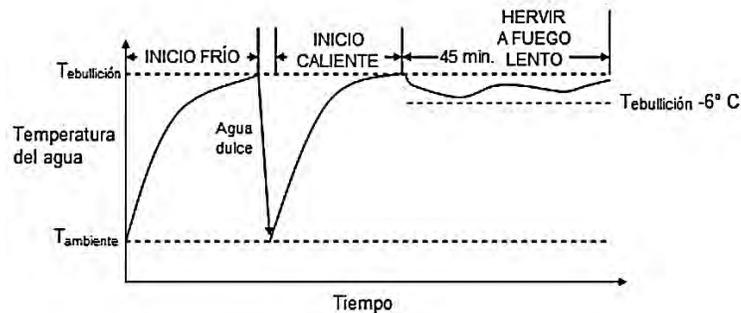
La Fase I comienza con la estufa a temperatura ambiente y se utiliza combustible previamente pesado para hervir una cantidad de agua determinada en una olla estándar (5 litros), En seguida se reemplaza el agua hervida con una nueva olla de agua a temperatura ambiente para realizar la segunda fase.

En la Fase II se desarrolla seguida a la anterior fase, en ella se retira todo elemento de la estufa, y se ingresa igual cantidad de combustible como en la fase anterior. Al repetir la prueba con una estufa caliente ayuda a identificar las diferencias en el rendimiento de la estufa cuando está fría y cuando está caliente.

La fase III, es hervir a fuego lento, esta fase proporciona la cantidad de combustible requerido para hervir 5 litros de agua y por debajo del punto de ebullición durante 45 minutos. Este paso simula el tiempo de cocción de las legumbres o leguminosas comunes en gran parte del mundo.

En la Figura 22 se puede observar gráficamente el comportamiento en el tiempo de la temperatura del agua de las ollas en las fases descritas anteriormente.

Figura 2. Temperatura del agua durante las tres fases de la prueba de ebullición.



Fuente: "The Water Boiling Test-versión 4.2.3"⁵

A través de este protocolo se obtienen las siguientes variables:

Las medidas de eficiencia y rendimiento:

Medidas adicionales: Monitoreo de temperatura de todas las ollas.

Este procedimiento con sus tres fases se debe realizar al menos en tres ocasiones por cada estufa a evaluar.

3.2.2.2 Protocolo de Seguridad.

Las estufas se someten a ensayos para evaluar el comportamiento de la misma estando apagadas y durante su funcionamiento, con el fin de determinar posibles riesgos que afecten al usuario (quemaduras, rasgaduras, etc...) o generen peligro para el área adyacente a la estufa. Para tal evaluación, se realiza las siguientes pruebas con base al trabajo desarrollado por el Instituto Boliviano de Normalización¹⁰:

- a. *Bordes y zonas agudas*: Es necesaria para determinar el nivel de riesgo de enganchar, rasgar la ropa o la piel con bordes o zonas agudas. Se registra el número de veces que un pañuelo se engancha al pasarlo sobre todas las superficies de la cocina.
- b. *Inclinación de estufa móvil*: Se evalúa el riesgo de inclinación de la estufa móvil, identificando la capacidad de mantener su orientación vertical durante su funcionamiento; caso contrario provocar quemaduras u otros accidentes con las personas.
- c. *Probabilidad de expulsión de combustible ardiente*: Determina el nivel de riesgo si el combustible ardiente se puede expeler o derramar desde la cámara de combustión. Esto puede causar quemaduras en los ojos/piel y también puede crear fuego en los materiales o construcciones circundantes.
- d. *Obstrucciones cercanas a la superficie de la estufa*: Identifica las obstrucciones cercanas a la superficie incluyen manijas perpendiculares a la plancha que se utilizan para quitar la superficie de la estufa durante su mantenimiento, estos pueden ser elementos relativamente pequeños pero rígidos, ubicados por encima del nivel de la superficie de la estufa y próximos al área de operación del usuario, estos elementos pueden ocasionar choques con las ollas al ser movidas desde la estufa y volcar el contenido que hierve sobre las manos o personas próximas.
- e. *Temperatura de la superficie de la estufa*: Evalúa el nivel de riesgo de quemaduras por contacto directo con una superficie caliente mientras se opera la estufa.
- f. *Transmisión de calor a los alrededores*: Determina el riesgo de incendio provocada por elevadas temperaturas en los alrededores de la cocina, lo

¹⁰ INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN. Cocinas Mejoradas – Condiciones técnicas mínimas de instalación, funcionamiento y de rendimiento. Bolivia: El Instituto, 2010. 9p.

que puede encender combustibles o materiales cercanos al área de la estufa.

- g. *Temperatura de los elementos de operación de la estufa:* Los componentes de la estufa que necesitan ser manipulados durante su uso habitual pueden adquirir temperaturas excesivas, incluyendo las puertas de cámara de combustión manijas y asas de la estufa, en esta prueba se determina el riesgo de quemaduras por manipulación de estos componentes.
- h. *Aislamiento térmico de la chimenea:* Se determina el riesgo por posibles quemaduras ante el contacto directo del usuario con la superficie de la chimenea.
- i. *Llamas circundantes a la olla:* Determina áreas donde las llamas pueden circundar algún elemento de soporte o manipulación de la olla, que puedan entrar en contacto con la piel o la ropa.
- j. *Llamas y/o combustible que salen de la cámara de combustión:* Identificar el riesgo por expulsión combustible o afloramiento de llama desde la cámara de combustión durante su uso habitual

El grado total de seguridad S se determina como la suma de los puntajes parciales de cada prueba de seguridad (literales a-j) que serán calificados de 1 a 4 donde 1 significa malo, 2 regular, 3 bueno y 4 mejor. El anterior puntaje se multiplica por un factor según la relevancia del aspecto evaluado de acuerdo a la Tabla 2.

Tabla 2 Cálculo del puntaje total (S)

PRUEBA	VALOR OBTENIDO	FACTOR	TOTAL
a		x 1,5	
b		x 3	
c		x 2,5	
d		x 2	
e		x 2	
f		x 2,5	
g		x 2	
h		x 2,5	
i		x 3	
j		x 4	
Suma Total (S)			

Fuente: INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN. Cocinas Mejoradas. Condiciones técnicas mínimas de instalación, funcionamiento y de rendimiento.

Una vez obtenido el rango total S la estufa será catalogada por el grado total de seguridad de acuerdo a la Tabla 3.

Tabla 3 Clasificación general de seguridad en estufa

RANGO GLOBAL	TOTAL DE PUNTOS
Mejor	$93 \leq S \leq 100$
Bueno	$84 \leq S \leq 92$
Regular	$76 \leq S \leq 83$
Malo	$25 \leq S \leq 75$

Fuente: INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN. Cocinas Mejoradas. Condiciones técnicas mínimas de instalación, funcionamiento y de rendimiento.

3.2.2.3 Normatividad de Estufas Mejoradas de Leña.

Los gobiernos o institutos de normalización de diferentes países han realizado normatividades para asegurar que las Estufas de Leña cumplan ciertos requisitos de calidad en aras de certificar y promover tecnologías eficientes, estas normas generalmente se basan en protocolos de evaluación como los anteriormente vistos.

En el caso Colombiano aproximadamente desde mayo del 2015 se han desarrollado sesiones de trabajo del Comité Técnico 245 "ESTUFAS MEJORADAS DE LEÑA" del ICONTEC donde se discute y construye la normatividad para certificar estufas de leña en Colombia, resultados parciales de la presente investigación fueron expuestos en algunas sesiones de este comité en el cual se continúa participando hasta la actualidad.

- *Estándares IWA-ISO.*

Son normativas internacionales que proporcionan un nivel de desempeño del funcionamiento de Estufas Mejoradas de Leña.

Al respecto la ISO¹¹ define estos estándares como directrices internacionales provisionales, donde se incluye eficiencia, emisiones totales, emisiones del interior del hogar, y la seguridad. El objetivo es proporcionar una terminología común y fácil de entender para los gobiernos, los donantes, los inversores y los consumidores para tomar decisiones acerca de las opciones que ofrecen estas tecnologías.

Estas directrices fueron construidas a partir de acuerdos logrados en Talleres Internacionales, que constituyen el primer paso hacia normas ISO formales.

Se basan en protocolos aceptados internacionalmente como el protocolo WBT y de nivel de Seguridad.

En el caso de nivel de rendimiento en cuanto a eficiencia energética en las estufas de leña los estándares IWA se definen en la Tabla 4.

Tabla 4. Niveles de rendimiento IWA para evaluación de eficiencia

Niveles IWA	Unidad	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Eficiencia Térmica-Alta Potencia	%	<0.15	≥0.15	≥0.25	≥0.35	≥0.45
Consumo Específico – Baja Potencia	MJ/min/L	>0.05	≤0.05	≤0.039	≤0.028	≤0.017

Fuente: ISO, Taller Internacional Sobre Estufas Limpias y Eficientes de ISO

La evaluación de seguridad también definida a través de los estándares internacionales IWA (Tabla 5).

Tabla 5. Niveles de rendimiento IWA para evaluación de seguridad

NIVEL DE SEGURIDAD	TOTAL DE PUNTOS
Nivel 0	S < 45
Nivel 1	45 ≤ S < 75
Nivel 2	75 ≤ S < 88
Nivel 3	88 ≤ S < 95
Nivel 4	S ≥ 95

Fuente: ISO, Taller Internacional Sobre Estufas Limpias y Eficientes de ISO

¹¹ ISO. International Workshop on Clean and Efficient Cookstoves. En: TALLER INTERNACIONAL SOBRE ESTUFAS LIMPIAS Y EFICIENTES DE ISO. (2:2012:La Haya). Actas Taller Internacional Sobre Estufas Limpias y Eficientes de ISO. Países Bajos: La Haya, 2012.

3.3 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Para la generación de energía eléctrica se utiliza la energía térmica aplicando los fundamentos y tecnologías de la Termoelectricidad.

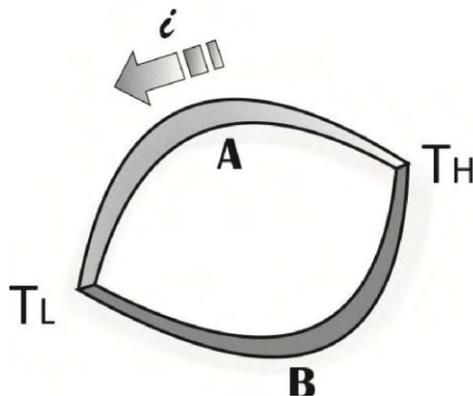
3.3.1 Fundamentos de la Termoelectricidad

En la primera mitad del siglo XIX se descubrieron por primera vez los fenómenos llamados termoeléctricos, en 1823 Thomas Johan Seebeck mostró que una aguja imantada cerca a la juntura de dos metales experimentaba movimiento, si uno de los extremos de los metales era calentado, por su parte en 1823 Jean Peltier observó que al hacer pasar corriente eléctrica a través de la juntura de dos materiales, generaba un cambio de temperatura en las vecindades de la juntura, ninguno de los dos pudo explicar de forma correcta porque se producían dichos fenómenos. Años más tarde con el nacimiento de la termodinámica y las investigaciones en todas las formas de conversión de la energía se retoman los estudios sobre la termoelectricidad se descubre otro fenómeno termoeléctrico llamado Efecto Thomson el cual presenta las características de los dos anteriores fenómenos descritos.

3.3.1.1 Efecto Seebeck

El efecto Seebeck es el principio de funcionamiento de las termocuplas, este efecto es el resultado de la conversión de energía térmica en energía eléctrica, en donde gracias a un gradiente de temperatura, se genera una fuerza electromotriz, cuando se tiene un circuito térmico de dos metales diferentes, como se disponen en la Figura 3, estos metales tiene características semiconductoras.

Figura 3. Esquema del efecto Seebeck. Circuito térmico compuesto de dos metales A y B sometidos a un gradiente de temperatura



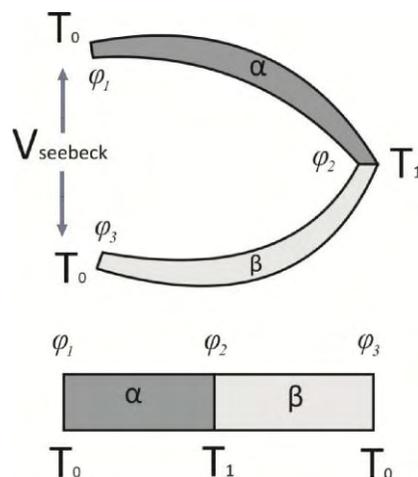
Fuente: MÚNERA⁹.

Múnera¹² realiza un desarrollo matemático indicado en la Ecuación (1) que explica que al existir una variación de temperatura (dT) a lo largo de un conductor, el potencial eléctrico ($d\varphi$) cambia linealmente con la temperatura. El término $\varepsilon(T)$ es el coeficiente Seebeck que se caracteriza por ser no lineal en función de la temperatura, este depende de la temperatura de operación, material y estructura molecular de los conductores.

$$d\varphi = \varepsilon(T)dT \quad (1)$$

Consideremos la unión de dos conductores en los cuales existe una variación de temperatura, como la que se muestra en el circuito de la Figura 4. Donde φ_0 , φ_1 , φ_2 , y φ_3 , son los valores de potencial eléctrico a lo largo del circuito.

Figura 4. Unión de dos conductores α y β , los extremos de ambos metales se mantienen a una diferencia de temperatura (T_0 , T_1), lo cual genera un gradiente de potencial (φ_1 , φ_3)



Fuente: MÚNERA⁹.

Con el propósito de calcular el potencial generado, se integra la Ecuación (1) y se obtiene la Ecuación (2)

$$\int_1^3 d\varphi = \int_1^3 \varepsilon(T)dT \quad (2)$$

¹² MÚNERA CANO, Andres Felipe. Desarrollo de un modelo matemático fenomenológico que permita simular el comportamiento de sistemas termoelectricos. Medellin, 2012, p36. Tesis de Grado (Magister en Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Facultad de Minas. Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad Nacional: <<http://www.bdigital.unal.edu.co>>

Como el camino de integración entre 1 y 3, se compone de dos materiales, podemos separar la integral como:

$$\varphi_3 - \varphi_1 = \int_{T_0}^{T_1} \varepsilon_\alpha(T) dT + \int_{T_1}^{T_0} \varepsilon_\beta(T) dT \quad (3)$$

$$\varphi_3 - \varphi_1 = \int_{T_0}^{T_1} \varepsilon_\alpha(T) dT - \int_{T_0}^{T_1} \varepsilon_\beta(T) dT \quad (4)$$

$$\varphi_3 - \varphi_1 = \int_{T_0}^{T_1} (\varepsilon_\alpha(T) - \varepsilon_\beta(T)) dT \quad (5)$$

Para solucionar la Ecuación (5) se sabe que los coeficientes Seebeck de los dos materiales dependen de la temperatura de operación, entonces se estima la solución con coeficientes constantes en un rango de operación específico que se define experimentalmente obteniendo la ecuación (6).

$$\varphi_3 - \varphi_1 = (\varepsilon_\alpha(T) - \varepsilon_\beta(T)) (T_1 - T_0) \quad (6)$$

Teniendo en cuenta que el voltaje generado está dado por la Ecuación (7) y el coeficiente Seebeck por la Ecuación (8) se concluye la Ecuación (9) que es la ecuación general de generación por efecto termoeléctrico.

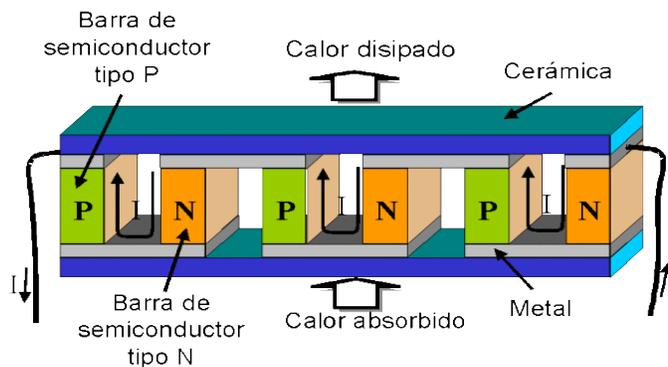
$$\varphi_3 - \varphi_1 = V \quad (7)$$

$$(\varepsilon_\alpha(T) - \varepsilon_\beta(T)) = \varepsilon \quad (8)$$

$$V = \varepsilon \Delta T \quad (9)$$

Los sistemas de generadores termoeléctricos son diseñados en módulos termoeléctricos (como se conocen comercialmente en la actualidad), los cuales constan de un conjunto de semiconductores tipo P y N, dispuestos consecutivamente y ensanduchados por dos placas térmicamente aisladas pero eléctricamente conectadas (Figura 5). Actualmente, los materiales semiconductores que presentan mejor rendimientos a condiciones ambiente, son los construidos a partir de aleaciones de bismuto y telurio.

Figura 5. Estructura interna de un generador termoeléctrico



Fuente: Termoelectricidad. Universidad politécnica de Catalunya.

3.3.2 Dispositivo de conversión de energía térmica a eléctrica.

El Explorer®¹³ (Figura 6) hace parte de los dispositivos PowerSpot® caracterizados por ser generadores eléctricos portátiles de baja potencia que funcionan con una fuente de energía térmica.

El Explorer® es un aparato muy robusto que puede generar una potencia eléctrica de hasta 30W según especificaciones de fábrica. Este dispositivo se caracteriza porque es portable y de fácil uso en lugares que tengan difícil acceso a la energía eléctrica por la red convencional.

Figura 6. Dispositivo Explorer®¹¹

¹³ POWERSPOT. Manual de usuario Explorer. España: Powerspot, 2010.



El dispositivo Explorer® se basa en la generación termoeléctrica cuyo principio es que la diferencia de temperatura entre dos placas inferior (Placa 1) y superior (Placa 0) (

Figura 77) genera una corriente eléctrica; este proceso ocurre cuando se calienta la placa inferior con cualquier tipo de llama y se refrigera la placa superior. La variación en la potencia generada depende del tipo de llama y su intensidad.

Figura 7. Placas del Dispositivo Explorer®



Para su funcionamiento requiere de un suministro constante de calor (ya sea por medio de la combustión de gas, queroseno, alcohol, madera, estiércol seco, etc...) y de una sustancia refrigeradora, que para efectos del proyecto será agua.

4. METODOLOGÍA

En el desarrollo de la presente investigación y por medio del Proyecto ALTERNAR se participa en la aplicación de encuestas en zona rural del Municipio de Mosquera y del Municipio de Tumaco en la Costa Pacífica Nariñense que se lleva a cabo a finales del año 2014, la información de estas encuestas permiten la caracterización del consumo de energía eléctrica y hábitos de cocción de las poblaciones encuestadas. Además, esta visita de campo propicia el desarrollo de 5 pruebas WBT en fogones de leña tradicionales de esta región.

Con respecto a la caracterización de la biomasa utilizada para generar energía, se aplican análisis de laboratorio físico-químicos a muestras de madera que se utilizan como combustible para labores de cocción, igualmente, analiza el efecto energético y las consecuencias sociales que generaría incluir el proceso de peletización como forma apropiada de utilizar el recurso biomásico.

Para abordar el modelamiento del sistema de generación se divide dicho sistema en dos etapas: La primera se encarga de diseñar una estufa mejorada para hacer posible la combustión eficiente de leña, en esta etapa se genera energía térmica, la segunda etapa realiza el proceso de generación eléctrica a través del dispositivo Explorer® el cual se encarga de transformar una porción de la energía térmica en energía eléctrica.

Para diseñar la estufa y que esta se adecue a las necesidades y hábitos de cocción de cierta población, se realiza una metodología que incluye la evaluación del desempeño energético y el nivel de seguridad de 3 modelos de estufas mejoradas comercializadas en Colombia y 2 modelos de fogones tradicionales de leña (con fines comparativos), esta evaluación se desarrolla a partir de protocolos internacionales desarrollados en talleres de ISO (protocolo WBT y de Seguridad), una vez se obtiene los resultados se escoge el diseño que mejor desempeño energético presenta, además se escogen características adicionales sobresalientes con el fin de incorporarlas en el diseño y mejorar el funcionamiento de la estufa, además, este diseño tiene en cuenta los resultados de las encuestas con respecto a las costumbres de cocción donde se identifican los requerimientos funcionales que se adecuan al prototipo final, finalmente y teniendo en cuenta esta experiencia de diseño, se plantea una metodología general que pueda ser aplicada en distintos territorios de nuestra geografía.

Para el estudio y modelamiento de la segunda etapa, la generación eléctrica, se realizan pruebas de funcionamiento al dispositivo Explorer® para obtener el modelo matemático basado en los principios del fenómeno termoeléctrico, en ellas se analiza el comportamiento del voltaje generado en función de la diferencia de temperatura en las placas del dispositivo, esto se realiza con una fuente de calor constante a varios niveles de temperatura.

A partir del modelo matemático se procede a implementar el sistema en condiciones reales estimando la capacidad de generación de energía eléctrica, para ello se analiza la carga de una batería teniendo en cuenta el tiempo requerido para todas las labores de cocción, con este resultado se procede a analizar la eficiencia térmica y eléctrica del sistema.

Por último se realiza un análisis de los datos proporcionados por las encuestas aplicadas, caracterizando el consumo energético de la población por medio de una curva, la cual se compara con la energía generada por el sistema propuesto.

5. DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO BIOMÁSICO.

En la salida de campo se realizan 5 pruebas WBT a fogones tradicionales en zona rural del Municipio de Mosquera, en las cuales se toman muestras del combustible utilizado para cocción, estas muestras se someten a análisis físico-químicos en laboratorio con el fin de obtener sus características, igualmente, se realizan los mismos análisis a una muestra de madera utilizada en pruebas realizadas en la ciudad de Pasto.

Se estudian resultados de análisis aplicados a muestras de aserrín peletizadas antes y después del procedimiento, para concluir sobre la viabilidad de utilizar pelets como combustible adecuado para cocción y generación de energía.

5.2 MODELAMIENTO DE LAS ETAPAS DEL SISTEMA

Como se mencionó anteriormente el sistema está diseñado en dos etapas: La primera de generación de energía térmica y la segunda etapa generación de energía eléctrica. En primer lugar se utilizan instrumentos para realizar pruebas de funcionamiento de los dispositivos que se encargan de generar cada tipo de energía, a continuación se describen los instrumentos utilizados y el desarrollo del diseño de las etapas del sistema.

5.2.1 Instrumentación para pruebas

A continuación se detallan los equipos utilizados:

NI USB-TC01®: Dispositivo de National Instruments® que consta de 1 canal para el sensado y registro de temperatura, esta adquisición se realiza a través de software Labview®

NI 9213®: Módulo de National Instruments® que permite la entrada de 16 termopares juntos, acoplado con el chasis **NI cDAQ 9171** que permite la adquisición de estas señales a través de software Labview®.

NI MyDaq®: Es un dispositivo de adquisición de datos (DAQ) de National Instruments®, incluye dos entradas analógicas y dos salidas analógicas a 200 kS/s y 16 bits, permitiendo aplicaciones como muestrear una señal de audio; posee ocho entradas digitales y líneas de salida.

Sensor de Corriente GY-712 (5 A): Sensor de efecto hall, mide corriente AC y DC, el rango de operación es ± 5 A con una sensibilidad de 185 mV/A.

Cámara infrarroja (Fluke® serie Ti 400): Es un dispositivo que permite captar imágenes térmicas, distinguiendo a través de diferentes colores las temperaturas de los objetos.

Sensores de temperatura: Se utiliza termocuplas tipo J de 9 cm x 1.5 cm, especiales para sumergir en líquidos y termocuplas tipo K para ambiente.

Medidor de humedad de la madera: Este dispositivo muestra instantáneamente el porcentaje de humedad que tiene la madera

5.2.2 ETAPA 1: Generación de energía térmica

La generación de energía térmica se propone con el diseño de un modelo de Estufa de Leña para cocción, para lograr el diseño se aplica la siguiente metodología.

5.2.2.1 Metodología de Diseño del prototipo.

A partir de la evaluación de 6 modelos de estufas de leña se realiza el proceso de diseño, el cual se hace a través de tres fases:

PRIMERA FASE: Se estudia y selecciona los parámetros físicos de cada estufa evaluada que influyen en el desempeño energético, posteriormente se organiza esta información de manera que pueda facilitar su comparación.

SEGUNDA FASE: Se selecciona el modelo con el mejor desempeño energético, determinando parámetros físicos y funcionales que se incorporan en el diseño final, esto se logra de la siguiente manera:

Primero se analizan los resultados de los protocolos WBT y Seguridad mostrando algunas características de funcionamiento asociada al registro de temperatura en algunas áreas de la estufa. Esta información se organiza en tres tablas: el primero, hace la compilación de las temperaturas alcanzadas en el horno, en las ollas secundarias, en el recipiente de agua y la temperatura registrada después del protocolo al enfriarse la estufa, el segundo detalla los resultados del protocolo WBT y el tercero organiza las observaciones importantes de la aplicación del protocolo de seguridad.

Con la información anterior, se compara el desempeño de los modelos mejorados con los modelos de Fogones tradicionales evaluados.

A partir de las tablas anteriores se selecciona el modelo de estufa que mejor desempeño energético obtiene, y a partir de los análisis adicionales se

seleccionan los parámetros físicos, de funcionamiento y de seguridad que se incluyen en el diseño final.

TERCERA FASE: Se ajusta el diseño, teniendo en cuenta los requerimientos de los usuarios, el diseño presentado debe responder a las necesidades extraídas del análisis de las encuestas, se aplican 61 encuestas en Mosquera y 18 en Vaquería-Tumaco, estas poblaciones brindan características típicas de la Costa Pacífica, por lo tanto el análisis de los resultados ofrecen un panorama cultural común en toda esta región, debido a esto, se toma a la Costa Pacífica Nariñense como población para la cual la estufa de leña es diseñada.

METODOLOGÍA DE DISEÑO: Se crea una metodología de diseño para la construcción de modelos de estufas mejoradas basada en la experiencia obtenida con el desarrollo del presente trabajo de investigación, que contempla la participación de los usuarios finales de este tipo de tecnología para la cocción.

5.2.2.2 Modelos evaluados con el protocolo WBT y Nivel de Seguridad.

Figura 8. Fogón tradicional costa pacífica



Figura 9. Fogón tradicional tres piedras



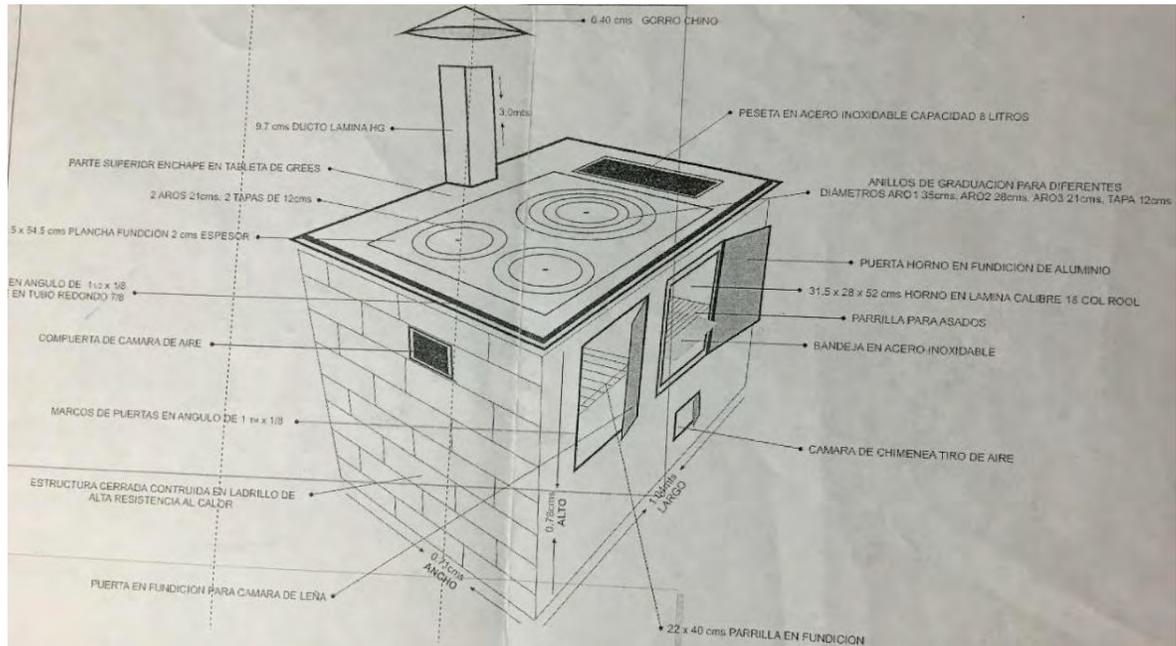
Figura 10. Estufa mejorada. Modelo sabana (diseño mejorado)



Figura 11. Estufa mejorada-modelo móvil (diseño mejorado)



Figura 12. Estructura de estufa mejorada-modelo fija (diseño mejorado)



A los 5 modelos vistos se aplica el protocolo WBT con las siguientes especificaciones:

5.2.2.3 Aplicación del Protocolo WBT

Información adicional de los modelos evaluados

En la salida de campo a la Costa Pacífica, se realiza la evaluación de 6 fogones tradicionales en el Municipio de Mosquera. Debido a la falta de instrumentación, la prueba se realiza únicamente en su primera fase, la emisión de resultados se formaliza con el promedio de datos de eficiencia de los 6 fogones.

La evaluación de la estufa modelo Sabana surge como iniciativa de la empresa fabricante, se desarrolla en Julio de 2015, en ella se realizan 3 pruebas donde se realiza en procedimiento en sus tres fases además del monitoreo de la temperatura del horno.

Para las estufas Móvil y Fija, se realiza una evaluación completa desarrollando 4 pruebas para cada una para disminuir el error en los datos, adicionalmente, se realiza un seguimiento de las temperaturas durante 3 a 4 horas después de finalizar el protocolo WBT, esto con la finalidad de analizar la capacidad de retención de calor y monitoreo de la temperatura del agua en las ollas.

El fogón tradicional de 3 piedras se evalúa a través de una prueba WBT, adquiriendo además la temperatura que alcanza la madera en combustión.

Disposición de Sensores en las Estufas.

