

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**DESARROLLO Y ESTUDIO DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE UN PROTOTIPO  
DE HORNILLA MULTIVALVULAR TIPO COHETE, PARA APLICACIONES  
AGROINDUSTRIALES**

**KENNETH J. BARQUERO N.**

**4-768-1674**

**DAVID, CHIRIQUÍ**

**REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2024**

**DESARROLLO Y ESTUDIO DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE UN PROTOTIPO  
DE HORNILLA MULTIVALVULAR TIPO COHETE, PARA APLICACIONES  
AGROINDUSTRIALES**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEBE  
SER OBTENIDO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**APROBADO:**

**PROF. M.Sc. JOSÉ R. CASTILLO C.** \_\_\_\_\_  
**DIRECTOR**

**PROF. P.hD. JUAN CORELLA J.** \_\_\_\_\_  
**ASESOR**

**PROF. M.Sc. ALEXIS SAMUDIO P.** \_\_\_\_\_  
**ASESOR**

**DAVID, CHIRIQUÍ  
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2024**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco al Creador por haber sido parte de Su obra maestra, y darme sabiduría, inteligencia y paciencia para poder culminar este estudio.

A todos los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias que me brindaron sus conocimientos para mi formación académica y personal. En especial a mi director de tesis M.Sc. Jose R. Castillo C. por su paciencia, conocimientos, consejos, orientación, amistad y apoyo brindado a lo largo de la investigación, al P.hD. Juan Corella J. por su paciencia, su significativa colaboración en el análisis estadístico y confianza, al M.Sc. Alexis Samudio P. por conformar parte del comité evaluador, al P.hD. Juan M. Osorio R. por su ayuda en la redacción del documento, a mi tío, M.Sc. Ovidio E. Novoa S., que desde mi primer día como estudiante de la Facultad estuvo pendiente de mí, aconsejándome, apoyándome y guiándome en todo momento. Al decano M.Sc. Eldis Barnes M. y el secretario administrativo, Ing. Arnoldo Candanedo por su apoyo para llevar a cabo los procesos administrativos y, la consecución de la leña para el proyecto.

A toda mi familia, en especial a mi amada madre, Glydia Novoa, por vivir este proceso conmigo y confiar en mí, por sus consejos, por darme su apoyo incondicional en todo momento, por su paciencia y permanente motivación. A mi papá, Carlos Barquero por su apoyo en el desarrollo del estudio y por acompañarme en la toma de datos. A mi hermana, Stephanie Barquero, por apoyarme en todo momento. A mi segundo papá, mi tío, Carlos Pimentel, por sus consejos, cariño, motivación y apoyo logístico siempre que lo necesité. A mi tía, Gloenia "Jenny" Bosquez, por ayudarme en la redacción y en

el contenido del documento. A mi sobrina, Natalia quien, con su cariño, abrazos, inventos y visitas a la parcela, me reconfortaba.

A mi segunda madre, la licenciada María C. Imolesi S., por sus consejos, tiempo, ayuda, dedicación, motivación y regaños que me han servido de mucho para mi crecimiento personal y emocional.

A mis hermanos de vida, Roberto Miranda y Virgilio Pitti por estar pendientes del estudio y su disponibilidad para brindarme siempre su apoyo y consejos sin importar la hora ni el día. A Sergio Ortiz, Solanch Polo y Ernesto Castillo por escucharme cuando más lo necesitaba, brindándome siempre sus consejos y palabras de aliento.

A Francisco Miranda por ayudarme a comprender los análisis estadísticos.

A Fernando Brown por tenerme siempre en sus pensamientos y llamarme para apoyarme, orientarme, aconsejarme y alentarme cuando más lo necesitaba.

A Eric Martínez, Isaac Samudio y mi sobrino, Jean Paul Lawrence hijo, por soportar el calor proveniente de la estufa y ayudarme en la toma de datos. Al señor Onésimo Morales, la señora. Edna Hernandez y Jeffrey Castillo por su apoyo logístico.

A Giselle Morhaim, Abdiel Samudio, Jaime "Titi" Morales, María Belén Ivelic y a todos los voluntarios que formamos parte de "El Tapete Recicla", por sus consejos y apoyo.

Al personal de mantenimiento de la Facultad, por ayudarme a limpiar y organizar el área donde se tomaron los datos.

A todas las personas que se involucraron en el proyecto y en mi desarrollo académico y personal, no me alcanzarán las palabras ni las paginas para agradecerles.

## DEDICATORIA

Al Creador, porque de El emana toda ciencia, todo conocimiento y toda sabiduría.

A mi amada madre, Glydia Novoa, quien es un ejemplo a seguir; y a través de mis resultados ha demostrado que una buena orientación, consejos y regaños, con amor dan sus resultados.

A mis familiares fallecidos en pleno desarrollo de este estudio; uno de los abuelos que me regalo la vida, Efraín Rodríguez, mi tío, Arístides "Beto" Sentmant y en especial, a la persona que desde niño me ayudo a formar mi carácter, mi abuela, Raquel Miranda. Y a los que dejaron de estar físicamente en este mundo desde antes de mi formación universitaria; a mi abuela, quien lucho con su enfermedad para conocerme, y luego poder descansar, Ángela González, a mi abuelo, Ricardo Barquero, y a mi abuelo, quien fue otro padre para mí, contribuyendo con sus enseñanzas en mi formación, Ney Pimentel o simplemente "Papá Ney".

A mi tío, Adolfo Reid, el cual quiero como a un padre. Por ser una persona luchadora y ejemplar. Brindándome sus enseñanzas, consejos, cariño y amor incondicional, en todo momento.

A toda mi familia, quienes vivieron cada una de las etapas del estudio. En especial a mi sobrina Natalia, que es mi pequeña amiga y a quien amo incondicionalmente.

A mis mascotas, que para algunos son simples animales, pero quienes me han dejado muchas enseñanzas, Cookie y a sus hijos, Maya y Pluto. Esto es para ustedes y sus hermanos que ya no están en este mundo.

A las personas que alguna vez dudaron y/o se burlaron de mi y/o del estudio.

**Kenneth J. Barquero D.**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DEDICATORIA .....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. General .....	6
1.4.2. Específicos.....	6
1.5. Hipótesis de la investigación .....	6
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES .....	7
1.6.1 ALCANCES .....	7
1.6.2 LIMITACIONES .....	7
2. MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. Definición de energía .....	8
2.1.1. Energía no renovable .....	8
2.1.2. Energía renovable.....	8
2.1.3. Situación energética a nivel nacional .....	12
2.1.4. Energía térmica y calor .....	13
2.2. Estufas tipo cohete .....	15
2.2.1. Tipos de estufas cohete.....	16

2.2.2.	Partes y componentes de las estufas tipo cohete.....	18
2.2.3.	Estufas tipo cohete para cocción y calentamiento de agua .....	20
2.2.4.	Ventajas.....	20
2.2.5.	Desventajas.....	21
2.3.	Variables más importantes de una estufa tipo cohete para cocción y calentamiento de agua .....	21
2.3.1.	Temperatura.....	21
2.3.2.	Humedad relativa.....	22
2.3.3.	Fracción y humedad de biomasa .....	22
2.3.4.	Energía .....	23
3.	MARCO METODOLÓGICO .....	24
3.1.	Selección del diseño.....	25
3.2.	Construcción de la hornilla .....	26
3.3.	Ensayo de la hornilla tipo cohete con el acople A instalado .....	28
3.4.	Ensayo de la hornilla tipo cohete con el acople B instalado .....	30
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
4.1	Diseño del prototipo .....	39
4.2	Construcción del prototipo .....	42
4.3	Ensayado del prototipo con el acople A .....	45
4.4	Ensayado del prototipo con el acople B .....	46
4.5	Evolución de la temperatura y consumo de leña en el acople A .....	47
4.6	Evolución de la temperatura y consumo de leña en el acople B .....	61
5.	Conclusiones.....	74
6.	Recomendaciones.....	75
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....	788
	ANEXOS .....	866

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
I	MATERIALES USADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTUFA TIPO COHETE.	27
II	HERRAMIENTAS USADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTUFA TIPO COHETE.	28
III	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.	29
IV	VÁLVULAS DE LA HORNILLA BASE.	31
V	VÁLVULAS DEL ACOPLA A.	32
VI	VÁLVULAS DEL ACOPLA B.	33
VII	PARÁMETROS A RECOLECTAR EN EL ACOPLA A.	34
VIII	PARÁMETROS A RECOLECTAR EN EL ACOPLA B.	35
IX	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=100% Y VL=100%.	48
X	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=100% Y VL=50%.	49
XI	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=100% Y VL=0%.	50
XII	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=50% Y VL=100%.	51

XIII	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=50% Y VL=50%.	52
XIV	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=50% Y VL=0%.	53
XV	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=0% Y VL=100%.	54
XVI	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=0% Y VL=50%.	55
XVII	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=0% Y VL=0%.	56
XVIII	RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE TEMPERATURA EN EL ACOUPLE A.	57
XIX	CUADRO ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE TEMPERATURA EN EL ACOUPLE A.	57
XX	RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE CONSUMO DE LEÑA EN EL ACOUPLE A.	58
XXI	CUADRO ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE CONSUMO DE LEÑA EN EL ACOUPLE A.	59
XXII	RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE ENERGÍA DEMANDADA EN EL ACOUPLE A.	60
XXIII	CUADRO ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE ENERGÍA DEMANDADA EN EL ACOUPLE A.	60
XXIV	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=100% Y VL=100%.	62

XXV	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=100% Y VL=50%.	63
XXVI	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=100% Y VL=0%.	64
XXVII	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=50% Y VL=100%.	65
XXVIII	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=50% Y VL=50%.	66
XXIX	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=50% Y VL=0%.	67
XXX	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=0% Y VL=100%.	68
XXXI	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=0% Y VL=50%.	69
XXXII	RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=0% Y VL=0%.	70
XXXIII	RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE TEMPERATURA EN EL ACOUPLE B.	73
XXXIV	RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE CONSUMO DE LEÑA EN EL ACOUPLE B.	73
XXXV	RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE CONSUMO DE LEÑA EN EL ACOUPLE B.	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

NÚMERO	TÍTULO	PÁGINA
1	Funcionamiento de una estufa cohete de inercia térmica.	17
2	Partes de una estufa tipo cohete.	18
3	Secciones de una estufa tipo cohete.	19
4	Señalado en un círculo rojo, se encuentra la localización geográfica del área de ensayo.	25
5	Corte longitudinal de la hornilla base del prototipo ensayado.	31
6	Corte longitudinal de acople A.	32
7	Corte longitudinal de acople B.	33
8	Puntos de medición en el acople A.	34
9	Puntos de medición en el acople B.	35

10	Puntos de medición de temperatura registrados en la hornilla base.	36
11	Puntos de toma de temperatura del acople A.	37
12	Puntos de toma de temperatura del acople B.	38
13	Resumen grafico del desarrollo del prototipo.	40
14	Dimensiones de la estufa base.	41
15	Dimensiones del acople A.	41
16	Dimensiones del acople B.	42

## ÍNDICE DE ANEXOS

NÚMERO	TÍTULO	PÁGINA
1	Maqueta del prototipo hecha de cartón.	81
2	Chaqueta ignífuga, guantes resistentes a altas temperaturas y mascara con filtros para humo.	81
3	Primeras uniones de tubos.	82
4	Tubo abastecedor de leña soldado a la estructura.	82
5	Cámara de combustión.	83
6	Cenicero.	83
7	Corte en el tubo vertical de la estufa cohete.	84
8	Estufa cohete con dos quemadores.	84
9	Instalación de válvula de control tipo mariposa.	85
10	Instalación de válvula de control tipo empotrable (VR).	85
11	Válvula VR al 0%.	86

12	Topes de válvula VA.	86
13	Topes de válvula Vc.	87
14	Topes de válvula VD (derecha) y válvula (Vi) izquierda.	87
15	Hornilla con el acople A.	88
16	Hornilla con el acople B.	89
17	Leña de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> en proceso de secado.	90
18	Toma de humedad en la leña.	90
19	Barrera para proteger la estufa del viento ambiental.	91
20	Ejemplo de tabulación de datos en el acople A; donde, VA=100% y VL=50, VR=50 y Vc=100%.	92
21	Resumen de promedios totales para el acople A; donde, VA=100% y VL=50, VR=50 y Vc=100%.	93
22	Ejemplo de tabulación de datos en el acople B; donde, VA=100% y VL=50, VD=50 y Vi=100%.	94

23	Resumen de promedios totales para el acople B; donde, VA=50% y VL=100, VD=50 y Vi=100%.	95
24	Análisis de varianza del acople A, en la variable temperatura.	96
25	Análisis de varianza del acople A, en la variable consumo de leña.	96
26	Análisis de varianza del acople A, en la variable energía consumida.	96

# DESARROLLO Y ESTUDIO DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE UN PROTOTIPO DE HORNILLA MULTIVALVULAR TIPO COHETE, PARA APLICACIONES AGROINDUSTRIALES

Barquero, K. 2024. Desarrollo y estudio del rendimiento térmico de un prototipo de hornilla multivalvular tipo cohete, para aplicaciones agroindustriales. Tesis Ing. Manejo de Cuencas y Ambiente. Chiriquí. Universidad de Panamá. 118p.

## RESUMEN

Esta investigación consistió en el desarrollo y estudio del rendimiento térmico de un prototipo de hornilla tipo cohete con dos acoples, los cuales son intercambiables de diferentes configuraciones que se colocan en la hornilla base; instalándole válvulas de regulación de aire tanto en la entrada, como en la salida del mismo. Para construir el prototipo a estudiado, se tomó en consideración su costo, operación de válvulas y manipulación de la hornilla; para que el diseño se pueda replicarse con facilidad. Los parámetros evaluados fueron la temperatura, el consumo de leña y la energía demandada. Con cada uno de los accesorios, se obtuvo temperaturas que se clasifican en altas, intermedias y bajas. En el acople A las temperaturas altas se registran en la configuración de válvula de aire (VA) al 100% y la válvula de leña (VL) al 50% y comprenden desde los 200.51°C hasta los 341.53°C, registrándose un consumo promedio de leña y de energía demandada de 4.31kg/h y 24.06kWh respectivamente; las temperaturas intermedias se obtuvieron en la configuración VA=100% y VL=0% y, comprenden desde los 143.03°C hasta los 312.64°C, el consumo promedio de leña y la energía demandada fue de 3.38kg/h y 18.84kWh respectivamente; las temperaturas bajas resultantes de la configuración VA=0% y VL=50% van desde los 138.20°C hasta los 311.68°C, se combustionó en promedio 2.66kg/h de leña y 14.82kWh de energía demandada. En el acople B se registraron las temperaturas más altas en la configuración VA=100% y VL=100%, comprendidas desde las 218.89°C hasta los 330.97°C, combustionando en promedio 3.74kg/h de leña y demandando en promedio 20.88kWh de energía; las temperaturas intermedias resultaron en la configuración VA=50% y VL=0% abarcan desde los 167.41°C hasta los 293.71°C y se registró un consumo promedio de leña y energía demandada de 2.14kg/h y 11.96kWh, respectivamente; las temperaturas más bajas las arrojó la configuración VA=0% y VL=0%, incluyéndose desde los 149.26°C hasta los 206.73°C, consumiéndose en promedio 1.62kg/h de leña y demandando en promedio, 9.04kWh de energía. Los resultados demostraron que las posiciones de las válvulas influyen en la combustión de leña y por ende en las temperaturas generadas, por lo que la estufa se puede usar en aplicaciones domésticas, agroindustriales y comerciales, según las necesidades del operador.

**PALABRAS CLAVES:** estufa tipo cohete, válvulas de control, configuración de válvulas, temperatura, consumo de leña, energía demandada.

# DEVELOPMENT AND STUDY OF THE THERMAL PERFORMANCE OF A MULTIVALVE ROCKET STOVE PROTOTYPE FOR AGROINDUSTRIAL APPLICATIONS

Barquero, K. 2024. Development and study of the thermal performance of a multivalve rocket stove prototype for agroindustrial applications. Thesis in Watershed Management and Environment Engineering. Chiriquí. University of Panama. 118p.

## SUMMARY

This research involved the development and study of the thermal performance of a rocket stove prototype with two accessories, these are interchangeable burners of different configurations that attach to the base burner; incorporating air regulation valves at both the inlet and outlet. The construction of the prototype took into consideration factors such as cost, valve operation, and stove handling to ensure the design could be easily replicated. Parameters evaluated included temperature, firewood consumption, and energy demand. High, intermediate, and low temperature ranges were obtained for each burner. In burner one high temperatures were recorded in the configuration of air valve inlet (VA) at 100% and firewood valve (VL) at 50%, ranging from 200.51°C (392.92°F) to 341.53°C (646.75°F), recording the average firewood consumption and energy demand were 4.31 kg/h and 24.06 kWh, respectively. Intermediate temperatures were obtained in the configuration VA=100% and VL=0%, ranging from 143.03°C (289.45°F) to 312.64°C (594.75°F), with an average firewood consumption and energy demand of 3.38 kg/h and 18.84 kWh, respectively. Low temperatures resulting from the configuration VA=0% and VL=50% ranged from 138.20°C (280.76°F) to 311.68°C (593.02°F), with an average firewood combustion of 2.66 kg/h and energy demand of 14.82 kWh. In second burner the highest temperatures were recorded in the configuration VA=100% and VL=100%, ranging from 218.89°C (426°F) to 330.97°C (627.75°F). The average firewood consumption and energy demand were 3.74 kg/h and 20.88 kWh, respectively. Intermediate temperatures resulted from the configuration VA=50% and VL=0%, ranging from 167.41°C (333.34°F) to 293.71°C (560.68°F), with an average firewood consumption and energy demand of 2.14 kg/h and 11.96 kWh, respectively. The lowest temperatures were produced by the configuration VA=0% and VL=0%, ranging from 149.26°C (300.67°F) to 206.73°C (404.11°F), with an average firewood consumption of 1.62 kg/h and an average energy demand of 9.04 kWh. The results demonstrated that valve positions influence wood combustion and, consequently, temperatures generated. Therefore, the stove can be used in domestic, agroindustrial, and commercial applications according to the operator's needs.

**KEYWORDS:** rocket stove, control valves, valve configuration, temperature, firewood consumption, energy demand.

## INTRODUCCIÓN

Existen diversos procesos domésticos, agroindustriales y comerciales que por su naturaleza requieren de calor para procesamiento de alimentos y producción simultánea de agua caliente. Sin embargo, estos procesos demandan una elevada cantidad de energía que regularmente es suplida por derivados de hidrocarburos o energía eléctrica, recursos normalmente escasos en áreas rurales, siendo uno de los retos más importantes de la humanidad.

Al no disponerse de una fuente de energía limpia a costo razonable pudiera ocurrir que se invisibilice el desarrollo de nuevos emprendimientos, los costos de producción se eleven o simplemente se incumpla con normas de calidad relacionadas a procesos agroalimentarios, como lo son la desinfección de áreas, equipos e instrumentos.

En 2015 el suministro global de energía provino en un 84 por ciento de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) (Ojea, 2019). Buscar alternativas resulta primordial, ya que dicha fuente es un recurso limitado, y su combustión desencadena alteraciones ambientales tales como el efecto invernadero, la lluvia ácida y es también origen de conflictos bélicos, entre otros (Quiroga, 2017). Debido a estos problemas es necesario explorar otras opciones energéticas que sean de fácil acceso y costo razonable.

En función de la gran cantidad de leña y residuos agrícolas producidos en la región, además de los recientes avances en el desarrollo de hornillas; se pretende aprovechar estas condiciones ideales para desarrollar, ensayar y analizar la eficiencia de una hornilla tipo cohete semiportátil, capaz de producir calor para diversas aplicaciones.

