

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA ESTUFA DE BIOMASA PARA USO
DOMÉSTICO EN COMUNIDADES VULNERABLES DEL DEPARTAMENTO DE
ANTIOQUIA**

JUAN DIEGO GARCIA DUQUE

JUAN PABLO GUIRAL ZULUAGA

JUAN JOSÉ ORTIZ PALACIO

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico

Asesor

ANDRÉS DAVID MORALES ROJAS

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

INGENIERÍA MECÁNICA

2021

CONTENIDO

	PÁG.
1 LISTA DE FIGURAS	5
2 LISTA DE TABLAS	6
3 LISTA DE ECUACIONES	7
4 RESUMEN	8
5 INTRODUCCIÓN	9
6 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	12
7 JUSTIFICACIÓN	14
8 OBJETIVOS	15
8.1 GENERAL	15
8.2 ESPECÍFICOS	15
9 REFERENTES TEORICOS	16
9.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE ESTUFAS DE BIOMASAS	16
9.1.1 Generalidades de la biomasa	16
9.1.2 Biomasa	16
9.2 PROCESOS APLICADOS PARA LA CONVERSIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA.	16
9.3 COMBUSTIÓN DE BIOMASA EN SISTEMAS DE COCCIÓN	17
9.3.1 Densidad energética	19
9.3.2 Propiedades químicas	20
9.3.2.1 Análisis último	20
9.3.2.2 Análisis próximo	20
9.3.2.3 Poder calorífico	20
9.3.2.4 Contenido de humedad	21
9.3.3 Cenizas	21
9.4 CONCEPTOS IMPORTANTES DE COMBUSTIÓN	21

9.4.1	Eficiencia	21
9.4.2	Emisiones	22
9.4.3	Ruta de flujo	22
9.4.4	El Triángulo del Fuego	23
9.4.5	Las 3 Ts para una combustión más limpia	24
9.3.6	Aislantes	25
10	ESTADO DEL ARTE DE COCINAS DE BIOMASA	27
10.1	EFICIENCIA Y FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTUFAS	28
10.1.1	Prueba de ebullición de agua (PEA) o Water Boiling Test (WBT).	28
10.1.2	Prueba de cocinado controlado (PCC) o Controlled Cooking Test (CCT).	28
10.1.3	Prueba de Funcionamiento en Cocina (PFC) o Kitchen Performance Test (KPT).	29
10.2	COCINAS TIPO ROCKET:	29
10.3	ANTECEDENTES RELATIVOS AL ESTUDIO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA	31
11	METODOLOGÍA	33
11.1	ETAPAS DE LA METODOLOGIA	34
11.1.1	Etapas de la metodología Etapa de información.	34
11.1.2	Etapa de investigación.	35
11.1.3	Etapa de diseño.	35
11.1.4	Etapa de decisión.	35
11.1.5	Etapa de cálculo.	35
12.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
12.1	PRESENCIA DE CULTIVOS DE CAÑA, CAFÉ Y PLANTACIONES FORESTALES EN ANTIOQUIA.	37
11.2	MODIFICACION ESTUFA	38
12.3	CÁLCULO DE POTENCIA REQUERIDA	39
12.4	MATERIAL PROPUESTO PARA DISEÑO ESTUFA 3J	42
12.4.1	Concreto poroso aislante	42

12.4.2	Materiales de preparación del aislante	43
13	ANEXOS	45
14	CONCLUSIONES	47
15	REFERENCIAS	48

1 LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 , Procesos de conversión térmicos y biológicos.	17
Figura 2 , Perdidas energéticas, (Ibarra Ballesteros et al., 2018).	22
Figura 3 , Ruta de flujo, (Wikiwand, 2021).	23
Figura 4 , Triangulo de fuego, elaboración propia.	24
Figura 5 , Las 3T para una combustión más limpia.	24
Figura 6 , Transferencia y distribución de temperatura, (Sweeney, 2017).	25
Figura 7 , Cocina ONIL el Salvador, (MundoEconomico, 2011).	27
Figura 8 , Estufa mono hornilla elaborada en la I.U. Pascual Bravo.	38
Figura 9 , Modificaciones de rediseño de estufa.	39
Figura 10 , Estufa 3J Elaboración propia.	42

2 LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Caracterización de los sistemas de cocción en Colombia.	12
Tabla 2, Propiedades de la biomasa de interés en la combustión.	19
Tabla 3. Sistemas de cocina tipo rocket más comunes.	29
Tabla 4, Prueba experimental ebullición de agua parrilla gas natural residencial.	33
Tabla 5. Datos del censo agropecuario.	37

3 LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1	40
Ecuación 2	40
Ecuación 3	41

4 RESUMEN

Las estufas mono hornilla de biomasa en la actualidad están tomando fuerza como alternativa de cocción o preparación de alimentos en las zonas rurales del departamento de Antioquía, principalmente entre las personas que se les dificulta el acceso a otras fuentes de energía como el gas natural, gas licuado de petróleo y la electricidad.

Los diseños propuestos en este trabajo se destacan por su búsqueda de eficiencia al momento de la cocción de los alimentos, aprovechando al máximo las biomásas disponibles en la región (pino, bagazo de caña y cascarilla de café), producto de las actividades de agricultura y en el óptimo aprovechamiento del calor de la biomasa usada, logrando aumentar la velocidad de Cocción.

Además de lo anterior, se encuentra que el enfoque de los diseños propuestos es implementar nuevos materiales que aumenten la eficiencia energética de la estufa, teniendo en cuenta diferentes tipos de biomasa, facilidad en la construcción y transporte, además del poco mantenimiento necesario que aumenta la durabilidad de la estufa.

Palabras claves: Biomasa, Estufas de biomasa, Pobreza energética, Eficiencia energética, Emisiones contaminantes.