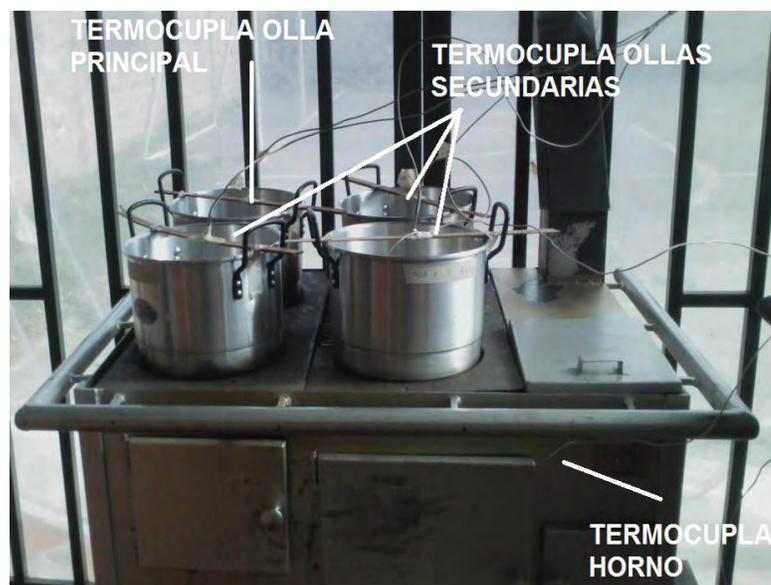
A continuación se indica, la disposición de los sensores de acuerdo al tipo de estufa.

- *Fogón Tradicional Costa Pacífica:* Se utiliza la tarjeta de adquisición NI USB-TC01 con termocupla tipo J para registrar la temperatura del agua de la olla con la cual se realizó el protocolo.

La adquisición de temperatura para las siguientes estufas se realiza a través de NI 9213 y NI cDAQ 9171

- *Fogón 3 Piedras:* Se utilizan una termocupla tipo J para el agua y 2 termocuplas tipo K en la madera en combustión.
- *Estufa sabana:* se utilizan 4 termocuplas tipo J, 1 para la olla principal y 3 para las ollas secundarias; 1 termocupla tipo K, ubicada en el horno (Figura 13).

Figura 13. Termocuplas estufa sabana



- *Estufa Móvil:* se utilizan 2 termocuplas tipo J, para la olla principal y secundaria (Figura 14), 5 termocuplas tipo K, una para la cámara de combustión, una debajo de la secundaria con el fin de monitorear y obtener una temperatura aproximada a la cual se exponen las ollas (Figura 15). 2

termocuplas ubicadas dentro del horno en diferentes posiciones (Figura 16.Derecha) y la última ubicada en la trampa de cenizas de la chimenea (Figura 16. Izquierda).

Figura 14. Termocuplas tipo J en las ollas-estufa móvil

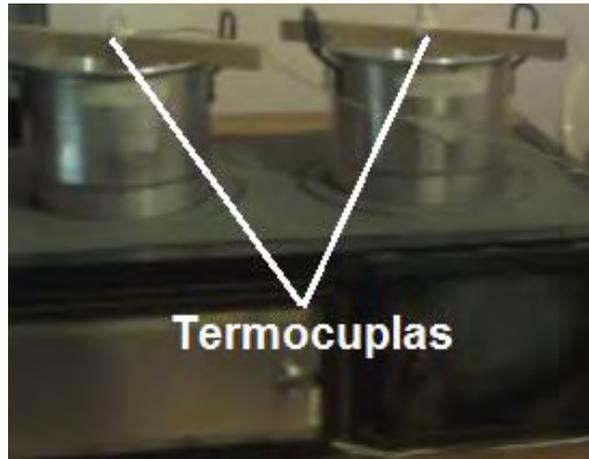
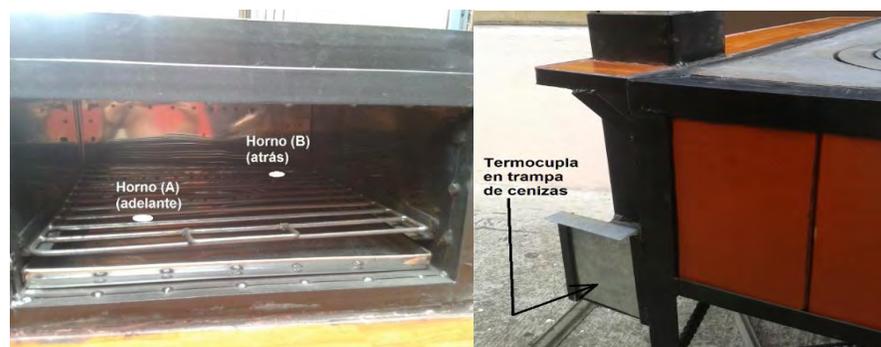


Figura 15. Sensores ubicados en cámara de combustión y debajo de olla secundaria-estufa móvil



Figura 16. Termocupla tipo K. horno y trampa de ceniza-estufa móvil



- *Estufa Fija*: 4 termocuplas tipo J, para la olla principal (olla 1), la Olla 2, la Olla 3 y la cuarta termocupla para el recipiente metálico (Figura 17); 4 termocuplas tipo K, 2 dentro de la cámara de combustión (Figura 18), 2 para registrar la temperatura debajo de la Olla 3 y Olla 2 (Figura 19), y 1 para el área debajo del recipiente para agua en la trampa de cenizas.

Figura 17. Termocuplas tipo J. ollas-estufa fija



Figura 18. Termocuplas tipo K. cámara de combustión y horno-estufa fija



Figura 19. Termocuplas tipo K. debajo de ollas secundarias y trampa de cenizas-estufa fija



Lugar de aplicación de pruebas:

- *Fogón tradicional Costa Pacífica:* El protocolo se realiza en el lugar de disposición dentro de las viviendas de zonas rurales del Municipio de Mosquera. Se trata de habitaciones con paredes semicubiertas que tienen buena ventilación.
- *Estufa Sabana:* En este caso se realiza en un ambiente con paredes semicubiertas.
- *Estufa Móvil:* La aplicación del protocolo de eficiencia y seguridad se realiza en un cuarto con un área de 3m x 4m y de altura 2.1 m, en el cual la entrada de aire se regula por medio de la puerta.
- *Estufa Fija:* En este caso, la evaluación de eficiencia y seguridad es desarrollada en un ambiente semicerrado. La totalidad del techo y un 80% de su perímetro están cubiertos.
- *Fogón de tres piedras:* La evaluación del fogón fue realizada en el mismo espacio donde se evalúa la estufa fija.

Combustible

Para el caso de los fogones tradicionales de la Costa pacífica se utiliza como combustible leña de mangle (utilizada habitualmente).

En las pruebas realizadas en la Ciudad de Pasto para las demás estufas, se utiliza como combustible madera de Achapo (Cedrelinga Catenaeformis), de dimensiones 1.5 cm x 1.5 cm, su longitud fue 35 cm, esta longitud se establece por las dimensiones de la cámara de combustión de las estufas.

Se tomaron 4 muestras de leña de Mangle y una muestra de Achapo, los resultados de estos análisis se utilizan en el cálculo de parámetros de desempeño.

Ollas utilizadas en las pruebas

Las pruebas realizadas en la ciudad de Pasto fueron hechas con ollas de aluminio de igual capacidad, que permiten realizar la prueba con 5 litros de agua. Para cada prueba se retiran de las hornillas los aros correspondientes al tamaño de las ollas, en el caso del fogón de tres piedras se ubica la olla directamente sobre el fuego para garantizar una mejor transferencia de calor a la olla.

En el caso de las pruebas realizadas en el Municipio de Mosquera se utilizó una olla con capacidad para albergar 2.5 litros de agua.

5.2.2.4 Prueba de Nivel de Seguridad.

Esta prueba se aplica a los modelos de estufas Fija y Móvil. En cuanto al análisis de temperaturas de las superficies se utilizan imágenes termográficas en la Fase II, donde se registra las máximas temperaturas en la superficie de la estufa, dichas temperaturas se comparan con la temperatura ambiente promedio en esta fase que es de 24,58°C.

5.2.3 ETAPA 2. Generación Eléctrica

Teniendo en cuenta la ecuación 9 (pag 33) se obtiene el parámetro ε realizando pruebas de funcionamiento en el dispositivo en las cuales se registra la temperatura de las dos placas correspondientes a T_1 (superficie de mayor temperatura) y T_0 (superficie de menor temperatura), la temperatura de la fuente de calor y del agua contenida dentro del dispositivo, así mismo, se registra de forma simultánea el voltaje generado V .

Una vez obtenidos estos datos se analiza el Voltaje en función de la diferencia de temperatura ΔT entre las dos placas, y se verifica los rangos de operación en donde el coeficiente Seebeck ε se comporta de forma constante, de esta manera se construye la relación matemática de generación termoeléctrica del dispositivo estudiado.

Se muestran cuatro pruebas, dos a temperatura de fuente media (alrededor de 400°C) y dos a temperaturas de fuente alta (alrededor de 600°C), estas pruebas son realizadas sin carga y con una fuente de calor constante, con los datos registrados se obtiene la relación V vs ΔT a la cual se le traza su correspondiente regresión lineal con el fin de obtener el valor del coeficiente que corresponde al promedio de todas las pruebas.

La obtención de los registros se realiza de la siguiente manera:

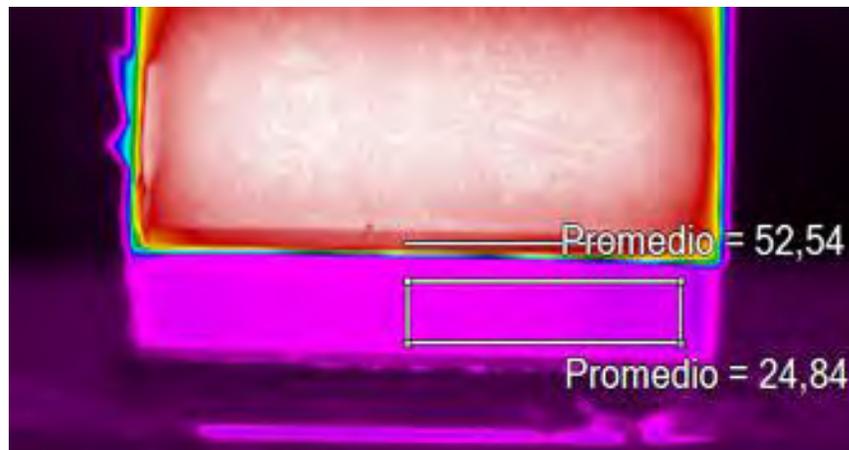
Se utiliza una estufa que funciona con energía eléctrica como fuente de calor, se escoge esta fuente de calor debido a que transfiere de forma constante la temperatura y puede alcanzar temperaturas similares a las generadas en la combustión de leña en una estufa, adicionalmente, el calor se distribuye de mejor manera que en un mechero o una estufa a gas.

La temperatura de las placas en el dispositivo Explorer® que corresponden a T_1 y T_0 se adquieren por medio de la Cámara termográfica tomando fotografías cada 10 segundos. La cámara se ubica frente al dispositivo de tal manera que alcance a diferenciar las dos placas, por medio del software SmartView® propio de la cámara, se exportan en un documento de texto (.txt) 240 x 320 datos que corresponden a la temperatura en cada pixel (se crea tantos documentos como

fotografías se hayan tomado), estos documentos se importan y analizan por medio de Matlab®, el cual utiliza comandos para procesar un determinado número de datos que corresponden a las temperaturas del área de la placa inferior y superior (las temperaturas de cada área se promedian para obtener las temperaturas T_1 y T_0 por cada fotografía), estos datos a su vez se agrupan en dos vectores columna de tamaño $(n \times 1)$ donde n es el número de fotografías tomada durante la prueba.

La selección del área correspondiente a cada placa se realiza por medio del programa SmartView®, en el cual se escogen las regiones correspondientes a las dos placas como muestra la Figura 20 y se obtiene su ubicación en la matriz de temperaturas dada por cada pixel de la fotografía.

Figura 20. Imagen termografía de la parte inferior del Explorer®



La temperatura del agua y de la fuente de calor, se sensa mediante las termocuplas tipo J y tipo K, el registro se hace a través de la tarjeta de adquisición de temperatura (NI 9213 y NI cDAQ 9171)

Figura 21. Fotografía del montaje para el registro de temperatura y voltaje



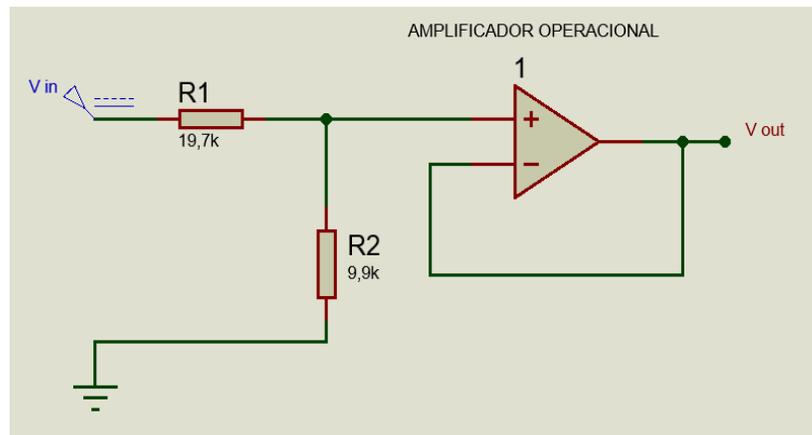
La adquisición y registro de Voltaje se realiza por medio de la tarjeta NI My DAQ cuyo voltaje de entrada analógico está restringido a ± 10 V y teniendo en cuenta que el voltaje máximo obtenido a través del Explorer® es de 25 V según especificaciones de fábrica, se debe utilizar un divisor de voltaje de tal manera que no se sobrepase el límite de voltios admitidos por la tarjeta de adquisición. Se diseña un divisor de voltaje (Ecuación (10)) de modo que el voltaje de salida sea la tercera parte del voltaje de entrada V_{in} (como se indica en la Ecuación (11)), para evitar pérdidas se implementa un amplificador seguidor como se muestra en la Figura 22.

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (10)$$

V_{in} Voltaje generado por el Explorer®

V_{out} Voltaje que registra la tarjeta, y sale del divisor del voltaje

Figura 22. Divisor de voltaje



Al reemplazar los valores experimentales de las resistencias en la Ecuación (10), se obtiene:

$$V_{out} = V_{in} \frac{9,9 \text{ K}\Omega}{29,6 \text{ K}\Omega} \approx V_{in} \frac{1}{3} \quad (11)$$

El registro de corriente se hace con el sensor GY-712 (5A), el cual requiere de una fuente de alimentación de 5V. La señal registrada es un voltaje proporcional a la corriente medida, con una sensibilidad de 185 mV/A y responde a la Ecuación (12).

$$V_{salida}[V] = 0.185 \frac{V}{A} * I_{sensada}[A] + 2.5 V \quad (12)$$

Para el registro simultáneo de los datos de Temperatura, Voltaje y Corriente se utiliza una sola interfaz en Labview® Figura 23 con un muestreo de 10 s que se sincroniza con el muestreo de la cámara termográfica.

Figura 23. Diagrama de bloque para la adquisición de temperatura, voltaje y corriente

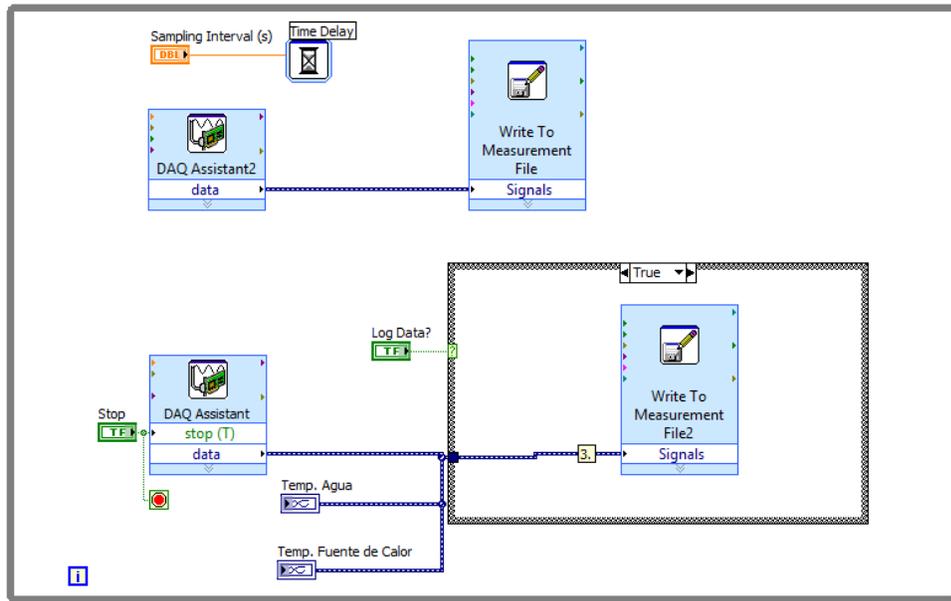
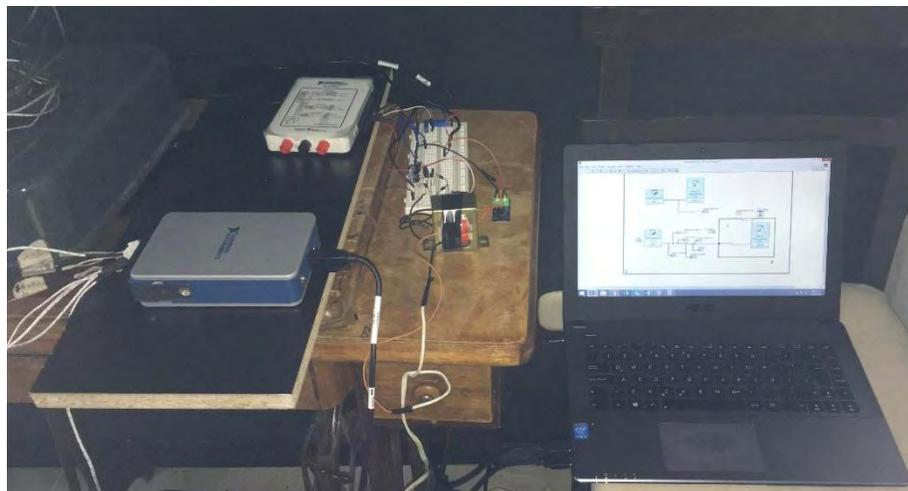


Figura 24. Fotografía de la adquisición y las tarjetas National Instruments



5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EN CONDICIONES REALES.

Utilizando los mismos instrumentos y métodos de adquisición de las variables anteriores se realiza las pruebas en campo con el sistema completo: Etapa 1 (Estufa Fija) y Etapa 2 (generador Explorer), pruebas que validan la expresión matemática encontrada y muestran el funcionamiento real del sistema para determinar la capacidad de generación y su Eficiencia Térmica y Eléctrica.

Debido a que el modelo de estufa propuesto no está construido, el sistema generador de energía se prueba en el modelo Estufa Fija y se usa como combustible el Achapo.

Se ha caracterizado el sistema sin una carga, por tal razón se procede a dimensionar la capacidad del sistema en términos de energía eléctrica analizando las curvas de corriente y voltaje de un bombillo que se conecta a la salida del Explorer® con una fuente constante (Estufa de energía eléctrica) y la fuente real (Estufa de leña)

Para estimar la capacidad del sistema se carga una batería con el voltaje generado por el Explorer®, para ello se utilizan dos baterías tipo A con un voltaje nominal de 2.4 V y corriente de 550 mAh, en el proceso de carga se utiliza un diodo seguido de un regulador de voltaje de 5 V a la salida del Explorer, de esta forma se regula el voltaje hasta ese valor como protección de las baterías. Se analiza las curvas de carga en Voltaje y Corriente y el tiempo que toma cargar la batería, con esa información y teniendo en cuenta el tiempo de cocción habitual en la zona de la Costa Pacífica, se estima la cantidad de energía que puede generar el dispositivo

La eficiencia térmica y eléctrica del sistema se determina, teniendo en cuenta que la energía térmica se define como la porción de energía producida por el combustible dentro de la estufa utilizada para calentar, evaporar agua y generar energía eléctrica como se indica en la Ecuación (13):

$$n_t = \frac{\text{Energía calentar agua} + \text{Energía evaporar agua} + \text{Energía Explorer}}{\text{Energía combustible (base seca)}} \quad (13)$$

La energía producida por el combustible (Ecuación 14) es igual a la masa de combustible en base seca por su poder calorífico inferior (PCI).

$$\text{Energía combustible (base seca)} = C_{bs} [g] * PCI \quad (14)$$

$$C_{bs} = m_{seco} - m_{evap\ agua} - m_{carbón} \quad (15)$$

La masa del combustible seco (m_{seco}) es igual a la masa del combustible total utilizada (combustible húmedo) menos su porcentaje de humedad (Ecuación 16)

$$m_{seco} = m_{hum}(1 - \%_{hum}) \quad (16)$$

El combustible utilizado para evaporar su humedad ($m_{evap\ agua}$) se lo obtiene con la energía que necesita para remover la humedad ($E_{evap\ hum}$) que es igual a la masa de agua en el combustible multiplicado por el cambio en la entalpía específica del agua (Ecuación 17).

$$E_{evap\ hum} = m_{agua\ comb}(C_e(T_{ebullición} - T_{comb\ inicial}) + 2257) \quad (17)$$

Donde:

$$C_e(\text{calor específico agua}) = 4,186 \left[\frac{J}{g * ^\circ C} \right] \quad (18)$$

$$\text{Entalpia de vaporización} = 2257 \left[\frac{J}{g} \right] \quad (19)$$

Y la temperatura del combustible inicial es igual a la temperatura ambiente:

$$T_{comb\ inicial} = T_a \quad (20)$$

Entonces la energía para evaporar la humedad de la madera se expresa como:.

$$E_{evap\ hum} = (m_{comb\ hum} * \%_{hum})(4,186(T_{ebullición} - T_a) + 2257) \quad (21)$$

Esta cantidad de energía es dividida por la energía contenida en el combustible para determinar la masa del combustible requerido para remover la humedad en el combustible (Ecuación 22)

$$m_{evap\ agua} = \frac{E_{evap\ hum}}{PCI} = \frac{(m_{comb\ hum} * \%_{hum})(4,186(T_{ebullición} - T_a) + 2257)}{PCI} \quad (22)$$

La energía contenida en el carbón remanente (Ecuación 23 $E_{carbón}$) es la masa del carbón multiplicada por la energía del carbón

$$E_{carbón} = m_{carbón} * PCI_{carbón} \quad (23)$$

Esta cantidad es dividida por la energía del combustible para determinar la cantidad equivalente de combustible remanente en forma de carbón y se obtiene:

$$m_{carbón} = \frac{E_{carbón}}{PCI} = \frac{m_{carbón} * PCI_{carbón}}{PCI} \quad (24)$$

Ahora se puede calcular la masa de combustible seco reemplazando en Ecuación (16).

$$C_{bs} = m_{hum}(1 - \%_{hum}) - \frac{(m_{comb\ hum} * \%_{hum})(4,186(T_{ebullición} - T_a) + 2257)}{PCI} - \frac{m_{carbón} * PCI_{carbón}}{PCI} \quad (25)$$

Para seguir con el cálculo de la eficiencia se tiene que la energía gastada en calentar agua (Ecuación 26) es igual a la masa de agua calentada por el calor específico del agua por su diferencia de temperatura.

$$Energía\ agua = m_{agua\ calentada}[g] * C_e * T[°C] \quad (26)$$

La energía gastada en evaporar el agua (Ecuación 27) es igual a la masa de agua evaporada multiplicada por la entalpía de vaporización del agua que es la cantidad de energía necesaria para que una unidad de masa que se encuentra en equilibrio pase del estado líquido al gaseoso.

$$Energía\ evaporar\ agua = m_{agua\ evaporada}[g] * entalpia\ de\ vaporización \quad (27)$$

La energía producida por el Explorer® se estima experimentalmente como:

$$Energía\ Explorer = energía\ eléctrica [Julios] \quad (28)$$

Reemplazando en la Ecuación 13 (pág 52) se obtiene:

$$n_t = \frac{m_a\ calen C_e \Delta T + m_a\ evap * entalpia\ de\ vaporización + energía\ eléctrica}{C_{bs} * PCI} \quad (29)$$

$$n_t = \frac{4,186 * m_a\ calen * \Delta T + 2260 * m_a\ evap + energía\ eléctrica}{C_{bs} * PCI} \quad (30)$$

La eficiencia en cuanto a generación de energía eléctrica corresponde al mismo planteamiento anterior evaluado solo para la energía generada por el Explorer® de la siguiente manera:

$$n_t = \frac{energía\ eléctrica}{Energía\ Entregada\ por\ el\ Combustible} = \frac{energía\ eléctrica}{C_{bs} * PCI} \quad (31)$$

Los datos necesarios para los anteriores cálculos se obtienen de analizar el comportamiento típico de los indicadores de desempeño que se tuvieron en cuenta para el diseño del prototipo de estufa, y con los datos arrojados de la estimación de energía eléctrica que genera el Explorer®.

5.4 CURVA DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE UNA VIVIENDA TÍPICA DEL PACÍFICO.

Con el fin de caracterizar el consumo de energía eléctrica en una población donde se pueda implementar el sistema propuesto, se desarrolla un análisis de los datos que se obtienen de la aplicación de las encuestas en zona rural de los Municipios de Mosquera y Tumaco donde se tuvieron en cuenta algunas consideraciones:

En Mosquera se aplican 61 encuestas de las cuales 10 se descartan debido a información insuficiente, por su parte en Vaquería-Tumaco se aplican 18 encuestas de las cuales se descartan 4 por la misma razón.

Se realiza el análisis de iluminación, refrigeración, estufas eléctricas y aparatos eléctricos (electrodomésticos).

Se realiza la cuantificación y análisis, de la cantidad de bombillos, el tipo de bombillos (incandescente, ahorrador o fluorescente), la potencia de cada tipo de bombillo y las horas de uso.

Para analizar la energía en refrigeración se analizan 13 de 51 encuestas, puesto que es en esta muestra donde se registran los dispositivos como neveras, cavas, cuartos fríos, nevecones y congeladores; los cuales se agruparan en distintas combinaciones para facilitar el análisis, cabe aclarar que la población no hace uso de nevecones, cavas ni cuartos fríos.

Se analiza el consumo en distintos electrodomésticos, a partir de las encuestas realizadas en el municipio de Mosquera, se obtienen 51 casos de estudio, de estos se utiliza la cantidad, el tipo y la potencia de los diferentes aparatos eléctricos que posee una vivienda ubicada en la localidad.

Los aparatos eléctricos que se relacionan en las encuestas son: Olla Arrocera, licuadora, sandwichera, plancha, lavadora, radio, EQ Sonido, TV Convencional, TV LCD, TV Plasma, TV Led, Teatro, DVD, Sec. Cabello, PC.

6. RESULTADOS

6.1 CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO BIOMÁSICO.

Los siguientes resultados de laboratorio permiten caracterizar física y químicamente el recurso biomásico utilizado para cocción en zona rural del municipio de Mosquera, las muestras desde la A hasta la D correspondieron a leña de Mangle, los parámetros analizados fueron: humedad, materia seca, ceniza, energía, nitrógeno, azufre y carbón orgánico y sus resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de análisis de cada muestra de Mangle – Base seca

	A	B	C	D
Humedad [g/100g]	4,59	6,1	7,74	6,04
Materia seca [g/100g]	95,41	93,9	92,26	93,96
Ceniza [g/100g]	0,45	0,54	0,97	1,14
Energía PCS [Kcal/100g]	415	429	422	409
Energía PCS [KJ/100g]	17360	17950	17660	17110
Nitrógeno [g/100g]	0,09	0,08	0,1	0,07
Azufre [g/100g]	0,092	0,03	0,03	0,03
Carbono orgánico [g/100g]	50,7	55,8	52,3	52,5

Con base en los anteriores resultados se puede inferir:

Que el valor significativamente bajo de la humedad corresponde a muestras secas del combustible, por su parte, el poder calorífico promedio de la Leña de mangle utilizada en la Costa Pacífica correspondiente a 17520 KJ/Kg, por lo anterior se puede concluir que el anterior valor del PC es considerado como máximo promedio de las muestras examinadas.

Se sabe que la leña en el momento de ser extraída fácilmente puede llegar a tener valores de humedad por encima del 20%, lo cual reduce de forma considerable su poder calorífico, si se supone una humedad del 30% base húmeda, el poder calorífico podría ser aproximadamente 4000 KJ/Kg menos que el máximo encontrado (Ver Figura 1 (pág 23)).

En el caso de las pruebas realizadas en la ciudad de Pasto con leña de Achapo, se realizaron los mismos análisis de laboratorio que a las muestras anteriores arrojando los resultados contenidos en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados análisis muestra de Achapo

Parámetros de análisis	Achapo
HUMEDAD [g/100g]	5,68
Materia seca [g/100g]	94,32
Ceniza [g/100g]	0,40
Energía PCS [Kcal/100g]	444
Energía PCS [KJ/Kg]	18580
Nitrógeno [g/100g]	0.19
Azufre [g/100g]	0,02
Carbono orgánico [g/100g]	54,6

Al igual que las muestras anteriores se encontró un valor aproximado del máximo poder calorífico que puede presentar esta muestra de Achapo con un valor de 18580 KJ/Kg.

Debido a que la zona de la Costa Pacífica tiene abundantes residuos forestales en forma de aserrín se evaluó la viabilidad de la utilización de pellets como combustible del sistema de generación, teniendo en cuenta el estudio realizado por Guerrero¹⁴ en la Tabla 8 se ubica el poder calorífico de muestras de aserrín en el Municipio de Olaya Herrera en el Departamento de Nariño especificando el PCI.

Tabla 8. Poder Calorífico Inferior para diferentes muestras de aserrín

Número de muestra aserrín	de de	PCI (Kcal/Kg)	PCI (KJ/Kg)
1		3585,60	15012,19
2		3594,60	15049,87
3		3972,60	16632,48
4		3522,60	14748,42
5		3828,60	16029,58
6		3702,60	15502,05
7		3630,60	15200,60
8		4251,60	17800,60

¹⁴ GUERRERO MONTERO, Katerine. Análisis de generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales en el municipio de Olaya Herrera en el departamento de Nariño. San Juan de Pasto, 2014, p76: Universidad de Nariño, PERS-Nariño, UPME, USAID, IPSE.

Fuente: “Análisis de generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales en el municipio de Olaya Herrera en el departamento de Nariño”

Estas muestras se sometieron al proceso de peletizado, se obtuvieron pellets de tamaños: 1.14 cm de diámetro con una altura de 2.5 cm, aplicando una presión aproximadamente de 3000 psi y briquetas de 3 cm de diámetro altura de cm resultado de aplicar una presión de 60000 psi, debido a este proceso su poder calorífico cambia (Tabla 9).