Es notorio la no utilización de los residuos orgánicos resultantes de actividades como el procesamiento de arroz y café, por ejemplo. Además, resulta difícil en áreas

apartadas la compra de gas líquido de petróleo (GLP). Sumado a esto, la ineficiencia de los tradicionales fogones de tres piedras y los problemas relacionados con la inhalación del humo proveniente de los mismos, son factores para tomar en consideración para innovar con un sistema práctico, eficiente y versátil. Por ésta razón, es necesario promover un sistema alternativo y eficiente que permita la producción de energía térmica, en artefactos tales como: las hornillas tipo cohete.

Estos sistemas pueden adaptarse a cualquier tipo de actividad; ya sea para uso doméstico o bien para utilizarse en restaurantes o industrias, en plantas de procesamiento agropecuarias, entre otros.

La implementación de un sistema eficiente de producción de calor tendrá beneficios económicos a corto plazo y asimismo a la larga, se traducirá en ahorro; pues estas hornillas solamente requieren de biomasa seca a combustionar y no demandan el pago de ningún servicio de distribución de energía o gas.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Según Castro (2016), la mayor parte de la energía a nivel nacional proviene de hidroeléctricas y generación térmica; sin embargo, existen registros que indican la fuerte reducción en la precipitación pluvial (Panamá América, 2019), lo que se traduce en bajos niveles de agua en los ríos. Por otra parte, el uso de combustibles fósiles acelera el efecto invernadero a nivel mundial (Quiroga, 2017). Dicho esto, es preciso encontrar una solución alternativa a la manera convencional de producir calor, ya sea para uso doméstico o industrial.

Es de conocimiento público que, en el territorio nacional existen áreas de difícil acceso, en las cuales hay falta de vías de comunicación, transporte, baja comercialización de los elementos básicos y deterioro de recursos familiares, lo que genera muchas necesidades en esta población, incluida la distribución de GLP, por lo que el uso de leña en fogones de tres piedras sigue siendo la principal forma de generar calor. A este calor, se le puede sacar el máximo provecho si se concentra en una cámara de combustión, a la vez que se le alimenta del biocombustible y se le regula la entrada de aire al sistema. Esto implica una combustión más eficiente y un ahorro en el uso de biocombustible.

## **1.2 ANTECEDENTES**

El ser humano descubrió el fuego hace millares de años, lo que le permitió calentarse, procesar alimentos y otras materias primas que antes no estaban disponibles (Common & Stalg, 2019). A partir de este significativo evento, el hombre ha tratado de buscar formas de tener a su alcance este elemento.

Desde que se cocían los alimentos directamente sobre las brasas, hasta la estufa como se conoce en el presente, han pasado miles de años. Sin embargo, debido a diversos factores característicos de áreas rurales, semiurbanas e inclusive industriales, esta situación ha cambiado muy poco. Aún en la actualidad, las áreas comarcales y otras regiones apartadas de Panamá es común observar a las personas trasladar trozos de leña que serán combustionados a fin de cocinar sus propios alimentos en los típicos *fogones de tres piedras*.

Es necesario, entonces, desarrollar y adoptar una tecnología que invite al progreso de nuevos emprendimientos. En la actualidad, los países del primer mundo han abandonado el contaminante bunker, calentando sus hogares y negocios con hornillas a leña o residuos agrícolas; igualmente las agroindustrias de países exportadores de granos secan los mismos en hornillas que combustionan residuos provenientes del proceso del propio grano (Castillo, JR, notas de aula, 2015).

En el territorio nacional, específicamente en la provincia de Chiriquí se construyeron 23 estufas ecológicas a inicios del 2020. El diseño empleado para las mismas fue diferente al que se estudia en este documento; sin embargo, la idea de construir estas estufas nace con el fin de reducir el uso de leña comprobando que, en efecto, la manera en la cual se ha desarrollado este proceso anteriormente genera pérdidas de eficiencia (MIAMBIENTE, 2020).

No se tiene información de ensayos de estufas tipo cohete (*rocket*) en la Universidad de Panamá; sin embargo, el presente trabajo sirve de base para futuros estudios en el tema.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El desarrollo de un país no se mide solo por sus infraestructuras, sino también por el aprovechamiento de las fuentes energéticas renovables. Sin embargo, en el territorio nacional no todos los recursos se explotan adecuadamente. La evidente desigualdad en el desarrollo de áreas rurales y urbanas en Panamá está asociada en parte, al grado de acceso a la provisión de energía de las poblaciones de dichas áreas (Chandiramani, 2019). Por otro lado, la biomasa es una fuente de energía de fácil acceso y bajo costo,

que muchas veces no se logra aprovechar, prefiriéndose los recursos provenientes de hidrocarburos, todos ellos importados, con un elevado costo kilovatio/hora nacional y vendido por multinacionales (Castillo, JR, notas de aula, 2015).

Se pudiera indicar que para incrementar la sostenibilidad ambiental es necesaria la implementación de métodos y procesos que permitan valerse de energías limpias de fácil acceso y a un costo razonable.

Una de las formas de aprovechamiento directo de la biomasa es la que se consigue combustionando la misma en artefactos especialmente concebidos. En ellos, la biomasa seca se transforma en energía térmica, para luego ser trasferida hacia uno o más fluidos de trabajo, pudiendo utilizarse el calor generado en procesos de cocción, secado, deshidratación o simplemente el calentamiento de fluidos para aclimatación de áreas. Por el contrario, actualmente se utiliza energía eléctrica y gas líquido de petróleo (GLP), siendo éstas la forma más fáciles y costosas, pero generadoras de una significativa huella de carbono. Es conveniente entonces trabajar en el estudio y mejoramiento de hornillas de sencillo diseño, ensayar su rendimiento, adosar accesorios y ampliar sus aplicaciones, de tal forma que pudiera inducirse una mayor incorporación de la biomasa como combustible a nivel doméstico e inclusive en emprendimientos agroindustriales o ambientales; evitando depender de combustibles contaminantes, caros e importados (Castillo, JR, notas de aula, 2015).

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. General**

Desarrollar una hornilla a leña y evaluar su comportamiento térmico para aplicaciones agroindustriales.

### **1.4.2. Específicos**

1. Seleccionar y diseñar un prototipo de hornilla tipo cohete según parámetros preestablecidos.
2. Construir una hornilla tipo cohete y dos elementos intercambiables con válvulas de control en el cuerpo base y en los acoples.
3. Ensayar la hornilla tipo cohete con ambos acoples, registrándose puntos de temperatura, consumo de leña y energía demandada.
4. Determinar mediante análisis estadísticos la evolución de la temperatura en puntos predeterminados y el consumo de leña en función del ajuste de válvulas, con el acople A instalado.
5. Determinar la evolución de la temperatura en puntos predeterminados y el consumo de leña en función del ajuste de válvulas, con el acople B instalado.

## **1.5. Hipótesis de la investigación**

**H.a.:** Es viable determinar las configuraciones de válvulas adecuadas en una estufa tipo cohete para los procesos de aprovechamiento de calor para uso agroindustrial.

**H.o.:** No es viable determinar las configuraciones de válvulas adecuadas en una estufa tipo cohete para los procesos de aprovechamiento de calor para uso agroindustrial.

## **1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.6.1 ALCANCES**

En esta investigación se utilizaron técnicas y materiales de uso común para la construcción de las hornillas. Se buscó que el prototipo desarrollado sea fácilmente transportable, con capacidad de realizar dos procesos simultáneamente, y que su diseño permite la flexibilidad suficiente para aplicaciones agroindustriales a un costo relativamente bajo.

### **1.6.2 LIMITACIONES**

Para realizar la investigación se dieron retrasos en la adquisición de materiales, por las medidas sociales de restricción propias del confinamiento adoptadas ante la pandemia del COVID-19. Por otra parte, el existente agotamiento de muchos materiales requerido en las ferreterías.

Se dispuso de la instrumentación necesaria para realizar los ensayos; sin embargo, toda la instrumentación debió ser importada.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Definición de energía**

Según González, J., (2009) es la capacidad que tienen los cuerpos de realizar un trabajo, ya sea por medio de fuerzas externas o internas, que altere la posición, propiedades, constitución o estado de un sistema determinado.

#### **2.1.1. Energía no renovable**

Jarauta, (2014) la define como las fuentes energéticas que se encuentran en un número finito de yacimientos en todo el mundo y, por lo tanto, cada tonelada consumida no se recupera de forma natural, sino que las cantidades mundiales llamadas reservas, disminuyen día a día.

Montecinos, S. & Carbajal, D. (2018) nos señalan que, entre las fuentes no renovables actualmente en uso, se pueden distinguir dos tipos: los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y la energía nuclear.

Aparte de lo mencionado, el uso de combustibles fósiles conlleva aspectos negativos tales como los impactos ambientales, ya que en el proceso de combustión el recurso fósil se quema en presencia de oxígeno, convirtiéndose en dióxido de carbono, vapor de agua y otros elementos como óxido de nitrógeno. Dichos elementos son liberados en la atmósfera (Jarauta, 2014), contribuyendo al aumento de los gases causantes del efecto invernadero.

#### **2.1.2. Energía renovable**

Jarauta, (2014) cita al Centro de Terminología de Catalunya y añade que, la energía renovable es aquella la cual se obtiene de fuentes inagotables o que se pueden renovar. La autora también menciona al Instituto Catalán de Energía

afirmando que, las principales fuentes de energía renovable son la energía hidroeléctrica, energía eólica, la biomasa, la energía solar, la energía geotérmica y las energías del mar. Como estas energías provienen de fuentes no finitas y su mayoría no emiten dióxido de carbono, tienen una posición de ventaja sobre las energías generadas con combustibles fósiles. Inclusive pudiesen solucionar el problema de abastecimiento eléctrico de la sociedad sin generar cambios significativos ni depender de recursos externos.

Según Rufes, P., (2010) la energía renovable puede dividirse en dos categorías: contaminantes y no contaminantes. Las primeras son aquellas obtenidas de la materia orgánica o biomasa, la cual conlleva emisiones de dióxido de carbono, hollines y otras partículas sólidas, que aun así son de un grado mucho menor que las convencionales. Las segundas, también denominadas energías limpias o verdes, son aquellas que durante su obtención y uso no emiten subproductos que puedan perjudicar el medio ambiente.

#### **2.1.2.1. Biomasa**

Ferro, J., (2020) menciona que la biomasa es el conjunto de los residuos orgánicos que genera la sociedad. Éstos pueden ir desde los que se encuentran en una bolsa de basura domiciliaria hasta los residuos agrícolas, ganaderos o forestales. Si son tratados de forma adecuada pueden servir para climatizar viviendas e inclusive abastecer de electricidad.

También se resalta la importancia que tiene la biomasa para resolver ciertas problemáticas, tales como el tratamiento de residuos desaprovechados del campo, la reducción del riesgo de incendios forestales y la preparación de

fertilizantes para la agricultura; también permite generar fuentes de empleo en las zonas rurales, y contribuye a combatir el cambio climático.

En el territorio nacional, específicamente en la región de Azuero, las principales fuentes de combustible son la leña y el bagazo de caña, siendo los trapiches, las panaderías y los restaurantes sus más importantes consumidores (González, 2001).

La leña es un combustible de fácil acceso en áreas rurales; en general, sus consumidores no tienen que realizar una inversión significativa para poder obtenerla. Sin embargo, también se podrían usar otros combustibles económicos y de fácil obtención, como la cascarilla de arroz o el pergamino de café (Castillo, JR, notas de aula, 2015).

#### **2.1.2.1.1. Clasificación de la biomasa**

Sebastián, F., (2010) menciona que la clasificación de la biomasa puede basarse en las características especiales del material, en su procedencia o en su uso final. El autor también menciona que, según los medios para obtención de la biomasa se puede clasificar en biomasa primaria y biomasa secundaria. Siendo la primaria, aquella que se obtiene directamente de un ecosistema natural para su utilización energética. Mientras que la secundaria, es la obtenida como residuo o subproducto de una actividad humana, por eso también es llamada biomasa residual. Existe también un tercer tipo de biomasa que consiste en un producto procesado antes de que se aproveche su energía final. Éste es el caso del biogás obtenido de la digestión de la biomasa residual húmeda, del biodiesel o del bioetanol. Estos biocombustibles finales son obtenidos en plantas que transforman la biomasa

primaria o secundaria, en un producto final que podría entonces denominarse biomasa terciaria.

#### **2.1.2.1.2. Tipos de biomasa**

Sebastián, F., (2010) señala que existen diferentes tipos de biomasa, según el modo por el cual se puede obtener energía de esta.

- Biocombustibles o biomasa sólidos: Ríos, I. *et al* (2017) mencionan que son carburantes compuestos por materia orgánica, de origen vegetal o animal susceptibles de utilizarse en aplicaciones energéticas; obtenidos mediante procesos físicos, como compactación, astillado o trituración.

De Lucas, A. *et al*, (2012) mencionan que son los más conocidos. Incluyen la madera obtenida del tratamiento silvícola, residuos de industrias que trabajan con cualquier tipo de biomasa (carpintería, papelería), residuos obtenidos en la poda o limpieza de jardines, residuos de naturaleza agrícola (biomasa seca), turba, residuos agroindustriales (huesos de aceituna, aserrín, cascarilla), entre otros.

- Biomasa líquida o húmeda: Sebastián, F., (2010) indica que son aquellos cuya procedencia y composición, permite que la materia orgánica sea fácilmente degradable mediante procesos bioquímicos. Se trata de flujos generalmente líquidos como, purines provenientes de actividades pecuarias y residuos urbanos, como la parte orgánica de las basuras, o las aguas residuales.

### **2.1.3. Situación energética a nivel nacional**

A medida que la población aumenta, crecerá también la demanda de insumos para poder desarrollar las actividades diarias, dentro de los cuales podemos detallar la energía eléctrica.

Según Castro, R., (2016) la matriz de energía eléctrica de Panamá está compuesta en un 57,1% de fuentes renovables (hidroeléctricas); 39,8% de generación térmica (bunker C) y 3,0% de eólica (viento).

Chandiramani, (2019) cita que según un diagnóstico realizado por la Secretaría de Energía “unas 240 escuelas y más de 100 mil familias no tienen acceso a energía eléctrica, la mayoría de ellas ubicadas en las comarcas”. Esto sería un inconveniente al momento de realizar ciertos procesos relacionados con la implementación de pequeñas agroindustrias en esas zonas.

Aunado a esto, en el territorio nacional se presentan ineficiencias en el abastecimiento constante del suministro eléctrico, lo cual se refleja en pérdidas económicas.

#### **2.1.3.1. Problemática general de la producción de energía en Panamá**

En el 2016 el noticiero TELESUR realizó un reportaje en el cual se indicaron los efectos que produce la planta de generación eléctrica Panam, ubicada en La Chorrera, la cual afecta a alrededor de 124 mil habitantes del Distrito, a causa de los metales pesados que se liberan al momento de combustionar el carburante, siendo en este caso el bunker c. En dicho reportaje, el señor Martín Ibáñez, afectado por la planta comenta que se liberan gases cancerígenos tales como el plomo, vanadio, níquel y dioxinas, a un ritmo aproximado de 20.5 toneladas por

día. Pese a todas las afectaciones medioambientales y humanas causadas por el funcionamiento ésta empresa sigue operando (Vera, 2016).

Por otra parte, muchos proyectos hidroeléctricos a nivel nacional presentan irregularidades relativo al impacto social de los mismo, ya que en reiteradas ocasiones los usuarios (tanto de la parte alta, como baja de la cuenca) señalan que no son tomados en cuenta al momento de realizar las consultas ciudadanas (Perdomo, 2008).

#### **2.1.4. Energía térmica y calor**

Muñoz, J. *et al*, (2009) definen la energía térmica como una forma de energía interna de los cuerpos debida a la agitación de las partículas que los componen. También, sustentan que cuando un cuerpo aumenta su energía térmica se está calentando, en pocas palabras está recibiendo calor. Cuando un cuerpo disminuye su energía térmica se está enfriando, es decir, perdiendo calor. De ésta forma, el calor no es más que una forma de denominar a los aumentos y pérdidas de energía térmica. Al mismo tiempo señalan que el calor es la variación de la energía térmica de un cuerpo.

##### **2.1.4.1. Transferencia de calor**

Wilson, J. & Buffa, A., (2002) indican que, aunque no se puede ver el proceso real, la transferencia de calor es fuerza y desplazamiento, describiendo así cuantitativamente lo que se logra cuando una fuerza mueve un objeto cierta distancia, pero a un nivel atómico. Los autores señalan como ejemplo que durante un proceso de conducción se transfiere energía de un objeto sólido caliente a un objeto sólido más frío, ya que los átomos del objeto caliente, que se mueven con mayor rapidez, efectúan trabajo sobre los átomos más lentos del

objeto frío. Luego, ésta energía se transfiere a las profundidades del objeto frío, al efectuarse más trabajo sobre los átomos vecinos. Este proceso es el “flujo” o “transferencia” de energía que se observa macroscópicamente como transferencia de calor.

Moran, M. & Shapiro, H., (2004) mencionan que existen métodos que reconocen dos mecanismos básicos de transferencia de calor: la radiación térmica y la conducción. Y que, además, pueden obtenerse relaciones empíricas para calcular transferencia de energía que incluyan ciertos modos combinados.

#### **2.1.4.1.1. Transferencia de calor por radiación**

Moran, M. & Shapiro, H., (2004) describen la radiación térmica como la emitida por la materia como resultado de cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas en su interior. La energía se transporta mediante ondas electromagnéticas o fotones. Este tipo de transferencia no requiere soporte para propagarse y puede tener lugar incluso en el vacío.

#### **2.1.4.1.2. Transferencia de calor por conducción**

Moran, M. & Shapiro, H., (2004) explican que, este tipo de transferencia aparece en sólidos, líquidos, y gases. Y se puede pensar en la conducción como la transferencia de energía desde las partículas más energéticas de una sustancia a las partículas adyacentes menos energéticas, a través de las interacciones entre las partículas.

#### **2.1.4.1.3. Transferencia de calor por convección**

Kreith, (2012) detalla qué ocurre cuando un cuerpo se coloca en un fluido, que tiene una temperatura mayor o menor que la de dicho cuerpo y, como

resultado de la diferencia de temperatura, el calor fluye entre el fluido y el cuerpo, ocasionando así un cambio en la densidad del fluido en la vecindad de la superficie. La diferencia en densidad conduce a un flujo hacia abajo del fluido más pesado y a un flujo hacia arriba del más ligero. Si el movimiento del fluido se ocasiona únicamente por diferencias en densidad resultantes de gradientes de temperatura, y no es asistido por una bomba o un ventilador, al mecanismo de transferencia de calor asociado, se le denomina convección natural.

De acuerdo a Rolle, (2006) la convección forzada quiere decir que el flujo del fluido se debe a una fuente de potencia externa, que no sea la gravedad. Como por ejemplo ventiladores, bombas o el viento.

## **2.2. Estufas tipo cohete**

Las estufas tipo cohete o *rocket* trabajan bajo la transferencia de calor por conducción. Evans, (2014) menciona que se empezó a investigar las estufas tipo cohete, buscando una solución a la crisis internacional de leña y al problema del humo en las viviendas de gente de pueblos tradicionales, entre los años 1976 y la década de los 80.

Estas estufas se logran recrear a partir de materiales fáciles de encontrar y de bajos recursos tales como barro, metal, lata o latón y secciones de tubos para chimeneas. Dependiendo del material con que se construyan, pueden degradarse rápidamente (luego de varios meses de uso intensivo), debido a que el metal se degrada por el efecto que ejercen las altas temperaturas producto de la combustión. Sin embargo, hay modelos que son construidos a partir de

cerámica de alta temperatura, arcilla combinada con material o ladrillos refractarios (Rayner, 2010), resultando más resistentes.