5 INTRODUCCIÓN

Aproximadamente el 81% de la energía consumida a nivel mundial proviene de fuentes fósiles, mientras que el 19% restante proviene de fuentes renovables. Actualmente, estas últimas se encuentran asociadas con el uso tradicional de la biomasa en aplicaciones como la leña para cocción de alimentos y calentamiento de espacios, y la manera para generación eléctrica (UPME & BID, 2015). El consumo mundial de energía se ha duplicado desde las últimas tres décadas del siglo pasado. En el 2004, aproximadamente el 77.8% del consumo de energía primaria provino de combustibles fósiles (32.8% de petróleo, 21.1% de gas natural, 24.1% de carbón), 5.4% de combustibles nucleares, 16.5% de recursos renovables, de los cuales el principal es hidroeléctrico, 5.5%, mientras que el 11% restante consiste en biomasa no comerciales, como la madera, heno, entre otros, que en las economías rurales todavía constituyen el principal recurso. (Beretta, 2007).

El Plan Energético Nacional (PEN) para el 2050, revela que en la matriz energética del sector residencial todavía se conserva una elevada participación de las biomasa debido, entre otros, al representativo consumo de leña para cocción, principalmente en las zonas rurales.

De acuerdo con el PEN, si bien desde 1975 a la fecha se ha presentado una disminución del 63% en la cocción de alimentos con leña, aún quedan hogares que apelan a este energético.

“La oferta de energía primaria en Colombia está compuesta predominantemente por combustibles fósiles (carbón y petróleo), con una participación cercana al 77% del total, mientras que la hidroelectricidad, el gas natural y las fuentes no convencionales de energía renovable (bagazo, biocombustibles y leña) suman el restante 23%”, indica el PEN en uno de sus apartes. Así mismo, la UPME en uno de sus indicadores para medir el nivel de participación de las fuentes de generación en la matriz energética señala que para el 2020 la leña pesa entre un 7% y 8%.

Registros de la citada entidad, indica que en la región Caribe es donde la mayor cantidad de personas utilizan la leña para cocción (más de 500.000). Le siguen la zona la Central, Antioquia y el Eje Cafetero con más de 450.000 personas, las regiones Oriental y la Pacífica con cerca de 350.000 cada una, y la Orinoquía y la Amazonía con cerca de 300.000.

“El consumo de leña para ser utilizada en la cocción de alimentos no solamente contribuye a la deforestación, sino también al aumento de enfermedades respiratorias”, afirmó Alejandro Martínez, presidente de la Asociación Colombiana de GLP (portafolio, 2021).

Para el desarrollo de nuestro proyecto, nos enfocaremos en la información y estudios existentes de las biomásas disponibles en Colombia más enfocados en el departamento de Antioquia. Con la información que se encuentra en el “atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia”, en el anexo A encontramos: tabla-15 (tipos de biomasa residual), tabla-16 (poder calorífico de biomásas) y figura 8 (transformación energética de biomasa). (UPME, Atlas del potencial energético de la Biomasa residual en Colombia, 2021). Datos que serán de suma importancia para tener las bases de los cálculos energéticos realizados en el modelo de estufa propuesto en este proyecto.

El presente trabajo, ofrece una alternativa a las familias de las zonas rurales y en situación de vulnerabilidad del departamento de Antioquia que en la actualidad cocinan con leña. Por lo regular, estos sistemas de cocción tienen deficiencias constructivas y de operación, por lo tanto, tienden a generar altas emisiones de gases nocivos para la salud (material particulado (PM 2.5), monóxido de carbono (CO), ozono (O3), óxidos nitrosos (NOx), óxidos de azufre (SOx), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)), al estar, en su gran mayoría, al interior de la vivienda y no disponer de la suficiente ventilación o, ya que sus diseños no cuentan con sistemas para evacuar los humos generados por la quema de maderas. Además, son estufas que presentan baja eficiencia térmica, generando alto consumo de

biomasas. Así como lo indicó el Departamento Nacional de Planeación (DNP), en un informe presentado en el año 2017 en el cual se dice que el 17 % de las muertes asociadas a la degradación ambiental se deben a la contaminación del aire al interior de los hogares. (ORTIZ FONNEGRA, 2017).

En la actualidad, se pueden adquirir en el mercado estufas de biomasa que pueden ser una gran alternativa para estas familias, pero por falta de orientación y recursos son difíciles o complejas de adquirir, tienen altos costos o el combustible que se recomienda usar es escaso, lo que generaría una inversión adicional ya que no cuentan con este recurso en su entorno. Sumado a esto, no se conoce el nivel de emisión y eficiencia térmica de estas estufas.

El propósito de este proyecto es proponer un diseño de estufa mono hornilla de fácil fabricación y que considere el uso de materiales disponibles en el mercado local. Esta estufa debe poder funcionar con algunas de las biomasas residuales producto de las actividades de agricultura que se pueden encontrar en el departamento de Antioquía, para que, de esta forma, las comunidades se interesen en su implementación y de esta manera se contribuya a la reducción de emisiones y problemas asociados, producto de la cocción con leña.

6 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, en las áreas rurales del departamento de Antioquia es evidente la necesidad de sistemas de cocción eficientes que respeten normas técnicas y ambientales. Debido a la ubicación geográfica y a sus múltiples necesidades económicas y sociales de la mayoría de estas comunidades campesinas, es difícil acceder a las fuentes de energía más comunes como la energía eléctrica, gas licuado del petróleo (GLP) y gas natural (GN) utilizadas como fuente energética en la preparación de alimentos como se muestra en la Tabla 1. Estas comunidades primordialmente hacen uso de las cocinas de leña originando un gasto excesivo de madera, aumentando los índices de deforestación local y generando a su vez emisiones de gases contaminantes perjudiciales para la salud de las personas que realizan la tarea de cocción y, para el medio ambiente.