Tabla 9. Poder Calorífico Inferior

Número de muestra de aserrín	PCI (Kcal/Kg)	PCI (KJ/Kg)
1	3378,60	14145,52
2	3396,60	14220,88
3	2667,60	11168,71
4	3387,60	14183,20
5	3468,60	14522,33
6	2694,60	11281,75
7	3261,60	13655,67
8	3729,60	15615,09
9	3468,60	14522,33

Fuente: “Análisis de generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales en el municipio de Olaya Herrera en el departamento de Nariño”

No se puede concluir que al realizar el proceso de peletizado aumenta el poder calorífico del aserrín, a pesar de esto, los pelets al tener menor área transversal que los troncos normalmente utilizados en una estufa, la combustión se realiza de mejor manera debido a que los volátiles son liberados más rápido incrementando la velocidad de combustión, lo que en una estufa se refleja en la disminución de tiempo necesario para elevar la temperatura al interior de la cámara de combustión, sin embargo para la implementación de los pelets se debe tener en cuenta características socio-económicas y culturales de la población de la zona de estudio.

En la Costa Pacífica implementar la peletización de residuos forestales es una opción válida para el aprovechamiento de este recurso con fines energéticos, pero es insuficiente para aprovecharlo como combustible para la cocción, debido a que en la peletización se realizan procesos físicos al combustible tales como el secado, triturado y compactado, estas tareas implican costos y procedimientos, que en su mayoría no podrían ser asumidos por los usuarios, por ejemplo, según las encuestas realizadas el 54% de los encuestados en Mosquera manifiestan obtener la leña mediante su extracción de un terreno público lo que dificultaría el pago por un combustible que puede obtenerse de forma gratuita, así mismo los hogares no tienen espacios propicios para almacenar de forma adecuada los

pelets, por otra parte, también es inviable la adquisición de maquinaria para peletización por los costos ocasionados.

6.2 MODELAMIENTO DE LAS ETAPAS DEL SISTEMA

6.2.1 ETAPA 1: Generación de energía térmica

En esta etapa se realizó el diseño de un prototipo de estufa mejorada de leña a través de tres fases, teniendo en cuenta los resultados de la evaluación de 5 modelos de estufas de leña, por medio del protocolo WBT y de Nivel de Seguridad.

6.2.1.1 FASE I: Organización de parámetros físicos influyentes en el desempeño de cada estufa evaluada.

En la Tabla 10 se consignan los parámetros físicos más importantes del diseño de las estufas evaluadas, parámetros que se relacionan con su desempeño energético. Se tomaron aquellos parámetros útiles para el diseño final de la estufa en cuanto mejoran su funcionamiento.

Tabla 10. Parámetros Físicos de diseño de las Estufas Evaluadas

	1	2	3	4	5
	FOGÓN TRADICIONAL COSTA PACIFICA	FOGÓN TRADICIONAL 3 PIEDRAS	ESTUFA SABANA	ESTUFA FIJA CONTACTAR	ESTUFA MÓVIL CONTACTAR
MODELO	Fogón Tradicional	Fogón Tradicional	Mejorada	Mejorada	Mejorada
MATERIALES	Cuerpo de madera con base en barro y parrilla para ollas de metal.	-	Cuerpo Metálico, cámara de combustión en ladrillo para altas temperaturas, placa hornillas en metal	Cuerpo en Ladrillo, herrajes en fundición, placa de hornillas en metal	Estructura del cuerpo en ángulo de hierro forrada con plaqueta de gres y lámina galvanizada, como aislante fibra de vidrio,

					placa hornillas en metal.
Nº HORNILLAS	-	-	4	3	2
ALTURA CHIMENEA	-	-	2 metros	3 metros	3 metros
ALTURA DESDE EL PISO HASTA LA BASE DE LAS HORNILLAS	-	-	0,78 metros	0,78 metros	0,8 metros
DIMENSIONES CÁMARA DE COMBUSTIÓN	-	-	0,2 m ancho, 0,47 m largo y 0,23 m alto	Largo:0,5 m Alto: 0,37 m Ancho: 0,26 m	0,2 metros Alto 0,38 metros Largo y 0,3 Ancho
ALTURA DESDE LA REJILLA DE LA LEÑA HASTA LA BASE DE LAS OLLAS	-	-	0,23 m	0,21 m	0,2 metros
Altura debajo de las hornillas secundarias	-	-	5 cm	5 cm	5 cm
DIMENSIONES ENTRADA DE AIRE	-	-	-	13 cm x 11 cm	Rejilla
ELEMENTOS ADICIONALES	-	-	Recipiente para agua o Freidor, horno, cámara de combustión adicional para freidor.	Horno y recipiente para mantener agua caliente.	Horno.

6.2.1.2 FASE II: Selección del modelo con el mejor desempeño energético

Esto se logra a través de los resultados de las pruebas WBT, Seguridad y monitoreo de temperaturas como se muestra a continuación:

Resultados aplicación protocolo WBT

Se inicia analizando el comportamiento de las temperaturas registradas durante las 3 fases del protocolo WBT para cada estufa

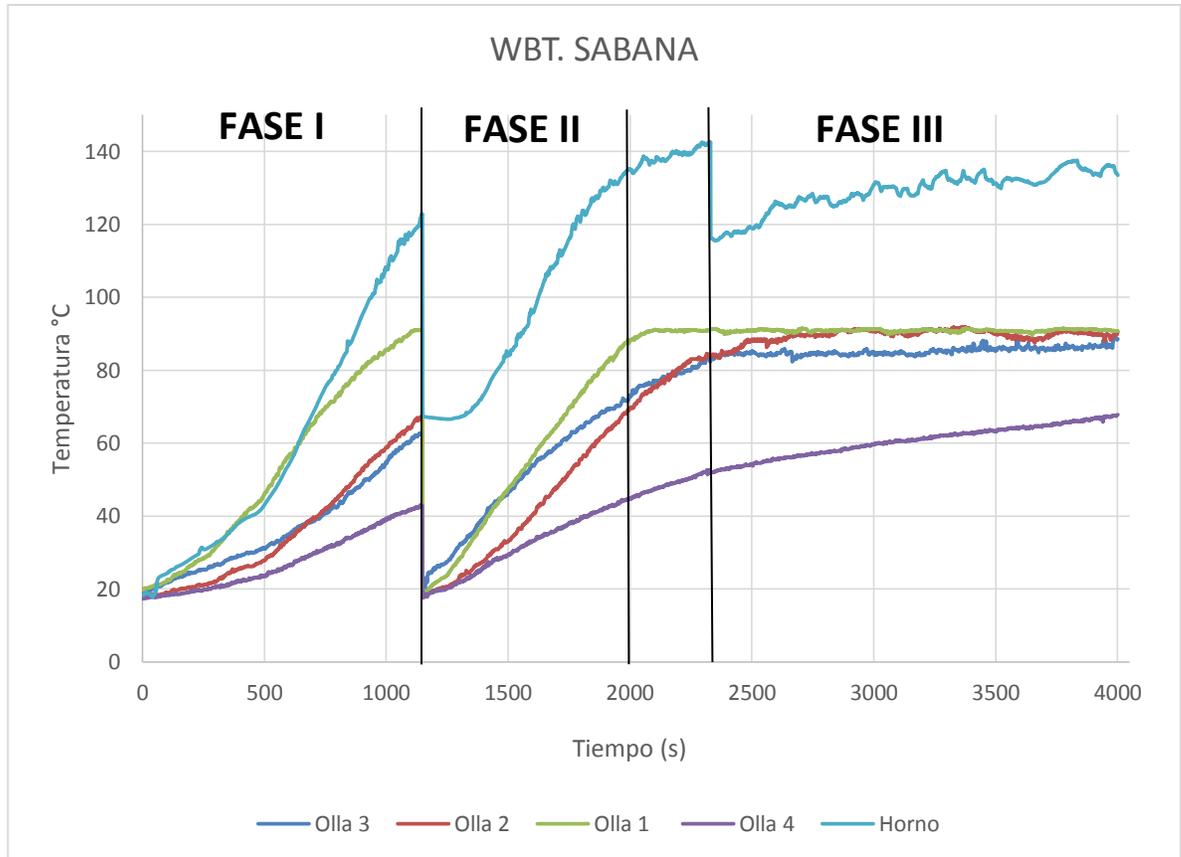
- Estufa Sabana.

La Figura 25 muestra el comportamiento de las temperaturas del agua (en cada olla) y el horno en la estufa Sabana.

La temperatura en el horno empieza a adquirir calor desde la Fase I, cuando esta fase finaliza y se retira el combustible de la cámara de combustión la temperatura en el horno se reduce, y cuando empieza la Fase II vuelve a aumentar su temperatura hasta llegar a un máximo registrado de 140°C; debido a que en la tercera fase se simula la cocción a fuego lento la potencia del fuego disminuye y por tanto la temperatura al interior del horno.

Aunque en el cambio de Fase I a Fase II el combustible se retire de la cámara de combustión, la temperatura inicial del horno para la Fase II es superior en 50°C respecto a la Fase I, gracias a los gases al interior de la estufa y el calor adquirido dentro de la misma.

Figura 25. Temperaturas durante el protocolo WBT. Estufa sabana



- Estufa Móvil.

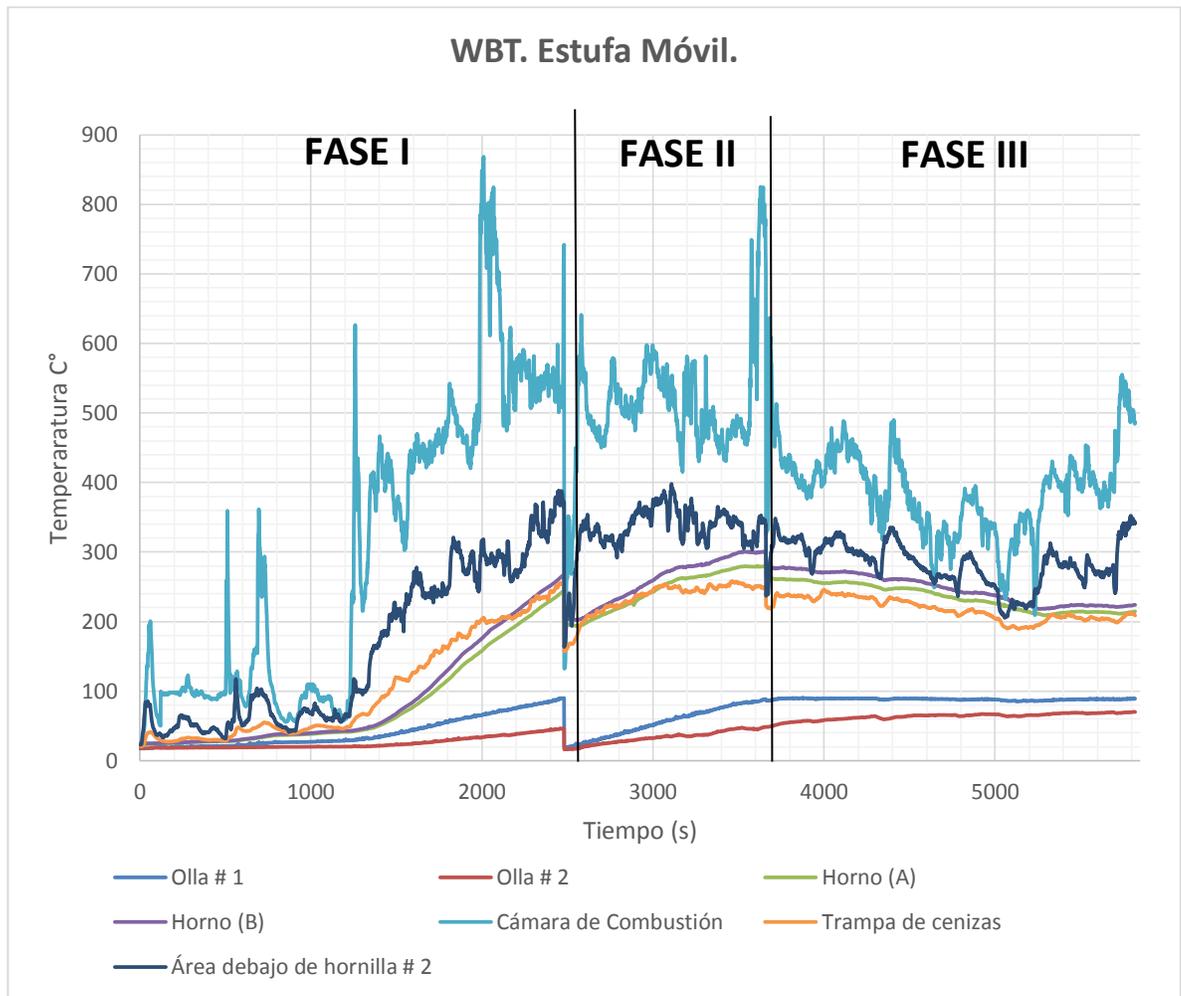
En la Figura 26 se muestra las temperaturas alcanzadas en la estufa móvil. La cámara de combustión en Alta potencia alcanza alrededor de 500°C y el área debajo de la olla secundaria registra una temperatura por debajo de los 350°C.

En Baja Potencia la cámara llega alrededor de 350°C.

Comparando las temperaturas del horno de cada estufa evaluada durante la Fase II, se evidencia que la máxima temperatura registrada fue en esta estufa, llegando a los 300°C, esto debido a que el horno queda contiguo a la cámara de combustión y se separan por medio de una lámina de metal; en los otros casos, el horno se separa de la cámara de combustión mediante ladrillos.

Los ladrillos contribuyen a aislar el calor y mantenerlo en la cámara de combustión, sin embargo impide la que dicho calor se transmita con mayor facilidad hacia el horno y eleve la temperatura del mismo.

Figura 26. Temperaturas durante el protocolo WBT. Estufa móvil

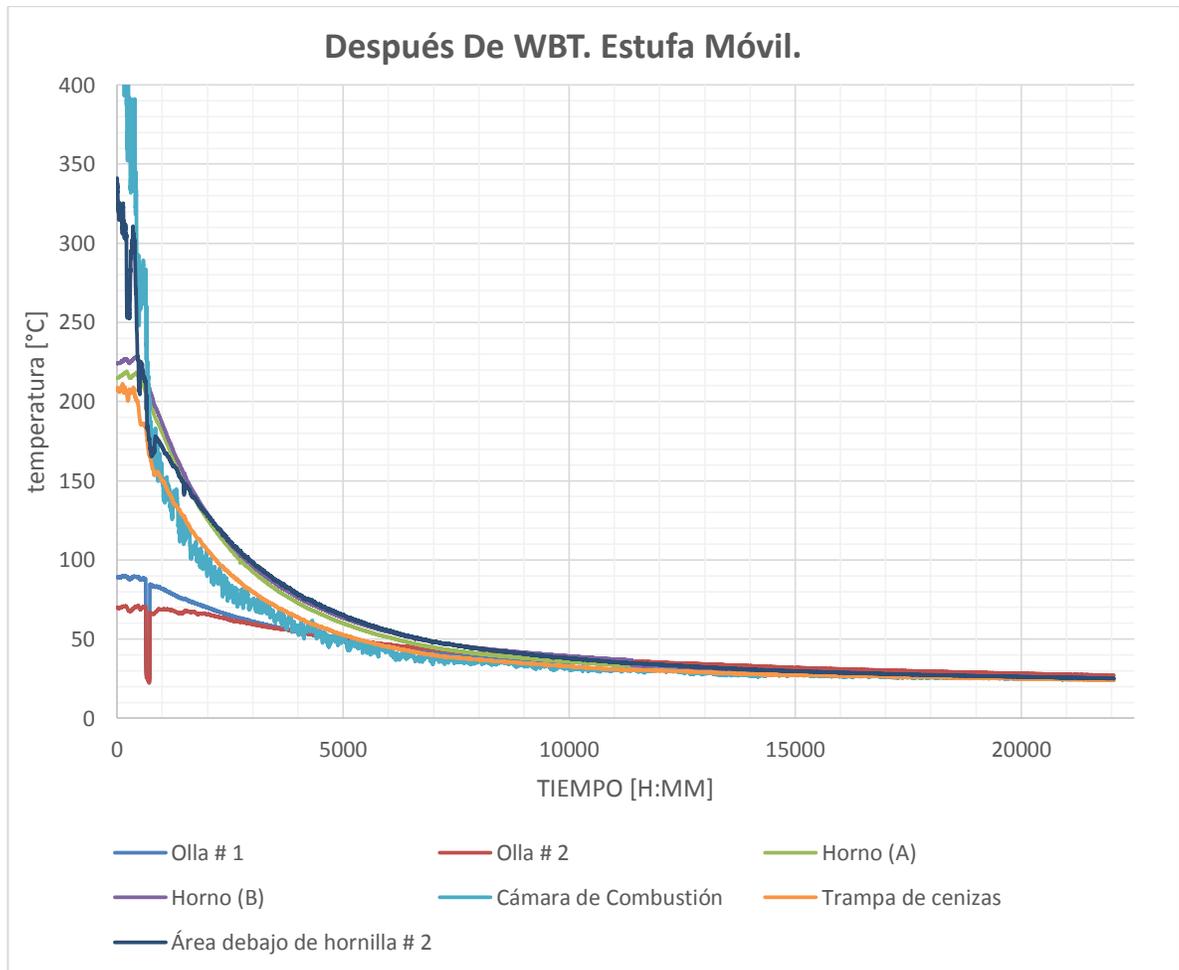


En la Figura 27 se indica el comportamiento de la temperatura en las distintas secciones después de terminar el protocolo WBT, se observa que a 40 minutos de apagada la cámara de combustión, todas las temperaturas están por debajo de los 100°C y tarda otra hora para estar debajo de los 50°C.

El descenso de temperatura en la cámara de combustión y en la trampa de cenizas se realiza de manera más rápida que en el área bajo la olla 2, ya que estas partes están expuestas directamente a flujo de aire a temperatura ambiente.

Respecto a la temperatura del agua, aunque al momento de finalizar la Fase III la temperatura en la olla 1 es mayor que en la olla 2, la temperatura del agua en la olla 1 decrece aún por debajo de la temperatura en la olla 2, esto se presenta debido al calor específico del agua, mientras haya mayor masa de agua (olla 2), ésta presenta mayor oposición al cambio de temperatura lo cual ayuda a retener más calor.

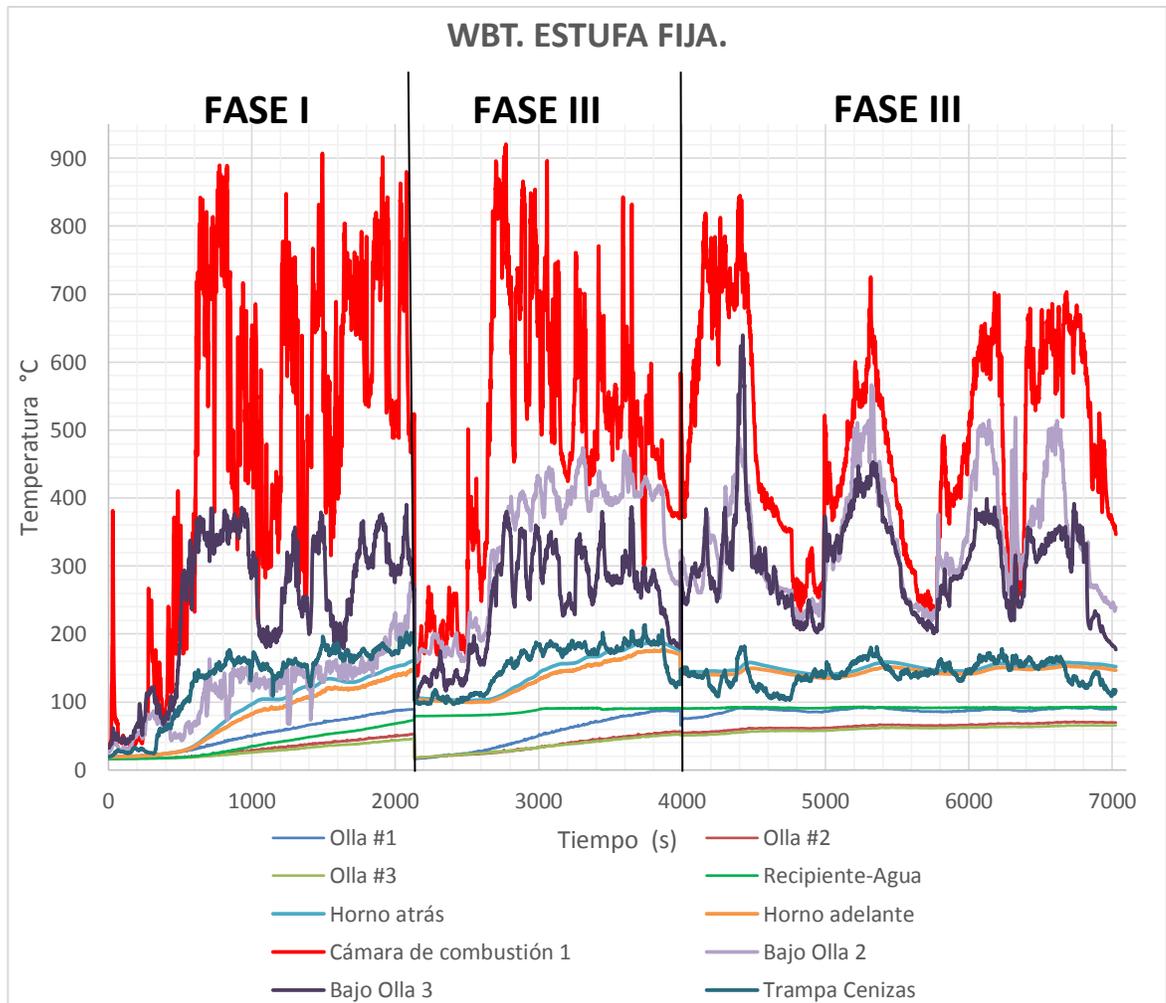
Figura 27. Temperaturas después de WBT. Estufa móvil



- Estufa Fija.

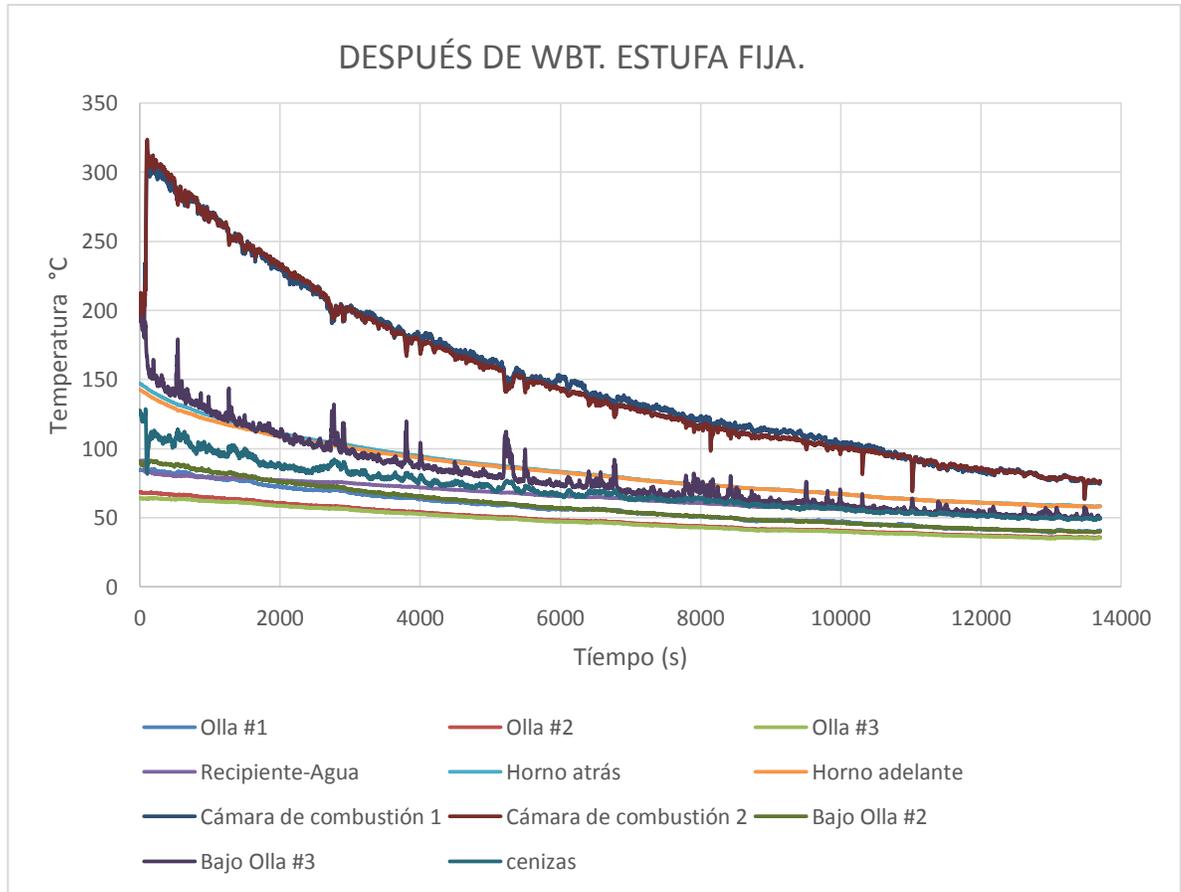
La Figura 28 muestra las temperaturas en la estufa Fija, donde se evidencia un aumento en la temperatura de la cámara de combustión para Alta potencia con respecto a la estufa móvil, llegando a temperaturas alrededor de los 750°C, teniendo una diferencia significativa con las fuentes de calor de las ollas secundarias que llegan a temperaturas de hasta 400°C menos. Este aspecto de diseño se debe mejorar de modo que a las ollas secundarias llegue mayor temperatura.

Figura 28. Temperaturas WBT. Estufa fija



En la Figura 29 obtenemos el comportamiento después de apagada la Estufa Fija, a diferencia de la estufa Móvil es después de 3 horas que todas las áreas registran menos de 100°C, esto se presenta debido al material de construcción de la estufa fija, el ladrillo retiene más calor que los materiales de la estufa Móvil.

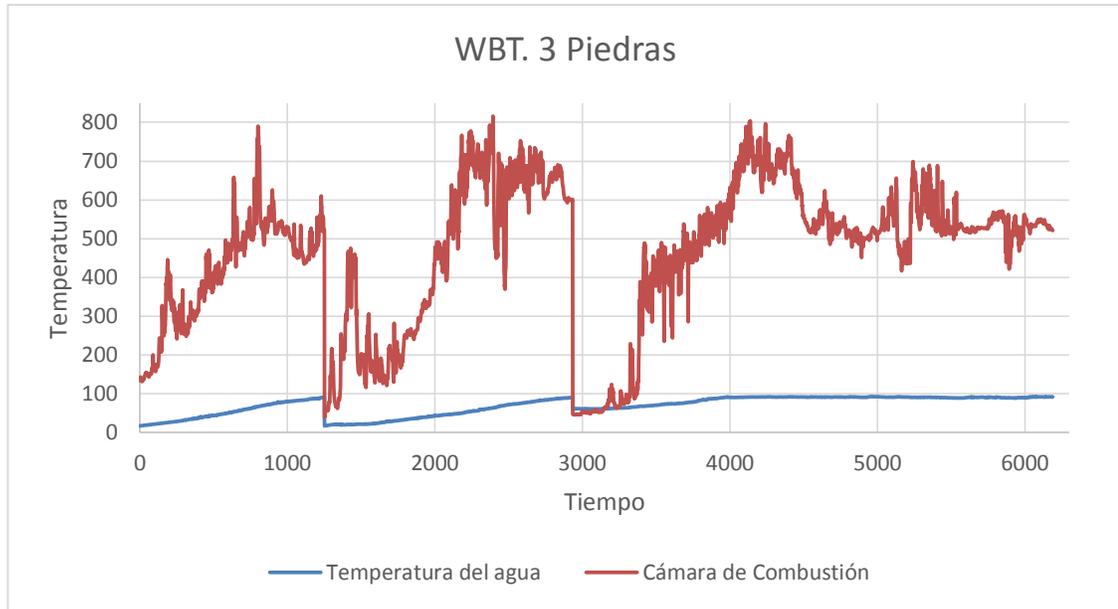
Figura 29. Temperatura después de WBT. Estufa fija



- Fogón de 3 piedras

El Caso del fogón de 3 piedras mostrado en la Figura 30. fue desarrollado y evaluado con el fin de obtener un parámetro de comparación ante el desempeño de los 3 modelos mejorados.

Figura 30. Temperatura durante WBT. 3 piedras



Las temperaturas adicionales registradas en áreas de las estufas durante el protocolo WBT y el seguimiento de temperatura realizado al finalizar este protocolo, se organizaron en la Tabla 11, las casillas sombreadas corresponden a la estufa que tiene el mejor desempeño por característica de funcionamiento, esto con el fin de seleccionar los mejores parámetros de funcionamiento de cada estufa y según las necesidades adaptarlos al diseño final.

Tabla 11. Análisis de temperaturas adquiridas en algunas secciones de las estufas

	Temperatura ollas secundarias (°C)				Temperaturas Horno (°C)			Temperatura Recipiente de Agua (°C)			Temperatura Después de WBT (°C)		
	Olla	Fase I	Fase II	Fase III	Fase I	Fase II	Fase III	Fase I	Fase II	Fase III	Sección	1 hora	3 hora
Estufa	2	67	69	90	120	134	133	-	-	-	-	-	-

Sabana	3	62	73	85									
	4	42	44	65									
Estufa Móvil	2	46	48	70	250	300	220	-	-	-	Cámara Combustión	50	35
											Horno	74	35
Estufa Fija	2	52	56	65	155	180	151	74	90	90	Cámara Combustión	183	95
	3	45	52	60							Horno	100	67

La primer característica elegida es la temperatura en las ollas secundarias, en este caso la Estufa Sabana es la mejor en transferir la temperatura desde la estufa a las ollas, permitiendo que la olla 2 eleve la temperatura del agua hasta el punto de ebullición, la siguiente olla 5 °C por debajo de esta temperatura y la tercera llega a los 70°C, por su parte, en las olla secundarias de la estufa móvil y fija el agua no llega a hervor y su temperatura no supera los 65°C.

El siguiente parámetro de funcionamiento es la temperatura en el horno, para tareas de cocción se necesita un horno que pueda manejar diferentes temperaturas algunas superiores a los 200°C, por las características de los materiales circundantes al horno como el ladrillo resistente al calor, las Estufas Sabana y Fija durante la realización del protocolo de ebullición no superaron esta temperatura, en el caso de la Estufa Móvil, el horno alcanzó una temperatura de 300°C, la cual es regulada por la combustión.