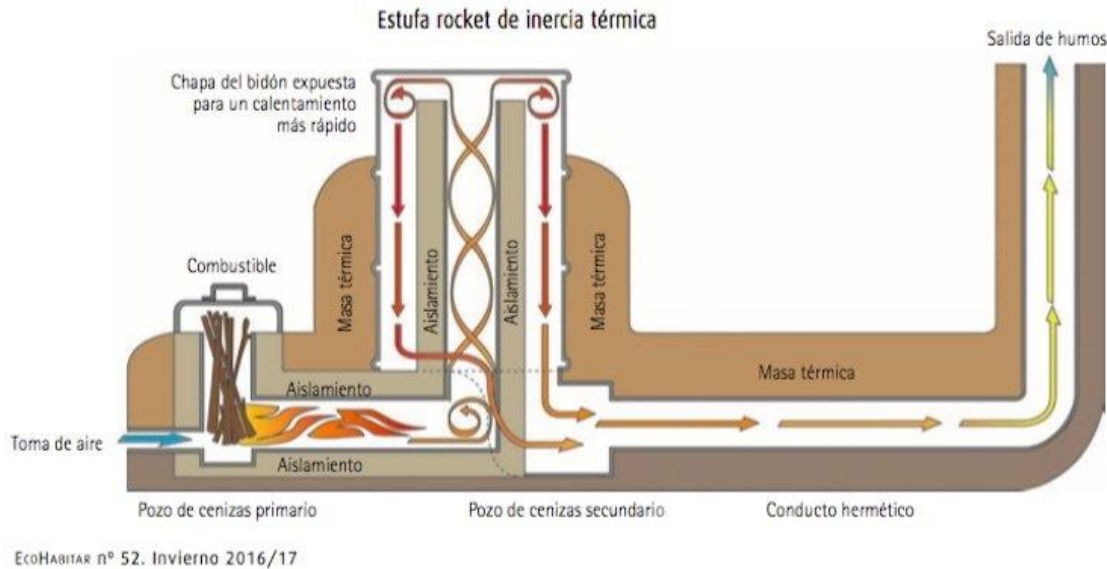
Las estufas tipo cohete necesitan fuegos cortos (2-4 horas) y calientes (en torno a 1000°C) que generan mucho calor. A diferencia de otros sistemas, estos aprovechan el calor de los gases, haciéndolos circular por el cuerpo de la estufa. Esto permite recuperar hasta el 80% del calor generado durante la combustión. A la salida del conducto su temperatura no supera los 100°C. La estufa, una vez cargada (2 a 4 horas de fuego al día), devuelve el calor lentamente, bajo forma de radiación, a lo largo de 12-24h (Bernaloa, 2020).

### **2.2.1. Tipos de estufas cohete**

#### **2.2.1.1. Estufas de inercia**

Es una forma ecológica, práctica y económica para calentar una vivienda en los lugares con frías temperaturas invernales (LlamaViva, 2016). Estas son hechas *in situ* donde serán usadas y son de bajo costo y relativamente sencillas de construir. Este tipo de modelo aprovecha su estructura para dispersar el calor a través de esta. Lo que hace este tipo de estufa es incorporar una chimenea dentro de su estructura, transformándola así en una segunda cámara de combustión. En la primera cámara se puede producir una temperatura de 300-400°C; aquí se liberan los gases que produce el calentamiento de la leña, que luego serán combustionados en la segunda cámara. En esta última logra alcanzar de 600-1000°C. Dichas cámaras son aisladas y no transmiten calor al ambiente. El modelo separa el sistema de combustión del sistema de calefacción, calentando tanto aire como masa. Finalmente, la masa térmica puede estar en un banco para

sentarse, pero puede ser también un suelo radiante o una zona radiante en la pared e inclusive una cama caliente (Pacheco-Rivas, 2017).



Fuente: Tomado de About-Haus, 2017

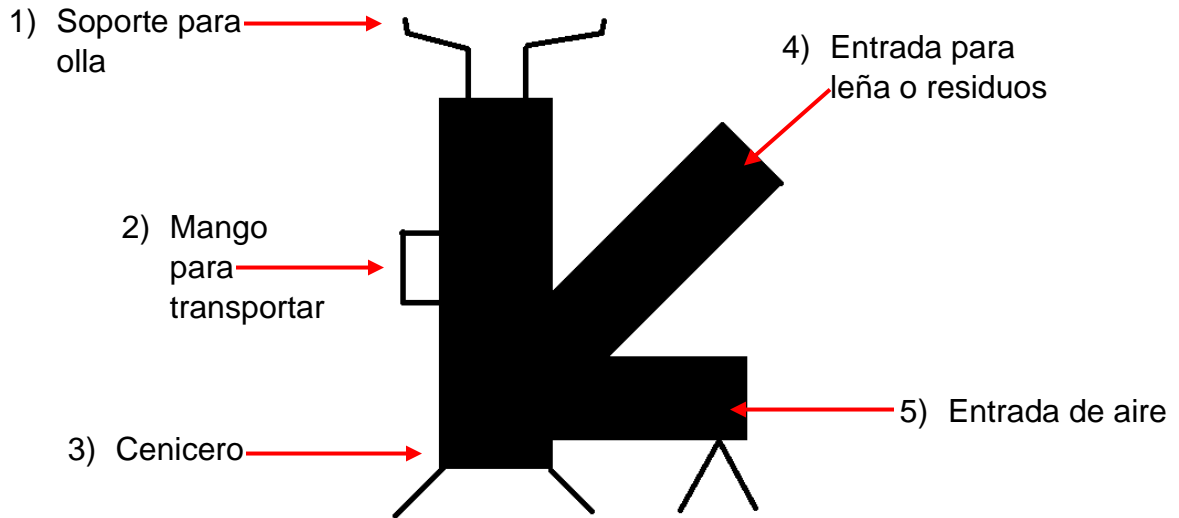
**Figura 1.** Funcionamiento de una estufa cohete de inercia térmica.

### 2.2.1.2. Estufas de cocción

Es una estufa de cocción eficaz que usa combustible sólido, como pueden ser ramas o pequeños leños, los cuales son introducidos en una cámara pequeña de combustión simple. Contiene una chimenea vertical aislada, lo que asegura una combustión completa aprovechado hasta un 80% del material combustible. Se puede utilizar en lugares pequeños por su diseño y versatilidad, así como en exteriores, lo que la hace una alternativa muy práctica para acampar o cocinar al aire libre (Matú, 2019).

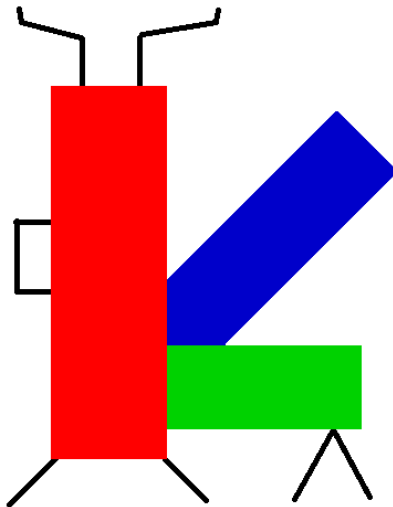
### 2.2.2. Partes y componentes de las estufas tipo cohete

A continuación, se detalla cómo está conformada una estufa tipo cohete.



**Figura 2.** Partes de una estufa tipo cohete.

- 1) Soporte para olla: proporciona estabilidad al recipiente que se desee calentar o cocinar.
- 2) Mango para transportar: facilita el movimiento y el agarre de la estufa.
- 3) Cenicero: recolecta los residuos que sobran luego de que ocurre la combustión del material.
- 4) Entrada de aire: sirve para que realice la combustión ya que sin aire no puede haber fuego.
- 5) Entrada para leña o residuos secos: por medio del mismo entra el material a combustionar.



**Figura 3.** Secciones de una estufa tipo cohete.

Anteriormente se señalaron los componentes de la estufa a estudiar. A continuación, las secciones. El tubo vertical señalado en rojo es la cámara de combustión compuesta por el soporte para olla, el mango para transportar y el cenicero. Como lo indica su nombre, aquí se deposita la leña o biomasa que posteriormente se combustiónará, para producir calor.

Señalado en azul se aprecia un tubo a 45 grados de inclinación por medio del cual se introduce la leña o biomasa, que posteriormente será usada como combustible. Según las necesidades requeridas, tal sección puede tener tapa al inicio del tubo.

Finalmente, está la sección inferior -señalada en verde- la entrada de aire, la cual permite generar una combustión óptima. Al igual que el tubo por donde se introduce la leña, este también cuenta con una tapa; sin embargo, ésta se puede regular para modificar la entrada del aire a la estufa, lo que permitirá incrementar o disminuir la llama.

### **2.2.3. Estufas tipo cohete para cocción y calentamiento de agua**

Estas estufas permiten un máximo aprovechamiento, si así se requiere, debido a que se le pudiese incorporar un tubo resistente al calor, por el cual pasaría agua, teniendo como resultado un calentador de agua y una estufa para cocción. Gracias a que se pueden obtener ambos procesos a partir de la estufa, esta se podría implementar y ofrecer un aprovechamiento más económico en los pequeños negocios que así lo demanden (Castillo, JR, notas de aula, 2015).

### **2.2.4. Ventajas**

- Alta eficiencia y bajo consumo de leña. Favorecen la sostenibilidad al utilizar la leña en su estado bruto, sin necesidad de procesos de transformación (*pellets*).
- Independiente de la electricidad: menor coste de mantenimiento y mayor vida útil de la estufa al no incorporar elementos electrónicos.
- Versatilidad de diseño, adaptable a cualquier requisito del cliente (tanto funcional como estético).
- Dependiendo del tipo de material que se use, pueden ser fáciles de transportar.
- Su mantenimiento es fácil y no requiere de inversión económica: basta con sólo remover las cenizas que caen y se acumulan producto de la combustión.
- Fácil de construir (Bernaloa, 2020).

### **2.2.5. Desventajas**

- En caso de contacto accidental, existe el peligro de quemarse con la estufa e inclusive con algunos de sus elementos estructurales.
- La biomasa o leña se ha de introducir manualmente, lo que obliga al monitoreo constante del combustible.
- Dependiendo de la robustez del material con que se construya, puede ocurrir un desgaste acelerado a lo largo del tiempo, debido a que el metal se degrada por el efecto que ejercen las altas temperaturas producto de la combustión.
- En el mercado local, sólo se pudieron ubicar tubos de sección cuadrada de ¼' de pared, por ende, si se opta por este material, el resultado será una hornilla pesada, lo cual dificultará el manejo de la misma.
- Si se construye con material metálico, presentará pérdidas de calor.

### **2.3. Variables más importantes de una estufa tipo cohete para cocción y calentamiento de agua**

#### **2.3.1. Temperatura**

El concepto según Moran, M. & Shapiro, H. (2004), se origina con la percepción de los sentidos humanos. Este, se basa en la noción de “calor” o “frio” que transmite un cuerpo. Wilson, J. & Buffa, A. (2002), señalan que, caliente o frio son términos relativos. Añaden que, se puede percibir la temperatura por el tacto, pero este sentido de temperatura no es muy confiable y su alcance es demasiado limitado como para que resulte útil en la ciencia. Por lo que hay que, medir la temperatura con un termómetro, de modo que se pueda asignar un valor numérico a una temperatura dada.

Para definir cualquier escala de temperatura, se requieren dos puntos de referencia fijos convenientes: el punto de vapor y el punto de hielo del agua a presión atmosférica estándar, mejor conocidos como: punto de ebullición y punto congelación. Estos aluden a las temperaturas en las que el agua hierve y se congela, respectivamente.

Las dos escalas de temperaturas más conocidas son la escala de temperatura Fahrenheit (usada en Estados Unidos) y la escala de temperatura Celsius (utilizada en el resto del mundo). Los puntos de hielo y de vapor se encuentran en la escala Fahrenheit, en 32°F y 212°F; y en 0°C y 100°C respectivamente en la escala Celsius.

La temperatura se puede obtener a través de instrumentos llamados termómetros.

### **2.3.2. Humedad relativa**

Gliessman, S., (2002) la define como la relación entre el contenido de vapor de agua del aire, y la cantidad de vapor de agua que el aire puede retener a esa temperatura. Por ejemplo, a una humedad relativa de 50%, el aire está reteniendo 50% de vapor de agua que podría retener a esa temperatura. A un nivel de 100% de humedad relativa, el vapor de agua se condensa para formar llovizna, niebla y nubes (punto de rocío). La humedad relativa la podemos medir por medio de aparatos llamados higrómetros y se expresa en porcentaje.

### **2.3.3. Fracción y humedad de biomasa**

Seoáñez, 2013 indica que, al aumentar la humedad de la leña disminuye su poder calorífico, pues tendrá menos materia seca por unidad de masa, y, por

otra parte, al existir más agua, se necesitará más calor para evaporarla, y este calor se detrae de la combustión.

Las dimensiones de las astillas contribuyen un factor importante, ya que condicionan la combustión y su índice de calidad energética. Si las dimensiones son pequeñas, aumentan su superficie específica y su densidad, mejorando a su vez, estas dos propiedades, el poder energético de las astillas. Por otra parte, se reduce más rápidamente la humedad, por lo que, al mejorar estos tres factores, se mejora considerablemente la combustión.

Cuanto mayor sea la superficie específica de la leña habrá mejor combustión, ya que aumenta la superficie de contacto entre el combustible y el comburente, y además se reduce la humedad de la pieza más rápidamente al aumentar la superficie de evaporación.

La biomasa o leña usada está expresada en kilogramos por hora (kg/h), indicando así su consumo.

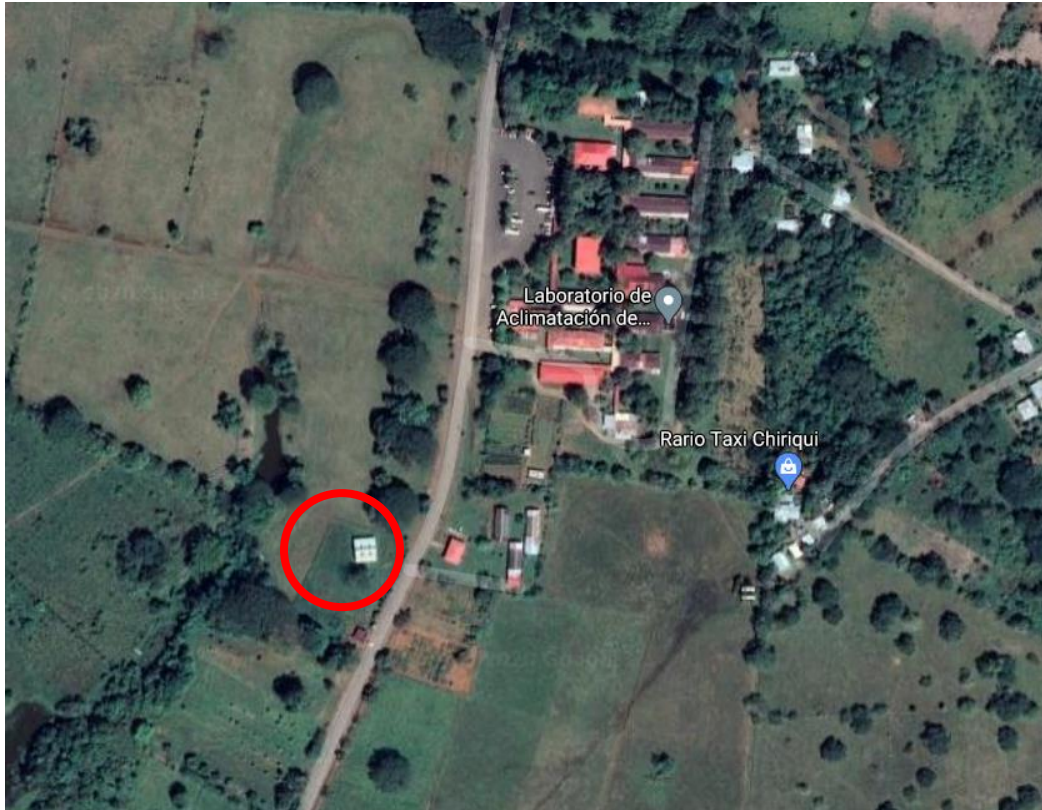
#### **2.3.4. Energía**

Definida en el punto 2.1. La energía permite conocer el cálculo estimado de cuánto se consume o se produce en un periodo de tiempo determinado, siendo expresado en kilovatio-hora (kWh) y estipulando su funcionamiento en términos de tiempo. No se debe confundir con potencia, que es el ritmo con el que se consume o genera energía y se mide en kilovatios (kW) (MacKay, 2008).

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **Área de ensayo funcional del prototipo**

Los ensayos se llevaron a cabo en los terrenos del futuro Centro de Investigación y Desarrollo Sostenible (CIDSó), esto es, dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), en el corregimiento de Chiriquí, distrito de David, provincia de Chiriquí. El CIDSó posee un área cubierta de 272 m<sup>2</sup> y área libre de 5000 m<sup>2</sup>. El ensayo se realizó a inicios del mes de marzo hasta mediados del mes de junio del 2021, comprendiendo desde la época de estación seca y vientos fuertes, que van en sentido norte-sur, hasta los inicios de la época de estación lluviosa y vientos débiles, que van en sentido sureste-noroeste. Los demás parámetros ambientales y del entorno físico no fueron determinantes para el estudio.



Fuente: Google Maps, 18 de enero 2021

**Figura 4.** Señalado en un círculo rojo, se encuentra la localización geográfica del área de ensayo.

El estudio se dividió en dos etapas: la construcción del prototipo de estufa cohete y la evaluación del comportamiento funcional de la misma.

### 3.1. Selección del diseño

El diseño del prototipo más adecuado a las necesidades de este estudio se realizó mediante consulta bibliográfica digital especializada, incluyéndose la experiencia del asesor en el cálculo y desarrollo de hornillas, posteriormente se seleccionó el diseño; determinándose previamente las características deseadas del prototipo:

- Que pueda replicarse con relativa facilidad.
- Debe permitir la instalación de válvulas de control.

- Tener en consideración, el intercambio de los acoples para la ejecución de al menos dos procesos simultáneos.
- De costo asequible.
- Fácil de transportar.
- Facilidad en la maniobra de válvulas.

Para dimensionar el prototipo, se confecciono una maqueta de cartón (ver anexo 1) y se procedió a ajustar las dimensiones, a fin de cumplir con las características deseadas.

### **3.2. Construcción de la hornilla**

Para la construcción de este prototipo, se adquirió en una recicladora de materiales ubicada en la Ciudad de David, un tubo de metal de 6.10 metros de largo por 152 milímetros de diámetro. Se trasladó posteriormente al taller de soldadura del señor Enrique Aguirre en La Concepción, Chiriquí. Donde se realizó una lista de los materiales faltantes, para poder iniciar la construcción del prototipo (ver cuadro I).

**CUADRO I. MATERIALES USADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTUFA TIPO COHETE.**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>MEDIDAS</b>
<b>PRINCIPAL</b>		
Tubo de hierro	1 tramo	Largo: 6.10 m (20 pies) Diámetro: 152 mm (6 pulgadas)
<b>ACCESORIOS</b>		
Varilla de acero inoxidable	1 sección	Largo: 910 mm (35.83 pulgadas) Diámetro: 6.35 mm (0.25 pulgada)
Lámina de hierro negro	1 sección	Ancho: 200 mm (7.87 pulgadas) Largo: 380 mm (14.96 pulgadas) Espesor: 6.35 mm (0.25 pulgadas)
Lámina de acero inoxidable	1 sección	Área: 90 cm <sup>2</sup> Espesor: 0.91 mm
Soldadura 7018	15 libras	Diámetro: 3.2 mm por 3560 mm de largo c/u
<b>PINTURA</b>		
Pintura negro mate (Resistente a alta temperatura)	4 unidades	De 355 mililitros c/u

**CUADRO II. HERRAMIENTAS USADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTUFA TIPO COHETE.**

<b>HERRAMIENTA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>FUNCIÓN</b>
Cinta métrica	1 unidad	Medición
Carda de copa trenzada	1 unidad	Remover la corrosión en metales
Disco de corte de 106 milímetros	5 unidades	Cortar materiales metálicos
Disco de desbaste de 106 milímetros	1 unidad	Desbastar soldaduras y esquilas del metal
Disco laminado de 106 milímetros	5 unidades	Remover corrosión en metales
Escuadra	1 unidad	Determinar ángulos en tubos
Esmeriladora angular de 106 milímetros	1 unidad	Cortar y pulir materiales metálicos
Nivel de aluminio de 45.72 centímetros	1 unidad	Emparejar quemadores a la misma altura
Soldadora de arco y accesorios	1 unidad	Soldar materiales metálicos
Taladro	1 unidad	Taladrado de metales

Con todos los materiales y herramientas adquiridas se procedió con la construcción del prototipo, utilizando métodos comunes de soldadura y herrería.