Tabla 1. Caracterización de los sistemas de cocción en Colombia.

COCINAS CON GAS EN COLOMBIA	COCINAS CON LEÑA EN COLOMBIA	QUEMA DE ARBOLES ANUALES POR FAMILIA
14'400,000	1'600,000	32

Fuente: Elaboración propia.

A nivel comercial encontramos diferentes alternativas de estufas de biomasa de las cuales se desconoce información técnica, validada en un laboratorio de pruebas certificado que cumpla con lineamientos internacionales como (The Global Alliance for Clean Cookstoves (GACC) (Cleancooking, 2021), y Aprovecho Research Center (ARC) (P. MacCarty, 2021), por lo tanto, vale la pena cuestionarse acerca de:

¿Cómo luciría una estufa de biomasa mono hornilla pensada para suplir las necesidades de cocción en comunidades vulnerables del departamento de Antioquia, que sea energéticamente eficiente y baja en emisiones contaminantes, y

que a su vez haga uso de los recursos energéticos locales en cada región? Además, para dar respuesta a la pregunta anterior vale la pena conocer:

¿Cuáles son las características técnicas y de forma que debe tener la estufa?

¿Qué dimensiones debe tomar y que materiales se debe utilizar en el diseño de la estufa y eventual construcción?

¿Cuáles serían las herramientas y procesos de construcción que se deben tener en cuenta a fin de garantizar la construcción de la estufa en la instalación de la I.U. Pascual Bravo?

Por lo anterior, en este trabajo de grado se propone un diseño de una estufa mono hormilla de biomasa buscando el máximo aprovechamiento energético, compacto, de fácil fabricación y procurar mitigar la contaminación que esta pueda generar. Cabe aclarar que las pruebas técnicas de eficiencia no están contempladas en este trabajo de grado.

7 JUSTIFICACIÓN

Las emisiones de gases generados por las cocinas tradicionales usadas en las zonas rurales son fuentes potenciales de contaminación debido a su combustión ineficiente, originando gases contaminantes y de efecto invernadero nocivos para el medio ambiente y para la salud de la comunidad que hace uso de estas cocinas. Algunos de esos efectos son:

- Emisión de gases de efecto invernadero,
- Deforestación,
- Contaminación de fuentes hídricas,
- Acidificación de las aguas,
- Afecciones e irritaciones en las vías respiratorias de seres humanos y animales,
- Náuseas y mareo

En la actualidad existen alternativas tecnológicas destinadas a disminuir los efectos nocivos, enunciados anteriormente, de la cocina tradicional de leña, el proceso de combustión se da de manera incompleta, lo que provoca grandes emisiones de partículas y gases contaminantes, se estima que la contaminación a los interiores de las viviendas que cocinan con biomasa causa el 4% del total de enfermedades a nivel mundial y excede en un millón de muertes prematuras al año.

Con el proyecto que se desarrollará a continuación se dará a conocer una propuesta de diseño de una estufa de biomasa mono hormilla, la cual está enfocada en el aprovechamiento energético que se puede obtener a partir de las biomásas residuales, teniendo en cuenta que estas disminuirán considerablemente las emisiones de humos, al mismo tiempo que cuidara la salud de los usuarios.

8 OBJETIVOS

8.1 GENERAL

Proponer un modelo de estufa de biomasa para el uso doméstico con miras al aprovechamiento energético de biomasas residuales en el departamento de Antioquia.

8.2 ESPECÍFICOS

- Identificar las características técnicas y de forma que debe tener la estufa a partir de una revisión de literatura y estudio de mercado.
- Dimensionar los diferentes componentes de la estufa aplicando modelos de cálculo disponibles en la literatura asociada.
- Elaborar planos detallados de fabricación de la estufa garantizando materiales y procesos de manufactura disponibles en la I.U. Pascual Bravo.

9 REFERENTES TEORICOS

9.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE ESTUFAS DE BIOMASAS

9.1.1 Generalidades de la biomasa

9.1.2 Biomasa

La biomasa es materia orgánica utilizada como fuente energética, abarca un amplio conjunto de materias orgánicas que se caracteriza por su heterogeneidad, tanto por su origen como por su naturaleza. La valoración de la biomasa puede hacerse a través de cuatro procesos básicos mediante los que puede transformarse en calor y electricidad: combustión, digestión anaerobia, gasificación y pirolisis.

Hay muchos tipos de biomasa y diferentes tecnologías de aprovechamiento, ya sea energético o no energético, sin embargo para sistemas de aprovechamiento de la biomasa en procesos de cocción, esta debe ser valorada adecuadamente para lograr su aporte a la diversificación de las fuentes de energía en los diversos sectores económicos y productivos en nuestro país y se debe incluir en la construcción de escenarios de abastecimiento diversificado a futuro en el marco de la promoción de la seguridad energética, (UPME, 2021).

9.2 PROCESOS APLICADOS PARA LA CONVERSIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA.

La biomasa es la única fuente de energía renovable que puede ser transformada en combustibles gaseosos, líquidos o sólido, mediante procesos de conversión térmicos y biológicos, ver Figura 1. La transformación energética de la biomasa genera principalmente biocombustibles y biogás, a partir de los cuales se puede obtener calor, electricidad o fuerza motriz. Tanto la selección del tipo de aprovechamiento energético como las dificultades que se puedan presentar en

cualquier tratamiento posterior, dependen de las propiedades fisicoquímicas, bioquímicas y energéticas del residuo.

El aprovechamiento de la biomasa seca (contenido de humedad menor al 50%) por medio de procesos termoquímicos depende de factores como el contenido de humedad, el poder calorífico, la concentración de carbono fijo y de los volátiles, el contenido de cenizas. Por otra parte, para el aprovechamiento de la biomasa húmeda (mayor al 50%) por medio de la bioconversión, son de interés el contenido de humedad y la relación celulosa y lignina.