Otro parámetro, es la temperatura del recipiente de agua, para el caso de la Estufa Fija, se notó el buen desempeño en cuanto a transferencia de calor ya que este recipiente llegó a hervor después de 15 minutos de inicio de la Fase II y mantuvo esta temperatura hasta finalizar la fase III, en ese modelo la temperatura del agua llega a 78°C después de una hora de finalizado el protocolo. Esta situación se debe a que todo el cuerpo del recipiente se mantiene en contacto con los gases calientes de la combustión.

El último parámetro evaluado es la temperatura después de finalizar el protocolo WBT, estos datos se tomaron en la estufa Fija y Móvil, cuya referencia son las temperaturas en la cámara de combustión y en el horno, retención de calor en estas partes de las estufas está directamente ligada al material de construcción de la estufa de manera que como se evidencia en el cuadro, en la estufa fija se retiene calor por más tiempo, al transcurrir 1 hora la cámara de combustión de la estufa Móvil está en 50°C y en la Fija alcanza los 183°C, por su parte el horno en la estufa Móvil tiene 79°C y la Fija 100°C, después de 3 horas la cámara de combustión y el horno de la estufa Móvil han alcanzado aproximadamente 35°C, la estufa Fija aún tiene diferencia significativa entre estas dos áreas, la cámara de combustión está en 95°C y el horno en 67°C.

Los resultados del protocolo WBT se consignados en la Tabla 12, donde están los promedios de los indicadores de desempeño de la aplicación del WBT clasificados por estufa y por Fase. Las celdas sombreadas muestran los mejores indicadores de desempeño.

Tabla 12. Resultados WBT de 5 modelos evaluados

INDICADOR DESEMPEÑO		UNID.	FOGÓN TRADICIONAL COSTA	FOGÓN 3 PIEDRAS	ESTUFA SABANA	ESTUFA FIJA	ESTUFA MÓVIL
FASE I (Alta Potencia)	Tiempo de hervor olla # 1	min	13	21	35	38	43
	Velocidad de Combustión	g/min	95	61	45	43	24
	Eficiencia Térmica	%	8,5	6	15,0	11,20	11
	Consumo esp. de Combustible	g/litro	605	382	153	199	225
	Consumo específico de energía.	kJ/litro	7962	6722	2808	3511	4047
	Potencia de Fuego	Vatios	20088	17456	12899	12252	6987
FASE II (Alta Potencia)	Tiempo de hervor olla # 1	min	-	49	26	29	21
	Velocidad de Combustión	g/min	-	35	58	43	27
	Eficiencia Térmica	%	-	5	16,9	17,0	20,20
	Consumo específico de Combustible	g/litro	-	513	144	124	113
	Consumo específico de energía.	kJ/litro	-	9841	2583	2168	2043
	Potencia de Fuego	Vatios	-	9964	16791	12364	7749
FASE III (Baja Potencia)	Velocidad de Combustión	g/min	-	45	38	25	28
	Eficiencia Térmica	%	-	7	16,5	16,80	11,4
	Consumo específico de Combustible	g/litro	-	1196	222	114	233
	Consumo específico de Energía	kJ/litro	-	20515	3823	1950	4012
	Potencia de fuego	Vatios	-	12758	10841	7031	8109

Es necesario hacer el análisis del desempeño energético de las 3 estufas mejoradas teniendo en cuenta y diferenciando cada Fase, ya que todas las fases a las cuales fueron sometidas las estufas son una simulación de procesos de utilización de la estufa en las labores diarias.

En cuanto a los indicadores de desempeño evaluados bajo el protocolo WBT la situación ideal sería que el tiempo de hervor, consumo de combustible y consumo de energía sean bajos y que la velocidad de combustión, eficiencia térmica y potencia de fuego sean altas.

En la Tabla 12 se compara el desempeño de la estufa móvil, la estufa fija y la estufa Sabana con respecto al desempeño de un fogón tradicional de 3 piedras y el Fogón Tradicional de la Costa Pacífica, donde se puede evidenciar que la construcción mejorada de los tres modelos evaluados proveen una eficiencia mayor que en el caso del fogón de tres piedras y del fogón tradicional de la Costa Pacífica Nariñense. Se habla de 7,5 puntos porcentuales más en promedio, que si bien no representan una diferencia muy notable en número, en términos energéticos sí lo son.

El tiempo de hervor es considerablemente menor en el fogón de tres piedras, debido a varias circunstancias, entre ellas que el calor producido en la combustión de la madera se transfiere de forma directa y no solo sobre la base, como es el caso de las estufas evaluadas, si no alrededor de la superficie de la olla, también se menciona el hecho que el fogón de tres piedras no tiene que precalentar el cuerpo de la estufa si no directamente la olla, en el caso de las estufas mejoradas hay un tiempo de precalentamiento en donde la temperatura se transfiere primero a las superficies y áreas para realizar una buena combustión y alcanzar la temperatura necesaria para transferir a la olla.

En cuanto al fogón de la Costa el tiempo tan reducido de hervor se debe a que la prueba se desarrolló con la mitad del agua que se utilizó en las demás estufas, también se debe a las características propias de la altitud donde se realizó la prueba (a nivel del mar) que influyen en el comportamiento y rendimiento de una estufa de leña, esto se debe principalmente a la temperatura ambiente, a la presión atmosférica y la concentración del aire que difiere con la altura, estas variables y los cambios que producen en la evaluación de estufas es motivo para futuras investigaciones. A pesar de lo anterior se ha expuesto los resultados obtenidos en la Costa como una aproximación comprobable que corresponde a un acercamiento del nivel de desempeño que tienen los fogones tradicionales como los evaluados en la Costa Pacífica.

En comparación del Fogón de 3 piedras con el de la Costa se puede notar que el segundo es un fogón un poco más elaborado por tanto su eficiencia en la Fase evaluada (Fase I) es mayor que el de un simple fogón de tres piedras.

En la fase II no se tiene en cuenta el fogón de la Costa debido a que se obtuvieron datos de desempeño solamente de la Fase I, en la Fase II se tiene como primer indicador el tiempo requerido para hervir el agua, se nota que ahora el tiempo del fogón de tres piedras es mucho mayor que el de las dos estufas debido a que las estufas ya han tenido su tiempo de precalentamiento entonces la temperatura en

la cámara de combustión aumenta al iniciar la prueba, garantizando una mejor combustión y un inicio más rápido, en el fogón de tres piedras la combustión es muy diferente entre prueba y prueba debido a que la operación del usuario influye en mayor medida, además de las condiciones ambientales como el viento.

El indicador de eficiencia confirma que en la fase II las estufas mejoradas son por lo menos tres veces más eficientes que un fuego de tres piedras.

De acuerdo con las casillas sombreadas en la Tabla 13 se tiene indicadores de desempeño sobresalientes en los 3 modelos de estufas mejoradas, se debe agrupar la Fase I y Fase II que corresponden a Alta Potencia y así obtener los mejores indicadores de desempeño en Alta Potencia y Baja Potencia.

Tabla 13. Indicadores de desempeño Alta Potencia

INDICADOR DESEMPEÑO		UNIDAD	FOGÓN 3 PIEDRAS	ESTUFA SABANA	ESTUFA FIJA	ESTUFA MÓVIL
ALTA	Tiempo de hervor olla # 1	Min	35	30,5	33,5	32
	Velocidad de Combustión	g/min	48	51,5	43	25
PROMEDIO POTENCIA	Eficiencia Térmica	%	6	16	14,1	15,6
	Consumo esp. de Combustible	g/litro	447	148	161,5	169
	Consumo esp de energía.	kJ/litro	8281	2695,5	2839,5	3045
	Potencia de Fuego	Vatios	13710	14845	12308	7368

Para Alta potencia el consumo específico es el indicador del ahorro de combustible, la estufa Sabana ahorra un 66% de combustible, la estufa fija un 63% y en la móvil se ahorra un 62% con respecto a un fogón tradicional 3 piedras, la velocidad de combustión hace referencia a cuantos gramos de madera se consumen por minuto este indicador que para estas Fases es más alto en la estufa Sabana.

Como resultado de este análisis se tiene que para alta potencia el modelo que presenta mejor desempeño energético es el Modelo Sabana, por su parte para Baja Potencia la Estufa Fija es el modelo que presenta mejor desempeño.

Prueba de Nivel de Seguridad.

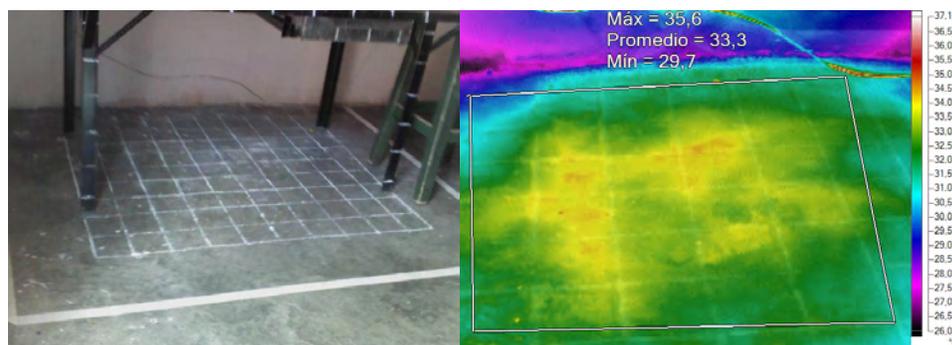
Los resultados en cuanto al nivel de seguridad no se realizaron a la totalidad de modelos evaluados debido a la disponibilidad de los instrumentos necesarios al momento de realizar la evaluación, por ello las estufas a las cuales se les evalúa este aspecto son la Estufa Móvil y la Estufa Fija.

- Estufa Móvil

Se presentan algunas imágenes base del análisis de temperaturas en el protocolo de Seguridad.

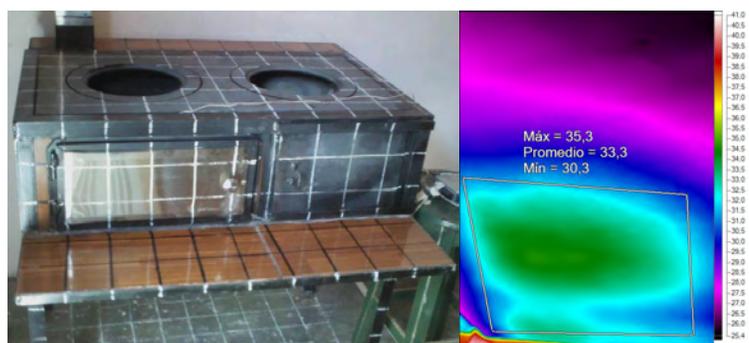
Para analizar la transferencia de calor a superficies aledañas a la estufa se registra la temperatura en el piso paralelo a la superficie inferior de la estufa, esto responde al calor emitido desde la parte inferior de la cámara de combustión y el horno. En la medida que el tiempo transcurre, la temperatura del piso incrementa más de 14°C respecto a la temperatura ambiente.

Figura 31. Temperaturas en el piso cerca de la estufa móvil



De igual forma, el calor es transmitido a la pared, en un área superior a la superficie de la plancha, como se indica con la flecha roja, estas temperaturas se asemejan a las temperaturas registradas en piso, esta superficie alcanza temperaturas máximas de 33°C

Figura 32 Temperaturas en la pared posterior, estufa móvil



Caso contrario está en el registro fotográfico de la parte posterior a la estufa, se evalúa la temperatura sobre el área de la estufa sobre la pared posterior, tal como se indica en el trazo de la imagen derecha, donde se muestra que no hay temperaturas altas transferidas en esta superficie, la máxima registrada es de 25°C.

Figura 33. Temperaturas en la pared posterior, estufa móvil

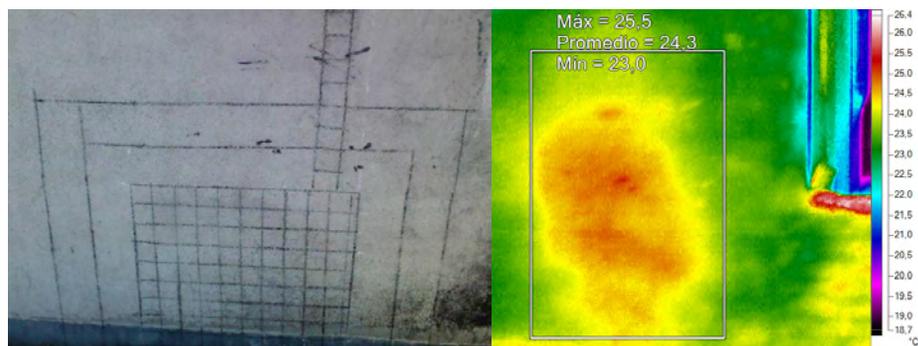
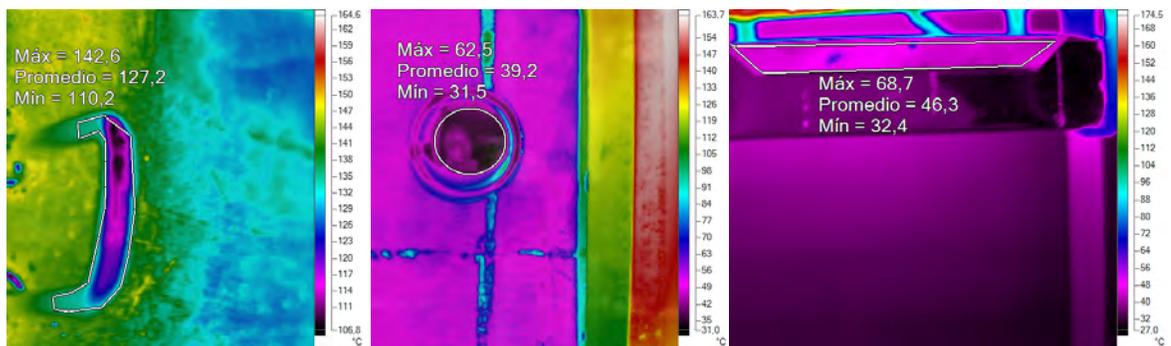


Figura 34 Temperaturas elementos operación (a) Manija cámara (b) Perilla horno (c) Mango bandeja de cenizas, estufa móvil.

(a) (b) (c)



Con el interés de evaluar el riesgo de quemaduras, se registra las temperaturas en los elementos de operación en la estufa móvil. El elemento con mayor temperatura es la manija de la cámara de combustión y luego está el mango de la bandeja de ceniza, esta última adquiere dicha temperatura por el calor recibido desde el contenido en las cenizas y restos de carbón resultado de la combustión de la leña.

Los resultados de la prueba de seguridad aplicada a la estufa Móvil, se consignó en la Tabla 14 donde está el parámetro evaluado y su respectivo puntaje.

Tabla 14. Grado total de seguridad S-Estufa móvil

PRUEBA		VALOR OBTENIDO	FACTOR	TOTAL
a	Bordes y zonas agudas.	3	x 1,5	4,5
b	Inclinación de la estufa móvil	4	x 3	12
c	Probabilidad de expulsión de combustible ardiente	4	x 2,5	10
d	Obstrucciones cercanas a la superficie	4	x 2	8
e	Temperatura de la superficie de la estufa	1	x 2	2
f	Transmisión de calor a los alrededores	4	x 2,5	10
g	Temperatura de los elementos de operación de la estufa	1	x 2	2
h	Aislamiento térmico de la chimenea	1	x 2,5	2,5
i	Llamas circundantes a la olla	4	x 3	12
j	Llamas y/o combustible que salen de la cámara de combustión	1	x 4	4
Suma Total (S)				67

De acuerdo a los niveles de rendimiento IWA el nivel de seguridad es Nivel 1.

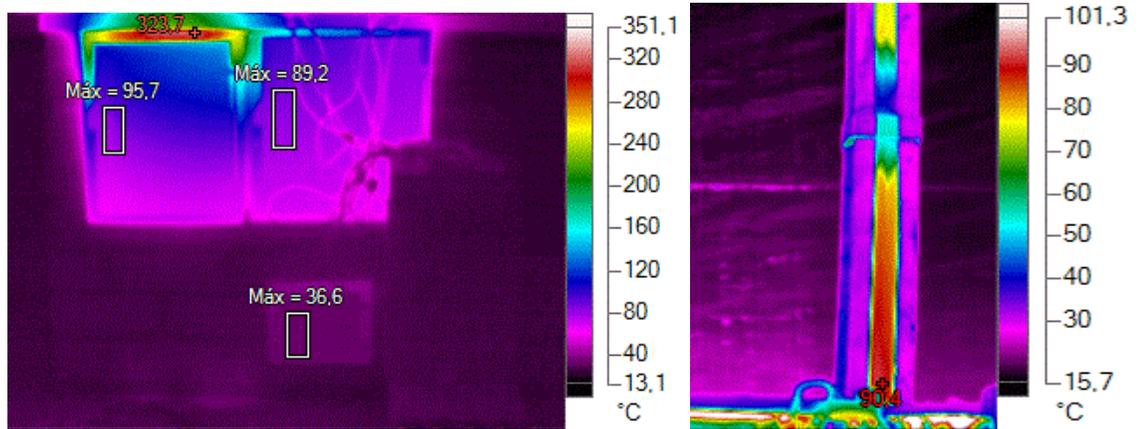
- Estufa Fija:

De igual manera que en el caso anterior se utilizan imágenes termográficas para analizar la temperatura en el protocolo de Seguridad.

En la Figura 35 se muestra el punto de mayor temperatura en el frente de la estufa que corresponde a 323,7 °C, también se tiene las manijas para abrir la cámara de combustión, el horno y la trampa de cenizas con temperaturas de 95°C, 89°C y 36°C respectivamente.

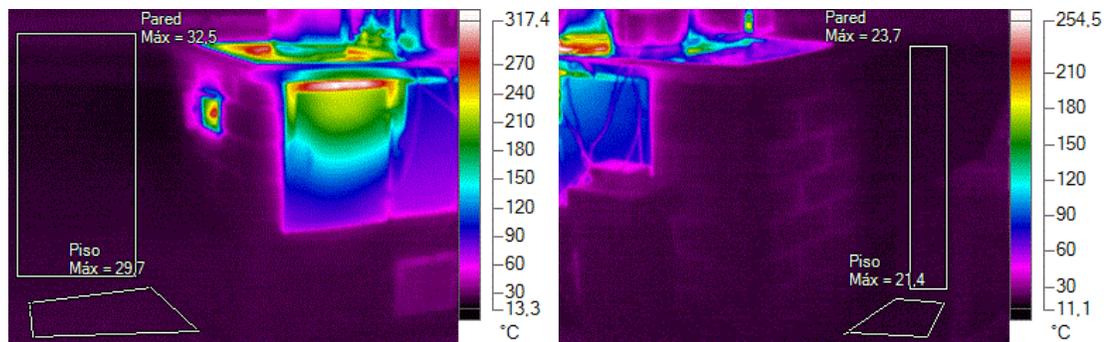
En la superficie de la Chimenea la mayor temperatura es 90°C.

Figura 35. Temperaturas de elementos de operación y chimenea. Seguridad. Estufa fija



Se analizó las diferentes zonas en el piso, entre ellos la mayor es 29,7°C. Y en el caso de la pared su temperatura máxima registrada es 32°C.

Figura 36. Temperatura transferida al ambiente. Estufa fija



En la Tabla 15 se indica la evaluación asignada a la estufa fija en términos de seguridad.

Tabla 15. Resultados evaluación de seguridad. Estufa fija

PRUEBA		VALOR OBTENIDO	FACTOR	TOTAL
a	Bordes y zonas agudas	1	x 1,5	1,5
b	Inclinación de la estufa móvil	4	x 3	12
c	Probabilidad de expulsión de combustible ardiente	3	x 2,5	7,5
d	Obstrucciones cercanas a la superficie	2	x 2	4
e	Temperatura de la superficie de la estufa	1	x 2	2

f	Transmisión de calor a los alrededores	4	x 2,5	10
g	Temperatura de los elementos de operación de la estufa	1	x 2	2
h	Aislamiento térmico de la chimenea	2	x 2,5	5
i	Llamas circundantes a la olla	4	x 3	12
j	Llamas y/o combustible que salen de la cámara de combustión	1	x 4	4
Suma Total (S)				60

De acuerdo a los niveles de rendimiento IWA el nivel de seguridad es Nivel 1.

Análisis de Seguridad.

De acuerdo a la calificación de las pruebas *e*, *g*, *h* de la estufa Fija y Móvil se concluye que la superficie de las estufas adquiere altas temperaturas que pueden generar quemaduras en el usuario si este tiene contacto directo, adicionalmente el registro de estas temperaturas indica que los materiales no conservan totalmente el calor generado por la combustión de la madera, haciendo que parte del calor de los gases que se mueven al interior de la estufa se pierde en forma de calor en la superficie de la estufa.

Tal como se indica en la prueba *g*, cuando la estufa está en operación cierta cantidad de calor es transmitido a los elementos de operación (manijas de las compuertas de cámara de combustión, del horno, trampa de cenizas), calor registrado como altas temperaturas.

Por último está el aislamiento de la chimenea, debido a que los gases contiene calor este es transmitido a la superficie de la chimenea, elevando la temperatura de la superficie de la chimenea a temperaturas superiores a los 130°C, aunque la chimenea está ubicada en la parte posterior, un contacto accidental cuando se retira o ubica las ollas en la estufa puede generar quemaduras.

A pesar que las estufas fija y móvil clasificaron en Nivel 1, de acuerdo a los niveles de rendimiento IWA, estas prestan mayor seguridad respecto a una estufa tradicional (tres piedras) donde las llamas generadas en la combustión circundan alrededor de la superficie de la olla, haciendo difícil manipular o mover las ollas. De igual forma debido a la ausencia de la chimenea el usuario entra en contacto directo con el humo, lo que incidirá en posibles afecciones en la salud (enfermedades oculares, respiratorias).

Además al desarrollar la prueba de seguridad se realizan las siguientes observaciones:

El paño utilizado para verificar bordes y zonas agudas se engancha principalmente en zonas que tienen un acabado imperfecto más que todo en todo en terminaciones o dobles de metal.

El riesgo de inclinación se puede presentar en estufas móviles solamente. En este aspecto se debe asegurar que el centro de gravedad de la estufa esté bien establecido de manera que se evite el riesgo de volcamiento.

Para evitar la expulsión de combustible ardiente hay que evitar áreas abiertas innecesarias, de igual manera no se debe sobrepasar la superficie de las ollas con ningún elemento, de esta manera se evita volcamiento de las ollas al momento de sacarlas del fuego.

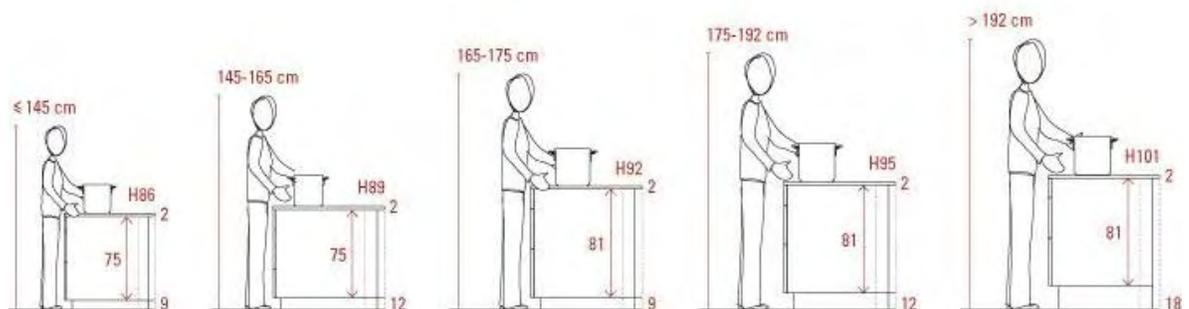
De igual manera hay que garantizar que la superficie de la chimenea se caliente demasiado, se debe instalar protector.

El aislamiento de los elementos de operación es muy importante para evitar lesiones por quemaduras en la piel, se debe utilizar materiales que puedan soportar muy bien el calor que adquieren.

Los tres modelos de estufas mejoradas evaluados presentaba fugas de llamas al momento de abrir la puerta de la cámara de combustión, el diseño debe garantizar que la llama se mantenga dentro de la cámara de combustión de manera que alimentar el fuego con nuevo combustible no represente riesgo de quemaduras.

La altura de la estufa debe variar dependiendo de las necesidades del usuario para tener una buena postura al momento de cocinar, esta altura dependerá de la altura del usuario como se indica en la Figura 37.

Figura 37. Alturas de la estufa de acuerdo a la Estatura del usuario



6.2.1.3 FASE III: Requerimientos de funcionamiento para la zona de la Costa Pacífica.

Se analizó en primer lugar la información relacionada con los hábitos de cocción, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Se hace notorio la utilización de la leña como combustible para cocinar por ejemplo en la zona rural del municipio de Mosquera se encuentra que un 42% de los hogares encuestados utilizan leña para la cocción diaria de sus alimentos y un 54% la utilizan como segunda opción a su vez en la población de Vaquería el 88% de hogares presentan prioridad en el uso de este combustible (Figura 38)

Figura 38. Uso de combustible principal para cocción en veredas de Mosquera

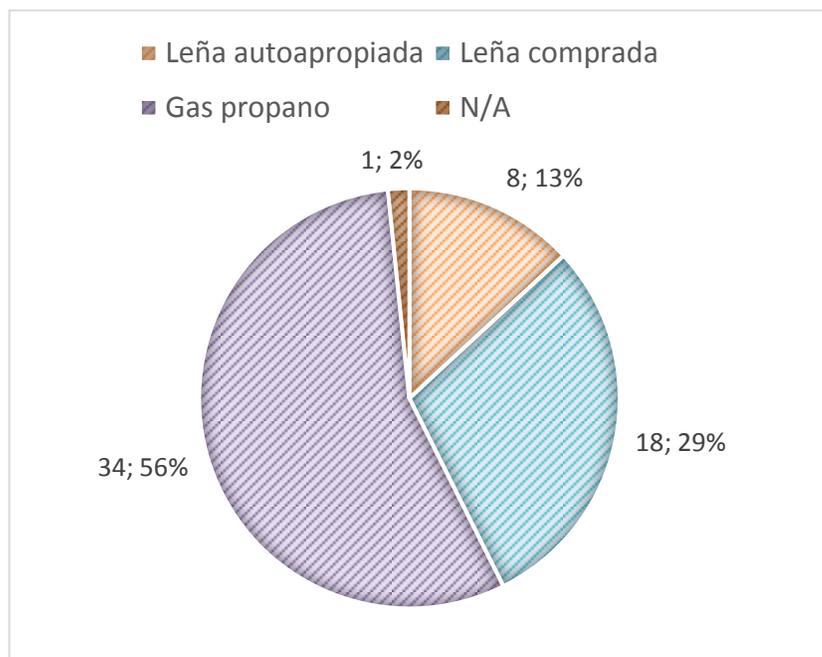
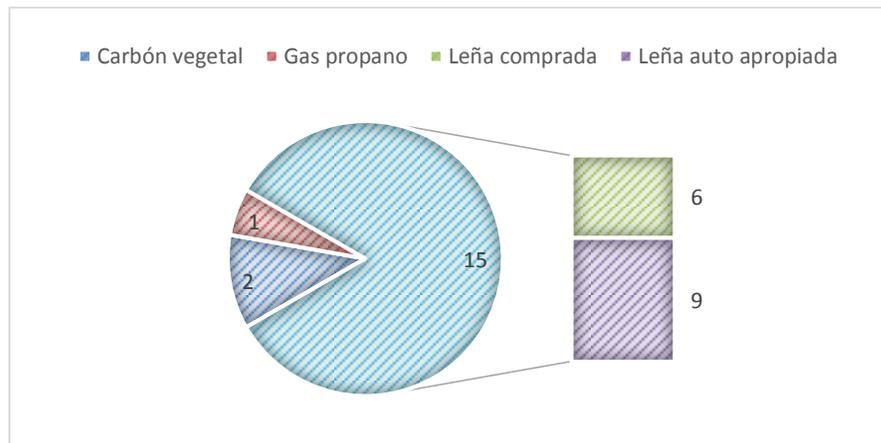


Figura 39. Combustible para la cocción en diferentes estufas – Región Vaquería

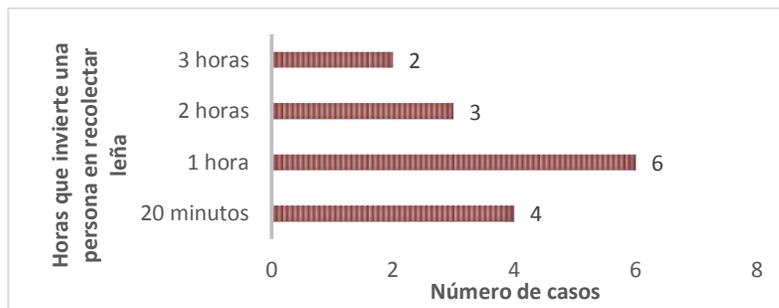


Abordar las costumbres de recolección, almacenamiento y uso del combustible hace parte de la caracterización de la fuente de energía para el sistema de generación estudiado, en este sentido es importante conocer que en la población rural de Mosquera el 88% de los hogares que cocinan con leña lo hacen con leña de Mangle y en Vaquería tan solo un hogar del total de encuestados no utiliza este tipo de leña, esto se debe a la gran biodiversidad existente en estas poblaciones donde los manglares son abundantes y se utilizan para cocción, a pesar de las alertas por afectación del ecosistema resultado de la deforestación, lo anterior se confirma en Mosquera con un 54% de los hogares consumen leña la extraen de terrenos públicos, y lo hacen con una frecuencia de cada 2 días como mínimo, no obstante, el 42% manifiesta comprar la leña utilizada y de estos un 83% lo hacen mediante un distribuidor o tienda y un porcentaje menor (4%) la extrae de su propio terreno.

Para la tarea de adquirir leña es importante indicar el trabajo de recolectar y llevar la leña desde el terreno hasta la casa, una manera de observarlo, es analizar los tiempos que utilizan las personas para trasladarse de su casa al lugar de donde toman la leña. Este dato es importante al momento de referenciar los beneficios del incremento de la eficiencia de la combustión en una estufa de leña, es decir, cuando se maximiza este proceso, un beneficio adicional es que los procesos de cocción reducen en tiempo y cantidad (Kg) de leña para la preparación de los alimentos.

En Vaquería 1 de 3 encuestados se desplaza más de 1 hora para recolectar la leña y 2 de 3 encuestados requieren una hora menos para adquirir el combustible (Figura 40). En general el 33% de encuestados usa dos o más horas al día para recolección, lo que indica que las distancias para adquirirla son más largas, ahora bien en la medida que el consumo de leña disminuya, la frecuencia con que las personas deben salir a recolectar leña será menor.