**3.3. Ensayo de la hornilla tipo cohete con el acople A instalado**

Luego de construir el prototipo, se calibró los instrumentos que requerían de la instrumentación necesaria para evaluar los parámetros (ver cuadro III). El termómetro láser para altas temperaturas, marca BENETECH, modelo GM900, el cual tiene una precisión  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$  se graduó a una emisividad de 0.96, según

las recomendaciones del fabricante. El medidor de humedad para leña marca R&D INSTRUMENTS, modelo MT18, cuenta con una precisión de  $\pm 0.5\%$ , en el mismo se usó el modo acople A, en función de las características de la leña de eucalipto. El resto de la instrumentación no requirió de calibración.

Para tolerar las altas temperaturas, se utilizó equipo de protección personal incluyendo chaqueta ignífuga, guantes y máscara con filtros para humo (ver anexo 2).

Se marcaron los puntos de medición de temperatura, sobre el cuerpo de la hornilla y sus correspondientes acoples. Una vez marcados, se procedió con la medición de datos.

### CUADRO III. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.

<b>INSTRUMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>FUNCIÓN</b>
Báscula digital	1	Determinar el consumo de leña en peso (kg)
Termómetro láser para altas temperaturas	1	Medición de temperatura en un punto específico ( $^{\circ}\text{C}$ )
Termohigrómetro ambiental	1	Determinar la humedad relativa (%)
Medidor de humedad para madera	1	Determinar el porcentaje de humedad en la leña (%)

### **3.4. Ensayo de la hornilla tipo cohete con el acople B instalado**

Luego de realizar todos los tratamientos con el acople A instalado, se removió el mismo y se colocó el acople B, seleccionando así la combinación de válvulas deseada para iniciar con las lecturas.

El levantamiento de datos se realizó durante 100 días, dados entre los meses de marzo a junio del 2021.

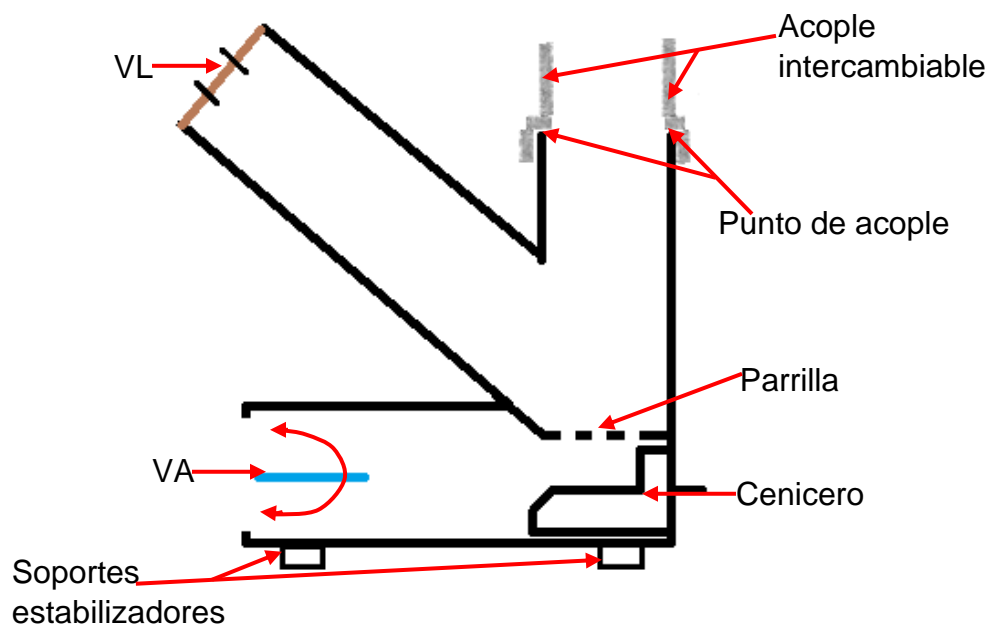
Se tomaron los datos de temperatura a lo largo de la estructura de la estufa tipo cohete cada cinco minutos, llegando hasta los 25 minutos cada tratamiento.

Mientras que el cambio de la selección en las válvulas se hacía de inmediato.

A seguir, se describen tres partes principales de la hornilla y sus accesorios, siendo estos: la hornilla base, el acople A y el acople B. Esto permitirá que la hornilla funcione con dos configuraciones.

### CUADRO IV. VÁLVULAS DE LA HORNILLA BASE.

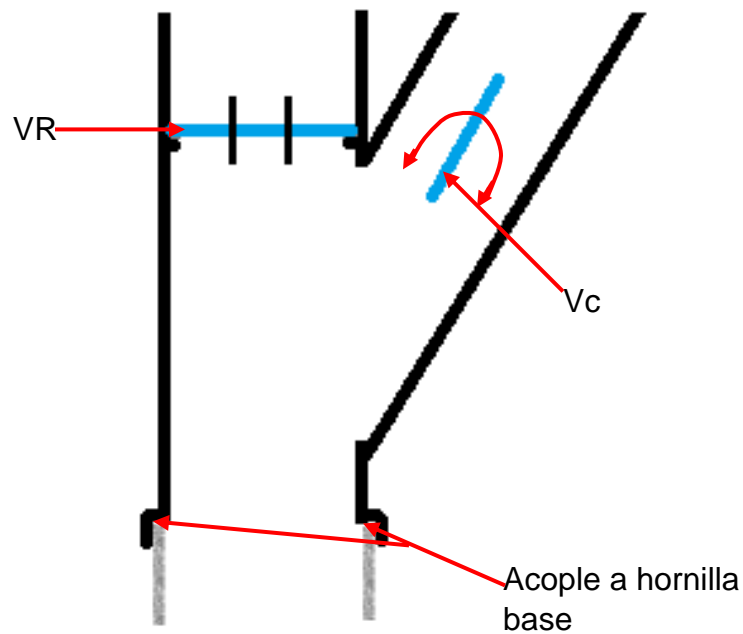
VÁLVULA	FUNCIÓN Y UBICACIÓN
VA	Controla la entrada de aire, puede graduarse a un ingreso del 100, 50 o 0 por ciento de aire (como ocurrirá en las demás válvulas). Tiene un movimiento pivotante sobre su eje.
VL	Sirve también como otra entrada de aire. Además, asegura el extremo del tubo donde se ingresa la leña. Se opera removiendo el disco central, o bien girándola hacia arriba.



**Figura 5.** Corte longitudinal de la hornilla base del prototipo ensayado.

### CUADRO V. VÁLVULAS DEL ACOPLE A.

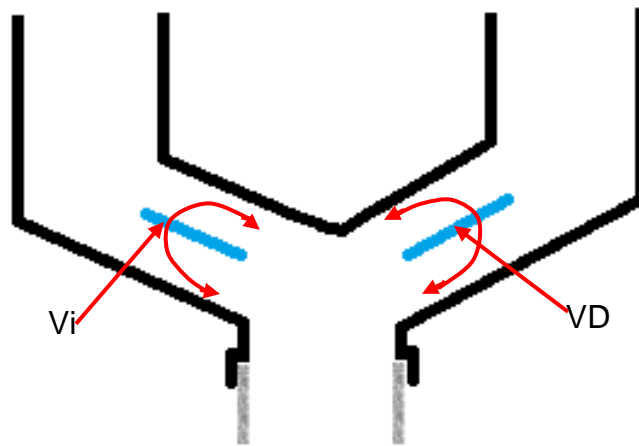
VÁLVULA	FUNCIÓN Y UBICACIÓN
<b>VR</b>	Controla la salida de calor en el quemador principal. Se encuentra en el tubo vertical, y opera de forma empotrable.
<b>Vc</b>	Controla la salida de calor en el quemador secundario. Se encuentra en el tubo de 45° de inclinación hacia el lado derecho y, tiene un movimiento pivotante sobre su eje.



**Figura 6.** Corte longitudinal del acople A.

**CUADRO VI. VÁLVULAS DEL ACOPLE B.**

VÁLVULA	FUNCIÓN Y UBICACIÓN
<b>Vi</b>	Controla la salida de calor en el quemador del lado izquierdo. Tiene un movimiento pivotante sobre su eje.
<b>VD</b>	Controla la salida de calor en el quemador del lado derecho. Tiene un movimiento pivotante sobre su eje.



Acople a hornilla base

**Figura 7.** Corte longitudinal del acople B.

**3.4.1. Parámetros registrados y recopilados**

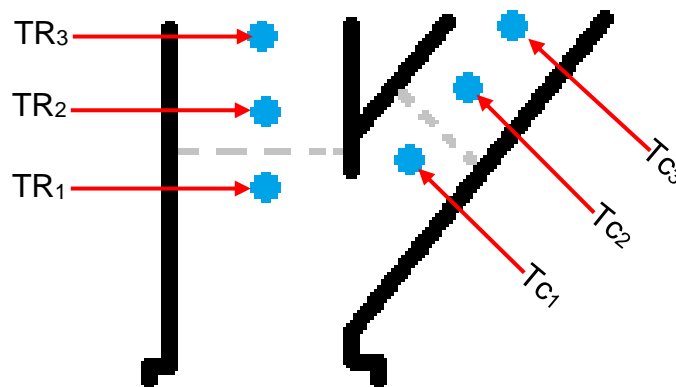
- Parámetros ambientales:
  - Humedad relativa del aire ambiente (%).
  - Temperatura de bulbo seco (°C).
- Parámetros del combustible
  - Humedad de la leña (%).

- Peso de la leña antes y después del ensayo (kg).
- Parámetros sobre la hornilla base:
  - Temperatura en los puntos (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>) en la hornilla base (ver figura 10).
- Parámetros sobre el acople A:

En el cuadro a seguir, se expone la referencia de temperatura en función de la ubicación del punto de medición en el acople A. En la figura 8 se muestran los referidos puntos de medición.

**CUADRO VII. PARÁMETROS A RECOLECTAR EN EL ACOPLE A.**

Parámetro	Ubicación
Temperatura TR <sub>1</sub>	Antes de VR
Temperatura TR <sub>2</sub>	Después de VR
Temperatura TR <sub>3</sub>	Cercano a la salida del quemador principal
Temperatura Tc <sub>1</sub>	Antes de Vc
Temperatura Tc <sub>2</sub>	Después de Vc
Temperatura Tc <sub>3</sub>	Cercano a la salida del quemador secundario (ver figura 8).



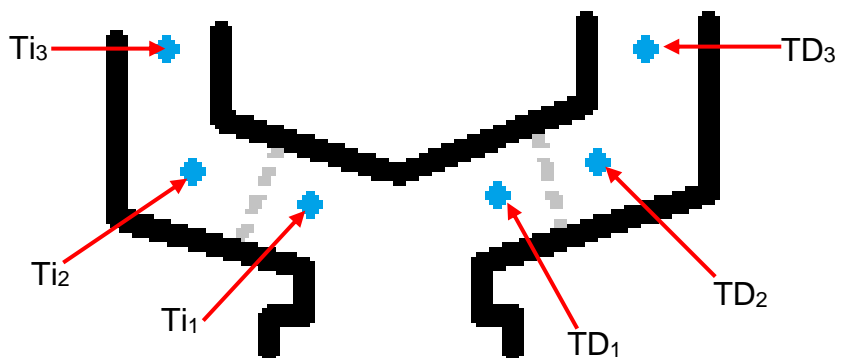
**Figura 8.** Puntos de medición en el acople A.

- Parámetros sobre el acople B:

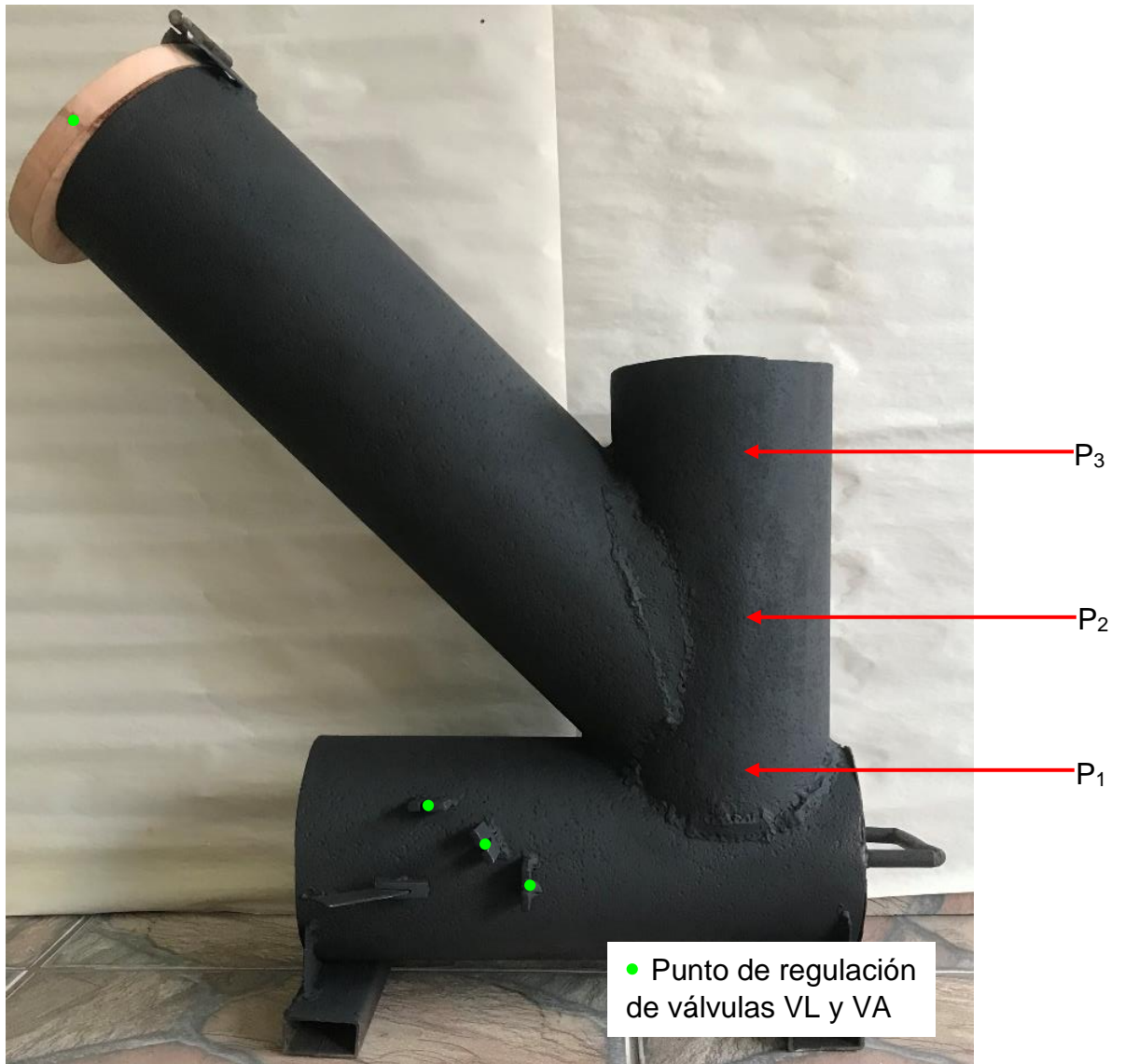
En el cuadro a seguir, se expone la referencia de temperatura en función de la ubicación del punto de medición en el acople B. En la figura 9 se muestran los referidos puntos de medición.

**CUADRO VIII. PARÁMETROS A RECOLECTAR EN EL ACOPLE B.**

Parámetro	Ubicación
Temperatura TD <sub>1</sub>	Antes de VD
Temperatura TD <sub>2</sub>	Después de VD
Temperatura TD <sub>3</sub>	Cercano a la salida del quemador derecho
Temperatura Ti <sub>1</sub>	Antes de Vi
Temperatura Ti <sub>2</sub>	Después de Vi
Temperatura Ti <sub>3</sub>	Cercano a la salida del quemador izquierdo (ver figura 9).



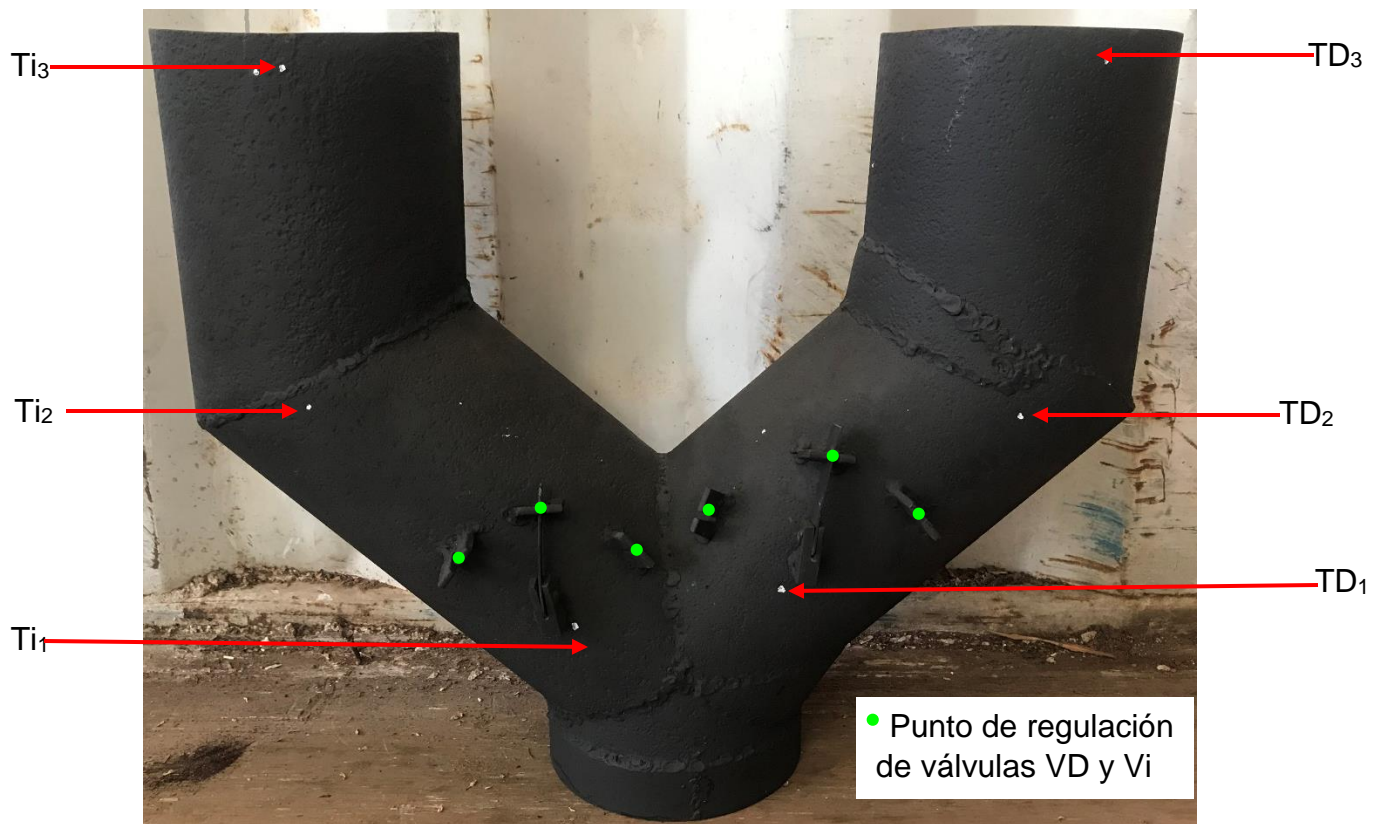
**Figura 9.** Puntos de medición en el acople B.