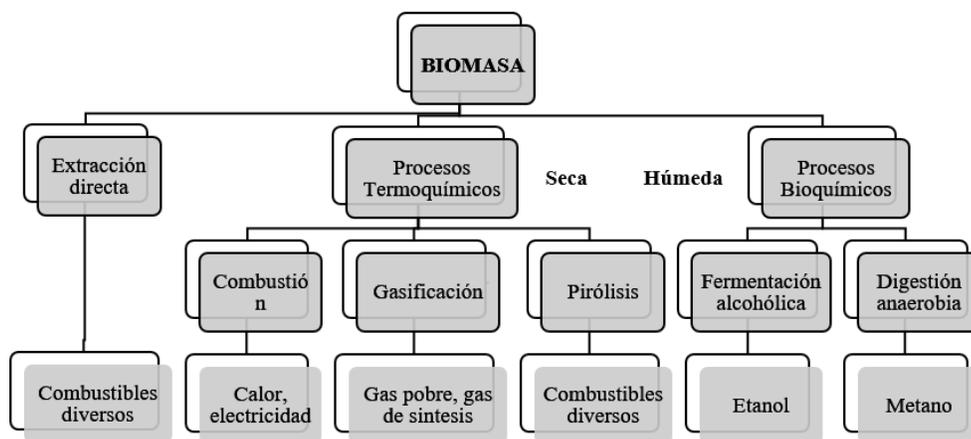


Figura 1, Procesos de conversión térmicos y biológicos. Adaptado de fjarabo.web, (Fjarabo, 2021)

En comparación con los combustibles fósiles, la biomasa posee un contenido energético menor, 60% menor a la gasolina (valores promedio). La razón es que la biomasa tiene una mayor relación de oxígeno e hidrógeno con respecto al carbono y justamente la mayor cantidad de energía se almacena en las cadenas carbono-carbono. (UPME, Anexo A Biomasa fuente renovable energía).

9.3 COMBUSTIÓN DE BIOMASA EN SISTEMAS DE COCCIÓN

La cocción de los alimentos es una actividad diaria que consume una cantidad importante de energía y esfuerzo humano; esta actividad es poco usual para las

personas que habitan en las zonas urbanas debido a la disponibilidad de recursos para realizar los procesos de cocción de manera limpia y sin mucho esfuerzo.

La biomasa, al tratarse de un combustible sólido, posee la misma ruta de combustión que el carbón, por lo que se distinguen las etapas de secado, de volatilización, gasificación, combustión y la oxidación de la fase gaseosa.

En la Figura 2, el secado corresponde a la etapa en que el contenido de humedad es evaporado. La volatilización es el proceso en el cual se libera una gran variedad de productos gaseosos a través de la descomposición del combustible. Los gases volátiles desprendidos son hidrocarburos que son quemados posteriormente. Tras la volatilización, el carbón fijado en la biomasa es quemado, liberando así el calor hasta quedar reducido en ceniza, la cual está compuesta principalmente por los minerales presentes en la biomasa.

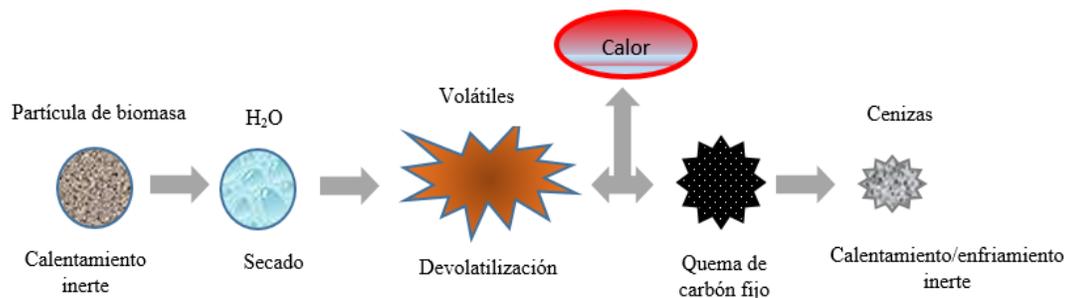


Figura 2, Proceso de combustión de la biomasa. (Hernández, Contreras, & Núñez, 2018).

La combustión de biomasa incorpora una serie de reacciones químicas en las que el carbón es oxidado a dióxido de carbono y el hidrógeno es oxidado a agua. La quema de la biomasa requiere de un agente oxidante; con mayor frecuencia es usado el oxígeno contenido en el aire debido a su abundancia y su costo nulo. El principal parámetro que se busca controlar en la combustión es el exceso de aire (λ), el cual describe la relación entre la cantidad real de aire que ingresa al sistema y la cantidad de aire estequiométrico. Para procesos de cocción con

biomasa se recomienda un exceso de aire cercano al 50%, (Ibarra Ballesteros et al., 2018).

Las emisiones causadas por una combustión incompleta son el principal resultado de las siguientes operaciones (Hernández, Contreras, & Núñez, 2018).

- La mezcla inadecuada del aire de combustión y combustible en la cámara de combustión provocada por las secciones locales ricas en combustible.
- Falta suficiente de oxígeno.
- Temperaturas de combustión muy bajas.
- Tiempos de residencia muy cortos.

Tabla 2, Propiedades de la biomasa de interés en la combustión.

Químicos	Térmicas	Físicas	Minerales
<ul style="list-style-type: none"> •Análisis último •Análisis próximo •Poder Calorífico •Contenido de humedad 	<ul style="list-style-type: none"> •Temperatura •Conductividad térmica •Calor específico •Grado de degradación térmica •Emisividad 	<ul style="list-style-type: none"> •Densidad de bulbo •Densidad energética 	<ul style="list-style-type: none"> •Cenizas •Compuestos inorgánicos

Fuente: Elaboración propia.