Figura 40. Horas que usa una persona para adquirir la leña vs Número de casos encuestados



Para el proceso de cocción es importante mantener en condiciones óptimas algunas características físicas del combustible como el contenido de humedad por ello es importante que después de la recolección, la leña sea almacenada de manera que este contenido de humedad pueda reducirse, en relación a esto en Mosquera, en la mayoría de hogares (77%) manifiestan guardar la leña en un lugar exclusivo, debido a las características propias de la región donde la humedad relativa del aire es grande y la madera recién recolectada tiene un contenido significativo de humedad, esta medida se queda corta para tenerla en la condición ideales para la combustión.

El uso de fogones ineficientes de leña ha causado innumerables problemas de salud y problemas ambientales, el 73% de la comunidad encuestada del municipio de Mosquera afirma haber tenido problemas derivados del uso de estos fogones, de los cuales el 50% manifiesta haber sufrido problemas de la vista por las emisiones de humo producidas, el 19% manifiesta que además de los problemas de la vista ha presentado inconvenientes respiratorios. Por su parte en Vaquería 12 de 15 encuestados manifiestan haber sufrido afecciones a su salud de los cuales el 66.7% indica tener problemas respiratorios y el 33.3% registra afecciones de tipo respiratorio y problemas en la vista.

La permanencia de los fogones de leña puede tener una causa principalmente de tipo económico y de acceso, en Mosquera por ejemplo el 46% de los encuestados manifiestan que utilizan este tipo de cocción porque no hay otro mecanismo accesible para ellos, debido a que el combustible (leña) para la mayoría no tiene costo, sin embargo en algunos casos la han remplazado por estufas de combustibles como el gas propano, esto en el orden que la estufa provee de ventajas tales como disminución de tiempo de cocción, mitigación en problemas que la mala combustión de la leña pueden generar (Ej. enfermedades respiratorias), pero al igual que las razones anteriores las costumbres de las poblaciones juegan un papel importante.

Para determinar el potencial de generación del dispositivo estudiado es necesario conocer el tiempo que permanece encendido habitualmente, en la Tabla 16

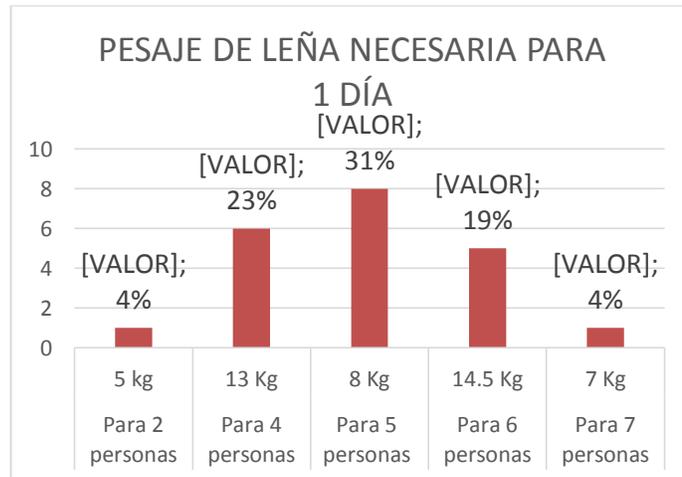
resume los tiempos promedios en Mosquera para preparar cada comida en dos casos: hasta 4 personas y de 5 a 12 personas.

Tabla 16. Promedio de tiempo de preparación para las tres comidas más importantes

DESAYUNO	
Hasta 4 personas	26 minutos
De 5 a 12 personas	57 minutos
ALMUERZO	
Hasta 4 personas	55 minutos
De 5 a 12 personas	101 minutos
CENA	
Hasta 4 personas	30 minutos
De 5 a 12 personas	50 minutos

Es importante conocer la cantidad de leña normalmente utilizada en la cocción, para esto en la aplicación de las encuestas se realizó un pesaje de leña, la Figura 41 indica la cantidad de leña en kilogramos promedio para cierta cantidad de personas para las cuales se cocina en zona rural del Municipio de Mosquera.

Figura 41. Cantidad de leña en Kg necesaria para un día completo



A partir de la anterior información y sacando el promedio de consumo al día por persona se tiene que para que una persona pueda alimentarse (desayuno almuerzo y cena) en un día, se consumen 2,33 kg de leña.

Algunas conclusiones adicionales que ayudaron a diseñar el prototipo de estufa mejorada para esta región, las cuales se describen más adelante.

Tabla 17. Resultados Encuesta. Parámetros de diseño

TAMAÑO USUAL DE LA LEÑA UTILIZADA EN LA COCCIÓN	El 62% de los casos utilizan la leña en tronco mediano al momento de cocinar en sus fogones, el 27% en astillas y el 3% en troncos grandes
TIPO DE FOGÓN Y MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	El 88% de los fogones de leña utilizados en la zona veredal del municipio de Mosquera son fogones con parrilla, barro y madera.
VIDA ÚTIL DEL FOGON ACTUAL	El fogón dura de 1 a 5 años con 65% de los casos, 19% de 5 a 10 años, un 8% más de un año, y 8% menos de un año.
PERSONA CONSTRUCTORA DEL FOGON.	69% de los fogones fueron contruidos por una persona del hogar. Un 27% de fogones contruidos por una persona especializada que no es del hogar, y el 4% restante por otras personas.
CANTIDAD DE PUESTOS EN EL FOGÓN	El 46% de los fogones utilizados tiene 2 puestos, el 27% 1 puesto, el 23% 3 puestos y el 4% tiene 4 puesto.
SATISFACCION DEL NÚMERO DE PUESTOS DE SU FOGON	El 61% si está conforme con las ollas que caben en su fogón, hay un caso que no aplica el resto no está de acuerdo (35%), de ese porcentaje que no están de acuerdo un 45% quiere aumentar los puestos a un número de 4.
TEMPERATURA ACTUAL	46% de los fogones se utilizan en fuego medio, 31% a temperatura alta, el 4% en temperatura baja.
TEMPERATURA DESEADA	Un 50% de los encuestados manifiestan que desearían poder manejar todas las temperaturas, el 27% solo media y 23% solo alta.
ENCENDIDO DE FOGON	El 81% de los encuestados No encienden el fogón todo el día.
LUGAR DE ENCENDIDO DEL FOGON	EL 65 % enciende el fogón en un lugar exclusivo, el 27% Afuera en área techada, y con 4% cada opción, al aire libre y dormitorio compartido.

ASPECTOS PARA EL DISEÑO	EL 42% de los encuestados manifiestan que el ámbito más importante para ello es que no genere humo, así mismo con un 23% que no genere calor alrededor, un 19% que cocine rápido los alimentos y un 4% manifiesta que sea cómoda y fácil de usar.
	El 100% de los encuestados que utilizan leña como principal combustible para cocción manifiestan que si cambiarían el fogón que actualmente utilizan por algo mejor Por su parte el 92% de los encuestados que utilizan leña como principal combustible para cocción manifiestan que si pagarían por un fogón mejor, y el 8 % no pagaría.
USO DE HORNO	El 92% de los encuestados no utilizan el horno en las labores de cocción.

A continuación se resumen los requerimientos de los pobladores para ser tenidos en cuenta en el diseño de la estufa:

- Utilizar en su construcción, materiales de bajo costo que se puedan adquirir en la región, y que se obtenga servicio técnico cercano.
- Asegurar un fogón eficiente: que tenga una larga vida útil (mínimo 5 años), es importante que la estufa no genere exceso de calor a su alrededor y que las personas que usen la estufa no estén expuestos directamente al humo generado por la combustión. Estos son los aspectos que en mayor frecuencia escogieron los encuestados.
- Que tenga mínimo 2 hornillas.
- Como observación general los encuestados manifestaron la necesidad de manejar diferentes temperaturas, y crear una metodología o recomendaciones con el fin de manejarlas adecuadamente.
- La estufa debe tener la posibilidad de funcionar dentro del hogar y ser de buen aspecto físico para que pueda disponerse dentro del hogar sin ser una molestia, esto por la razón de que la mayoría de hogares en la costa que poseen un fogón de leña lo disponen en un área generalmente alejado del hogar.

- Debido a que el 92% de los encuestados afirmaron no usar el horno para las labores de cocción, la incorporación del horno al diseño final de la estufa mejorada es un componente opcional.

6.2.2 Prototipo de Estufa Mejorada de Leña

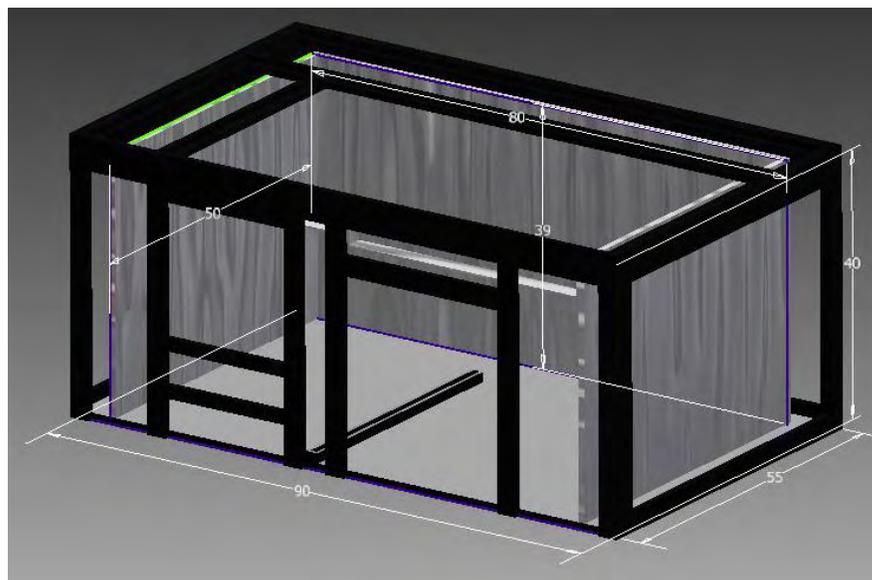
Teniendo en cuenta los anteriores requerimientos de los usuarios de la Costa Pacífica y los análisis descritos anteriormente se obtuvo el diseño de la estufa cuyas partes y características se describen a continuación, cabe resaltar que fue diseñada para cumplir rigurosamente con las características de seguridad para lo cual se necesita una construcción de calidad.

6.2.2.1 Estructura.

La estructura principal de la estufa (Figura 42), hecha en ángulo de hierro, la base está fabricada en lámina galvanizada calibre 16, a su vez cuenta con una estructura en lámina galvanizada en su interior separada 5 cm en cada lado a excepción del frente, este espacio es relleno con material aislante, esto con el fin de retener el calor dentro de la estufa y que no se disperse en el ambiente.

Las dimensiones de la estructura son: 90 cm de largo, 55 cm de ancho y 41 cm de Alto, la estructura interna tiene 80 cm de largo, 50 cm de ancho y 39 cm de alto.

Figura 42. Estructura principal del prototipo

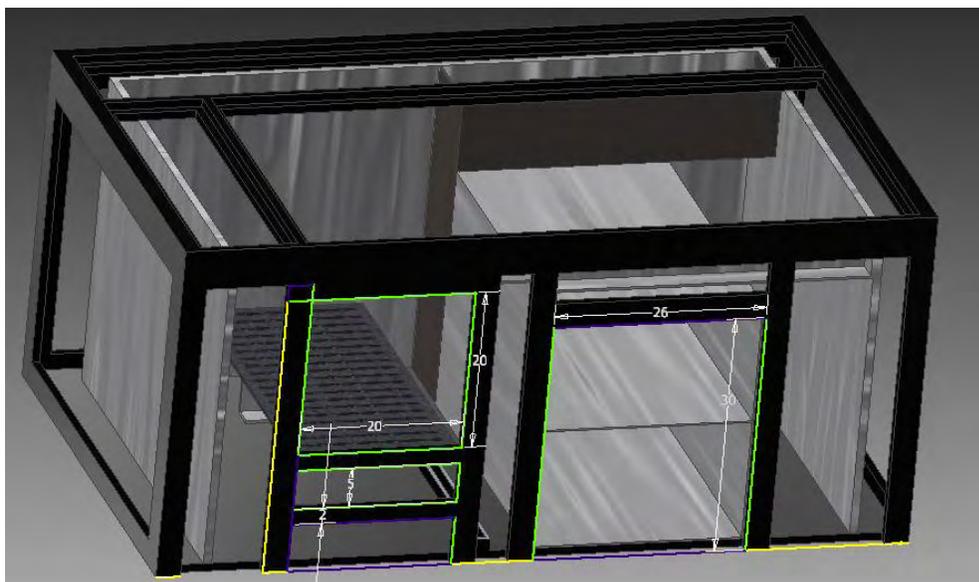


6.2.2.2 Horno, rejilla para la leña y platina separadora.

La estructura diseñada (Figura 42) esta ensamblada con el horno que se fabrica de acero inoxidable, la platina de hierro fundido que se utiliza para separar y dirigir los gases calientes producidos en la cámara de combustión hacia el orificio de la chimenea (Figura 43), se muestra también, la disposición de la rejilla de hierro fundido donde se sitúa la madera, gracias a soportes de hierro la rejilla se puede ubicar en la cámara de combustión.

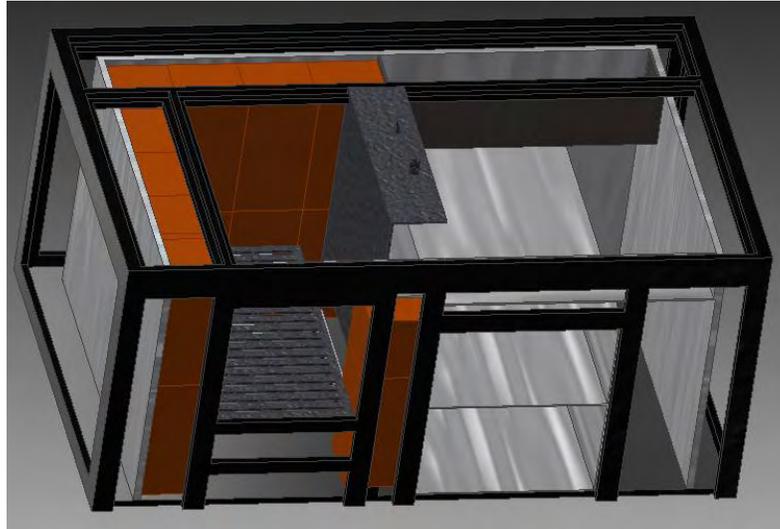
El horno tiene unas dimensiones de 26 cm de largo, 40 cm de ancho y 30 cm de alto, la entrada de la cámara de combustión tiene unas dimensiones de 20 cm por 20 cm, debajo de la cual se ubica la entrada de aire que tiene unas dimensiones de 20 cm de largo por 5 cm de alto, así mismo debajo de la entrada de aire se ubica la ranura para la bandeja de ceniza de 20 cm de largo por 6 cm de alto.

Figura 43. Horno, rejilla para la leña y platina separadora



6.2.2.3 Ladrillos aislantes y placa separadora de cámara y horno.

Figura 44. Ladrillos aislantes y placa separadora



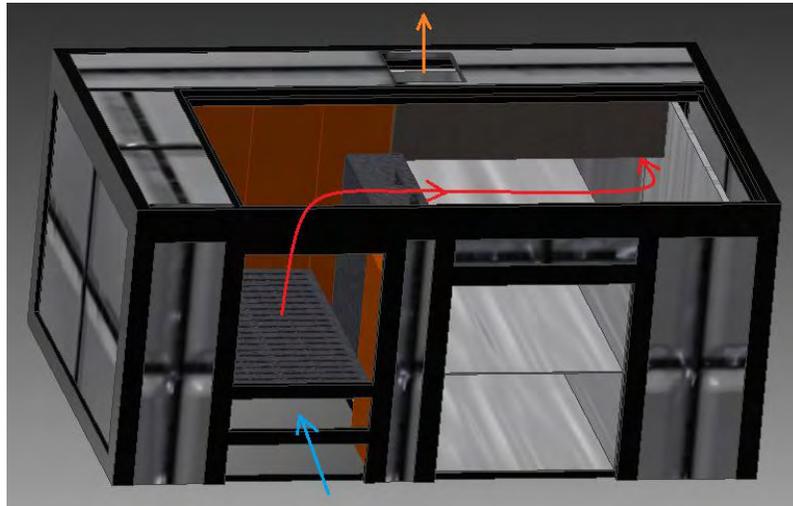
El aislamiento de la cámara de combustión se realiza con el montaje de ladrillos resistentes al calor a su alrededor. Dependiendo del uso del horno hay dos opciones de aislamiento: cuando se requiere utilizar el horno se utiliza una placa en hierro fundido diseñada especialmente para ser ubicada como indica se indica en la Figura 44, cuando el horno no requiera ser utilizado se retira la placa y en su lugar se ubica ladrillos, de esta manera cuando el horno no esté siendo utilizado la cámara de combustión va a retener el calor dentro de ella y no se va a transferir en mayor medida hacia el horno. Los ladrillos pueden ser fabricados con materiales de la región por ejemplo con una mezcla de barro y arena, arcilla y arena y/o residuos vegetales.

6.2.2.4 Estufa enchapada y flujo de calor

En la Figura 45 se ve el flujo de calor, desde la entrada de aire, este pasa por la cámara en donde se realiza la combustión, por encima del horno y detrás de él para salir por el orificio donde se dispone la chimenea.

En la estufa se identifica su enchape (Figura 45), para este diseño se utilizó enchape de cerámica.

Figura 45. Estufa enchapada y flujo de calor

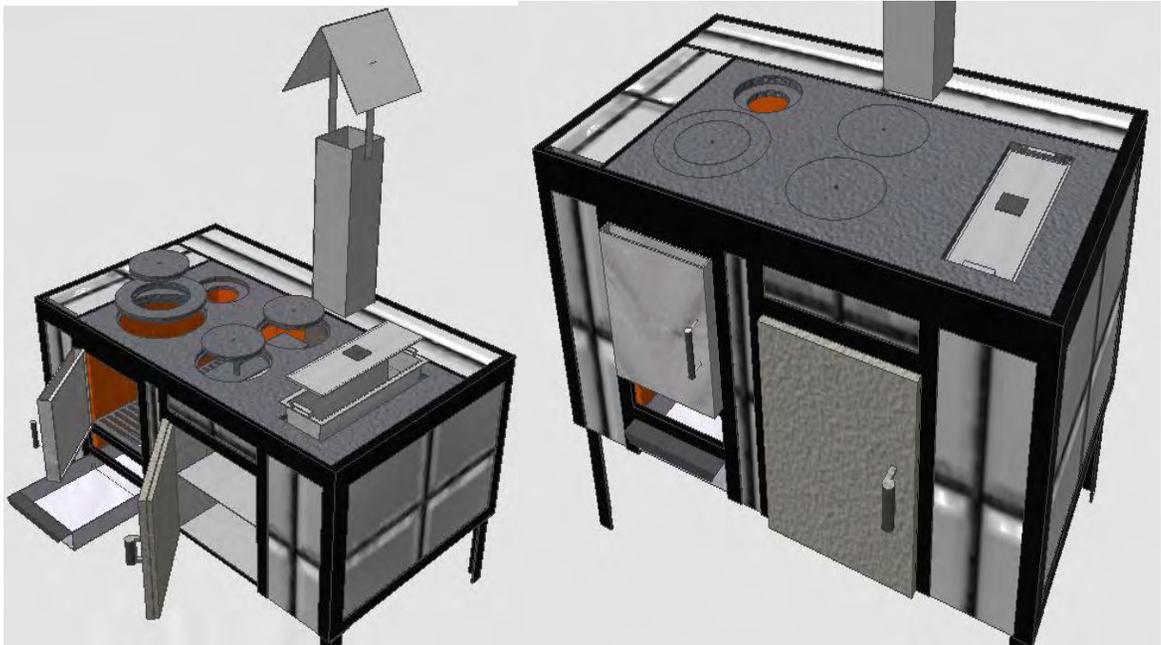


6.2.2.5 Estufa completa

El diseño completo de la estufa (Figura 46) con la plancha de hierro fundido para la disposición de las ollas, el contenedor de agua en acero inoxidable, la bandeja de ceniza hecha de lámina galvanizada, la puerta de la cámara de combustión que está construida especialmente para que aisle el calor producido dentro de la estufa, este aislamiento es posible debido a su doble pared separada con material aislante, también se puede observar la puerta del horno fabricada en acero inoxidable, todos los elementos de operación como son las manijas de las dos puertas, el mango de la bandeja de ceniza y de la tapa del recipiente de agua son fabricados en polímeros de alta densidad o pueden ser cerámicos de alta duración.

La chimenea cuenta con doble lámina galvanizada entre ellas material aislante, de dimensiones 10 cm por 10 cm y una altura de 3 m, de esta manera se protege al usuario de quemaduras en su superficie y se asegura un mejor flujo de calor.

Figura 46. Estructura completa de la estufa diseñada

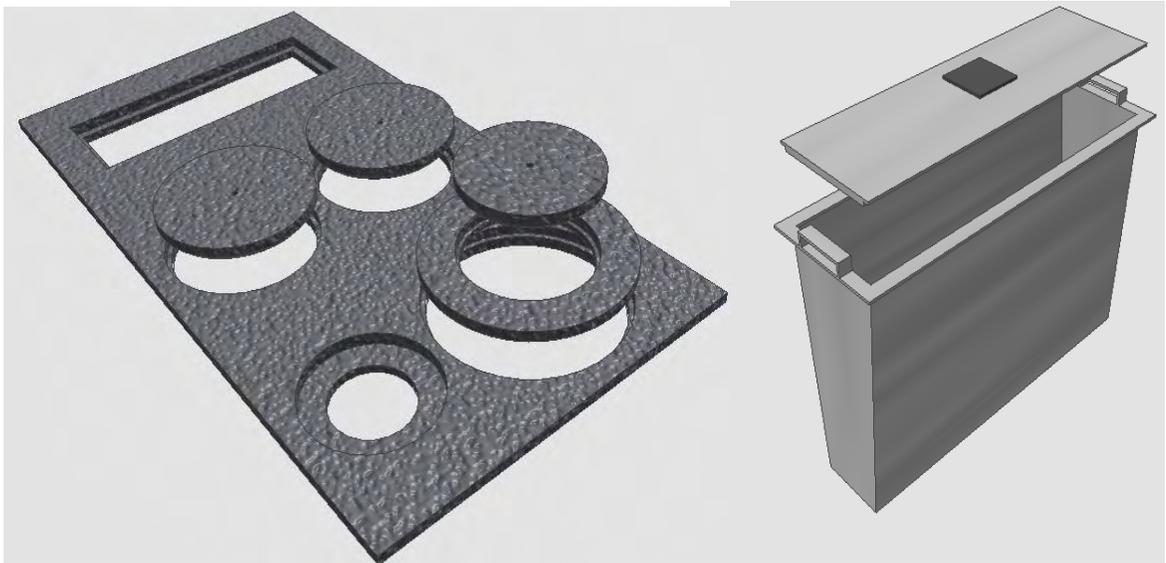


6.2.2.6 Plancha para la disposición de ollas y recipiente de agua.

En la Figura 47 se diseñó una plancha con espacio para tres ollas para cocción, la hornilla principal se diseñó para dos tamaños y las dos secundarias ubicadas al lado derecho de la cámara de combustión por encima del horno son diseñadas para un solo tamaño, adicionalmente se diseñó el espacio para ubicar el dispositivo de generación eléctrica Explorer® de manera que su placa inferior este expuesta directamente al fuego.

También se indica el recipiente de agua (Figura 47) de acero inoxidable con capacidad de 3600 cm³ este recipiente con tapa no sobrepasa la superficie donde se disponen la ollas respetando el protocolo de seguridad.

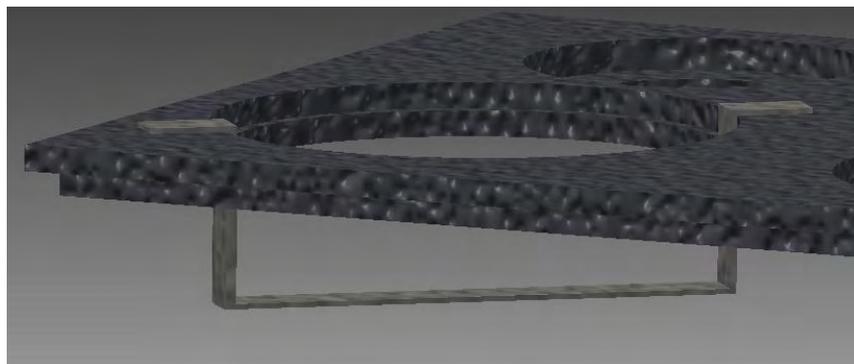
Figura 47. Plancha de hornillas y recipiente de agua



6.2.2.7 Adaptadores para ollas.

Con el propósito de sumergir las ollas tres centímetros hacia la fuente de calor, se diseñó el adaptador (Figura 48) que se puede fácilmente montar sobre la hornilla, este adaptador tiene tres tamaños cada uno para su respectiva hornilla.

Figura 48. Adaptador para ollas



6.2.2.8 Patas.

Se plantea por comodidad de transporte, construir la estructura de la estufa sin las patas que la soportan, las cuales se fabrican por separado y en el momento de la instalación se ensamblan, su dimensión debe garantizar el diseño ergonómico.

6.2.3 Metodología para diseñar una estufa Mejorada de Leña

Al tener la experiencia de diseñar una estufa, con requerimientos propios de la población usuaria se determinó la necesidad de crear una metodología para el diseño de estufas mejoradas de leña que se adapten a las costumbres de la región de modo que se garantice su uso y la aceptación del diseño, la metodología es la siguiente:

I. Identificar el usuario final o la población beneficiaria.

Se debe analizar las características socio-económicas y culturales con el fin de obtener información relacionada con capacidad de pago, costumbres y hábitos de cocción entre ellas uso de horno, recipiente de agua, tipo de estufa fija o móvil, con fines de calefacción o no y demás requerimientos que el usuario final proporcione.

II. Empezar un proceso de co-creación o creación colectiva que incluya:

- Tener en cuenta la opinión del usuario ya que en mayor medida se garantiza en mayor medida el uso y la aceptación de la estufa que se diseñe.
- La posibilidad de hacer partícipes a los usuarios en el proceso de construcción explicando la funcionalidad de cada parte del diseño en caso de estufa fijas, y en caso de estufas móviles hacerlo en el proceso de instalación.
- La posibilidad de utilizar materiales existentes en la región y fáciles de obtener.

III. Se prosigue utilizando los resultados de evaluaciones de funcionamiento realizadas anteriormente a modelos de estufas de leña (las contenidas en esta investigación o las que se tengan en conocimiento) y de acuerdo a esta información seleccionar las características de diseño más adecuadas para hacer un proceso de rediseño utilizando un modelo base.

IV. Tener en cuenta en todo momento las características que hacen que la estufa sea eficiente, tenga un buen desempeño y haga segura una estufa mejorada de leña, sin dejar de lado el buen aspecto que debe tener, entre estas características están:

- Reducir los contaminantes en un espacio intradomiciliario agregando una chimenea a la estufa.
- Aislar la cámara de combustión, chimenea, puerta de cámara de combustión, así como todo el trayecto de los gases calientes.

- Todos los elementos de operación como manijas deben estar protegidos o hechos con materiales resistentes al calor.
- Considerar elementos ergonómicos como la altura de la estufa desde el piso hasta la plancha de hornillas.
- Considerar todos los ítems evaluados en el protocolo de seguridad como inclinación de la estufa, bordes agudos temperaturas en las superficies, etc.
- Recomendar al usuario utilizar las ollas sin hollín debido a que este compuesto reduce la conductividad térmica de las ollas.
- Cuando la olla se ubica directamente en los gases producidos por la combustión, una forma de aumentar la temperatura es haciendo que el calor roce la base y los lados de la olla
- Mantener una misma área transversal dentro de la estufa, esto mantendrá una corriente de aire suficiente para la buena combustión.
- Como principal característica en el diseño de la cámara de combustión es que los elementos de estas no deben tener alta masa térmica (alta capacidad de almacenar calor-cualidad de absorber la energía calórica), ejemplo de esto es el barro, arena y la arcilla.
- Mezclas que pueden ser utilizadas como materiales aislantes son arcilla-aserrín, donde el aserrín puede ser sustituido por corteza de coco, el estiércol de caballo o la cáscara de arroz, otra mezcla que funciona es Carbón-Arcilla que secan por algunos días y después deben ser horneados a 1050°C.
- Los materiales aislantes son aquellos que tienen en su estructura interna o externa espacios o porosidades que no se conectan internamente generalmente llenos de aire, los cuales tienen baja conductividad térmica para el caso de la estufa diseñada en el espacio entre la pared interna y externa de 5 cm se puede rellenar con vidrio en pedazos pequeños, con espuma de poliuretano, fibra de vidrio, corcho molido, etc....
- Piezas muy pequeñas de leña, tienen una mayor área superficial para absorber calor por radiación de la llama comparado con las pequeñas distancias a través del cual el calor y los volátiles deben pasar dentro de la leña, es así que los volátiles escapan con mayor facilidad. Sucede lo contrario para piezas gruesas de leña debido a la gran masa que debe ser calentada a mayor velocidad de combustión.

- La parrilla usada para el combustible diseñada de forma adecuada mejorará el proceso de combustión y el rendimiento de la cocina. La distancia entre barras no debe ser demasiada de modo que la madera se caiga y no se queme por completo, caso contrario cuando las barras están muy juntas pueden presentar obstrucción y reducción del flujo de aire, una distancia aceptable es 10mm
- V. Entregar un manual de usuario donde además contenga recomendaciones para un buen uso de la estufa co-creada.
 - VI. Crear mecanismos de verificación del uso o medición de la aceptación de la estufa diseñada
 - VII. Si se habla de proyectos de sustitución de fogones ineficientes las campañas educativas deben ser clave en todo el proceso haciendo énfasis en los parámetros de mejoramiento del desempeño, reducción del combustible, y mejora de los problemas de salud asociados a este tipo de estufas.

6.2.4 ETAPA 2: Generación Eléctrica

6.2.4.1 Modelo Matemático

A continuación se muestran los resultados de las pruebas aplicadas para validar el modelo matemático descrito en la Ecuación 9 (pág. 33), obteniendo el valor coeficiente Seebeck y sus rangos de operación para los cuales se comporta constante.

Se presentaron cuatro casos: el caso 1 y caso 2 corresponden al comportamiento para la fuente de temperatura en medio (400°C aprox) y el caso 3 y 4 para la fuente en Alto (600°C aprox)

Todas las pruebas realizadas empiezan con las mismas temperaturas iniciales, refiriéndose al agua dentro del dispositivo, placa superior y placa inferior y temperatura de la fuente de calor.