**Figura 10.** Puntos de medición de temperatura registrados en la hornilla base.



**Figura 11.** Puntos de toma de temperatura del acople A.



**Figura 12.** Puntos de toma de temperatura del acople B.

### 3.5. Análisis estadístico

Se utilizó Excel y SAS para el procesamiento de datos y se aplicó un modelo lineal aditivo en el análisis de la información recopilada en campo. Además de estadísticas descriptivas, se emplearon la prueba *t de Student* y el diseño de bloque completamente al azar (DBCA) para comparaciones entre grupos y control de fuentes de variación; utilizándose tres repeticiones en la unidad experimental descritas como altas, intermedias y bajas temperaturas.

La energía consumida se determinó transformando el valor de la masa de leña consumida a kilovatios hora.

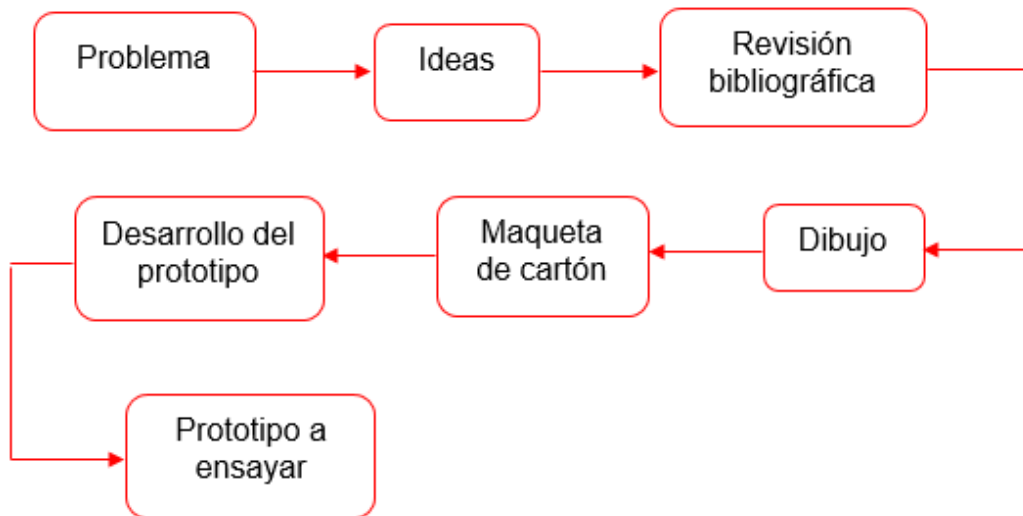
Se realizó el análisis de varianza al cinco por ciento de probabilidad. Se recalcó la importancia de documentar y validar cada paso para mejorar la precisión y poder replicar en la investigación.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1 Diseño del prototipo

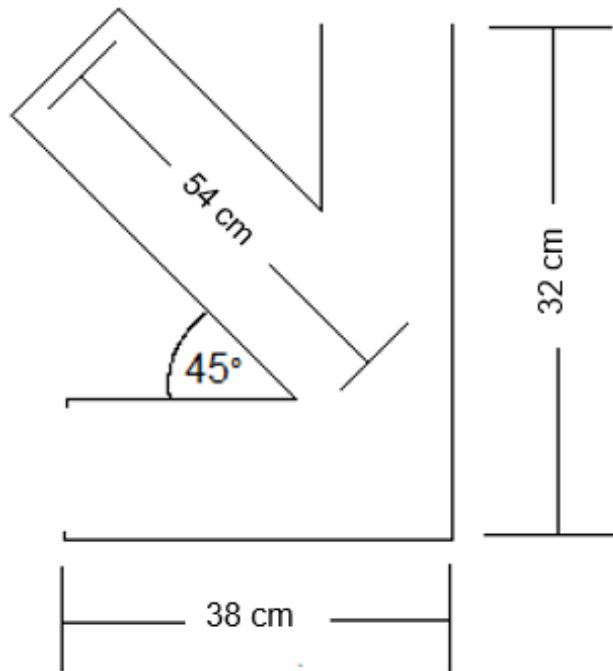
Se investigó mediante diversos sitios de literatura especializada, sobre estufas de alto rendimiento, seleccionándose el diseño que se adaptase a las necesidades del estudio. Se optó por un diseño que cumpliera con la mayoría de las condiciones que se describen en la sección de la metodología. Una vez acordado el diseño, el asesor propuso otro accesorio intercambiable en la misma estufa, para mejorar la versatilidad de la hornilla. De igual forma, se planteó colocar válvulas de control en las entradas de aire, y en los quemadores de ambos acoples para mejorar la eficiencia de esta.

Para lograr los objetivos se procedió mediante el siguiente flujograma.

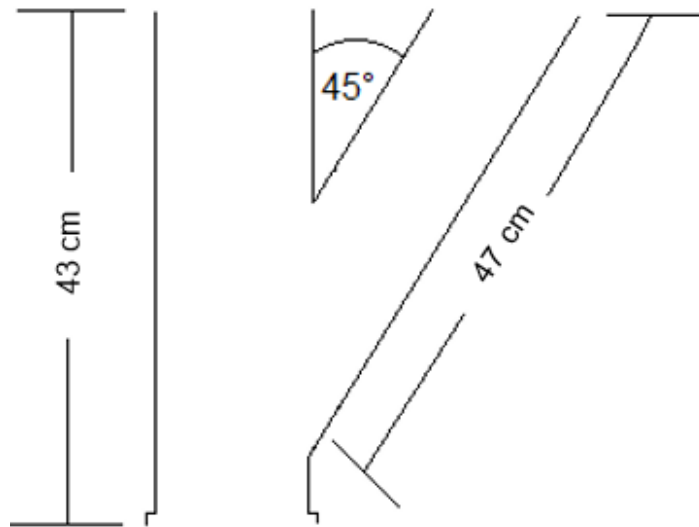


**Figura 13.** Resumen gráfico del desarrollo del prototipo.

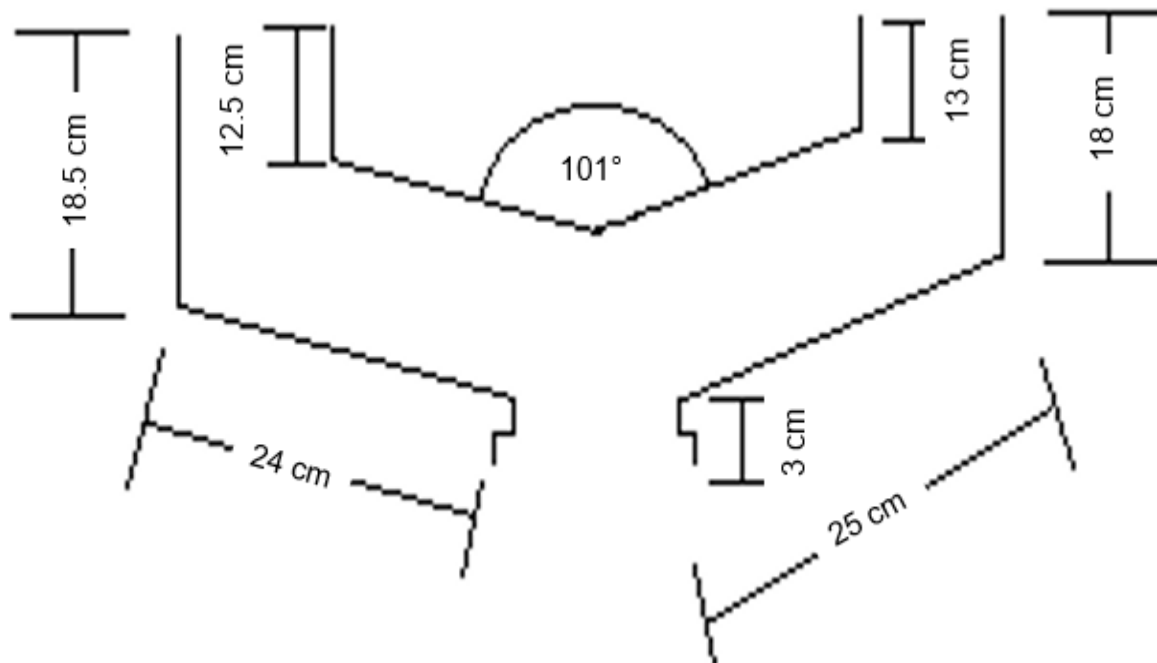
Inicialmente se realizó un bosquejo acotado de la hornilla, de sus ductos y accesorios acoples intercambiables; luego se realizó un prototipo en cartón para poder demostrar las dimensiones proyectadas (ver anexo 1), el que resulto útil, ya que permitió replantear las dimensiones (ver figuras 14, 15 y 16). Una vez establecidas las medidas se procedió a realizar la construcción *per sé*.



**Figura 14.** Dimensiones de la estufa base.



**Figura 15.** Dimensiones del acople A.



**Figura 16.** Dimensiones del acople B.

## 4.2 Construcción del prototipo

Con las mediciones detalladas en las figuras 14, 15, 16, se procedió a revisar la literatura sobre el modelo y material más adecuado para poder construir la estufa; siendo finalmente construido en tubo de acero; se optó por el mismo debido a la poca disponibilidad de otros materiales en el mercado local, producto del desabastecimiento provocado por la pandemia. Finalmente, se adquirió un tubo de acero que contaba con un largo de 6.10 metros y 152 milímetros de diámetro.

Posteriormente se trasladó el tubo a un taller de soldadura y se coordinó la adquisición de los demás materiales para empezar la construcción del prototipo. La misma se llevó a cabo utilizando métodos comunes de herrería (soldadura y demás) empleando herramientas de manejo sencillo. En octubre de 2020 se inicia la construcción, la que se extendió hasta mediados del mes de noviembre del mismo año.

Se construyó el prototipo en tres secciones; hornilla base (ver figura 14), acople A (ver figura 15) y acople B (ver figura 16), ambos son intercambiables con la hornilla base.

A continuación, se detallan los pasos para su construcción:

- (1) Se tomaron las medidas en el tubo de acero; a continuación, los primeros cortes y puntos de soldaduras.

El tubo que se utilizó como base mide 380 mm de largo, al mismo se le realizó un corte circular de 152 mm de diámetro en uno de los extremos, luego se soldó un tubo de 750 mm colocándose

verticalmente con respecto a la base (ver anexo 3), en la unión de ambos se realizó un corte circular de 152 mm y se soldó otro tubo previamente cortado de 540 mm de longitud (ver anexo 4), en este punto se utilizó una escuadra para asegurar que la unión entre tubos estuviese a 45 grados, con respecto a la estructura de la estufa.

- (2) Se construyó una parrilla desmontable en la parte interna del tubo soldado a 45 grados de ángulo, esto es, donde la leña se deposita mientras ocurre la combustión (ver anexo 5). También se confeccionó el cenicero para la leña (ver anexo 6).
- (3) Se soldaron, a manera de soporte dos secciones de perfil cuadrado, formando las patas estabilizadoras. Luego se abrió un hueco en el tubo vertical (ver anexo 7), allí se acopló un segundo tubo (previamente cortado) de 470 mm y se soldó, e instalo con la ayuda de un nivel de burbuja; posteriormente se realizó un corte chaflanado tomando como referencia la altura del quemador existente, dando como resultado los dos quemadores del acople A (ver anexo 8).
- (4) Utilizando una esmeriladora para disco de 106 mm de diámetro, se hizo un corte circular en la placa de hierro negro y otro en la lámina de acero inoxidable, se procedió a realizar una perforación transversal en el tubo horizontal de la estufa y en el tubo del quemador secundario de la misma, para luego introducir transversalmente un tramo de la varilla de acero inoxidable; posteriormente, se introdujo dentro del tubo cada una de las platinas redondas previamente cortadas y se soldaron a las varillas de acero inoxidable (ver anexo 9). Lo que resulto en la

válvula de aire (VA) de la estufa y la válvula del segundo quemador (Vc) del acople A.

- (5) Se soldó un anillo a lo interno del tubo vertical de la estufa para poder soportar la válvula (VR) (ver anexo 10). Con la finalidad de fabricar la válvula, se realizó un corte en forma de disco en una placa de hierro negro y se utilizó acetileno para poder realizarle un orificio en el centro, el cual servirá para restringir el 50% el flujo de emisiones. Con el otro disco de menor diámetro, previamente preparado, se ocluye por completo el paso de las emisiones. Para esto, se soldó una placa al mismo a fin de que descansa sobre el orificio (ver anexo 11). Finalmente se soldaron ganchos a manera de sujetadores para manipular la válvula.
- (6) Se fabricaron parrillas para la olla y los topes para poder fijar las válvulas en la posición que se desee usar (ver anexo 12, 13, 14).
- (7) Se cortó el tubo vertical, teniendo como resultado el acople A. Luego se realizaron mediciones en el tubo de acero, se cortó y se procedió a construir el acople B con sus respectivas válvulas.
- (8) En la entrada del tubo de abastecimiento de leña, se instaló una tapa obteniendo así, la válvula (VL) para regular parte del aire de combustión.
- (9) Se procedió a remover la corrosión en el exterior del prototipo con una carda de copa trenzada; se le dio acabado con los discos laminados. Luego se pintó toda la estufa y sus acoples (ver anexo 15, 16).

Una vez construida la estufa, se realizó un ensayo preliminar para verificar el funcionamiento de la misma, y así corregir la altura de los quemadores; la posición y accionamiento de las válvulas de control. Se definieron las diferentes posiciones de cierre/apertura de válvulas según tres niveles: 0%, 50% y 100% de apertura, para controlar el flujo de emisiones en las proporciones antes citadas, lo que también variara el flujo de energía.

#### **4.3 Ensayado del prototipo con el acople A**

El acople A presenta el formato de la letra griega *lambda*, de forma invertida, se diseñó de esta forma para lograr dos salidas de calor, una a mayor temperatura que la otra.

Se inició cortando la leña de árboles de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) en astillas de aproximadamente 30 centímetros de largo por unos 5 centímetros de diámetro, secándose posteriormente en el invernadero de la facultad (ver anexo 17) a menos de 15% de humedad (ver anexo 18). Se preparó el área de estudio (ubicada en el futuro CIDS0), colocándose una lona en forma de media luna en la galera del sitio, a fin de controlar el viento ambiental sobre el prototipo y a su vez proteger al operador del calor (ver anexo 19).

Con los instrumentos calibrados y el acople A instalado en la hornilla base, se comenzaron los ensayos. Inicialmente se ajustaron las válvulas de control de aire (VA, VL) a la posición deseada, se seleccionó la posición de las válvulas de los quemadores (VR, Vc) y se procedió a medir la humedad y el peso de la leña; se tomó la temperatura y humedad relativa ambiental del

sitio y se inició el ensayo *per se*, cada uno se repitió cinco veces, en un intervalo de cinco minutos cada lectura, hasta llegar a los 25 minutos. Se realizaron un total 81 ensayos y 18225 mediciones en los puntos de temperatura. Al finalizar cada repetición se pesaba la leña sobrante a fin de obtener el consumo total de cada repetición. Para obtener la energía demandada en los tratamientos se convertía los kg/h de leña combustionada en kilocalorías/horas (kcal/h), por último, las kcal/h se transformaba en kWh. Luego de realizar las cinco repeticiones, se cambiaba el ajuste de las válvulas VR y Vc. Una vez concluidos todos los ensayos con el acople A, se instaló el acople B, repitiendo todo el proceso.

#### **4.4 Ensayado del prototipo con el acople B**

Se verifico que los instrumentos de medición siguieran calibrados, luego se retiró el acople A de la hornilla base y finalmente se colocó el acople B, se comenzaron los ensayos. Primeramente, se ajustaron las válvulas de control de aire (VA, VL) a la posición deseada, se seleccionó la posición de las válvulas de los fogones (VD, Vi) y se procedió a medir la humedad de la leña y el peso de la misma; se tomó la temperatura y humedad relativa ambiental del sitio y se inició el ensayo *per se*, cada uno se repitió cinco veces, en un intervalo de cinco minutos cada lectura, hasta llegar a los 25 minutos. Realizando en total 81 ensayos y 18225 mediciones en los puntos de temperatura. Al finalizar cada repetición se pesaba la leña sobrante a fin de obtener el consumo total y la energía de cada repetición. Luego de realizar las cinco repeticiones, se cambiaba el ajuste de las válvulas VD y Vi. En

ambos prototipos los factores más importantes como: el peso de la leña consumida y la energía liberada, están relacionados con el porcentaje de humedad de la leña y de la humedad relativa en el ambiente.

#### **4.5 Evolución de la temperatura y consumo de leña en el acople A**

Se confeccionó una base de datos tabulando cada tratamiento y colocar en él los parámetros evaluados, (los cuales se detallan en el cuadro VII). Luego, se obtuvo el promedio por tratamiento en cada punto de medición (ver anexo 20). Todos los resultados obtenidos se tabularon y, se volvió a realizar la operación, finalizando así los promedios totales (ver anexo 21).

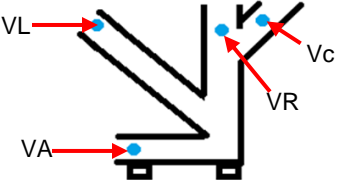
Durante el ensayado se ajustaron las válvulas variando las aperturas de ellas en posiciones de 0%, 50% y 100% o sea; cerrada, semiabierta y completamente abierta. A continuación, se describen las configuraciones de diversas combinaciones de válvulas, las cuales generan tres niveles de temperatura. A saber, el promedio de la menor temperatura, el promedio de la temperatura intermedia y el promedio de la mayor temperatura.

## CUADRO IX. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=100%

Y VL=100%.

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VR=0 - Vc=0	5.12	28.51	230.5
VR=100 - Vc=50	6.31	35.20	274.1
VR=0 - Vc=50	5.02	28	318.4

VA= Válvula de entrada de aire.  
 VL= Válvula de entrada de leña.  
 VR= Válvula del quemador principal.  
 Vc= Válvula del quemador secundario.  
 0%= Válvula cerrada.  
 50%= Válvula entreabierta.  
 100%= Válvula completamente abierta.



El diagrama muestra un sistema de combustión con cuatro válvulas: VA (entrada de aire), VL (entrada de leña), VR (quemador principal) y Vc (quemador secundario). Las válvulas VA y VL están representadas con líneas rojas y puntos azules, indicando que están completamente abiertas. Las válvulas VR y Vc están representadas con líneas rojas y puntos azules, indicando que están entreabiertas.

- Se observó que, en conjunto con VR=0% y Vc=0% se alcanzó las menores temperaturas, correspondiendo a 230.49°C y, un consumo promedio de 5.12 kg de leña, masa que equivale a una liberación de energía de 28.51kW de energía.
- Al reajustarse VR=100% y Vc=50%, se obtuvo una temperatura intermedia de 275.45°C, mientras que el consumo de leña fue de 6.31 kg, demandando una energía de 35.20kW.
- Por otro lado, la mayor temperatura alcanzo 318.36°C, dándose bajo las condiciones de VR=0% y Vc=50%. En este caso, se consumió una media de 5.02 kg de leña y demandando 28kW de energía.

En estos tratamientos se puede determinar que, cuando las válvulas VR y Vc se ajustan a 0%, la temperatura generada es menor que en las otras dos combinaciones ensayadas (VR=100% y Vc=50%) y (VR=0% y Vc=50%).