9.3.1 Densidad energética

La variable física de mayor importancia de la biomasa es su densidad energética, la cual expresa la cantidad de energía contenida en una unidad de volumen. Esta se calcula a partir de la multiplicación de la densidad de bulbo (medida de masa de muchas partículas de un material, dividida sobre el volumen que ocupan) y el poder

calorífico de la biomasa. La densidad energética influye en la planeación y el control de los volúmenes de almacenamiento y del control en el suministro del combustible hacia la caldera.

9.3.2 Propiedades químicas

Las propiedades químicas se centran en el estudio de la caracterización del combustible y los subproductos de la combustión. A continuación, se describen los parámetros esenciales para determinar la calidad de la biomasa.

9.3.2.1 Análisis último

El análisis último de un combustible es el registro del porcentaje en peso de los elementos que lo componen. Básicamente, es un desglose de los componentes elementales del combustible. Elementos como C, H, O, N y S son proporcionados en este análisis.

9.3.2.2 Análisis próximo

El análisis próximo de una biomasa determina los porcentajes de material volátil, carbón fijo y cenizas. La materia volátil corresponde a la porción de combustible que es gasificada por acción pirolítica y es responsable por las flamas de la combustión. El carbón fijo es la porción del combustible no pirolizado, el cual es quemado en forma sólida.

9.3.2.3 Poder calorífico

El poder calorífico es la cantidad de energía liberada por un combustible durante una combustión completa. Dependiendo de la humedad del combustible, el poder calorífico recibe el nombre de poder calorífico superior (pcs o hhv) cuando el agua producto de la combustión está en estado líquido.

9.3.2.4 Contenido de humedad

La humedad contenida en la biomasa varía dependiendo del tipo de biomasa, pretratamiento y almacenamiento. En algunos casos, la biomasa es secada con la finalidad de aumentar la eficiencia de la combustión. El incremento de la humedad reduce la máxima temperatura de combustión posible e incrementa la necesidad del tiempo de residencia en la cámara de combustión, lo que deriva en la reducción del espacio para la prevención de las emisiones resultantes de una combustión incompleta.

9.3.3 Cenizas

En la composición de ceniza hay principalmente SiO_2 y CaO , y, en menor proporción, Mg, Al, K y P. Durante la combustión las cenizas sufren varios cambios químicos y físicos, resultado de los procesos de segregación, evaporación, precipitación, nucleación y coalescencia. Un alto contenido de cenizas promueve efectos corrosivos en equipos de combustión que la utilicen, por lo tanto, el contenido de cenizas en la biomasa se utiliza como parámetro de diseño de la cámara de combustión. La cantidad de ceniza incluida en una biomasa altera el poder calorífico de esta; asimismo, puede causar problemas por escoriación. (Hernández, Contreras, & Núñez, 2018).

9.4 CONCEPTOS IMPORTANTES DE COMBUSTIÓN

9.4.1 Eficiencia

En general, la eficiencia es una comparación de la salida útil de un sistema con las entradas. Para las estufas, la entrada es el combustible que produce energía térmica a través de la combustión, que se transfiere a los alimentos o se pierde en el entorno. La eficiencia térmica es el porcentaje de calor liberado por el combustible que se transfiere al agua o los alimentos en la olla. Como se muestra en la imagen, se expresan las pérdidas energéticas que ocurren en este tipo de cocinas. Figura 3.

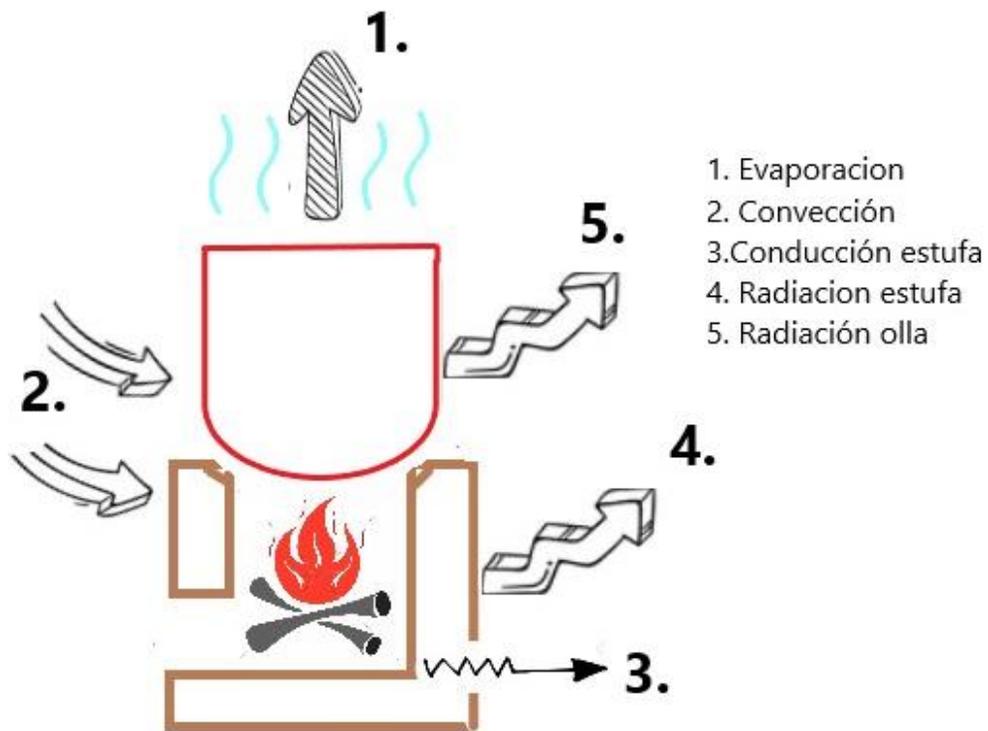


Figura 3, Perdidas energéticas, (Ibarra Ballesteros et al., 2018).