Caso 1 y Caso 2

La temperatura inicial fue de 20,78°C aproximadamente, en la Figura 49 se observa el comportamiento de las temperaturas adquiridas, de forma que incrementa hasta llegar a un punto donde la variación de temperatura entre las placas es mínima lo que genera un voltaje DC en términos de mV.

El calor generado por la fuente, contribuye a elevar la temperatura del agua y a evaporar una porción de la misma, llevar a la placa superior e inferior desde una

temperatura ambiente a temperaturas por encima de 257°C y 150°C respectivamente como se muestra en la Figura 49.

A partir del minuto 12, la diferencia entre las placas tiende a ser constante, por lo tanto las variaciones en el voltaje son pequeñas, como se indica, incrementando 600mV durante los 9 minutos restantes de la prueba, de 15V a 15.6mV.

Figura 49. Caso 1: Curvas de temperatura y voltaje

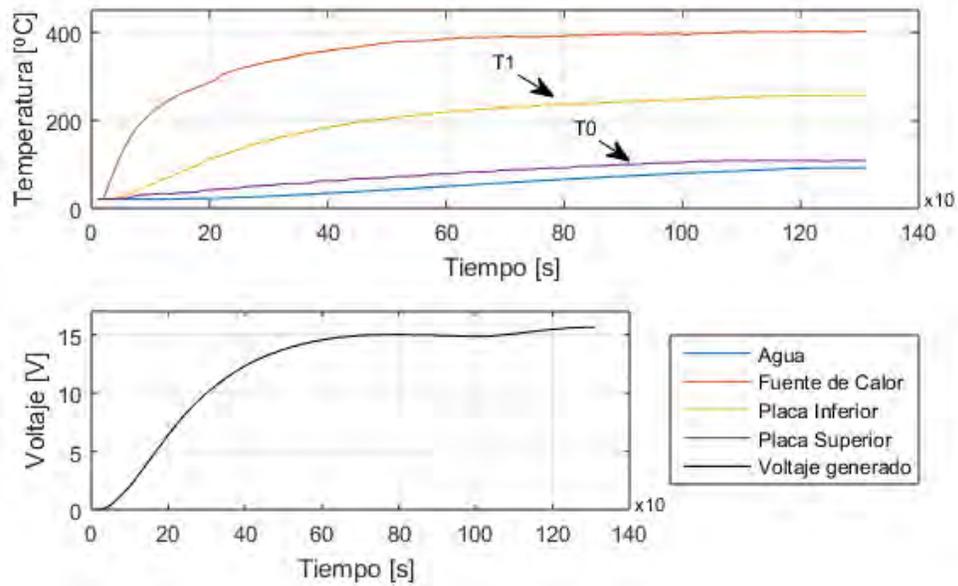
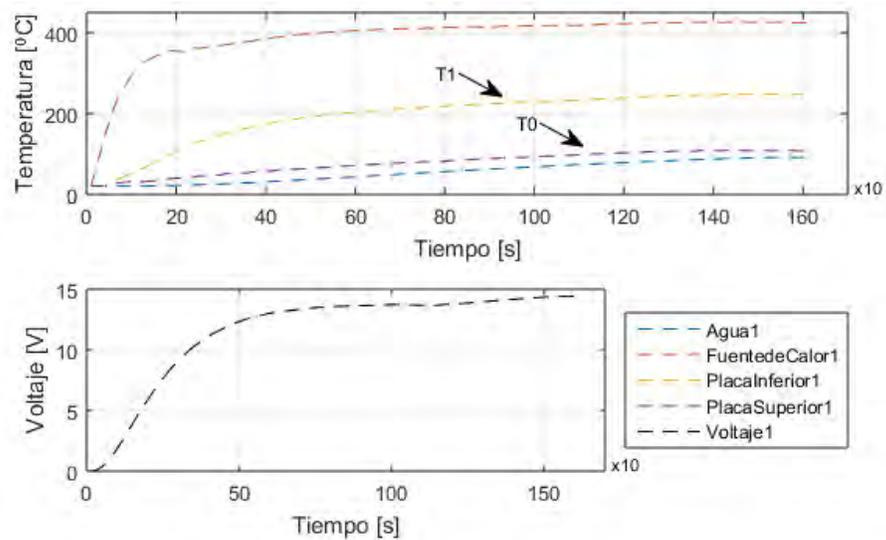
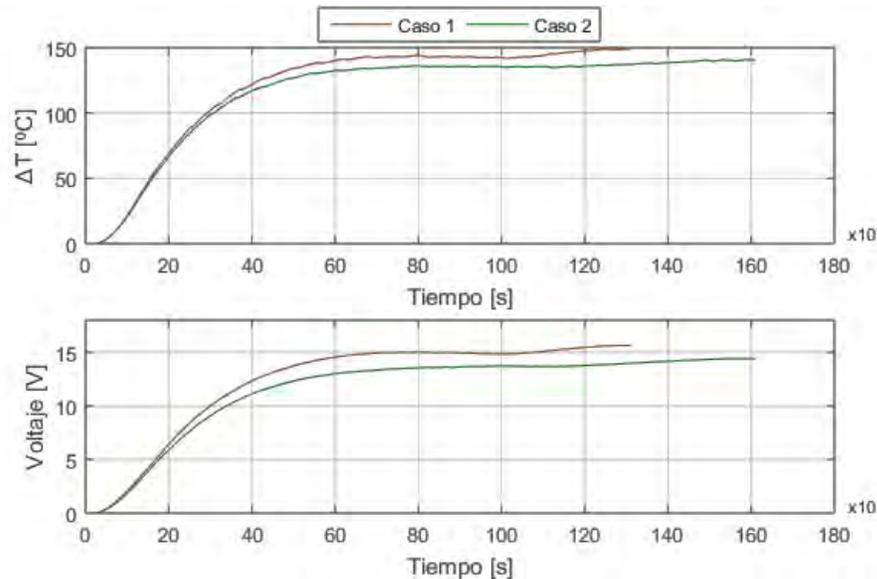


Figura 50. Caso 2: Curvas de temperatura y voltaje



Con el fin de confirmar el comportamiento del sistema en condiciones similares al Caso 1, se realizó una segunda prueba tal como se ve en la Figura 50. En este caso la temperatura inicial del sistema es aproximadamente 20,71°C Tomando de referencia el minuto 17, se obtuvo que la diferencia de temperatura en el Caso 1 es mayor a la del Caso 2 por 6.812°C, diferencia que se refleja en el voltaje, tal que $V_{caso\ 1} > V_{caso\ 2}$, 14.86V y 13.73V respectivamente.

Figura 51. Curvas de voltaje y ΔT en los casos 1 y 2



Las regresiones lineales realizadas a las gráficas obtenidas de ΔT vs V , donde la pendiente calculada corresponde al coeficiente de Seebeck (ϵ), evidenciaron que esta recta, tiene dos pendientes que corresponden a los valores antes y después de $1V_{DC}$ generado, que corresponde a la temperatura de operación (T_c) de 227°C, para que se cumpla la condición de $\Delta T = 0^\circ C \rightarrow V = 0V$

Como se especificó, se realizaron 2 pruebas con condiciones iniciales similares, sin embargo al momento de trazar la línea de tendencia para un Voltaje de 0 a 1 V, se obtuvieron dos intercepto 0.0307 y 0.0285 (Las regresiones lineales para voltajes generados de 0V a 1V se muestran en la Figura 52), esta variación responde a las mínimas diferencias en las temperaturas iniciales.

Caso1: $\Delta T = 0^\circ C \rightarrow V = 31mV$.

Caso2: $\Delta T = 0^\circ C \rightarrow V = 28mV$.

Las regresiones lineales para voltajes generados superiores a 1V se muestran en la Figura 53.

Figura 52. Curva de tendencia para voltaje generado $\leq 1V$ (a) Caso 1 (b) Caso2

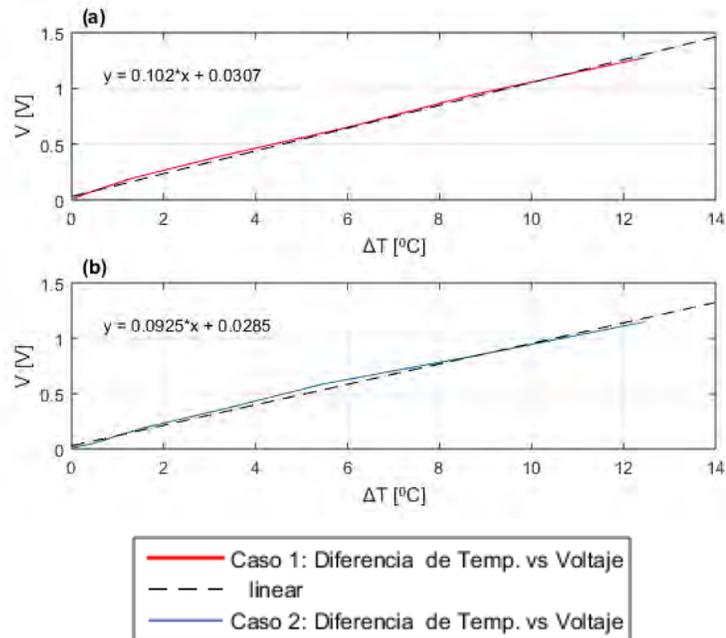
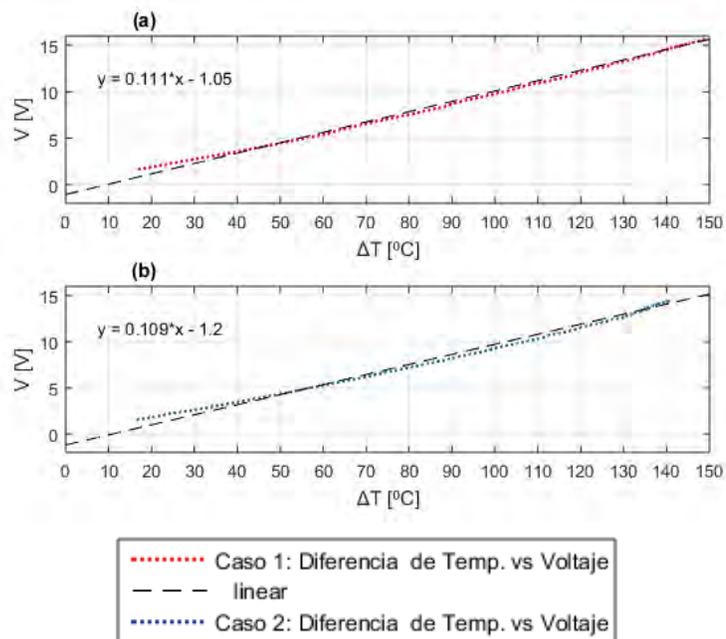


Figura 53. Curva de tendencia para voltaje generado $> 1V$ (a) Caso 1 (b) Caso2

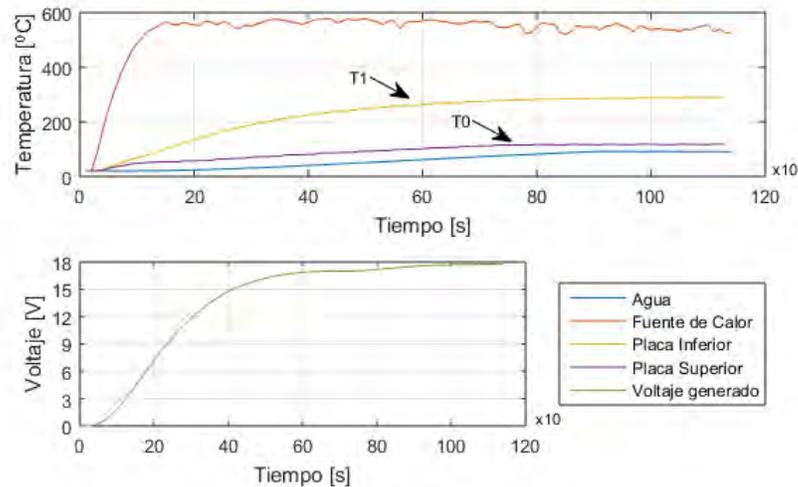


Se evidencia un crecimiento lineal del voltaje con el incremento de la temperatura de la superficie del Explorer®. Esto es debido a que el fenómeno Seebeck, presenta una relación lineal entre el gradiente de temperatura al cual se encuentra sometido el material termoeléctrico y el voltaje generado. Debido, a que las propiedades termoeléctricas de los materiales semiconductores cambian dependiendo de la temperatura de operación, se debe tener en cuenta que hay un mismo comportamiento lineal cuando la temperatura de operación (T_c) no supera los 227°C ; caso contrario si $T_{\text{operación}} > 227^\circ\text{C}$ se debe trazar otra relación lineal entre ΔT vs V . Es por esta razón que se estima dos coeficientes para cada prueba realizada.

Caso 3 y Caso 4

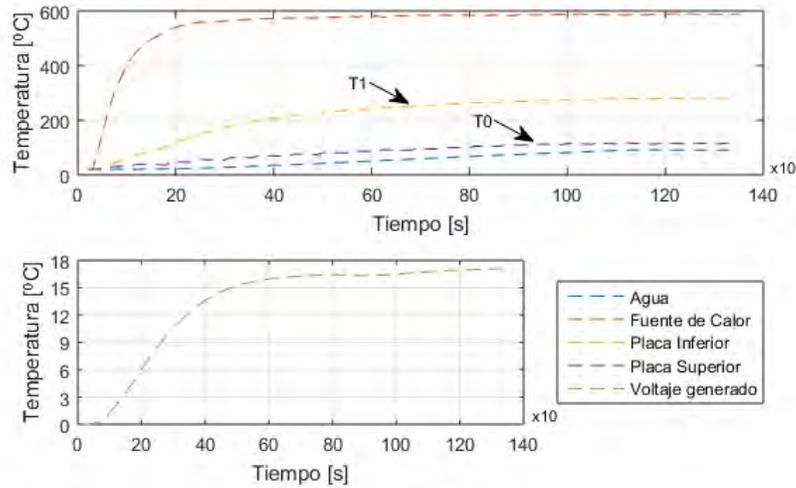
El sistema se sometió a dos pruebas adicionales donde la fuente de calor registró una temperatura máxima de 584.22°C aproximadamente, en el caso 3 la temperatura inicial del sistema es 20.45°C , en el momento que el agua llega a su punto de ebullición (91°C) las temperaturas máximas registradas en las placas fueron de $T_0=118.93^\circ\text{C}$ y $T_1=288.81^\circ\text{C}$.

Figura 54. Caso 3: Curvas de temperatura y voltaje



En el Caso 4 la temperatura inicial del sistema es 20.1°C , en comparación con el Caso 3 está por debajo 0.35°C , sin embargo dicha variación se ve representada en la generación de voltaje en términos de mV (intercepto de la regresión lineal).

Figura 55. Caso 4: Curvas de temperatura y voltaje



Aunque la temperatura de operación de los dos primeros casos (400°C aprox) es diferente a los casos 3 y 4 (600°C aprox), hay una tendencia de linealidad entre V y ΔT en todos los casos, por la pendiente de dicha relación debe tender a un mismo valor, para comprobar ello, se puede tomar un punto de referencia en los cuatro casos y observar que a una misma diferencia de temperatura el voltaje generado debe tender a ser el mismo, un ejemplo es 12V_{DC} generados por el Explorer® que corresponden a una diferencia de temperatura $\approx 125^\circ\text{C}$ (Figura 53 y Figura 58).

Figura 56. Curvas de voltaje y ΔT en los casos 3 y 4

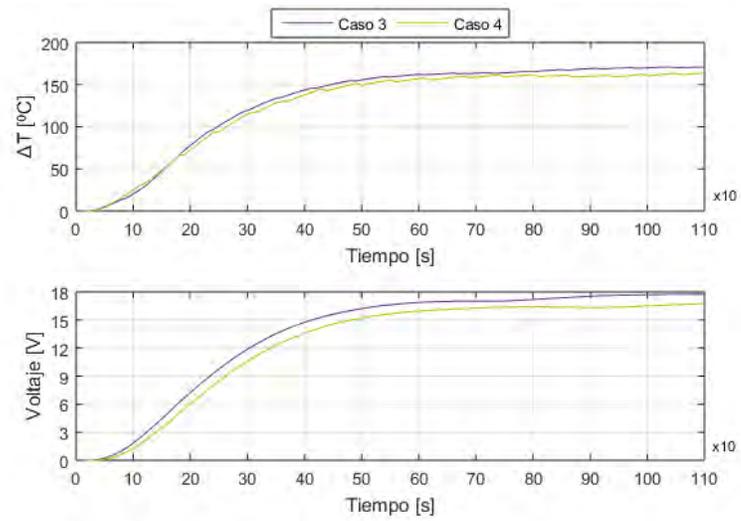


Figura 57. Curva de tendencia para voltaje generado $\leq 1V$ (a) Caso 3 (b) Caso 4

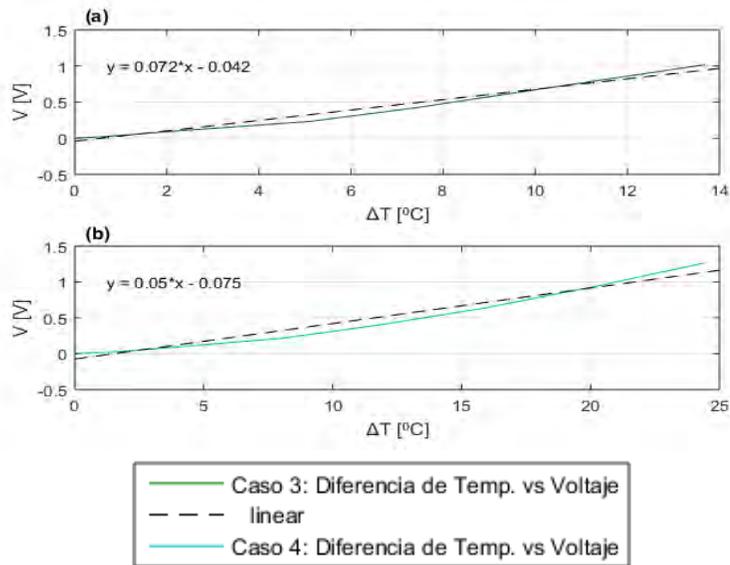
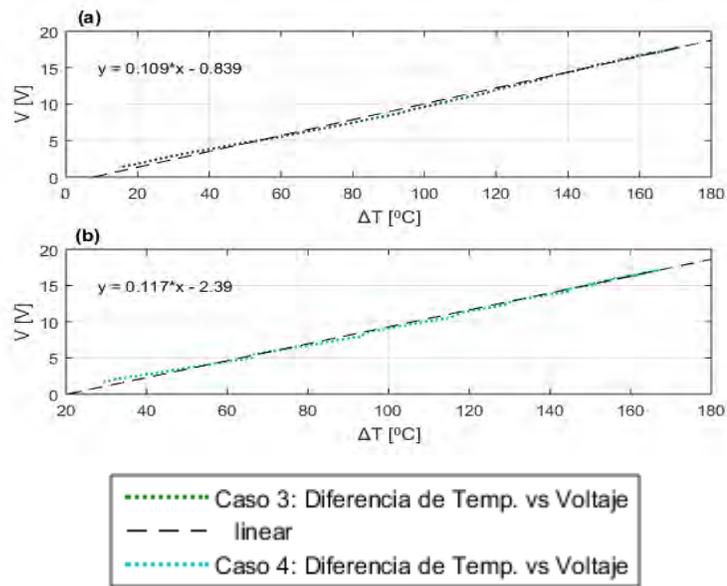


Figura 58. Curva de tendencia para voltaje generado $> 1V$ (a) Caso 3 (b) Caso 4.



Las Figura 57 y Figura 58 muestran la relación lineal entre ΔT vs V para los casos 3 y 4.

La Tabla 18 agrupa los coeficientes del modelo matemático teniendo en cuenta los cuatro casos.

Tabla 18. Coeficientes del modelo matemático

CASOS	T° operación $< 227^{\circ}\text{C}$		T° operación $> 227^{\circ}\text{C}$	
	E	V	E	V
Caso 1	0,102	-0,0307	0,111	-1,05
Caso 2	0,0925	-0,0285	0,109	-1,2
Caso 3	0,072	-0,042	0,109	-0,839
Caso 4	0,05	-0,075	0,117	-2,39
PROMEDIO	0,079	-0.015	0,112	-1,369

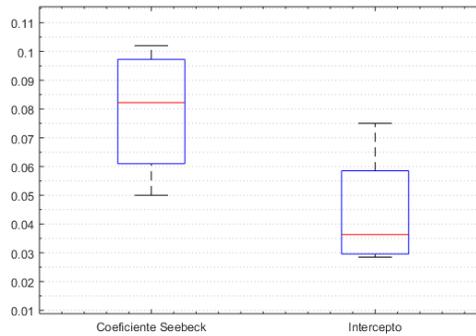
Calculada las pendientes en los 4 casos, se realiza un promedio sobre el coeficiente de Seebeck (ϵ) y se obtiene la Ecuación (32) la cual comprueba matemáticamente la dependencia lineal del voltaje respecto a la variación de la temperatura:

$$V = \begin{cases} 0.079 * \Delta T - 0.015 & \text{para } T_c < 227^{\circ}\text{C} \\ 0.112 * \Delta T - 1.369 & \text{para } T_c > 227^{\circ}\text{C} \end{cases} \quad (32)$$

El gráfico de cajas para $0 < V < 1V$ (Figura 59)

$$V [V] = 0.079 * \Delta T - 0.015 \quad (33)$$

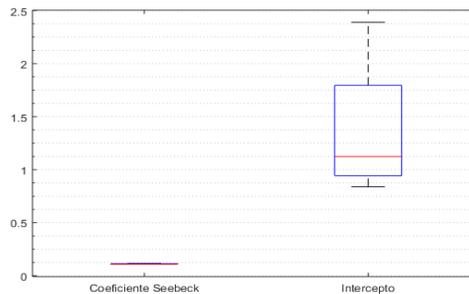
Figura 59. Rango en que oscila el coeficiente y la pendiente de la ecuación (33)



El gráfico de cajas para $1 < V < 18V$ se muestra en la Figura 60.

$$V [V] = 0.112 * \Delta T - 1.369 \quad (34)$$

Figura 60. Rango en que oscila el coeficiente y la pendiente de la ecuación (34)

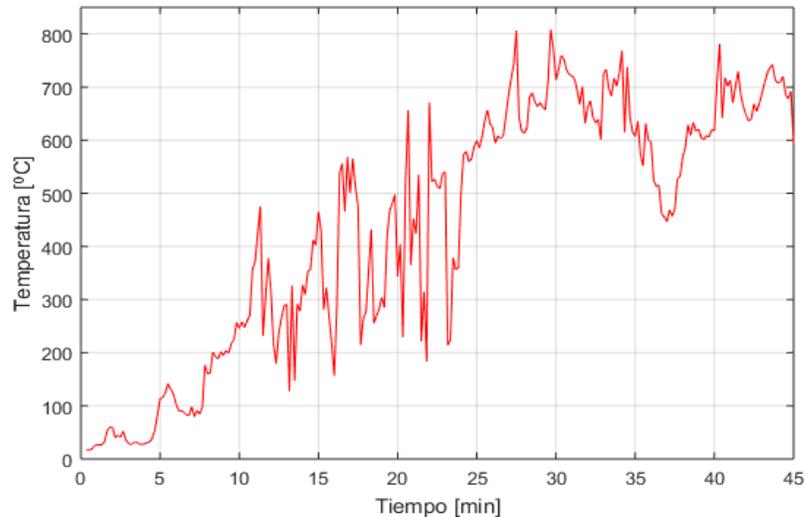


6.3 ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EN CONDICIONES REALES

Se analizó el funcionamiento de todo el sistema (Estufa + Explorer) en condiciones reales de funcionamiento, utilizando la Estufa Fija para estimar la cantidad de energía que se puede generar en condiciones reales.

Como primera medida se registró la temperatura en la cámara de combustión, la temperatura en las dos placas y el voltaje generado por el Explorer®, en estas condiciones se observó que el voltaje generado no es constante debido a las variaciones en temperatura dentro de la cámara de combustión (Figura 61). La prueba se inició con el sistema (agua, cámara de combustión y Explorer®) en equilibrio $T_0 \approx 22^\circ\text{C}$

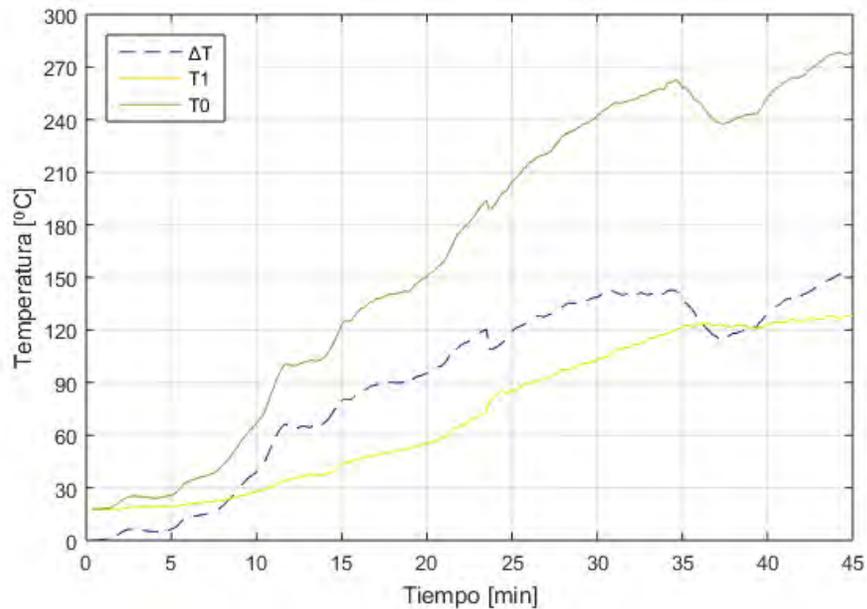
Figura 61. Temperatura cámara de combustión



En la Figura 62 se compara las temperaturas entre la placa superior T_0 (menor temperatura) respecto a la placa inferior (T_1), en el punto de voltaje máximo la diferencia entre las placas es 150°C , utilizando el modelo matemático desarrollado se puede estimar que el voltaje sería 15.431V.

Del modelo se concluyó que un $\Delta T \approx 21^\circ\text{C}$ genera 1V, y teniendo en cuenta que en una cámara de combustión las variaciones de temperatura pueden llegar a los 100°C en 1 minuto, el voltaje generado puede disminuir al menos 4V, lo que implica un problema en el momento de acoplar una carga o cargar una batería.

Figura 62. Curva de temperaturas en Explorer®



Como se indicó, la temperatura de operación varía desde los 20°C iniciales hasta los 800°C (temperatura máxima registrada), por esta razón la prueba se divide en dos periodos desde que inicia la prueba $t_0=0\text{min}$ hasta $t_1=10\text{min}$, tiempo donde la temperatura supera los 227°C, y el otro periodo de tiempo ocurre desde los 10 minutos hasta finalizar la prueba ($t_3=45\text{min}$, la temperatura del agua ha llegado al punto de ebullición 91.7°C)

Definido los dos periodos de evaluación, se calculó el voltaje teniendo en cuenta el modelo matemático definido anteriormente mostrado en la Ecuación (33) y Ecuación (34).

Se trazó la curva de voltaje medido y calculado como se indica en Figura 63. y se observó diferencias entre las dos curvas, concluyendo que el error en el primer periodo es 7.8% en el segundo periodo es 5.6%.

Figura 63. Curva de Voltaje Calculado y Medido

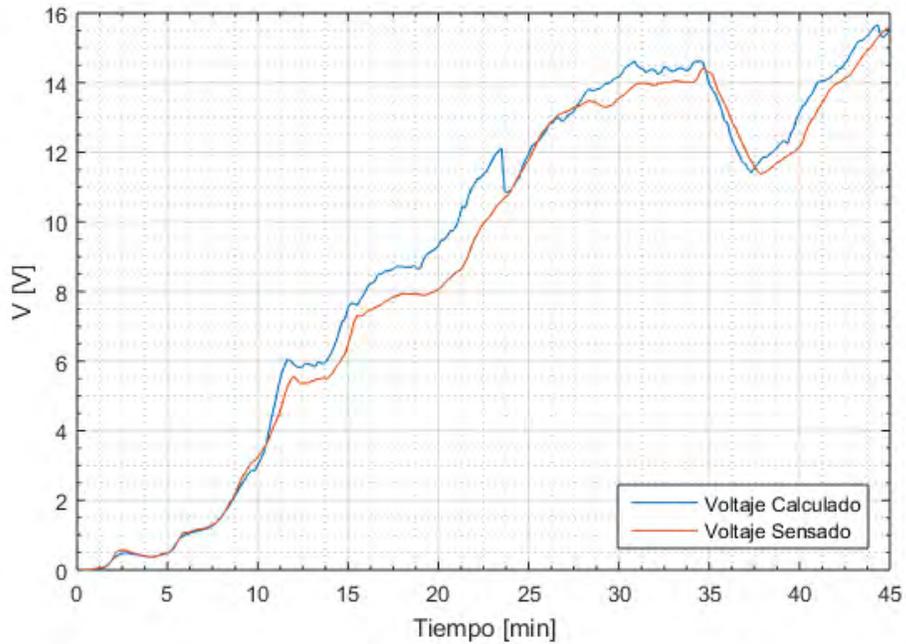
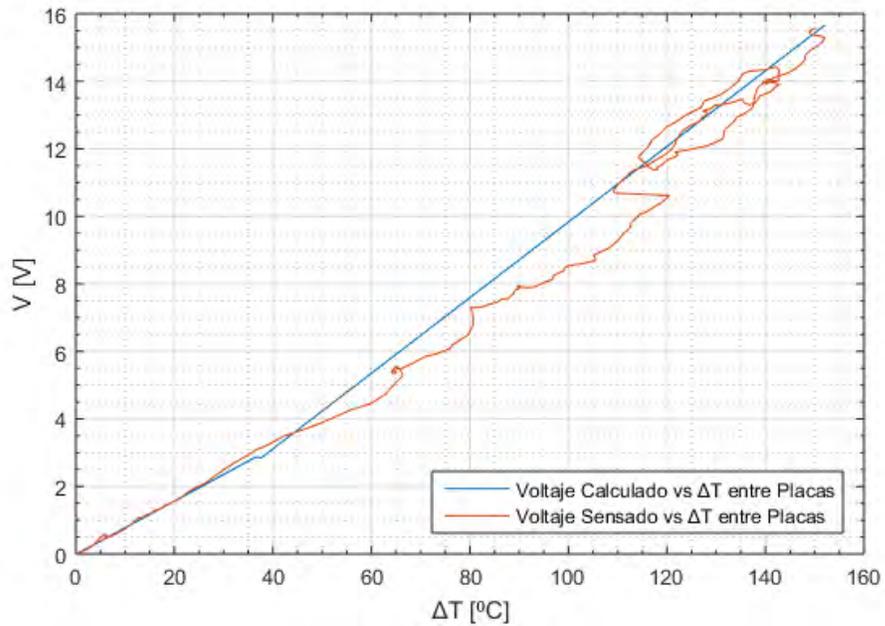


Figura 64. Curva de Voltaje Calculado y Sensado



Se pudo observar que el comportamiento de la temperatura en la fuente de calor (cámara de combustión) no es constante, lo que influye en que la temperatura en las placas varíe en razón de estos cambios y a su vez genere cambios en el voltaje, así mismo cuando se relaciona la linealidad del voltaje respecto a la diferencia de temperatura (Figura 64). Ejemplo de ello ocurre durante el minuto 35

donde la temperatura en la cámara de combustión disminuye, ocasionando que ΔT disminuya 30°C lo que se ve reflejado en la disminución de 2V.