A pesar de consumir una mayor masa, se obtuvo una temperatura intermedia. Esto pudiese significar una relación inversa ya que, no necesariamente un mayor consumo de leña resultara en mayor cantidad de temperatura. Contrario a lo que se pudiera deducir, para lograr mayores temperaturas las válvulas VR y Vc no deben estar completamente abiertas, sino ajustadas al 0% y 50% respectivamente.

**CUADRO X. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=100%  
Y VL=50%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VR=0 - Vc=0	3.65	20.36	200.52
VR=100 - Vc=0	4.56	25.44	262.83
VR=0 - Vc=50	4.73	26.39	341.53

VA= Válvula de entrada de aire.  
 VL= Válvula de entrada de leña.  
 VR= Válvula del quemador principal.  
 Vc= Válvula del quemador secundario.  
 0%= Válvula cerrada.  
 50%= Válvula entreabierta.  
 100%= Válvula completamente abierta.

El diagrama muestra un quemador con una base y una columna vertical. Hay una válvula VA (aire) en la base izquierda, una válvula VL (leña) en la parte superior izquierda, una válvula VR (quemador principal) en la parte superior derecha, y una válvula Vc (quemador secundario) en la parte superior derecha, más arriba que la VR. Flechas rojas indican la posición de cada válvula.

- La menor temperatura de 200.52°C se obtuvo combinando las válvulas VR=0% y Vc=0%, arrojando un consumo de 3.65 kg de leña y, demandándose una energía de 20.36kW.
- La temperatura intermedia se obtuvo cuando VR=100% y Vc=0%, lo que dio como resultado una media de 262.83°C y un consumo de leña de 4.56 kg, demandando a su vez una energía de 25.44kW.

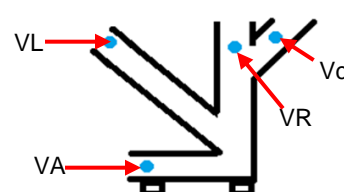
- La mayor temperatura se observó en la combinación VR=0% y Vc=50%, alcanzándose una temperatura de 341.53°C, con un consumo de 4.75 kg de leña y exigiendo una energía de 26.50kW.

De igual forma al anterior, cuando las válvulas VR y Vc se cierran, las temperaturas se reducen.

**CUADRO XI. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=100%  
Y VL=0%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VR=0 - Vc=0	1.27	7.08	143.03
VR=100 - Vc=0	4.54	25.33	249.94
VR=0 - Vc=100	4.32	24.10	312.64

VA= Válvula de entrada de aire.  
 VL= Válvula de entrada de leña.  
 VR= Válvula del quemador principal.  
 Vc= Válvula del quemador secundario.  
 0%= Válvula cerrada.  
 50%= Válvula entreabierta.  
 100%= Válvula completamente abierta.



El diagrama muestra un sistema de quemadores con cuatro válvulas: VA (entrada de aire), VL (entrada de leña), VR (quemador principal) y Vc (quemador secundario). Las válvulas VA y VL están representadas por líneas azules con flechas rojas que indican la dirección de flujo. Las válvulas VR y Vc están representadas por líneas rojas con flechas azules que indican la dirección de flujo. El sistema incluye un quemador principal y un quemador secundario.

- Se registró la menor temperatura cuando se combinaron las válvulas en VR=0% y Vc=0%, obteniéndose 143.03°C y un consumo medio de 1.27 kg de leña, demandando una energía de 7.08kW.
- La temperatura intermedia fue de 249.94°C, se obtuvo en el tratamiento VR=100% y Vc=0%, consumiéndose 4.54 kg de leña y se liberó 25.33kW de energía.

- Se obtuvo la mayor temperatura en VR=0% y Vc=100%, siendo esta 312.64°C, consumiendo 4.32 kg de leña y exigiendo una energía de 24.10kW.

Se determina una gran diferencia entre el peso y la energía consumida en la configuración VR=0 y Vc=0, con respecto a VR=100 y Vc=0, VR=0 y Vc=100, siendo estos en valores de peso y energía cercanos, pero diferenciándose ampliamente en la temperatura.

**CUANDO XII. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=50%  
Y VL=100%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VR=0 - Vc=0	4.51	25.16	214.20
VR=50 - Vc=0	4.99	27.84	253.21
VR=0 - Vc=50	4.85	27.06	329.81

VA= Válvula de entrada de aire.  
 VL= Válvula de entrada de leña.  
 VR= Válvula del quemador principal.  
 Vc= Válvula del quemador secundario.  
 0%= Válvula cerrada.  
 50%= Válvula entreabierta.  
 100%= Válvula completamente abierta.

El diagrama muestra un quemador con una cámara de combustión. Hay una válvula VA (aire) en la base izquierda, una válvula VL (leña) en la parte superior izquierda, una válvula VR (quemador principal) en la parte superior derecha y una válvula Vc (quemador secundario) en la parte superior derecha, más arriba que la VR. Las válvulas están representadas por líneas con puntos azules y flechas rojas que indican su posición.

- Se observó que, en conjunto con VR=0% y Vc=0%, resultó una temperatura de 214.20°C, agotando en el proceso 4.51 kg de leña, y requiriendo 25.16kW de energía.
- Por otro lado, la temperatura intermedia llegó a 253.21°C, consumiendo en promedio 4.99 kg de leña y una energía

demandada de 27.84kW, todo esto bajo el tratamiento VR=50% y Vc=0%.

- La temperatura más elevada se obtuvo bajo las condiciones VR=0% y Vc=50%, arrojando una temperatura de 329.81°C, al combustionarse 4.85 kg de leña, mientras que la energía demandada fue de 27.06kW.

**CUADRO XIII. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=50% Y VL=50%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VR=100 - Vc=100	4.25	23.71	198.07
VR=100 - Vc=0	3.72	20.75	261.97
VR=50 - Vc=100	3.98	22.20	288.83

VA= Válvula de entrada de aire.  
 VL= Válvula de entrada de leña.  
 VR= Válvula del quemador principal.  
 Vc= Válvula del quemador secundario.  
 0%= Válvula cerrada.  
 50%= Válvula entreabierta.  
 100%= Válvula completamente abierta.

- A diferencia de los casos anteriores se observa, que cuando las válvulas VR y Vc están completamente abiertas, en conjunto con VA y VL al 50%, la temperatura es menor, resultando en 198.07°C, consumiendo 4.25 kg de leña y demandando 23.71kW de energía.
- La temperatura intermedia fue 261.97°C, combustionandose en promedio 3.72 kg de leña y demandando 20.75kW de energía. Esto es, bajo las condiciones VR=100% y Vc=0%.

- Se registraron las temperaturas más altas, cuando se combinaron las válvulas VR=50% y Vc=100%, resultando en 288.83°C, un consumo de 3.98 kg de leña y 22.20kW de energía.

**CUANDO XIV. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=50%  
Y VL=0%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VR=0 - Vc=0%	0.62	3.46	141.73
VR=50 - Vc=100%	2.83	15.79	222.6
VR=0 - Vc=50%	2.88	16.07	280.71

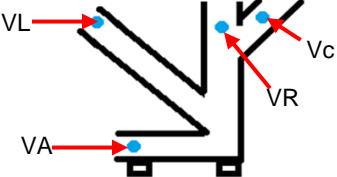
VA= Válvula de entrada de aire.  
 VL= Válvula de entrada de leña.  
 VR= Válvula del quemador principal.  
 Vc= Válvula del quemador secundario.  
 0%= Válvula cerrada.  
 50%= Válvula entreabierta.  
 100%= Válvula completamente abierta.

- La menor temperatura se registró con la configuración de válvulas VR=0% y Vc=0%, arrojando una temperatura de 141.73°C, un consumo promedio de leña de: 0.62 kg y, la demanda de energía fue de 3.46kW.
- La temperatura intermedia se obtuvo con la combinación de válvulas VR=50% y Vc=100%, arrojando una temperatura de 222.6°C y, combustionando 2.83 kg de leña y 15.79kW de energía
- La mayor temperatura ocurre cuando VR=0% y Vc=50%, registrando 280.71°C, mientras se consume 2.88 kg de leña y se demanda 16.07kW de energía.

**CUANDO XV. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=0% Y  
VL=100%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VR=0 - Vc=0	3.86	21.53	201.83
VR=50 - Vc=50	3.89	21.70	261.34
VR=50 - Vc=100	4.15	23.15	295.23

VA= Válvula de entrada de aire.  
 VL= Válvula de entrada de leña.  
 VR= Válvula del quemador principal.  
 Vc= Válvula del quemador secundario.  
 0%= Válvula cerrada.  
 50%= Válvula entreabierta.  
 100%= Válvula completamente abierta.



- Se registró la menor temperatura cuando se combinaron las válvulas en VR=0% y Vc=0%, resultando una temperatura de 201.83°C, un consumo de 3.86 kg de leña y liberándose 21.53kW de energía.
- En conjunto con VR=50% y Vc=50%, se obtiene la temperatura intermedia de 261.34°C, registrándose un consumo de 3.89 kg de leña y exigiendo un promedio de 21.70kW de energía.
- Se registra las mayores temperaturas configurando las válvulas en VR=50% y Vc=100%, dando un promedio de 295.23°C, consumiendo 4.15 kg de leña y una energía demanda de 23.15kW.

**CUADRO XVI. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=0%  
Y VL=50%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VR=0 - Vc=0	1.54	8.59	138.20
VR=100 - Vc=0	3.17	17.68	236.06
VR=50 - Vc=100	3.26	18.19	311.68

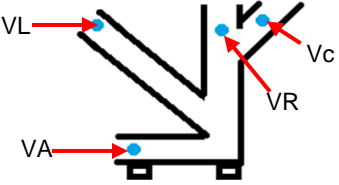
VA= Válvula de entrada de aire.  
 VL= Válvula de entrada de leña.  
 VR= Válvula del quemador principal.  
 Vc= Válvula del quemador secundario.  
 0%= Válvula cerrada.  
 50%= Válvula entreabierta.  
 100%= Válvula completamente abierta.

- En conjunto con VR=0% y Vc=0%, se registró la menor temperatura en 138.20°C, un consumo de 1.54 kg de leña y una energía demandada de 8.59kW.
- La temperatura intermedia fue de 236.06°C, registrando un consumo de 3.17 kg de leña y 17.68kW de energía. Esto en las condiciones VR=100% y Vc=0%.
- En conjunto con VR=50% y Vc=100%, se alcanzó el mayor promedio de temperaturas siendo, 311.68°C combustionando en el proceso un promedio de 3.26 kg de leña y liberando 18.19kW de energía.

**CUADRO XVII. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=0%  
Y VL=0%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VR=0 - Vc=0	2.02	11.27	152.98
VR=100 - Vc=0	3.31	18.47	241.24
VR=50 - Vc=100	4.39	24.49	287.51

VA= Válvula de entrada de aire.  
 VL= Válvula de entrada de leña.  
 VR= Válvula del quemador principal.  
 Vc= Válvula del quemador secundario.  
 0%= Válvula cerrada.  
 50%= Válvula entreabierta.  
 100%= Válvula completamente abierta.



El diagrama muestra un sistema de quemadores con cuatro válvulas: VA (entrada de aire), VL (entrada de leña), VR (quemador principal) y Vc (quemador secundario). Las válvulas VA y VL están representadas por líneas rojas con flechas azules que apuntan hacia los quemadores. Las válvulas VR y Vc están representadas por líneas rojas con flechas azules que apuntan hacia los quemadores secundarios.

- La menor temperatura se registra cuando VR=0% y Vc=0%, arrojando 152.98°C, consumiendo en el proceso 2.02 kg de leña. Lo que promedia un 11.27kW de energía demanda.
- La temperatura intermedia fue de 241.24°C, combustionando 3.31 kg de leña y requiriendo 18.47kW de energía, lo que fue registrado en el tratamiento VR=100% y Vc=0%.
- En conjunto con VR=50% y Vc=100% se registró la mayor temperatura, con 287.51°C, un consumo de 4.39 kg de leña y una energía demandada de 24.49kW.

Se obtiene como resultado una diferencia de casi un kilogramo de peso de leña entre la combinación VR=0 y Vc=0, VR=50 y Vc=100, mientras que la energía requerida entre la combinación VR=100 y Vc=0, VR=50 y Vc=100 es de una diferencia considerable, lo que da como resultado un aumento de temperatura de 46.27°C.

Las temperaturas registradas en las categorías de gama baja y gama intermedia no presentan diferencias significativas, lo que pudiera indicar que solo se necesitaría la gama baja y la gama alta, ésta situación puede notarse en los cuadros XVIII y XXXIII.

**CUADRO XVIII. RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE TEMPERATURA  
EN EL ACOPLA A.**

Variable: temperatura (°C)						
		Combinación				
		VR=0 – Vc=0	VR=100 – Vc= 0	VR=0 – Vc= 50	VR=0 – Vc=100	VR=50 – Vc=100
		A	B	C	D	F
VA=100 – VL=50	<b>Alta</b>	200.52	262.83	341.53	N.A.	N.A.
VA=100 – VL=0	<b>Media</b>	143.03	249.94	N.A.	312.64	N.A.
VA=0 – VL=50	<b>Baja</b>	138.20	236.06	N.A.	N.A.	311.68

Fuente: cuadros X, XI y XVI

**CUADRO XIX. CUADRO ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE TEMPERATURA EN  
EL ACOPLA A.**

Variable: Temperatura (°C)				
Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo				
RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
<b>Alta</b>	2	463.35	231.68	1,941.27
<b>Media</b>	2	392.97	196.49	5,714.87
<b>Baja</b>	2	374.26	187.13	4,788.29
<b>A</b>	3	481.75	160.58	1,202.04
<b>B</b>	3	748.83	249.61	179.24

Al analizar la variable temperatura obtenida, en función de los niveles de temperatura (véase filas), ésta se comportó tal como se esperaba, no se observa

diferencia estadística significativa entre los niveles alto, medio y bajos de temperaturas ensayadas. Al observar los datos prácticos (ver cuadro XIX), en lo relativo a los niveles de temperatura alta, la variable de temperatura obtenida es de 231.68°C. En lo relativo a los niveles de temperatura intermedia, se obtuvo la temperatura de 196.49°C. En los niveles de temperatura baja de obtuvo 187.13°C.

Al analizar la variable temperatura obtenida en función de los niveles de combinaciones de válvulas (véase columnas), el ANAVA presentó diferencia estadística significativa para las combinaciones de válvulas (ver anexo 24). En la práctica el nivel A mostró un promedio de temperatura más bajo (160.58°C) que el nivel B (249.61 °C).

**CUADRO XX. RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE CONSUMO DE LEÑA EN EL ACOPLE A.**

Variable: leña (kg/h)						
		Combinación				
		VR=0 – Vc=0	VR=100 – Vc= 0	VR=0 – Vc= 50	VR=0 – Vc=100	VR=50 – Vc=100
		A	B	C	D	F
VA=100 – VL=50	<b>Alta</b>	3.65	4.56	4.73	N.A.	N.A.
VA=100 – VL=0	<b>Media</b>	1.27	4.54	N.A.	4.32	N.A.
VA=0 – VL=50	<b>Baja</b>	1.54	3.17	N.A.	N.A.	3.26

Fuente: cuadros X, XI y XVI

**CUADRO XXI. CUADRO ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE CONSUMO DE  
LEÑA EN EL ACOUPLE A.**

<b>Variable: leña (kg/h)</b>				
<b>Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo</b>				
<b>RESUMEN</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
<b>Alta</b>	2	8.21	4.11	0.41
<b>Media</b>	2	5.81	2.91	5.35
<b>Baja</b>	2	4.71	2.36	1.33
<b>A</b>	3	6.46	2.15	1.70
<b>B</b>	3	12.27	4.09	0.63

Al analizar la variable consumo de leña (kg/h), en función de la temperatura (véase filas), tal como se esperaba, no se observa diferencia estadística significativa entre los niveles alto, medio y bajo investigados (ver anexo 25). Al observar los datos prácticos (ver cuadro XXI), efectivamente en su orden el consumo de leña es más elevado (4.11kg/h) para niveles altos, consumo promedio (2.91kg/h) para niveles medios y menor consumo (2.36kg/h) para niveles de temperatura baja.

Al analizar la variable consumo de leña en función de los niveles de combinaciones válvulas (véase columnas), el ANAVA tampoco mostró diferencia estadística significativa (ver anexo 25). En la práctica, el nivel A mostró un promedio de consumo de leña más bajo (2.15kg/h) que el nivel B (4.09kg/h) (ver cuadro XXI).

**CUADRO XXII. RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE ENERGÍA  
DEMANDADA EN EL ACOUPLE A.**

Variable: energía demandada (kWh)						
		Combinación				
		VR=0 – Vc=0	VR=100 – Vc= 0	VR=0 – Vc= 50	VR=0 – Vc=100	VR=50 – Vc=100
		A	B	C	D	F
VA=100 – VL=50	<b>Alta</b>	20.36	25.44	26.39	N.A.	N.A.
VA=100 – VL=0	<b>Media</b>	7.08	25.33	N.A.	24.10	N.A.
VA=0 – VL=50	<b>Baja</b>	8.59	17.68	N.A.	N.A.	18.19

Fuente: cuadros X, XI y XVI

### CUADRO XXIII. CUADRO ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE ENERGÍA DEMANDADA EN EL ACOPLE A.

Variable: Energía demandada (kWh)				
Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo				
RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
<b>Alta</b>	2	45.80	22.90	12.90
<b>Media</b>	2	32.41	16.21	166.53
<b>Baja</b>	2	26.27	13.14	41.31
<b>A</b>	3	36.03	12.01	52.86
<b>B</b>	3	68.45	22.82	19.79

Al analizar la variable demanda de energía, en función de la temperatura (véase filas), tal como se esperaba, no se observa diferencia estadística significativa, entre los niveles alto medio y bajos de temperaturas investigadas (ver anexo 26). Al observar los datos prácticos (ver cuadro XXIII), efectivamente en su orden la variable de energía demandada es más elevada (22.90kWh) para niveles altos, consumo promedio (16.21kWh) para niveles medios y menor consumo (13.14kWh) para niveles de temperatura baja. Al analizar la variable demanda de energía en función de los niveles de combinaciones de válvulas (véase columnas), el ANAVA tampoco mostró diferencia estadística significativa (ver anexo 26). En la práctica el nivel A mostró un promedio de consumo de leña más bajo (12.01kWh) que el nivel B (22.82KWh).

#### 4.6 Evolución de la temperatura y consumo de leña en el acople B

Se confeccionó una base de datos tabulando cada tratamiento, colocando en el mismo los parámetros evaluados, (los cuales se detallan en el cuadro VIII). Luego, se obtuvo el promedio por tratamiento en cada punto de medición (ver anexo 22). Todos los resultados obtenidos se tabularon y se volvió a realizar la operación, finalizando así los promedios totales (ver anexo 23).

Durante el ensayado se ajustaron las válvulas variando las aperturas de las mismas entre las posiciones de 0%, 50% y 100% o sea; cerrada, semi abierta y completamente abierta. A continuación, se describen las configuraciones de diversas combinaciones de válvulas, las cuales generan tres niveles de temperatura. A saber, el promedio de la menor temperatura, el promedio de la temperatura intermedia y el promedio de la mayor temperatura.

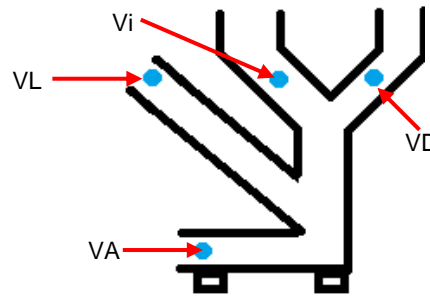
#### CUADRO XXIV. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN

**VA=100% Y VL=100%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
-----------------	------------------	-------------------------	------------------

VD=0 - Vi=0	3.96	22.09	218.89
VD=0 - Vi=50	3.84	21.42	261.34
VD=50 - Vi=100	3.43	19.13	330.97

VA= Válvula de entrada de aire.  
VL= Válvula de entrada de leña.  
VD= Válvula del quemador derecho.  
Vi= Válvula del quemador izquierdo.  
0%= Válvula cerrada.  
50%= Válvula entreabierta.  
100%= Válvula completamente abierta.