9.4.2 Emisiones

Las emisiones son los productos liberados de un proceso (por ejemplo, combustión, biodegradación) que incluyen gases, vapores y partículas. Para las estufas, algunas emisiones son de particular interés por sus efectos sobre la salud y el clima, como el dióxido de carbono (CO₂), el monóxido de carbono (CO), las partículas finas (PM_{2.5}) y el carbón negro (BC). (Lizeth Zambrano Bohórquez, 2017).

9.4.3 Ruta de flujo

Es la ruta a través de la estufa por la que fluyen los gases, desde la entrada de aire, a través de la zona de combustión (quema de combustible, gases y llama) y la salida de la estufa a lo largo de la olla como se puede apreciar en la Figura 3.

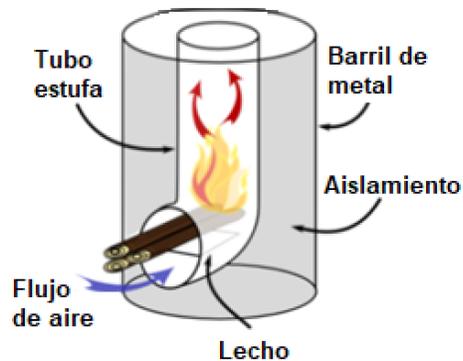


Figura 4, Ruta de flujo, (Wikiwand, 2021).

9.4.4 El Triángulo del Fuego

Para iniciar y sostener la combustión, se necesitan tres ingredientes: oxígeno (oxidante), combustible y calor (fuente de ignición). Considere un fósforo: el oxígeno es un componente en el aire y el combustible es el palo de madera. Los químicos en la punta del fósforo reaccionan para producir calor cuando se golpea el fósforo. (Wikiwand, 2021) Este calor completa el triángulo, ver Figura 4, encendiendo la mezcla de oxígeno y combustible. Dado que los combustibles de biomasa como la madera y el carbón vegetal son difíciles de encender solos, es común utilizar una ayuda de ignición como papel, biomasa suelta (por ejemplo, hierba) o velas.

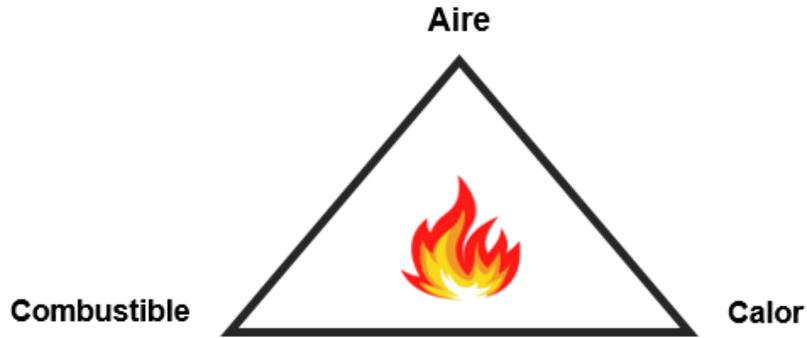


Figura 5, Triangulo de fuego. Elaboración propia.

9.4.5 Las 3 Ts para una combustión más limpia

Hay tres maneras generales de reducir las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos sin quemar. Cuando las emisiones permanecen en un ambiente caliente durante más tiempo, pueden arder más completamente. Las altas temperaturas en la sección de combustión de la estufa promueven la descomposición del monóxido de carbono e hidrocarburos. Una mejor mezcla a través de la turbulencia en la zona de combustión mejorará la probabilidad de que el monóxido de carbono e hidrocarburos entren en estrecho contacto con el oxígeno, (Sweeney, 2017).

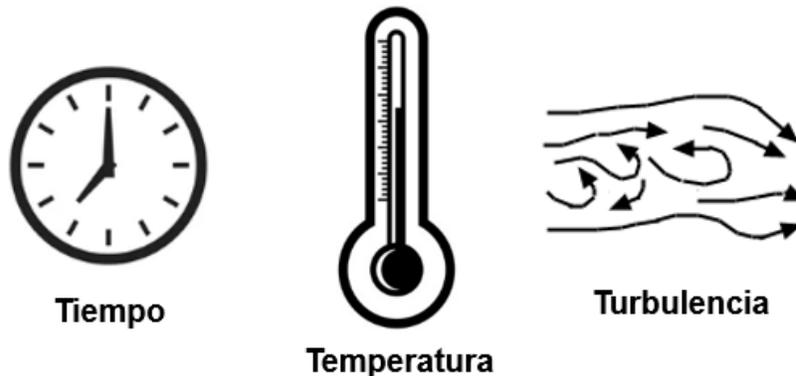


Figura 6, Las 3T para una combustión más limpia.

Fuente: Elaboración propia

9.3.6 Aislantes

La Figura 7, ilustra la transferencia de calor y la distribución de temperatura a través de la pared de una estufa. Los gases calientes en la estufa calientan la superficie interior del revestimiento de combustión, principalmente a través de la radiación y la convección. En este ejemplo, el calor se conduce a través del revestimiento de cerámica refractaria, el aislamiento y las capas exteriores de revestimiento metálico. El calor se escapa de la superficie del revestimiento principalmente a través de la radiación y la convección.