6.3.1 Estimación de la Energía Generada por el Sistema

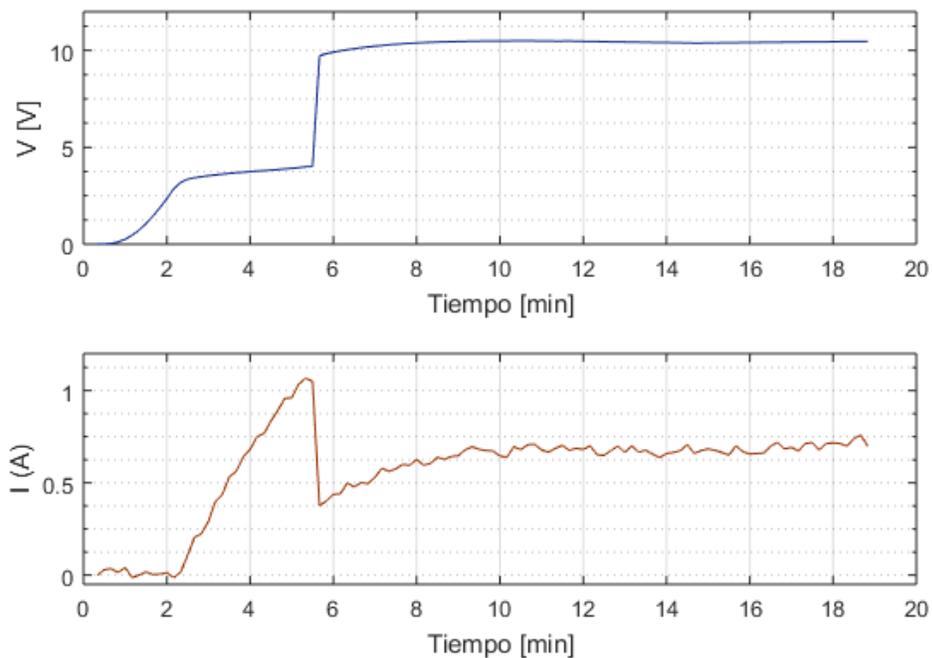
Esta estimación se realizó para dos casos: con fuente de calor constante y fuente de calor variable.

6.3.1.1 Fuente de calor constante.

Con el fin de estimar la energía generada por el Explorer, se registró el Voltaje y Corriente cuando se conecta un bombillo al Explorer®.

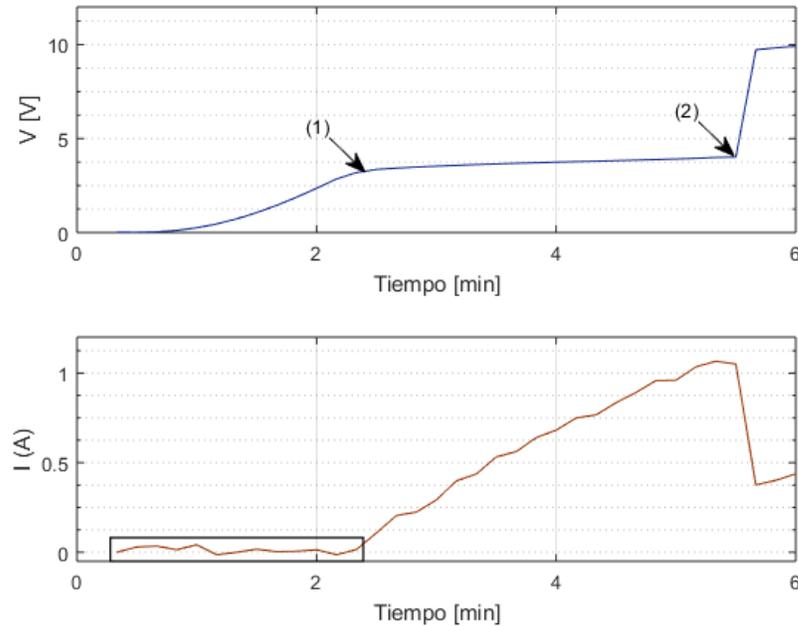
La Figura 65 ilustra la curva de I y V en función del tiempo de una bombilla led conectado al Explorer, el tiempo estimado de la prueba fue 18 minutos, durante la prueba la temperatura de la fuente de calor fue constante de 552°C .

Figura 65. Registro de voltaje y corriente en una carga



La bombilla LED está diseñada para iluminar aun con bajo voltaje, al registrar el voltaje se obtuvo que se necesita al menos 3.5 V para que el bombillo inicie a encender. En la bombilla cuando se aplica una pequeña tensión inicia a conducir una corriente que compensa la ausencia de voltaje mínimo de operación del bombillo (Figura 66)

Figura 66. Voltaje y corriente en su punto máximo y mínimo



A partir de la Figura 66 se pudo determinar un periodo de menos de 6 minutos donde el voltaje no superó los 4 V en este periodo se tuvo dos puntos de referencia:

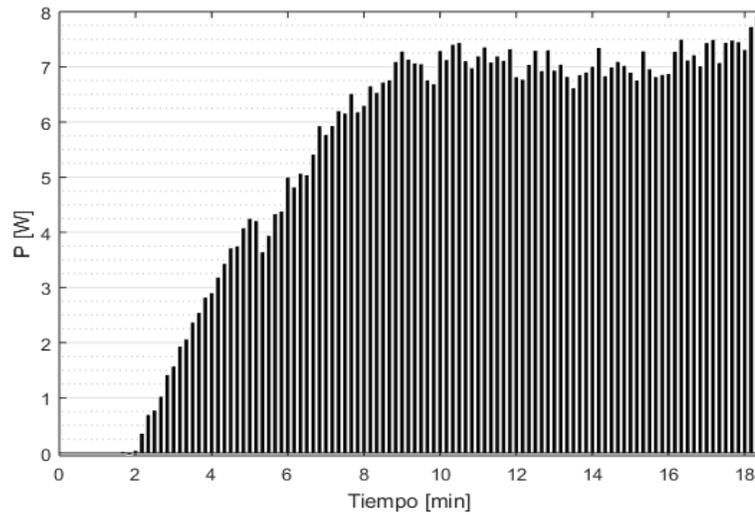
(1) El bombillo inicia a encenderse con 3.36 V, e incrementa ≈ 657 mV durante 2 minutos, en comparación con la corriente esta ha incrementado gradualmente desde los 108 mA hasta $I_{\max}=1.05$ A.

(2) Se registra el voltaje mínimo de operación de la bombilla, la corriente disminuye hasta un punto mínimo desde el cual inicia a incrementar gradualmente como el voltaje. El voltaje ha pasado de $V_{(1)}=4.02$ V a $V_{(2)}=9.73$ V y se compensa con la disminución de corriente de $I_{(1)}=1.05$ mA a $I_{(2)}=375$ mA

Se calculó la potencia de la carga en todos los puntos registrados, y se obtuvo la Figura 67 teniendo en cuenta que la potencia aumenta desde que inicia hasta después de 9 minutos, a partir de los 9 minutos hasta finalizada la prueba la corriente y el voltaje tienden a ser constantes $I \approx 682$ mA y $V \approx 10.45$ V respectivamente. Se concluye entonces que la potencia de la bombilla es $P = 7.13W$.

$$P = V * I \quad (35)$$

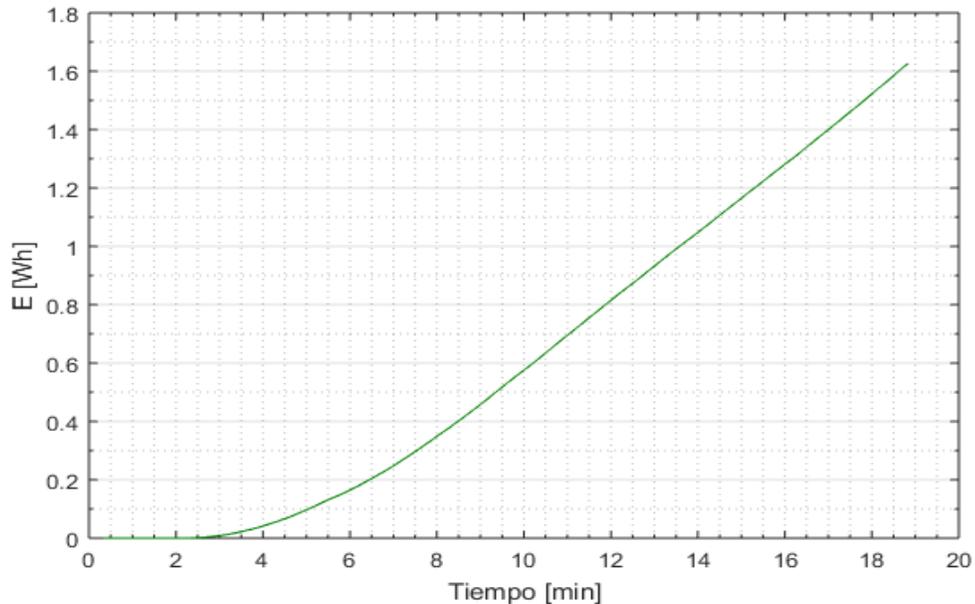
Figura 67. Curva de potencia de la bombilla



A partir de la anterior curva se estima la Energía, tal como se indica en la Figura 68 teniendo en cuenta que el tiempo de muestreo fue 10 segundos.

La energía se calcula como el área debajo de la curva de Potencia, por lo tanto la generación de energía durante la prueba (aproximadamente 18 minutos) fue de 1.63Wh. Durante una hora el sistema genera $E = 7.13Wh$

Figura 68. Curva de energía



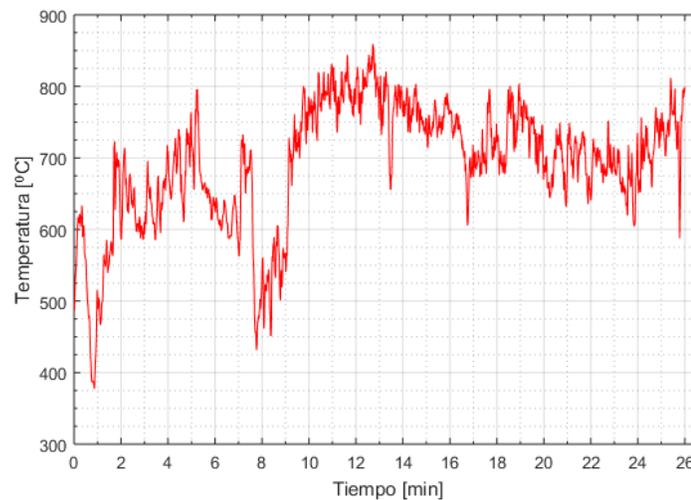
6.3.1.2 Fuente de calor variable (Estufa de leña)

Se evaluó la generación de energía en condiciones reales conectando una carga al dispositivo Explorer®.

En la Figura 69 se indica el comportamiento de la temperatura registrada en la cámara de combustión, esta prueba se realizó con la estufa iniciando en caliente, razón por la cual la temperatura se eleva rápidamente. Una de las características en la una estufa es que la temperatura de la combustión de madera no es constante.

A partir del minuto 14 la temperatura de operación se mantiene en un rango de 700°C a 800°C, período en el cual el voltaje presenta un comportamiento similar.

Figura 69. Temperatura en la cámara de combustión



Los últimos 12 minutos de la prueba el voltaje promedio es 10.4V y la corriente 682mA aproximadamente (Figura 70).

Usando el registro de voltaje y corriente se calculó la potencia de la cual resultó la Figura 71 y se obtuvo que la potencia máxima es 8.46W y la potencia promedio en el periodo de 12 minutos es 7.1W.

Figura 70. Voltaje y Corriente en la carga. Fuente de calor, combustión de leña

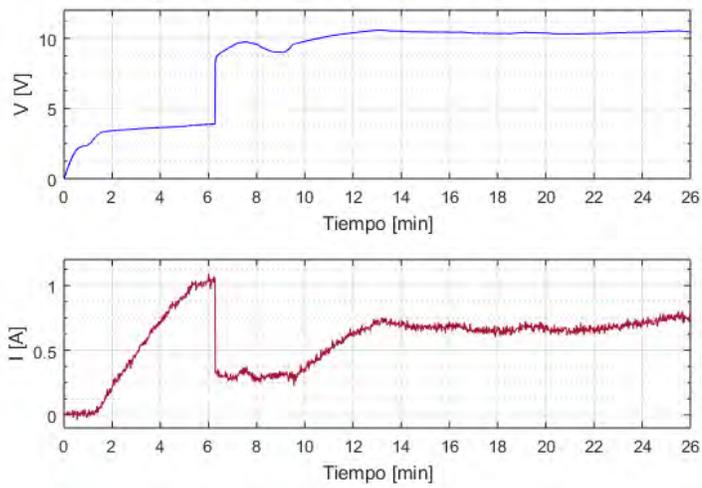
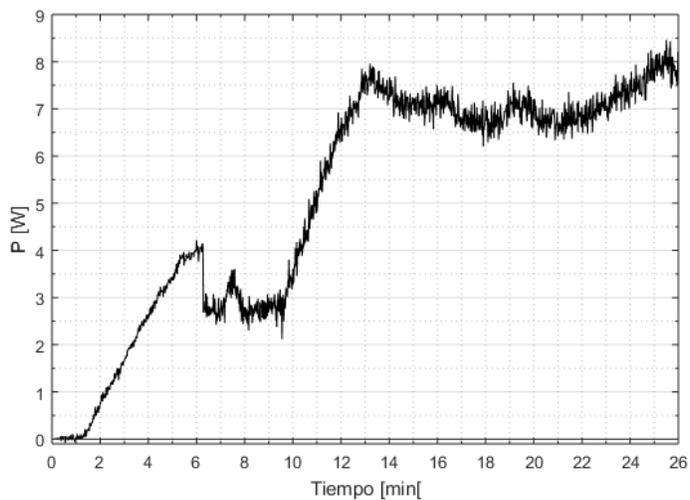


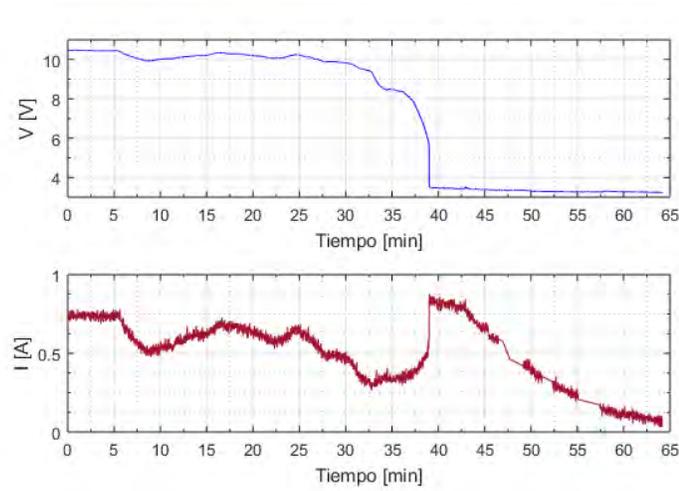
Figura 71. Curva de potencia de la carga en condiciones reales



Al evaluar el periodo de voltaje constante se estima que la energía consumida por la carga en 1 hora es 7.1Wh.

Se conoce que finalizadas las tareas de cocción se deja el carbón dentro de la cámara de combustión, lo cual produce calor remanente al interior de la estufa que ayuda a que la temperatura de la placa inferior no disminuya bruscamente. La Figura 72 muestra el voltaje y corriente consumidos por la carga durante este período.

Figura 72. Voltaje y Corriente después del primer hervor.



Después de 27 minutos, no se agrega más combustible y se mantiene el restante dentro de la estufa, para observar el comportamiento de la potencia generada.

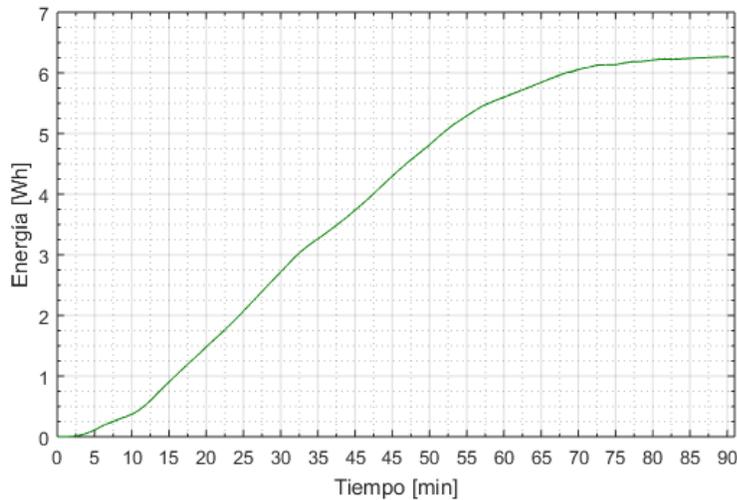
Se concluye que al menos 10 minutos de el Explorer® es capaz de generar más de 5V con el calor remanente.

La prueba continuo durante 25 minutos, hasta que el voltaje no fue representativo (3.24V) en ese momento la corriente no superó los 40mA.

Adicionalmente se registró el voltaje generado por el Explorer® cuando la carga no estaba adaptada, al tomar el minuto 39, el voltaje generado es de 9.84 V, voltaje suficiente para cargar la batería de 2.4V. El tiempo aprovechable en que el voltaje generado no baja de los 5.5V es de 23 minutos.

En los últimos 25 minutos no se genera potencia aprovechable lo cual se ve reflejada en la curva de energía acumulada (Figura 73) al no aumentar considerablemente su valor en este tiempo, que corresponde al momento en que las temperaturas del Explorer están llegando a equilibrio.

Figura 73. Energía Acumulada Generada durante 91 minutos de prueba.



6.3.2 Análisis de Carga AC

Para calcular la capacidad del sistema para solventar una carga AC, se evaluó en primera medida la capacidad de carga de una batería a partir del voltaje generado en el Explorer®; aunque el máximo voltaje sentido en el Explorer® es $V_{\text{máx}} \approx 13V$ se cargó una batería de $V_{\text{nominal}} = 2.4V$ a $I_{\text{nominal}} = 550mA$, el fin de analizar una carga pequeña es obtener una curva completa de carga y a partir de ella realizar el dimensionamiento teniendo en cuenta los tiempos de cocción.

La carga se inicia cuando el voltaje de salida del generador es constante en $V_G = 13.04V$, de manera que el regulador de voltaje entrega $V = 5.02V$, esto a una temperatura de operación $T = 570^\circ C$.

La cantidad de agua con que se inició la prueba fue de 1 Litro y la cantidad de agua consumida al momento de finalizar la carga de la batería fue de 800 mLt respectivamente.

El voltaje inicial en la batería fue $V_0 = 2.36V$, al momento de conectar la batería el voltaje registrado fue $V = 2.36V$ e incrementó hasta mantener el voltaje constante en $V_f \approx 3.13V$, caso contrario se presenta en la curva de la corriente, ya que el punto inicial de la curva es el punto máximo registrado, a partir de este momento la corriente inicia a disminuir.

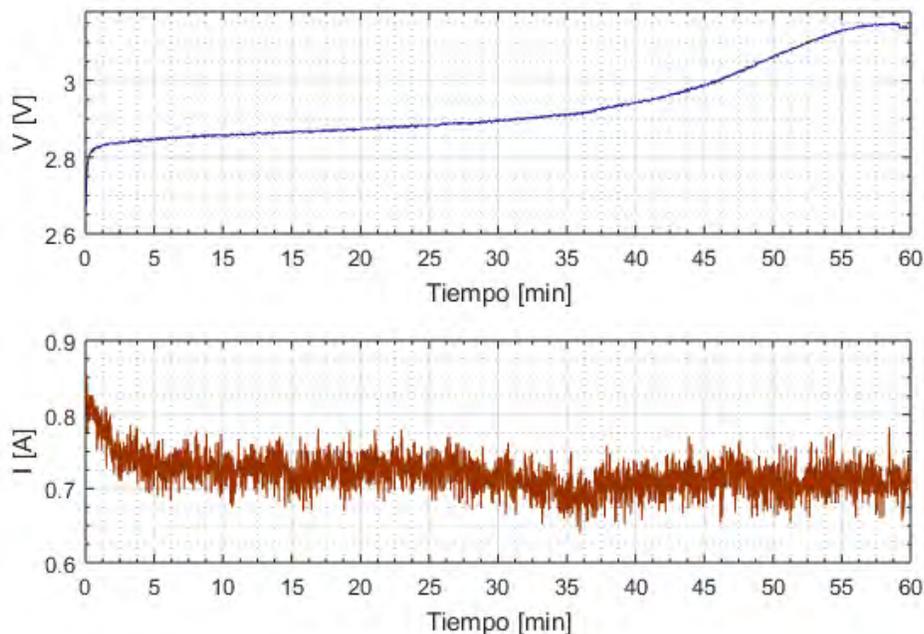
En la Figura 74 las variaciones en voltaje y corriente son pequeñas a partir de los primeros 5 minutos hasta los 30 minutos, periodo en el cual el voltaje incrementa 50mV y la corriente oscila entre los 700mA a 775mA. Como la batería continua cargándose, la corriente disminuye hasta mantenerse constante en 700mA

aproximadamente, el voltaje por otro lado incrementa 250mV hasta registrar el voltaje máximo. La prueba continua durante 4 horas, hasta que la corriente sensada tienda a 0 A, en ese momento se retira la alimentación y el voltaje en las terminales de la pila se establece en $V_f = 3.13 V$

Teniendo en cuenta que el tiempo empleado para la cocción es 4 horas/día y el tiempo necesario para cargar una batería de 2.4V son 4 horas, se estima que durante el tiempo de cocción se cargaría una batería de este tipo y la cantidad de agua requerida para dicho proceso es al menos 4 Lts de agua, de la cual un 80% será evaporada y el porcentaje restante se calentará.

La máxima energía almacenada en las baterías por el Explorer® durante todo el proceso de cocción en un día, corresponde a 1 batería de 2.4 V y 550 mAh donde su energía equivalente será de 1,32Wh/día.

Figura 74. Curva de carga de batería 2.4 V



Teniendo en cuenta que la conversión de energía DC (energía generada por el sistema con el Explorer) se realiza a través de un inversor y que un inversor de la mejor calidad transforma el 70% de energía DC en AC, se estima que la energía generada por el sistema es de 0,92 Wh/día en Corriente Alterna.

6.3.3 Eficiencia del Sistema

La eficiencia del sistema se analiza dadas las siguientes condiciones:

La estufa utilizada para el cálculo, es la estufa Fija e inicia en caliente lo que corresponde a un funcionamiento típico de estufas en la Fase II del protocolo WBT aplicado anteriormente, los datos necesarios para calcular la eficiencia se toman de una de las pruebas aplicadas.

Se analiza la energía generada por el Explorer® hasta el punto de hervor para que coincida con el tiempo que toma realizar la Fase II

Teniendo en cuenta la Ecuación 30 (pág 54) y la Ecuación 31 (pág 54) que define la eficiencia térmica y eléctrica del sistema, donde los datos $m_{a\ calen} * \Delta T$ (masa de agua calentada por la diferencia de temperatura), $m_{a\ evap}$ (masa de agua evaporada), representan la sumatoria del valor de todas las ollas.

$$m_{a\ evap} = 333\ g \quad (36)$$

$$m_{a\ calen} * \Delta T = 564787,42\ g * ^\circ C \quad (37)$$

$$C_{bs} = 1127,3\ g \quad (38)$$

$$PCI = 17230\ \frac{KJ}{Kg} \quad (39)$$

Además la energía acumulada hasta el momento de hervor corresponde a los 29 primeros minutos, que son el promedio que se demora la Fase II en la estufa Fija.

La energía eléctrica acumulada hasta ese momento es de: 2,6 Wh que expresados en Julios se tiene: 9360 J

Entonces se obtuvo que la eficiencia térmica es:

$$\begin{aligned} n_t &= \frac{4,186(564787,42) + 2260 * 333 + \text{energía eléctrica}}{1127,3 * 17230} \quad (40) \\ &= \frac{4,186(564787,42) + 2260 * 333 + 93600}{1127,3 * 17230} = 16,2\% \end{aligned}$$

La eficiencia térmica en la prueba sin el dispositivo Explorer es de 16%, al incorporar la generación eléctrica la eficiencia en la estufa se incrementa en 0,2% debido a que el calor generado se está aprovechando por el dispositivo generador sin implicar aumento de combustible.

Esto quiere decir que un 16% de la energía total generada por el combustible se utiliza en hervir el agua del Explorer, calentar el agua de las ollas 2 y 3 y así mismo hervir el agua del recipiente (Estufa Móvil), la energía restante se pierde en el cuerpo de la estufa y al ambiente.

A partir de la anterior afirmación se infiere que el Explorer a su vez aprovecha una porción de ese 16,2%, para encontrar esa porción se partió de la ecuación (41) que plantea la Alianza Mundial para Estufas Limpias¹⁵, y es presentada para calcular la masa de agua hervida de todas las ollas (W_r):

$$W_r = \sum_{j=1}^4 ((P_f - P_i) * \left(\frac{T_{final} - T_{inicial}}{T_{ebullición} - T_{inicial}} \right)) \quad (41)$$

Donde: $(P_f - P_i)$ es la masa de agua inicial en cada olla, y debido a que la energía se relaciona linealmente con el cambio de temperatura se puede utilizar el siguiente factor que relaciona la fracción del calor absorbido por el agua con el calor requerido para hervir.

$$\left(\frac{T_{final} - T_{inicial}}{T_{ebullición} - T_{inicial}} \right)$$

Al obtener la masa efectiva de agua hervida W_r para cada olla y la suma de todas se puede relacionar porcentualmente la cantidad de energía aprovechada por cada olla:

La masa total efectiva de todas las ollas es: 9504 g

Para el Explorer es 3367, para la olla 2 es 1546g, para la olla 3 es 1163 g y para el recipiente es 3428 g, al hacer las proporciones queda que:

El Explorer aprovecha un 35%, la olla 2 un 16%, la olla 3 un 12% y el recipiente de agua aprovecha un 37%.

De manera que la eficiencia eléctrica resulta:

$$n_e = \frac{\text{energía eléctrica}}{C_{bs} * PCI * 16\% * 35\%} = \frac{9360}{1127,3 * 17230 * 0,16 * 0,35} = 0,9\% \quad (42)$$

Esto quiere decir que el sistema consume 0,9% del 16% del total de la energía térmica generada por el combustible, en otras palabras el sistema utiliza el 0,9 %

¹⁵ ALIANZA MUNDIAL PARA ESTUFAS LIMPIAS (THE GLOBAL ALLIANCE FOR CLEAN COOKSTOVES. Op. Cit, p 30

de la energía aprovechada en cocción para generación eléctrica, esto no implica un aumento en el consumo de combustible.

Por las características de fábrica el Explorer es un dispositivo con bajos niveles de eficiencia, ya que transforma a energía eléctrica una porción muy pequeña del calor que recibe, su caracterización nos permite inferir que está diseñado para aplicaciones en Corriente Continua y en funcionamiento constante solamente (por ejemplo la iluminación Led), ya que no es una fuente significativa de carga de baterías de gran capacidad como se evidenció anteriormente.

6.4 CURVA DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE UNA VIVIENDA TÍPICA DEL PACÍFICO

Para lograr una estimación del consumo de una vivienda típica se realizó el análisis de la información de las encuestas aplicadas en relación al consumo de energía eléctrica

6.4.1 Caracterización del consumo de energía eléctrica.

Se presentan los resultados haciendo una comparación con los datos suministrados por el PERS – Nariño¹⁶ en 2012

6.4.1.1 Mosquera

Para Mosquera se compara con el consumo básico de Subsistencia de la subregión Sanquianga a la cual pertenece este municipio, la Tabla 19 muestra que en esta región, en cada vivienda se utilizan 2 bombillas incandescentes de 60w por un tiempo de 2,82 horas al día, dando un consumo de 0,338 kWh/día, un TV de 21” con una potencia de 70w por un tiempo de 2,07 horas al día, dando un consumo de 0,145kWh/día. Entonces el consumo básico de subsistencia total para la subregión de Sanquianga se estima en 0,483kWh/día.

¹⁶ PERSNARIÑO. Consumos Básicos de Subsistencia Subregiones Nariño.2012 [En línea]. <<http://sipersn.udenar.edu.co:90/sipersn/index.php?doc&pers#>> [citado el 5 mayo de 2016]

Tabla 19. Consumos básicos y eficientes de subsistencia Sanquianga

Equipo	Capacidad	Capacidad (Media)		Número	Unidad	Servicio	Unidad	Subtotal Consumo (kWh/ mes)	Consumo (kWh/ mes)
Iluminación									7,6
Incandescente		45	W	2	Puntos de iluminación	2,82	hr/día	7,6	
Televisor	21"	41	W	1		2,07	hr/día		2,55
Total CBS Subregión Sanquianga									10,16

Equipo	Capacidad	Capacidad		Número	Unidad	Servicio	Unidad	Subtotal Consumo (kWh/ mes)	Consumo (kWh/ mes)
Iluminación									10,2
Incandescente		60	W	2	Puntos de iluminación	2,82	hr/día	10,2	
Televisor	21"	70	W	1		2,07	hr/día		4,35
Total CBS Subregión Sanquianga									14,50

Fuente: PERS NARIÑO, Análisis energético social Consumos básicos y eficientes Consumos básicos de subsistencia por regiones para Nariño.

En el caso analizado las encuestas arrojaron la siguiente información:

- Iluminación:

Se utilizan en promedio 3 bombillas incandescentes o 4 bombillas ahorradoras al día para actividades de iluminación, la Figura 75 se infiere que en un hogar promedio puede haber 3 bombillas de 60 W que se usan durante 4,12 horas al día con un consumo de 0,742 kWh/día o 4 bombillas ahorradoras de 25 W que se encienden durante 5 horas al día con un consumo de 0,0315 kWh/día ver Figura 76.