- Se observó que, en conjunto con VD=0% y Vi=0% se obtuvo la menor temperatura con 218.89°C, consumiendo 3.96 kg de leña y requiriendo de una energía promedio de 22.09kW.
- La temperatura intermedia fue de 281.79°C, combustionando 3.84 kg de leña y demandando una energía de 21.42kW, esto en el tratamiento VD=0% y Vi=50%.
- Se registró la mayor temperatura cuando se combinó VD=50% y Vi=100%, arrojando una temperatura promedio de 330.97°C, consumiendo 3.43 kg de leña y requiriendo una energía media de 19.13kW.

En forma general, el tratamiento resultó con una relación inversa debido a que la configuración que menos cantidad de leña consumió, arrojó las mayores temperaturas.

#### **CUADRO XXV. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN**

**VA=100% Y VL=50%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VD=0 - Vi=0	2.23	12.44	191.51
VD=50 - Vi=50	3.17	17.68	256.93
VD=50 - Vi=100	3.34	18.63	300.96

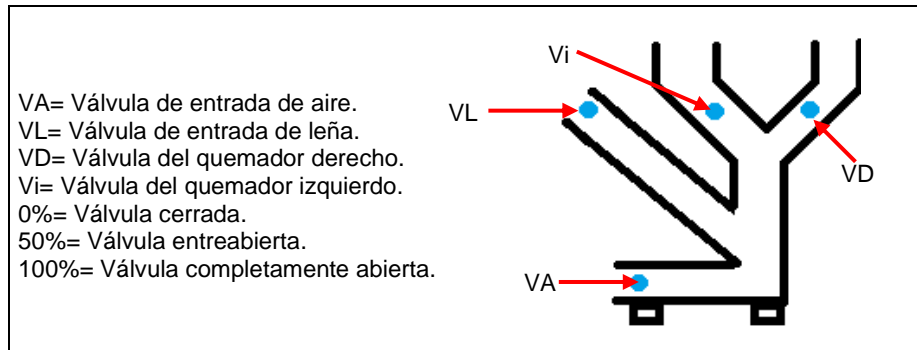
VA= Válvula de entrada de aire.  
VL= Válvula de entrada de leña.  
VD= Válvula del quemador derecho.  
Vi= Válvula del quemador izquierdo.  
0%= Válvula cerrada.  
50%= Válvula entreabierta.  
100%= Válvula completamente abierta.

- Nuevamente, la menor temperatura se obtiene cuando VD=0% y Vi=0%, siendo está de 191.51°C, combustionando en el proceso, 2.23 kg de leña y, una energía de 12.44kW.
- Se demostró que con VD=50% y Vi=50%, se consiguió la temperatura intermedia de 256.93°C, consumiendo un promedio de 3.17 kg de leña y bajo una demanda de 17.68kW energía.
- Se registra la mayor temperatura configurando las válvulas en VD=50% y Vi=100%, resultando en 300.96°C, un consumo de leña de 3.34 kg y, exigiendo una media de 18.63kW de energía.

### CUADRO XXVI. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN

**VA=100% Y VL=0%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VD=0 - Vi=0	1.37	7.64	173.47
VD=0 - Vi=100	2.45	13.67	222.92
VD=50 - Vi=100	2.93	16.35	278.82

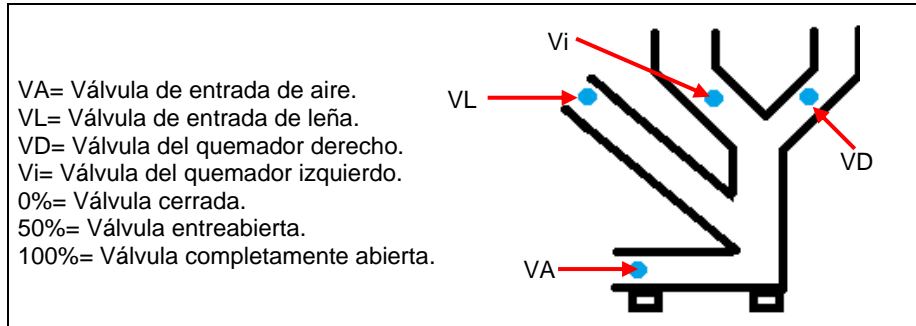


- La menor temperatura fue de 173.47°C, se obtuvo combinando las válvulas VD=0% y Vi=0%, consumió 1.37 kg de leña, liberando una energía media de 7.64kW.
- La temperatura intermedia se obtuvo con la combinación de las válvulas VD=0% y Vi=100%, dando como resultado 222.92°C, combustionándose 2.45 kg de leña y demandando una energía de 13.67kW.
- Las mayores temperaturas se observaron en la combinación VD=50% y Vi=100%, alcanzándose una temperatura promedio de 278.82°C, con un consumo de 2.93 kg de leña y exigiendo energía de 16.35kW.

## CUADRO XXVII. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN

**VA=50% Y VL=100%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VD=0 - Vi=0	2.90	16.18	200.26
VD=0 - Vi=50	2.88	16.07	247.58
VD=50 - Vi=50	3.50	19.53	272.24



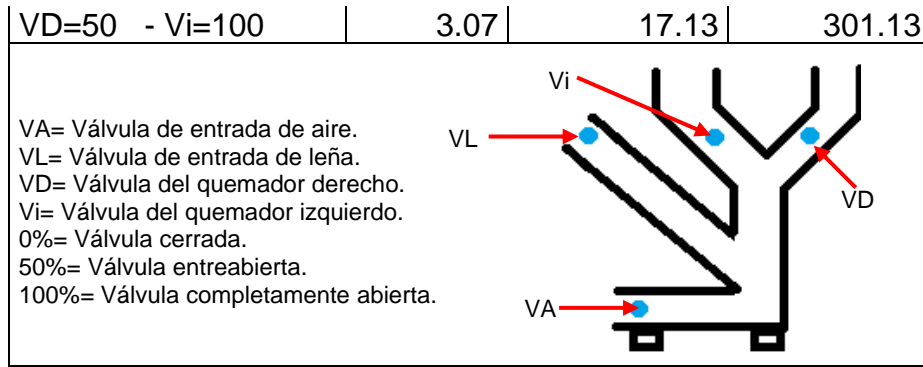
- En conjunto con VD=0% y Vi=0%, se alcanzó la menor temperatura, correspondiendo a 200.26°C, consumiéndose un promedio de 2.90 kg de leña, liberándose 16.18kW de energía.
- La temperatura intermedia se alcanza con la combinación de válvulas VD=0% y Vi=50%, obteniéndose 247.58°C, comburiendo en el proceso 2.88 kg de leña y demandando de 16.07kW de energía
- Las temperaturas más altas se reflejaron cuando, VD=50% y Vi=50%, alcanzando 272.24°C, un consumo de 3.50 kg leña y, la energía promedio es de 19.53kW.

El consumo de leña y la demanda energía en las combinaciones VD=0 y Vi=0, VD=0 y Vi=50, fueron muy cercanos, sin embargo, en las temperaturas se aprecia la diferencia debido al uso de válvulas.

### CUADRO XXVIII. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN

**VA=50% Y VL=50%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VD=0 - Vi=0	1.89	10.54	173.16
VD=100 - Vi=100	3.05	17.01	227.77



- En conjunto, con VD=0% y Vi=0%, se obtuvo la menor temperatura, promediando a 173.16°C, consumiendo 1.89 kg de leña y 10.54kW de energía.
- En la combinación VD=100% y Vi=100% se refleja una temperatura intermedia de 227.77°C; se consumió 3.05 kg de leña y esto exigió una energía de 17.01kW.
- La combinación que arrojó la mayor temperatura fue VD=50% y Vi=100%, teniendo como resultado 301.13°C, registrándose 3.07 kg de consumo de leña y un promedio de 17.13kW de energía.

Al igual que en el tratamiento anterior, se muestran dos resultados de consumo y demanda energía muy similar, en este caso en las combinaciones VD=100 y Vi=100, VD=50 y Vi=100, de igual forma las temperaturas resultantes tienen una diferencia muy marcada.

**CUADRO XXIX. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN**

**VA=50% Y VL=0%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VD=0 - Vi=0	1.56	8.70	167.41

VD=0 - Vi=100	1.87	10.43	231.31
VD=50 - Vi=100	3.00	16.74	293.71

VA= Válvula de entrada de aire.  
VL= Válvula de entrada de leña.  
VD= Válvula del quemador derecho.  
Vi= Válvula del quemador izquierdo.  
0%= Válvula cerrada.  
50%= Válvula entreabierta.  
100%= Válvula completamente abierta.

- La menor temperatura, se encontró en combinación con VD=0% y Vi=0%, alcanzando 167.41°C, con un consumo de 1.56 kg de leña, bajo demanda de 8.70kW de energía.
- En conjunto con VD=0% y Vi=100%, se registró la temperatura intermedia de 231.31°C, registrando 1.87 kg de leña consumida y requiriendo de 10.43kW de energía.
- Se registró la mayor temperatura configurando las válvulas en VD=50% y Vi=100%, dando 293.71°C, consumiéndose 3 kg de leña y la energía demanda de 16.74kW.

**CUADRO XXX. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=0%  
Y VL=100%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VD=0 - Vi=0	2.11	11.77	194.43
VD=100 - Vi=50	2.57	14.34	238.28

VD=50 - Vi=100	2.88	16.07	273.48
----------------	------	-------	--------

VA= Válvula de entrada de aire.  
VL= Válvula de entrada de leña.  
VD= Válvula del quemador derecho.  
Vi= Válvula del quemador izquierdo.  
0%= Válvula cerrada.  
50%= Válvula entreabierta.  
100%= Válvula completamente abierta.

- Se registró la menor temperatura al combinar las válvulas en VD=0% y Vi=0%, resultando una temperatura de 194.43°C, el consumo promedio de 2.11 kg de leña y exigiendo 11.77kW de energía.
- Se registró que en conjunto con VD=100% y Vi=50%, se obtuvo la temperatura intermedia de 238.28°C, registrándose un consumo de 2.57 kg de leña y 14.34kW de energía.
- La mayor temperatura de 273.48°C se observó con la combinación VD=50% y Vi=100%, lo que consumió en promedio 2.88 kg de leña y exigió una energía de 16.07kW.

**CUADRO XXXI. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN VA=0%  
Y VL=50%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VD=0 - Vi=0	2.47	13.78	194.20
VD=50 - Vi=50	2.71	15.12	243.77

VD=50 - Vi=100	2.93	16.35	306.34
----------------	------	-------	--------

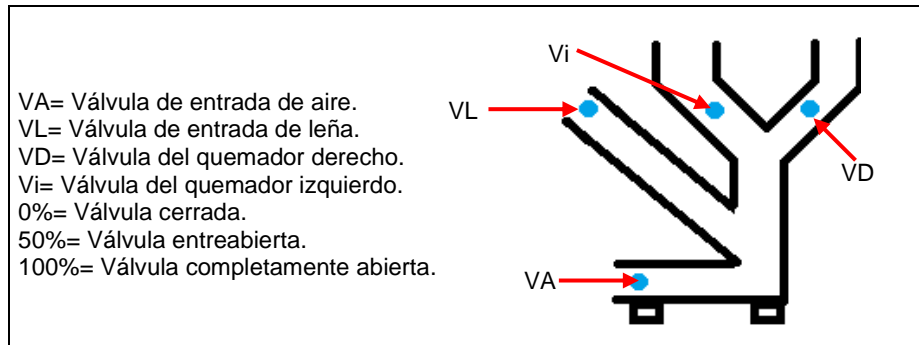
VA= Válvula de entrada de aire.  
VL= Válvula de entrada de leña.  
VD= Válvula del quemador derecho.  
Vi= Válvula del quemador izquierdo.  
0%= Válvula cerrada.  
50%= Válvula entreabierta.  
100%= Válvula completamente abierta.

- En conjunto con VD=0% y Vi=0%, se registra la menor temperatura de 194.20°C, un consumo de 2.47 kg de leña y la energía demandada de 13.78kW.
- La temperatura intermedia fue de 243.77°C, registrándose un consumo de 2.71 kg de leña y 15.12kW de energía. Esto en las condiciones VD=50% y Vi=50%.
- En conjunto con VD=50% y Vi=100%, arrojó la mayor temperatura de 306.34°C, combustionando en el proceso de 2.93 kg de leña y exigiendo un promedio de 16.35kW de energía.

## CUADRO XXXII. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA CONFIGURACIÓN

**VA=0% Y VL=0%.**

Combinación (%)	Peso leña (kg/h)	Energía demandada (kWh)	Temperatura (°C)
VD=0 - Vi=100	1.34	7.48	149.26
VD=50 - Vi=100	1.34	7.48	180.86
VD=100 - Vi=0	2.18	12.16	206.73



- Se registra la menor temperatura al combinar  $VD=0\%$  y  $Vi=100\%$ , alcanzando  $149.26^{\circ}\text{C}$ , se consume en el proceso  $1.34\text{ kg}$  de leña, y  $7.48\text{kW}$  de energía demanda.
- Se alcanza la temperatura intermedia de  $180.86^{\circ}\text{C}$ , combustionándose en promedio  $1.34\text{ kg}$  de leña y exigiendo una energía promedio de  $7.48\text{kW}$ , esto en el tratamiento  $VD=50\%$  y  $Vi=100\%$ .
- La mayor temperatura fue de  $206.73^{\circ}\text{C}$ , dándose bajo las condiciones de  $VD=100\%$  y  $Vi=0\%$ . En este caso, se consumió una media de  $2.18\text{ kg}$  de leña y se demanda  $12.16\text{kW}$  de energía.

Los resultados obtenidos han demostrado ser suficientes para que, mediante el reajuste específico de las válvulas, se pueda establecer diversos niveles constantes de temperatura de operación. También permite conocer los consumos de leña y energía correspondientes al ajuste de válvulas previamente seleccionado. Este último detalle permitirá calcular el consumo de leña en una hora; la energía demandada ofrece una aproximación del costo de operación al substituirse la biomasa por otro combustible.

Pudo notarse que, en ambos acoples, no siempre el mayor consumo de leña redundó en un aumento o reducción de la temperatura, situación que pudo alterarse al maniobrar las válvulas.

El prototipo desarrollado para el presente trabajo demostró que es posible construir un dispositivo funcional, versátil, semiportátil y con mínima liberación de humos; tras llevar a cabo los ensayos, se logró identificar configuraciones y ajustes específicos de las válvulas que generaron variaciones de temperatura óptimas para diversas aplicaciones, como procesos de secado, deshidratación, cocción y horneado; tanto para granos y vegetales, cárnicos e inclusive para el secado de madera. El tamaño de la hornilla permite que la misma sea montada, transportada y remontada en otro sitio con relativa facilidad y debe mirarse como un generador de calor que no solamente posee el potencial de consumir leña, un combustible abundante en áreas rurales; también puede adaptarse al uso de otros tipos de biomasa seca, gases combustibles, resistencias eléctricas e inclusive de combustibles líquidos; de ahí la importancia de registrar la energía consumida a diferentes niveles de temperatura.

Los resultados obtenidos demuestran que es posible agrupar las temperaturas en tres gamas o rangos temperatura; las cuales se pudieron definir en gama de bajas temperaturas, gama de temperaturas intermedia y gama de altas temperatura. Lo mismo ocurre con el consumo de leña y la energía demanda, factores que se muestran en función de la temperatura alcanzada.



**CUADRO XXXIII. RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE TEMPERATURA  
EN EL ACOPLÉ B.**

Variable: temperatura (°C)						
		Combinación				
		VD=0 – Vi=0	VD=0 – Vi=50	VD=50 – Vi=100	VD=0 – Vi=100	VD=100 – Vi=0
		A	B	C	D	E
<b>VA=100 – VL=100</b>	Alta	218.89	261.34	330.97	N.A.	N.A.
<b>VA=50 – VL=0</b>	Media	167.41	N.A.	293.71	231.31	N.A.
<b>VA=0 – VL=0</b>	Baja	N.A.	N.A.	180.86	149.26	206.73

Fuente: cuadros XXIV, XXIX y XXXII

**CUADRO XXXIV. RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE LEÑA EN EL  
ACOPLÉ B.**

Variable: leña (kg)						
		Combinación				
		VD=0 – Vi=0	VD=0 – Vi=50	VD=50 – Vi=100	VD=0 – Vi=100	VD=100 – Vi=0
		A	B	C	D	E
<b>VA=100 – VL=100</b>	Alta	3.96	3.84	3.43	N.A.	N.A.
<b>VA=50 – VL=0</b>	Media	1.56	N.A.	3.00	1.87	N.A.
<b>VA=0 – VL=0</b>	Baja	N.A.	N.A.	1.34	1.34	2.18

Fuente: cuadros XXIV, XXIX y XXXII

**CUADRO XXXV. RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE ENERGÍA  
DEMANDADA EN EL ACOPLÉ B.**

Variable: energía demandada (kWh)						
		Combinación				
		VD=0 – Vi=0	VD=0 – Vi=50	VD=50 – Vi=100	VD=0 – Vi=100	VD=100 – Vi=0
		A	B	C	D	E
<b>VA=100 – VL=100</b>	Alta	22.09	21.42	19.13	N.A.	N.A.
<b>VA=50 – VL=0</b>	Media	8.70	N.A.	16.74	10.43	N.A.
<b>VA=0 – VL=0</b>	Baja	N.A.	N.A.	7.48	7.48	12.16

Fuente: cuadros XXIV, XXIX y XXXII

## 5. Conclusiones

- Se logró diseñar un prototipo de estufa tipo cohete según parámetros preestablecidos.
- Para facilitar diversas aplicaciones, el prototipo presenta dos acoples intercambiables de distintas estructuras, con dos quemadores cada uno y válvulas de control para regular el aire de combustión y las temperaturas.
- Se registraron los puntos de temperatura y consumo de leña en el acople A, teniendo como tratamientos todas las combinaciones posibles de válvulas; resultando en 81 ensayos y 18225 mediciones en los puntos de temperatura y 81 datos de consumo de leña.
- Se registraron los puntos de temperatura y consumo de leña en el acople B, teniendo como tratamientos todas las combinaciones posibles de válvulas; resultando en 81 ensayos y 18225 mediciones en los puntos de temperatura y 81 datos de consumo de leña.
- Los análisis estadísticos aplicados en el acople A determinaron la relación que existe entre las combinaciones de válvulas y las temperaturas arrojadas, siempre y cuando la demanda de energía y consumo de leña sean aproximadamente constantes (dentro de los niveles investigados) adaptándose a las necesidades de temperatura del usuario. Al correr los datos del acople B se llega a las mismas conclusiones que se obtuvieron en el acople A (analogía: el acople A y el acople B funcionan como dos quemadores de igual capacidad en una estufa, pero pueden hacer funciones diferentes en el mismo período considerado).

- Utilizándose la hornilla con el acople apropiado y, ya conocidas las temperaturas específicas alcanzadas y asociadas a las diversas configuraciones de válvulas, este generador de calor estará en condiciones de proveer energía térmica de forma sostenible para los siguientes procesos comunes en áreas rurales y semiurbanas; los cuales pudieran ser: secado, deshidratación, torrefacción, cocción, calefacción e incinerado y, la producción de vapor a bajas presiones.
- El prototipo desarrollado puede recibir modificaciones para incrementar su eficiencia y compatibilidad con el ambiente. Partiendo del concepto de equilibrio carbónico, este prototipo pudiera considerarse de equilibrio carbónico cero, una vez que el carbono emanado de las diferentes fuentes de hidrocarburos y otras fuentes, es incorporado a la estructura de la biomasa energética durante su desarrollo; luego de combustionada liberará el carbono que una vez incorporo, al ambiente.