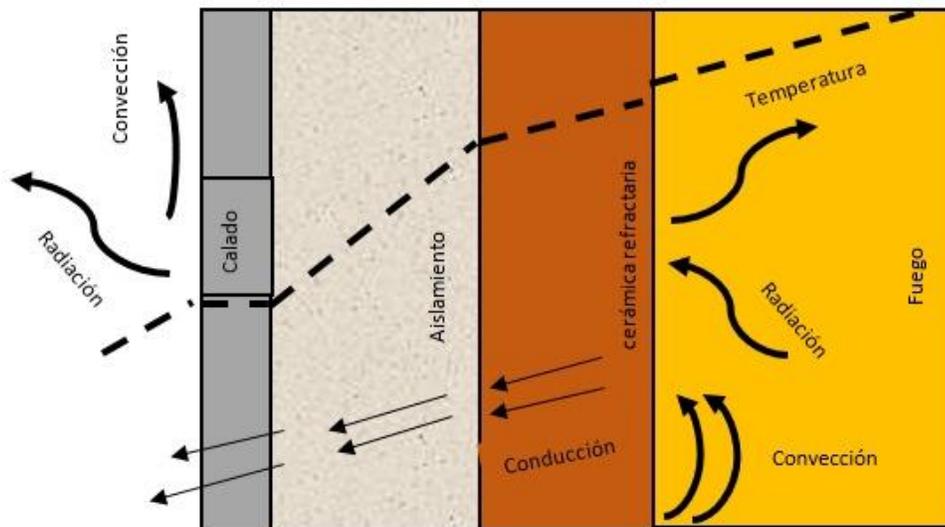


Figura 7, Transferencia y distribución de temperatura, (Sweeney, 2017).

Un solo material puede tener algunas características que son adecuadas para estufas y otras características que no lo son. Los diseñadores pueden utilizar una combinación de materiales para aprovechar las características deseables de cada material. Por ejemplo, los buenos materiales aislantes a menudo tienen baja resistencia y durabilidad (por ejemplo, arcilla de baja densidad, piedras porosas, manta de fibra de vidrio). Algunos aisladores pueden dañarse cuando se exponen a llamas y altas temperaturas. Por lo tanto, los diseñadores pueden intercalar el aislamiento entre una capa para soportar altas temperaturas (refractario) y una capa para proporcionar alta resistencia y fácil manejo (revestimiento). Los materiales

aislantes también pueden presentar riesgos para la salud y la seguridad si no están contenidos y aislados.

Una función principal de los materiales de las estufas es administrar el flujo de calor (transferencia de calor) a través de diferentes partes de la estufa. Idealmente, el 100% del calor generado se transferiría a la olla como energía útil. En realidad, el calor sigue muchos caminos a través de la estufa, la olla y el entorno (pérdidas de calor). Las pruebas de laboratorio muestran que solo el 15% de la energía producida por una combustión de un fogón tres piedras cuidadosamente supervisado es transmitida a la olla de cocción y el 85% se pierde en el medio ambiente. De manera similar, para una estufa cohete aislada con faldón de olla, (N. MacCarty, 2013), estimó que el 35% del calor total generado se transfiere a la olla y el 65% se pierde en los alrededores. Si bien esto parece un aumento modesto con respecto a la combustión, y todavía hay grandes pérdidas para el medio ambiente, la estufa cohete reduce el consumo de combustible en casi un 60%.

Los revestimientos de combustión suelen estar expuestos a temperaturas de 600 a 800 °C en estufas de leña de tiro natural y de 600 a 1100 °C en estufas de carbón.

10 ESTADO DEL ARTE DE COCINAS DE BIOMASA

La Norma Boliviana NB 83001 introduce un valor de referencia donde el consumo energético de la cocina debe ser menor a 20,000 kJ/5L. En el caso del Perú el Reglamento vigente asume un valor menor a 30,000 kJ/5L.



Figura 8, Cocina ONIL el Salvador, (MundoEconomico, 2011).

Respecto a un estudio realizado en Nicaragua (2013) por el señor J. González de la Universidad Politécnica de Valencia, la cocina Onil tiene un valor promedio de 24,993 kJ el cual es 11.7 % menor al obtenido en las pruebas del laboratorio de la UNI lo que permite asumir un valor similar dentro de la variabilidad esperada en el WBT. Por el contrario, el Mini Eco fogón obtiene un valor de 21,217 kJ el cual es mucho menor al obtenido de 69,983 kJ.

Por otro lado, es posible calcular un promedio de cocinas sin chimenea (3 modelos) que es de 29,593 kJ mientras que las cocinas con chimenea dan un valor de 24,013 kJ (9 modelos). La diferencia es muy baja para concluir que existe un efecto apreciable entre estos tipos de cocinas, sin embargo, esto debe ser verificado mediante mayor cantidad de pruebas.

Con estos antecedentes, es posible recomendar un estándar inicial para cocinas mejoradas con una o dos ollas de 30,000 kJ/5L. Para cocinas tipos plancha o mixtas podemos asumir un estándar inicial de 70,000 kJ/5L, siempre que sean de uso doméstico. En el caso de cocinas de uso comercial con olla (tipo eco barril) es posible adoptar un valor de referencia de 120,000 kJ/5L. (Solís Pérez & Padilla Pérez, 2016)

10.1 EFICIENCIA Y FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTUFAS

Las pruebas que se realizan a las estufas eficientes de leña tienen como objetivo caracterizar su desempeño termodinámico para poder comparar diferentes modelos entre sí y con respecto al fogón tradicional

10.1.1 Prueba de ebullición de agua (PEA) o Water Boiling Test (WBT).

La cual es una aproximación al proceso de cocinado real, con agua como alimento a cocinar. Su objetivo es mostrar la eficiencia en la transferencia de la energía del combustible al recipiente. La prueba consta de tres fases en las que las condiciones térmicas iniciales y la potencia del fuego son diferentes. Se mide el combustible utilizado, así como la duración de la prueba.

10.1.2 Prueba de cocinado controlado (PCC) o Controlled Cooking Test (CCT).

Consiste en la preparación estandarizada de un alimento, es decir, se prepara determinada cantidad de alimento, con la misma cantidad de ingredientes. En la mayoría de los estudios se selecciona un alimento tradicional como tortillas, frijoles o arroz. Se mide el combustible utilizado, así como la duración de la prueba.