Figura 75. Tiempo encendido bombilla(s) tipo incandescente vs Número de casas

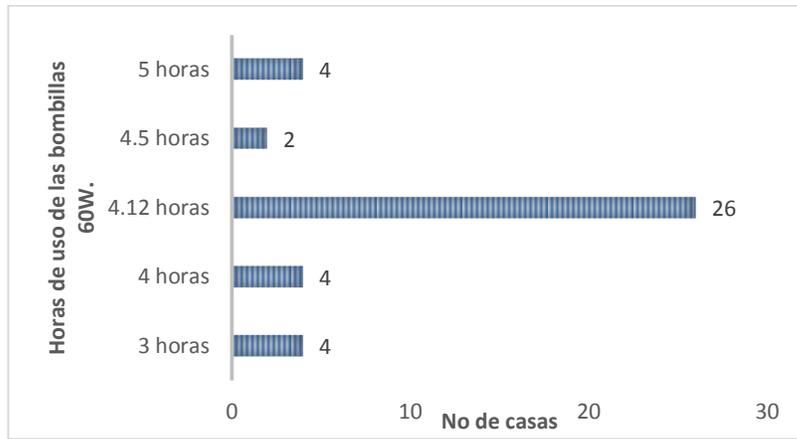
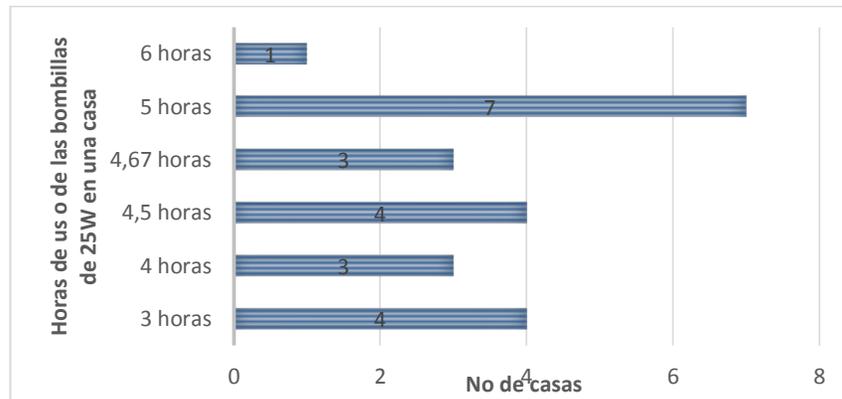


Figura 76. Tiempo de encendido bombilla(s) ahorradoras vs Número de casas



- Refrigeración:

En la Figura 77 y en la Figura 78, se puede observar los datos obtenidos del análisis para horas de uso y energía consumida para cada caso de refrigeración. Con la información que suministra estas gráficas se conoce el promedio en horas de uso y consumo de energía dando como resultado: 4,43 horas de uso y 3,0894 kWh/día de consumo.

Figura 77. Horas de Uso vs. Casos de Refrigeración

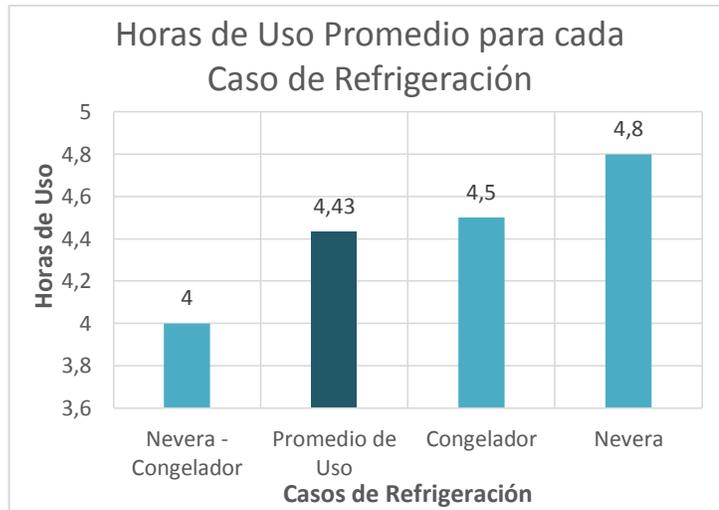
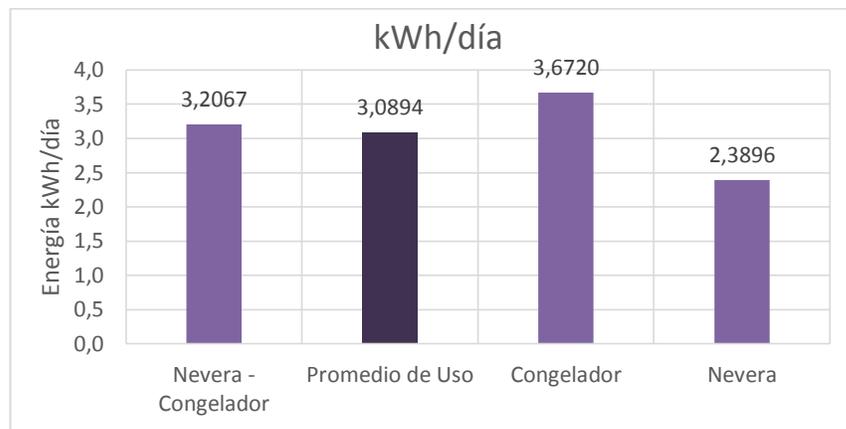


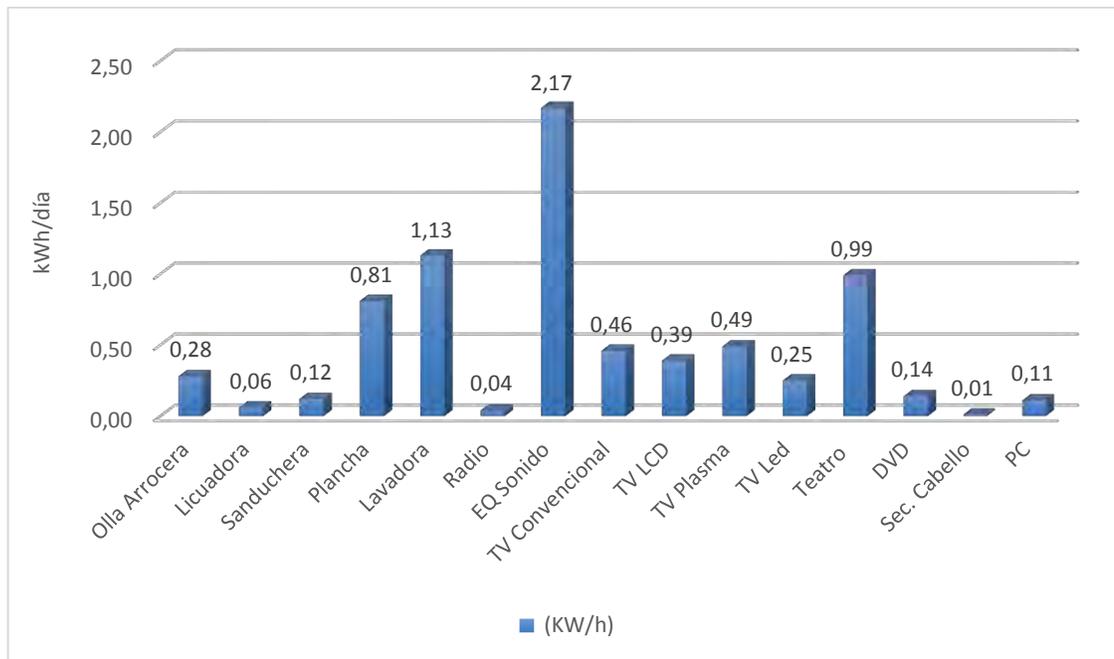
Figura 78. Horas de Uso vs. Energía Consumida para cada caso de refrigeración



- Electrodomésticos:

Para conocer el consumo total de energía que generan cada uno de los aparatos eléctricos se realiza un promedio entre los diferentes datos correspondientes a cada tipo de electrodoméstico, como resultado se proporciona Figura 79

Figura 79. Promedio de la Energía en (kWh/día)



Donde se concluye que se utiliza 1 Licuadora de 386,13 W con 0,15 horas de uso, dando como resultado 0,0579 kWh/día, 1 Equipo de Sonido de 750,71w con 1,77 horas de uso, dando como resultado 1,329 kWh/día, 1 TV Convencional de 107,15w con 3,96 horas de uso, dando como resultado 0,4243 kWh/día, El consumo total por electrodomésticos es 1,8110 kWh/día.

El consumo total para Mosquera es de 2,5561 kWh/día utilizando bombillos incandescentes y 1,8456 kWh/día utilizando bombillos ahorradores.

Al comparar estos consumos totales se observa que el encontrado en este análisis supera al de consumo de la subregión analizada por el PERS por 2,573 kWh/día, esto se debe a que el consumo total de la subregión se encuentra en términos per cápita, además en el análisis referido en este documento se encuentra que la población de estudio no solo utiliza los elementos expuestos por parte de PERS – Nariño, sino que también hacen uso de bombillas ahorradoras, licuadoras y equipos de sonido, asimismo la capacidad y cantidad de los elementos en común varía y/o se amplía.

6.4.1.2 Vaquería

Tabla 20. Consumos básicos de subsistencia en el Pacífico Sur

Equipo	Capacidad	Capacidad (Media)		Número	Unidad	Servicio	Unidad	Subtotal Consumo (kWh/mes)	Consumo (kWh/mes)
Iluminación									16,4
Incandescente		59	W	3	Puntos de iluminación	3,09	hr/día	16,4	
Televisor	21"	128	W	1		4,4	hr/día		16,90
Licuadaora		350	W	1		1,32	hr/día		0,23
Nevera	9ft	126	W	1		7	hr/día		26,46
Estufa Eléctrica	2 hornillas	1200	W	1		3,65	hr/día		131,40
Total CBS Subregión Pacífico Sur									191,39

Equipo	Capacidad	Capacidad (Media)		Número	Unidad	Servicio	Unidad	Subtotal Consumo (kWh/mes)	Consumo (kWh/mes)
Iluminación									16,4
Incandescente		60	W	3	Puntos de iluminación	3,09	hr/día	16,4	
Televisor	21"	200	W	1		4,4	hr/día		26,40
Licuadaora		350	W	1		1,32	hr/día		0,23
Nevera	9ft	200	W	1		7	hr/día		42,00
Estufa Eléctrica	2 hornillas	1200	W	1		3,65	hr/día		131,40
Total CBS Subregión Pacífico Sur									216,72

Fuente: Fuente: PERS NARIÑO, Análisis energético social Consumos básicos y eficientes Consumos básicos de subsistencia por regiones para Nariño.

En la Tabla 20 según el PERS corresponde a la subregión Pacífico Sur el siguiente consumo:

3 bombillas incandescentes de 60w por un tiempo de 3,09 horas al día, dando como resultado un consumo de 0,556 kWh/día, respecto a los electrodomésticos se utilizan: TV de 21" con una potencia de 200w por un tiempo de 4,4 horas al día, dando como resultado un consumo de 0,880 kWh/día, Licuadaora de 350w con 1,32 horas de uso, dando como resultado 0,462 kWh/día, Nevera 9ft de 200w con 7 horas de uso, dando como resultado 1,400 kWh/día, Estufa Eléctrica de 2 hornillas con una capacidad de 1200w con 3,65 horas de consumo, dando como resultado 4,380 kWh/día.

El consumo básico de subsistencia total para la subregión de Pacífico Sur es de 7,678 kWh/día.

- Iluminación:

Para Vaquería según la información proporcionada en la encuesta se infiere que se utilizan 2 bombillas de 60 W que se usan durante 3,15 horas al día con un consumo de 0,378 kWh/día, y 5 bombillas ahorradoras de 20 W que se encienden durante 4 horas al día con un consumo de 0,0315 kWh/día, dando como resultado total 0,4095 kWh/día.

La Figura 80 y la Figura 81 muestran el tiempo de encendido de las bombillas incandescentes y ahorradoras respectivamente.

Figura 80. Tiempo encendido bombilla(s) tipo incandescente vs Número de casas

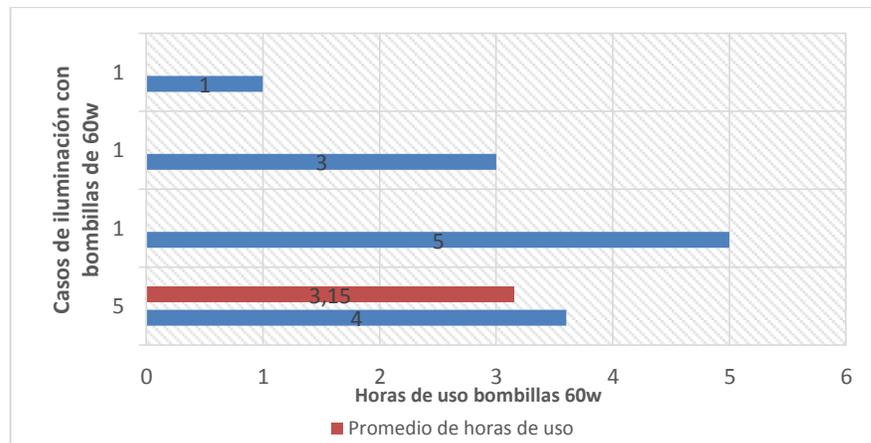
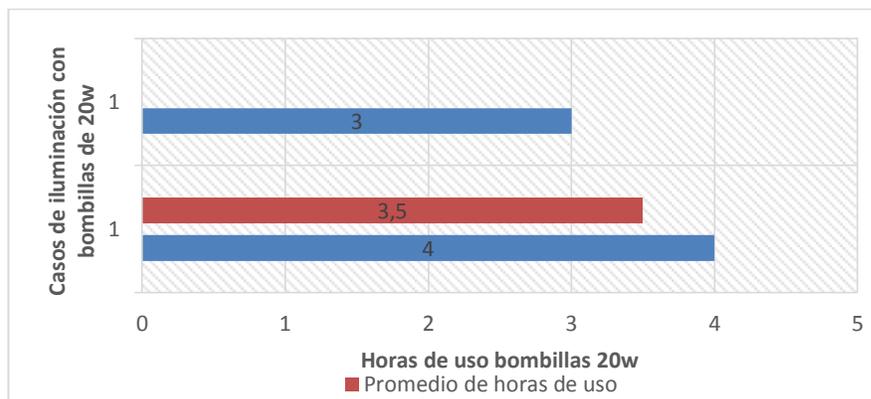


Figura 81. Tiempo encendido bombilla(s) tipo ahorradoras vs Número de casas



- Refrigeración:

Al presentarse solamente 2 casos de refrigeración se utiliza el promedio entre los casos para conocer el número de neveras y el consumo total de energía que presentaría este tipo de electrodoméstico en una casa ubicada en la localidad, dando como resultado 1 nevera con un consumo de 0,31 kWh/día (Tabla 21)

Tabla 21. Casos de refrigeración Vaquería-Tumaco

N° de Neveras	Marca	Volumen (lts)	Horas de uso	Potencia (w)	kWh/d
1	Haceb	302	2	105,08	0,21
1	LG	199	5	81,39	0,41

- Electrodomésticos:

Para el caso de electrodomésticos se utilizan 1 DVD de 35w con 1,51 horas de uso, dando como resultado 0,05285 kWh/día, Equipo de Sonido de 593,2w con 2,8 horas de uso, dando como resultado 1,66096 kWh/día, TV convencional de 92,83w con 2,34 horas de uso, dando como resultado 0,217 kWh/día. El consumo total de electrodomésticos es 1,93081 kWh/día.

El consumo total para Vaquería es de 2,65031 kWh/día.

Relacionando la información extraída del presente análisis con la entregada por el análisis energético social de la subregión pacífico sur del PERS, se encuentra que el consumo total de la subregión supera en 5,02769 kWh/día al encontrado en este estudio, esta diferencia radica en que los municipios que abarca la subregión poseen una actividad comercial más desarrollada; a diferencia de las zonas donde se aplicaron las encuestas, las cuales definen su consumo energético por los aparatos que permiten suplir las necesidades básicas.

Relación del Consumo de Energía Residencial de este estudio con la Curva de Energía Eléctrica registrada por los Dataloggers.

La curva de consumo de la Figura 82 corresponde al consumo promedio registrado en con 3 cargas, realizada por el PERS en el año 2012 .la cual muestra un consumo máximo de 0,58 kWh.

En la Figura 83 muestra el consumo promedio con 4 cargas, en esta curva se evidencia un consumo máximo de 1,7 kWh, esta curva se desarrolló en la presente investigación.

El consumo promedio con 5 cargas obtenido en este análisis es de 2,5561 kWh/día haciendo uso de bombillos incandescentes o 1,8456 kWh/día haciendo uso de bombillos ahorradores, estos valores se aproximan a los registrados por instrumentos de medida en junio de 2013 y noviembre de 2014.

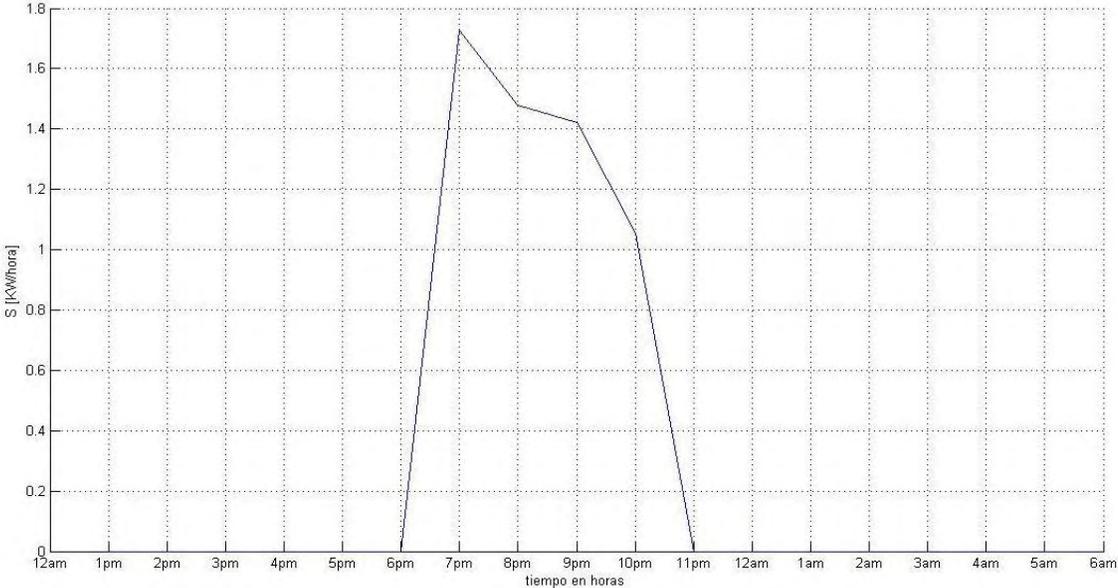
La mínima carga de una vivienda típica de la Costa Pacífica se da en el caso de iluminación con bombillas ahorradoras que corresponde a 0,0315kWh/día, al hacer la comparación con la energía generada se puede inferir que el sistema por sí solo no supe la carga de una vivienda típica de esta región.

Figura 82. Consumo residencial con 3 cargas (iluminación, Licuadora, Tv Convencional) para una casa en Cocal Payanes – Mosquera (2012)



Fuente: PERS-Nariño.

Figura 83. Consumo residencial con 4 cargas (Iluminación, Licuadora, Tv Convencional, Equipo de Sonido) para una casa en Cocal Payanes – Mosquera (Noviembre 2014))



6.5 CONCLUSIONES

En el área de estudio, la Costa Pacífica se presentan rasgos típicos asociados al proceso de cocción por ejemplo las personas con bajos ingresos no tienen posibilidad de acceder a métodos más eficientes, lo cual conlleva a la utilización de fogones ineficientes de leña, cuyo uso frecuente se asocia con problemas de salud tal como lo expresa el 73% de la población encuestada. Además el uso de estos fogones implica adquisición de leña (50% de los encuestados extraen de terrenos públicos y propios) y la recolección de la misma con una frecuencia de 2 días y de al menos 2 horas por cada día de recolección, esta información describe un panorama de constante consumo de la leña y que la adquisición de la misma implica trasladarse distancias representativas desde el hogar. Adicionalmente se concluyó que las labores de cocción tardan como máximo 4 horas al día para lo cual se requiere 2,33 Kg/día de leña por persona.

La combustión de leña en una estufa mejorada está determinada por varios factores físicos y químicos tanto del combustible como del dispositivo de cocción, en el diseño del prototipo de estufa es muy relevante el componente social, es decir conocer las necesidades de cocción que poseen los pobladores de la zona de estudio, sin dejar de lado los requerimientos de funcionamiento como por ejemplo, el aislamiento de la trayectoria de los gases dentro de la estufa, utilización de una chimenea aislada, el incrementar de la exposición de la superficie de la olla para que se transfiera de mejor manera la energía térmica que esto afecte el comportamiento del fuego al interior de la cámara de combustión. Otro factor relacionado con el combustible es la dimensión de su área transversal, entre menor sea esta y mayor sea la exposición al fuego de las superficies de la madera, los volátiles escapan de forma más fácil. De forma similar ocurre con la humedad de la leña, ya que altos porcentajes de humedad implican pérdidas de energía en el proceso de evaporación del agua contenida en la leña.

Incluir los pellets de aserrín como combustible para cocción en la Costa Pacífica, no es viable, debido a que esto implica costos asociados a la producción y transporte de pellets, adicionalmente se necesitaría lugares específicos para el almacenamiento, tarea que no está vinculada con las costumbres típicas de la región, a pesar que su inclusión conlleva ventajas energéticas al tener menor área transversal que los troncos normalmente utilizados en una estufa.

El principio del efecto termoeléctrico es la generación de voltaje a partir de un gradiente de temperatura en las juntas de dos materiales caracterizados por tener alta conductividad eléctrica y baja conductividad térmica, dicho voltaje responde a una relación lineal con la temperatura que varía en proporción del coeficiente Seebeck, sin embargo este coeficiente no es constante, está limitado

por la temperatura de operación y las propiedades termoeléctricas de los materiales; debido a esto se concluye que el sistema es lineal en dos rangos de operación, cuando la superficie del Explorer ($T_1 = T_{\text{operación}}$) está entre $0^\circ\text{C} < T_{\text{operación}} < 227^\circ\text{C}$ y cuando $T_{\text{operación}} > 227^\circ\text{C}$.

La combustión dentro de una estufa es un proceso bastante variable es decir la temperatura que genera no es constante, esto debido a la disposición de la leña dentro de la cámara, propiedades de la misma, la cantidad de aire que este ingresando y la manipulación del usuario. Estas variaciones se ven reflejadas en la generación de voltaje, más si un ΔT no menor a 21°C puede generar 1V; para casos donde la temperatura disminuye, el voltaje puede caer alrededor de 2V en menos de 2 minutos.

El dispositivo Explorer® requiere de una fuente de calor y un refrigerante, calor por combustión de leña y agua respectivamente, al evaluar su capacidad para cargar una batería, se obtuvo que se necesita al menos 4 horas de funcionamiento con una fuente de calor que registre temperatura de aproximadamente 600°C y 4 litros de agua, lo anterior para cargar una batería de 2.4V donde se almacena 1.32Wh/día esta energía no es suficiente para suplir las cargas mínimas en la región de estudio: 0,4095 kWh/día para Iluminación, 0,31 kWh/día para refrigeración y 1,93081 kWh/día para electrodomésticos. Sin embargo la generación de energía por termoelectricidad es un campo en estudio y el aprovechamiento de la energía que se pierde en el cuerpo de la estufa y en el ambiente tiene bastante desarrollo enfocado en el aumento de la eficiencia eléctrica

6.6 RECOMENDACIONES

Realizar pruebas de Poder Calorífico con el fin de determinar este valor para mezclas comunes de madera utilizada en la cocción dependiendo de la región, y obtener un estimado mínimo de este valor.

Realizar un análisis a profundidad sobre el aire necesario en la combustión con el fin de implementar un control de modo que la combustión se realice de forma completa.

Debido a que la eficiencia en una estufa depende en mayor medida del aislamiento del trayecto de los gases calientes y de la cámara de combustión, estudiar a profundidad materiales o mezcla de ellos que se puedan utilizar con ese fin.

Realizar la implementación de la evaluación de gases producidos por una estufa de leña, aplicando el protocolo WBT para obtener los datos de concentración de CO y CO₂ de este modo se completa la evaluación de una estufa de este tipo.

Estudiar los modelos de generación termoeléctrica incluyendo los materiales semiconductores con el fin de mejorar la eficiencia y construir prototipos generadores que aprovechen en mayor medida la energía térmica del combustible que se pierde en el cuerpo de la estufa o en el ambiente.

Construir un modelo de estufa exclusiva para generación de energía por termoelectricidad que funcione con pellets, con el fin de aprovechar los residuos producidos en los aserraderos de la Costa Pacífica Nariñense.

BIBLIOGRAFIA

THE GLOBAL ALLIANCE FOR CLEAN COOKSTOVES. The Water Boiling Test- Version 4.2.3 The Alliance, 2014.

THE GLOBAL ALLIANCE FOR CLEAN COOKSTOVES. Op. Cit, p 30.

BALDWIN, Samuel. Biomass Stoves: Engineering Desing, Development and Dissemination. Virginia: Universidad de Princeton, 1987. p. 58

BOLIVIA. INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN. Cocinas Mejoradas – Condiciones técnicas mínimas de instalación, funcionamiento y de rendimiento. Bolivia: El Instituto,2010. 9p.

CADENA, Angela Inés. Planeamiento energético y energías alternativas en Colombia. En: I SEMINARIO INTERNACIONAL DE ENERGIZACIÓN CON FUENTES ALTERNATIVAS (11: 2013 : San Juan de Pasto). [En línea]. <http://www.upme.gov.co/presentaciones/2013/upme_pers-n_planeamientoenergetico - energiasalternativas_vf.pdf> [citado el 24 Junio de 2014].

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 697 de 2001. Bogotá D.C: El congreso, 2001. 2p.

COLOMBIA. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Santafé de Bogotá: La Unidad, 2015. [En línea]. <http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/RESUMEN_EJECUTIVO_INTEGRACION_ENERGIAS_UPME2015.pdf> [citado el 20 de Enero de 2016].

ESPAÑA. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA. Manual de Combustibles de Madera. España. La Asociación, 2008. 26p.

GUERRERO MONTERO, Katerine. Análisis de generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales en el municipio de Olaya Herrera en el departamento de Nariño. San Juan de Pasto, 2014, p76: Universidad de Nariño, PERS-Nariño, UPME, USAID, IPSE.

ISO.International Workshop on Clean and Efficient Cookstoves. En: TALLER INTERNACIONAL SOBRE ESTUFAS LIMPIAS Y EFICIENTES DE ISO.

(2:2012:La Haya). Actas Taller Internacional Sobre Estufas Limpias y Eficientes de ISO. Países Bajos: La Haya, 2012.

MÚNERA CANO, Andres Felipe. Desarrollo de un modelo matemático fenomenológico que permita simular el comportamiento de sistemas termoeléctricos. Medellín, 2012, p36. Tesis de Grado (Magister en Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Facultad de Minas. Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad Nacional: <<http://www.bdigital.unal.edu.co>>

PERSNARIÑO. Consumos Básicos de Subsistencia Subregiones Nariño.2012 [En línea]. < <http://sipersn.udenar.edu.co:90/sipersn/index.php?doc&pers#>> [citado el 5 mayo de 2016]

PERÚ. SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN. Reglamento para la evaluación y certificación de la cocina mejorada. Perú: El Servicio, 2011. 3p.

POWERSPOT. Manual de usuario Explorer. España: Powerspot, 2010.

WACLAW, Micuta. Modern Stoves For All. Londres: Intermediate Technolgy Publications, 1985. p. 3

WACLAW, Micuta. Op. Cit, p. 5

ANEXOS

ANEXO A Reporte de resultados-Análisis de Achapo

 Universidad de Nariño	SECCIÓN DE LABORATORIOS REPORTE DE RESULTADOS	Código: LBE-PRS-FR-76 Página: 1 de 1 Versión: 2 Vigente a partir de: 2014-01-15
--	--	---

LABORATORIO		BROMATOLOGÍA - ABONOS ORGÁNICOS				
DATOS USUARIO		DATOS MUESTRA		REPORTE No. LB-R-		007-15
Tesis Ing Electrónica "Sistema Generador de Energía por Combustión Aplicable a Zonas no Interconectadas." Estudiante Libertad Carvajal		Muestra Madera Achapo		Código muestra		023
Dirección: Mz B Casa 2. Pinos del Norte Pasto		Procedencia Aserradero, Pasto				
cc / nit: 1.085.293.777		Responsable del Muestreo ^a		Alejandra Jaramillo		
Teléfono: 300 653 8216		Fecha de Muestreo ^a		AA 15	MM 12	DD 05
e-mail mlibertadcarvajal@gmail.com		Fecha Recepción Muestra en Laboratorio		AA 16	MM 02	DD 02
		Fecha de Emisión del Reporte		AA 16	MM 02	DD 25
FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO		2016-02-03 a 2016-02-19				
ANÁLISIS SOLICITADO		Humedad, Ceniza, Nitrógeno, Energía, Azufre, Carbono total				
PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDAD DE MEDIDA	Base Parcialm. Seca	Base Seca	
Humedad	Secado estufa	Gravimétrica	g/100g	5,68		
Materia seca	Secado estufa	Gravimétrica	g/100g	94,32		
Ceniza	Incineración mufla	Gravimétrica	g/100g	0,40	0,42	
Energía	Bomba calorimétrica	Calorimétrica	Kcal/100g	444	470	
Nitrógeno	Kjeldahl	Titulométrica	g/100g	0,19	0,20	
Azufre	Oxidación húmeda, Turbidimetría	Turbidimétrica	g/100g	0,02	0,02	
Carbono Ogánico Total	Walkley Black	Colorimétrica	g/100g	54,6	57,9	
OBSERVACIONES						
<i>Nota a</i>		Información suministrada por el usuario				
<i>Expresión de resultados</i>		Con base a muestra seca				
RESULTADOS VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA						
UNA VEZ ENTREGADO ESTE INFORME DE RESULTADOS, EL LABORATORIO DEJA DE TENER CONTROL SOBRE SU REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL.						

Original firmado

Gloria Sandra Espinosa Naváez

Téc. Laboratorio Bromatología - Abonos Orgánicos

Elaboración del Reporte

Aprobación del Reporte

Revisó:

GSE

2015-02-25

FIN REPORTE DE RESULTADOS