## **6. Recomendaciones**

- Ante los hallazgos, se sugiere la continuación de los estudios con este tipo de hornilla, debido a que posee amplias aplicaciones en las áreas rurales y afianzaría muy bien en labores agroindustriales de pequeño y medio interés.
- Replicar el diseño del prototipo desarrollado, utilizando concreto refractario o semirefractario para mejorar la eficiencia térmica del sistema. A raíz de que se alcanzaron temperaturas puntuales cercanas a los 500°C, es posible que también se pueda incrementar la eficiencia de la hornilla

modificando ligeramente la arquitectura del prototipo, principalmente en los puntos cercanos a la parrilla de combustión.

- Seleccionar las combinaciones de válvulas, que arrojaron las temperaturas más altas, las intermedias y las bajas, en cada uno de los quemadores. Para poder realizar pruebas que permita conocer el tiempo o efectividad que tiene el prototipo de llevar agua a su punto de ebullición, a través de un intercambiador de calor y sin intercambiador de calor. Esto permitirá ampliar los usos de la hornilla para actividades donde se requiera desinfectar alguna superficie.
- Comparar el estudio de la hornilla con un fogón común, una estufa a gas y/o eléctrica y determinar el consumo de cada uno, con la finalidad de evaluar la eficiencia de cada una.
- Más allá del desarrollo y ensayo de la hornilla, la investigación también se puede expandir realizando el ensayo de la combustión con exceso de aire, una conocida y a la vez poco estudiada manera de aumentar la eficiencia durante la combustión de biomasa.
- Se sugiere profundizar los estudios de rendimiento utilizándose leña de diferentes especies con diferentes niveles de poder calorífico. Una vez que la humedad de la leña afecta su potencial calorífico debe mantenerse constante la humedad de la misma. Por otro lado, debe registrarse la humedad relativa del aire ambiente, la cual también afectará el rendimiento.

- A mediano plazo, se sugiere realizar ensayos de aplicación para demandas específicas de la agroindustria, dado que en estos casos no siempre es posible mantener un control constante sobre la humedad de la leña o residuos agrícolas que se utilizarán en la combustión; como en los procesos de post-cosecha, en la industria panelera y de conservas, producción de lácteos, procesamiento de café y cacao; además de la producción de *chips* de plátano, tubérculos y raíces.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Bernaloa, P., 2020. Estufas Cohete: el sistema de calefacción más eficiente para calentar con leña. Consultado en línea 2 de agosto de 2020. Disponible en: <https://ecoinventos.com/estufas-cohete/>

Castro, R., 2016. Panamá y la producción de energía. Consultado en línea 1 de agosto de 2020. Disponible en: <https://elcapitalfinanciero.com/panama-y-la-produccion-de-energia/#:~:text=La%20matriz%20de%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica,los%20r%C3%ADos%20y%20sus%20afluentes.>

Chandiramani, R., 2019. La cobertura de energía eléctrica aún es un reto en las comarcas. Consultado en línea 1 de agosto de 2020. Disponible en: <https://www.laestrella.com.pa/nacional/190716/reto-energia-comarcas-cobertura-electrica>

Common, M., & Stalg, S., 2019. *Introducción a la economía ecológica*. Barcelona, España. 562p. Consultado en línea 20 de mayo de 2020. Disponible en: [https://books.google.com.pa/books?id=4jbeDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pa/books?id=4jbeDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

De Lucas, A., *et al* 2012. *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. Palencia, España. 208p. Consultado en línea 19 de septiembre de 2020. Disponible en: <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>

Evans, I., & Jackson L., 2014. *Cohete mass heaters: superefficient woodstoves you can build (and snuggle up to)*. Coquille, Oregon. 120p. Consultado en línea 2 de agosto de 2020. Disponible en: <http://www.lacasat.com.ar/wp-content/uploads/2015/07/EVANS-lanto-Estufas-Cohete.pdf>

Gliessman, Stephen R. 2002. *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, Costa Rica. 359p. Consultado en línea 28 de septiembre de 2020. Disponible en: [https://books.google.com.pa/books?id=rnqan8BOVNAC&pg=PA73&dq=humedad+relativa&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjM\\_Pbzi43sAhUo01kKHxDQDYAQ6AEwA3oECAIQAg#v=onepage&q=humedad%20relativa&f=false](https://books.google.com.pa/books?id=rnqan8BOVNAC&pg=PA73&dq=humedad+relativa&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjM_Pbzi43sAhUo01kKHxDQDYAQ6AEwA3oECAIQAg#v=onepage&q=humedad%20relativa&f=false)

González, D., 2001. Estudio de casos sobre combustibles forestales. Santiago, Chile. Consultado en línea 2 de agosto de 2020. Disponible en: [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/proyecto/rla133ec/ME-pdf/ME%20-%20Panama.PDF](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/proyecto/rla133ec/ME-pdf/ME%20-%20Panama.PDF)

González, J., 2009. *Energías renovables*. Barcelona, España. 670p. Consultado en línea 17 de septiembre de 2020. Disponible en: [https://books.google.com.pa/books?id=bl6L8E\\_9t1kC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pa/books?id=bl6L8E_9t1kC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Jarauta, L., 2014. *Las energías renovables*. Barcelona, España. 110p. Consultado en línea 18 de septiembre de 2020. Disponible en: <https://books.google.com.pa/books?id=P39pBAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=energias+no+renovables&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiv8Yiw5vHrAhUprFkKHQ9gAn0Q6AEwBHoECAQQAg#v=onepage&q&f=false>

Kreith, F., et al. 2012. *Principios de Transferencia de Calor*. 984p. Consultado en línea 21 de septiembre de 2020. Disponible en: [https://books.google.com.pa/books?id=xr4uAzjOquoC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pa/books?id=xr4uAzjOquoC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

LlamaViva, 2016. ¿Qué es una estufa de inercia? Consultado en línea 21 de febrero de 2021. Disponible en: <https://www.llamaviva.es/que-es-una-estufa-de-inercia>

MacKay, D., 2008. *Sustainable Energy – without the hot air*. 366p. Consultado en línea 24 de noviembre de 2023. Disponible en:

[https://www.google.com.pa/books/edition/Sustainable\\_Energy\\_without\\_the\\_hot  
\\_air/aj7JEAAAQBAJ?hl=es-  
419&gbpv=1&dq=sustainable+energy+without+the+hot+air&printsec=frontcover](https://www.google.com.pa/books/edition/Sustainable_Energy_without_the_hot_air/aj7JEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=sustainable+energy+without+the+hot+air&printsec=frontcover)

Matú, E., 2019. ¿Qué es una estufa cohete? Consultado en línea 21 de febrero de 2021.

Disponible en: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/que-es-una-estufa-cohete>

Moran, M. & Shapiro, H., 2004. *Fundamentos de termodinámica técnica*. 888p.

Consultado en línea 21 de septiembre de 2020. Disponible en:

[https://books.google.com.pa/books?id=IJJcF1oqP5wC&printsec=frontcover&so  
urce=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pa/books?id=IJJcF1oqP5wC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Montecinos, S., & Carbajal, D., 2018. *Energías renovables: Escenario actual y perspectivas futuras*. Región de Coquimbo, Chile. Consultado en línea el 18 de

septiembre de 2020. Disponible en:

[https://books.google.com.pa/books?id=P XKMDwAAQBAJ&printsec=frontcover  
&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pa/books?id=P XKMDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Muñoz, J., *et al.* 2009. *Física y Química*. Consultado el 20 de septiembre de 2020.

Disponible en:

[http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esofisicaquimica/impresos/cu\\_rso\\_completo.pdf](http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esofisicaquimica/impresos/cu_rso_completo.pdf)

Ojea, L., 2019. Un sistema energético mundial 100% renovable en 2050 es posible y, encima, más barato. Consultado en línea 20 de mayo de 2020. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/un-sistema-energetico-mundial-100-renovable-en-2050-es-posible-y-encima-mas-barato/>

Pacheco-Rivas, I., 2017. Cómo construir una estufa de masa térmica de alto rendimiento. Estufas Cohete. Consultado en línea 21 de febrero de 21. Disponible en: <https://about-haus.com/estufa-de-masa-termica-cohete/#:~:text=Son%20%20los%20modelos%20de,L%C2%BB%20la%20carga%20es%20horizontal.>

Perdomo, D., 2008. *Contradicciones en el desarrollo de las hidroeléctricas en Panamá*. Consultado en línea 19 de septiembre de 2020. Disponible en: <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Panama/cela/20120717103331/contradicciones.pdf>

Quiroga, B., 2017. La electricidad frente al combustible. Consultado en línea 20 de mayo de 2020. Disponible en: <https://twenergy.com/a/la-electricidad-frente-al-combustible-2734>

Rayner, L., 2010. *The Natural Canning Resource Book - A guide to home canning with locally-grown, sustainably-produced and fair trade foods*. Flagstaff, Arizona. 202p. Consultado en línea 2 de agosto de 2020. Disponible en: [https://books.google.com.pa/books?id=nQRUm1\\_b3g4C&pg=PT42&dq=cohete+stove&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj8uc61pvvqAhVnUN8KHWyGDbQQ6AEwAnoECAcQAq#v=onepage&q=cohete%20&f=false](https://books.google.com.pa/books?id=nQRUm1_b3g4C&pg=PT42&dq=cohete+stove&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj8uc61pvvqAhVnUN8KHWyGDbQQ6AEwAnoECAcQAq#v=onepage&q=cohete%20&f=false)

Ríos, I., et al 2017. *Biocombustibles sólidos: una solución al calentamiento global*. Querétaro, México. 7p. Consultado en línea 19 de septiembre de 2020. Disponible en: <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/BiocombustiblesSolidos.pdf>

Rolle, K., 2006. *Termodinámica*. 611p. Consultado en línea 21 de septiembre de 2020. Disponible en: [https://books.google.com.pa/books?id=1rIBBXQhmCwC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pa/books?id=1rIBBXQhmCwC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Rufes, P., 2010. *Energía Solar Térmica: Técnicas para su aprovechamiento*. Barcelona, España. 320p. Consultado en línea 18 de septiembre de 2020. Disponible en: <https://books.google.com.pa/books?id=fllc3xuVIUYC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Sebastián, F., 2010. *Energía de la biomasa (volumen I)*. Zaragoza, España. 557p. Consultado en línea 19 de septiembre de 2020. Disponible en: <https://books.google.com.pa/books?id=P58rcPu5O90C&pg=PA97&dq=energia&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjFttHw0fHrAhWCdN8KHSZRDRw4FBD0ATAGegQIBxAC#v=snippet&q=biomasa&f=false>

Seoáñez, M., 2013. *Tratado de la Biomasa*. Madrid, España. 490p. Consultado en línea 27 de octubre de 2021. Disponible en: <https://elibro.net/en/ereader/upanama/50209>

Vera, H., 2016. Panamá: graves afectaciones a la salud por uso de combustible bunker c. 2 min. 46 seg., color. Consultado el 20 de septiembre de 2020. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=AnheLFIO2Mk>

Wilson, J., & Buffa, A., 2002. *Física Quinta edición*. 842p. Consultado en línea 21 de septiembre de 2020. Disponible en: [https://books.google.com.pa/books?id=KFEvYPsc5IMC&printsec=frontcover&dq=jerry+wilson+física&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiguNjM0\\_vrAhWRtVkkHceaACwQ6AEwAHoECAYQAg#v=onepage&q=jerry%20wilson%20física&f=false](https://books.google.com.pa/books?id=KFEvYPsc5IMC&printsec=frontcover&dq=jerry+wilson+física&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiguNjM0_vrAhWRtVkkHceaACwQ6AEwAHoECAYQAg#v=onepage&q=jerry%20wilson%20física&f=false)

## ANEXOS

Selección del diseño



**Anexo 1.** Maqueta del prototipo hecha de cartón.

Equipo de protección personal



**Anexo 2.** Chaqueta ignífuga, guantes resistentes a altas temperaturas y máscara con filtros para humo.



**Anexo 3.** Primeras uniones de tubos.



**Anexo 4.** Tubo abastecedor de leña soldado a la estructura.



**Anexo 5.** Cámara de combustión.



**Anexo 6.** Cenicero.



**Anexo 7.** Corte en el tubo vertical de la estufa *cohete*.



**Anexo 8.** Estufa *cohete* con dos quemadores.



**Anexo 9.** Instalación de válvula de control tipo mariposa.



**Anexo 10.** Asiento de válvula de control tipo empotrable (VR).



**Anexo 11.** Válvula VR al 0%.



**Anexo 12.** Topes para ajustes de posición de válvula VA.



**Anexo 13.** Topes para ajustes de posición de válvula Vc.



**Anexo 14.** Topes para ajustes de posición de válvula VD (derecha) y válvula (Vi) izquierda.



Punto de acople

**Anexo 15.** Hornilla con el acople A.



Punto de acople

**Anexo 16.** Hornilla con el acople B.



Anexo 17. Leña de *Eucalyptus camaldulensis* en proceso de secado.



Anexo 18. Toma de humedad en la leña.



**Anexo 19.** Barrera para proteger la estufa del viento ambiental.

Ensayo #4.5 (VA=100% VL=50% VR=50% Vc=100%)							
	Punto de medición	T <sub>1</sub> (5 minutos) (°C)	T <sub>2</sub> (10 minutos) (°C)	T <sub>3</sub> (15 minutos) (°C)	T <sub>4</sub> (20 minutos) (°C)	T <sub>5</sub> (25 minutos) (°C)	T <sub>promedio5</sub> (°C)
Temperatura= 27.3°C	P <sub>1</sub>	468.3	459.8	432.8	429.2	407.8	439.6
Humedad= 99%	P <sub>2</sub>	491.3	501.8	442.8	498.4	480.6	483
Humedad en leña=9.8%	P <sub>3</sub>	494.2	504.6	476.6	464.5	451.1	478.2
Peso de leña entrante= 2.44kg	TR <sub>1</sub>	430	450.6	430	346.3	313.4	394.1
Peso de leña sobrante= 0.18kg	TR <sub>2</sub>	413.7	437.5	416.8	338.4	300.7	381.4
Consumo de leña= 2.26kg	TR <sub>3</sub>	251.6	269.4	267.6	227	194.6	242
Distancia de medición= 60cm	Tc <sub>1</sub>	363	389.3	366.1	284.1	256.7	331.8
	Tc <sub>2</sub>	283.4	310.8	301	235	209.3	267.9
	Tc <sub>3</sub>	273.4	307.8	300.5	221.4	207.8	262.2

**Anexo 20.** Ejemplo de tabulación de datos en el acople A; donde, VA=100% y VL=50, VR=50 y Vc=100%.

Sumatoria de promedios total							
Ensayo #3 (VA=100% VL=50% VR=50% Vc=100%)	Punto de medición	T <sub>promedio1</sub> (°C)	T <sub>promedio2</sub> (°C)	T <sub>promedio3</sub> (°C)	T <sub>promedio4</sub> (°C)	T <sub>promedio5</sub> (°C)	Promedio <sub>total</sub> (°C)
Temperatura= 28°C	P <sub>1</sub>	366	358.6	348.9	471.5	439.6	396.9
Humedad= 96%	P <sub>2</sub>	420.2	417.9	418.1	517.2	483	451.3
Humedad en leña=9.9%	P <sub>3</sub>	402.8	414.6	393.4	490.4	478.2	435.9
Peso de leña entrante= 2.16kg	TR <sub>1</sub>	316.7	351.4	312.5	405.9	394.1	356.1
Peso de leña sobrante= 0.10kg	TR <sub>2</sub>	303.5	338	302.2	390.3	381.4	343.1
Consumo de leña= 2.06 kg	TR <sub>3</sub>	212	211.9	191.3	255.4	242	222.5
Distancia de medición= 60cm	Tc <sub>1</sub>	265.2	294.5	265.7	358.7	331.8	303.2
	Tc <sub>2</sub>	205.6	244.4	207	280.5	267.9	241.1
	Tc <sub>3</sub>	200	237.1	206.3	277.8	262.2	236.7

**Anexo 21.** Resumen de promedios totales para el acople A; donde, VA=100% y VL=50, VR=50 y Vc=100%.

Ensayo #4.3 (VA=50% VL=100% VD=50% Vi=100%)							
	Punto de medición	T <sub>1</sub> (5 minutos) (°C)	T <sub>2</sub> (10 minutos) (°C)	T <sub>3</sub> (15 minutos) (°C)	T <sub>4</sub> (20 minutos) (°C)	T <sub>5</sub> (25 minutos) (°C)	T <sub>promedio3</sub> (°C)
Temperatura= 37.1 °C	P <sub>1</sub>	381.3	373.5	360.3	403.3	386.5	381
Humedad= 54%	P <sub>2</sub>	421.3	425.7	397.1	481.5	454.3	436
Humedad en leña= 11.8%	P <sub>3</sub>	418	381.7	320.7	405.3	372.4	379.6
Peso de leña entrante= 1.22kg	TD <sub>1</sub>	391	313.6	262.6	313.5	286.8	313.5
Peso de leña sobrante= 0.15kg	TD <sub>2</sub>	303	249.1	215.2	252.4	223	248.5
Consumo de leña= 1.07kg	TD <sub>3</sub>	177	171.8	151.6	160.8	146.3	161.5
Distancia de medición= 60cm	Ti <sub>1</sub>	406.8	336.2	27.8	296.1	282.3	317.8
	Ti <sub>2</sub>	313.6	268.1	212.3	215.9	211.4	244.3
	Ti <sub>3</sub>	245.7	212.8	184.2	152.6	151.7	189.4

**Anexo 22.** Ejemplo de tabulación de datos en el acople B; donde, VA=100% y VL=50, VD=50 y Vi=100%.

Sumatoria de promedios total							
Ensayo #4 (VA=50% VL=100% VD=50% Vi=100%)	Punto de medición	T <sub>promedio1</sub> (°C)	T <sub>promedio2</sub> (°C)	T <sub>promedio3</sub> (°C)	T <sub>promedio4</sub> (°C)	T <sub>promedio5</sub> (°C)	Promedio <sub>total</sub> (°C)
Temperatura= 37.1 °C	P <sub>1</sub>	327.1	305.7	381	377.1	334.7	345.1
Humedad= 54%	P <sub>2</sub>	387.3	365.1	436	428.7	414.1	406.2
Humedad en leña= 11.8%	P <sub>3</sub>	342	304.5	379.6	375.3	361.8	352.6
Peso de leña entrante= 1.22kg	TD <sub>1</sub>	293.9	234	313.5	304.7	234.6	276.1
Peso de leña sobrante= 0.15kg	TD <sub>2</sub>	251.4	179	248.5	242.8	210	226.3
Consumo de leña= 1.07kg	TD <sub>3</sub>	195.8	120.2	161.5	172.8	143.1	158.7
Distancia de medición= 60cm	Ti <sub>1</sub>	259	250.3	317.8	315	293.4	287.1
	Ti <sub>2</sub>	118	190.5	244.3	251.8	230.4	207
	Ti <sub>3</sub>	66	153.4	189.4	187	173	153.8

**Anexo 23.** Resumen de promedios totales para el acople B; donde, VA=50% y VL=100, VD=50 y Vi=100%.

Análisis de varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	2,206.74	2	1,103.37	3.97	0.20	19.00
Columnas	11,888.62	1	11,888.62	42.78	0.02	18.51
Error	555.81	2	277.91			
Total	14,651.17	5				

**Anexo 24.** Análisis de varianza del acople A, en la variable temperatura.

Análisis de varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	3.20	2	1.60	2.19	0.31	19.00
Columnas	5.63	1	5.63	7.69	0.11	18.51
Error	1.46	2	0.731466667			
Total	10.29	5				

**Anexo 25.** Análisis de varianza del acople A, en la variable consumo de leña.

Análisis de varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	99.74	2	49.87	2.19	0.31	19.00
Columnas	175.18	1	175.18	7.69	0.11	18.51
Error	45.57	2	22.79			
Total	320.48	5				

**Anexo 26.** Análisis de varianza del acople A, en la variable energía demandada.