10.1.3 Prueba de Funcionamiento en Cocina (PFC) o Kitchen Performance Test (KPT).

Compara el consumo de combustible en condiciones reales de funcionamiento entre las estufas y la tecnología tradicional durante una semana, es decir se mide el combustible utilizado por día durante siete días.

Con estas pruebas es posible determinar parámetros importantes del funcionamiento termodinámico de las estufas como la eficiencia térmica (η), la velocidad de quemado (v) y el consumo específico de combustible (CEC), entre otros.

Además de estas pruebas se realizan mediciones de contaminantes como monóxido de carbono (CO), partículas PM, generalmente 2.5, los cuales se pueden hacer con diversos equipos y procedimientos.(Días, 2011)

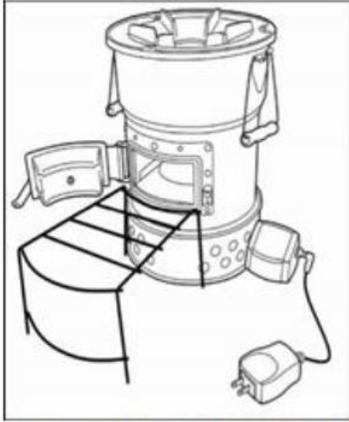
10.2 COCINAS TIPO ROCKET:

por su gran presencia global, y por ser una de las más probadas, se describen las cuatro siguientes.

Tabla 3. Sistemas de cocina tipo rocket más comunes.

MODELO	CARACTERISTICAS Y ESPECIFICACIONES
	<p><u>Envirofit G-3300</u></p> <p>Características: peso ligero, portátil, mayor seguridad, mejor transferencia de calor, mayor vida útil, cámara de combustión y diseño realizados con aleaciones de metales duraderos patentados.</p> <p>Especificaciones y descripción.</p> <p>Peso: 5.2 Kg</p> <p>Dimensiones: 275*287*294 mm</p> <p>Se muestra esta estufa ya que tiene gran presencia en Senegal y otros países como: China,</p>

	Australia, Ghana, Uganda, América del norte y central.
	<p><u>Small Natural Draft sunken pot</u></p> <p>Características: portátil, uso leña Douglas Fir Sticks 2*1*40 cm, vida útil 3 años, se controla la potencia con la cantidad de leña suministrada.</p> <p>Especificaciones y descripción.</p> <p>Peso: 7.5 Kg</p> <p>Dimensiones: 660*420*2160 mm</p> <p>Se muestra esta estufa ya que cumple los criterios típicos de una estufa tipo Rocket, incluye chimenea, falda doble que generando alta eficiencia térmica al dejar espacios reducidos entre olla y falda.</p>
	<p><u>Berkeley Darfur stove v.14</u></p> <p>Características: portátil, asas de madera, fabricada con acero de alta calidad, posibilidad de colocar una placa plana, patas o soportes para mayor estabilidad, apertura de aire no alineada entre parte exterior y cámara interior evitando así el exceso de flujo de aire vida útil 5 años.</p> <p>Especificaciones y descripción.</p> <p>Peso: 5.5 Kg</p> <p>Dimensiones: 370*170*300 mm</p> <p>Se muestra esta estufa ya que presenta falda cónica que rodea la olla aumentando la transferencia de calor, dejando un espacio óptimo entre la estufa y la olla disminuyendo así el consumo de combustible.</p>



Side Feed FD

Características: portátil, alimentación lateral, interior de cerámica, exterior de metal, vida útil 3 años, uso de leña Douglas Fir Sticks 2*1*40 cm de 29.314 MJ/Kg.

Especificaciones y descripción.

Peso: 6.6 Kg

Dimensiones: 480*260*350 mm

Se muestra esta estufa ya que presenta un tiro forzado, chorros rápidos de aire que ingresan a la cámara de combustión por debajo de la leña aumentando la velocidad de los gases de escape.

Fuente: Estudio comparativo de la eficiencia térmica y de las emisiones de cocinas de biomasa en Senegal (Díez Martínez, 2017) .

10.3 ANTECEDENTES RELATIVOS AL ESTUDIO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA

En la búsqueda de energías alternativas amigables con el medio ambiente, la biomasa se constituye como una de las principales fuentes de energía renovable. Para estimar la energía contenida en la biomasa, es necesario evaluar su potencial energético, el cual se define como la energía química de la biomasa que puede ser transformada para su aprovechamiento energético. Se mide en unidades de energía por unidad de tiempo y se obtiene del producto entre la masa y su contenido energético. El cálculo del potencial energético de la biomasa residual ha sido ampliamente estudiando a nivel internacional. Por ejemplo, Voinantas (2001), evaluaron el potencial energético de los residuos vegetales para la isla de Creta y Hoogwijk et al (2003), realizaron estimativos del potencial energético global tanto para residuos vegetales como residuos animales.

En países como China, India, Filipinas, Sri Lanka y Tailandia se han realizado estudios para evaluar el potencial energético de la biomasa residual agrícola del estiércol animal y de los residuos sólidos urbanos. En los países los resultados de sus investigaciones han permitido realizar proyecciones sobre la disponibilidad de potencial energético hasta el 2010.

En España se han realizado representaciones cartográficas del potencial energético de los residuos agroforestales de la región de Navarra con el fin de identificar zonas posibles para la ubicación de plantas de aprovechamientos de biomasa.

En Estados Unidos se elaboró el atlas de los recursos energéticos renovables, contabilizando el potencial energético de la biomasa residual, tomando como muestra representativa rellenos sanitarios, estiércol animal, residuos forestales y de cosecha de cultivos como el maíz, el trigo y la cebada.

En Suramérica, Brasil se ha interesado en la evaluación del potencial energético de los residuos agrícolas; como ejemplo se puede citar el estudio hecho para el estado de Paraná, en el cual se buscaron fuentes alternativas de energía para suplir las necesidades energéticas que tiene esta región.

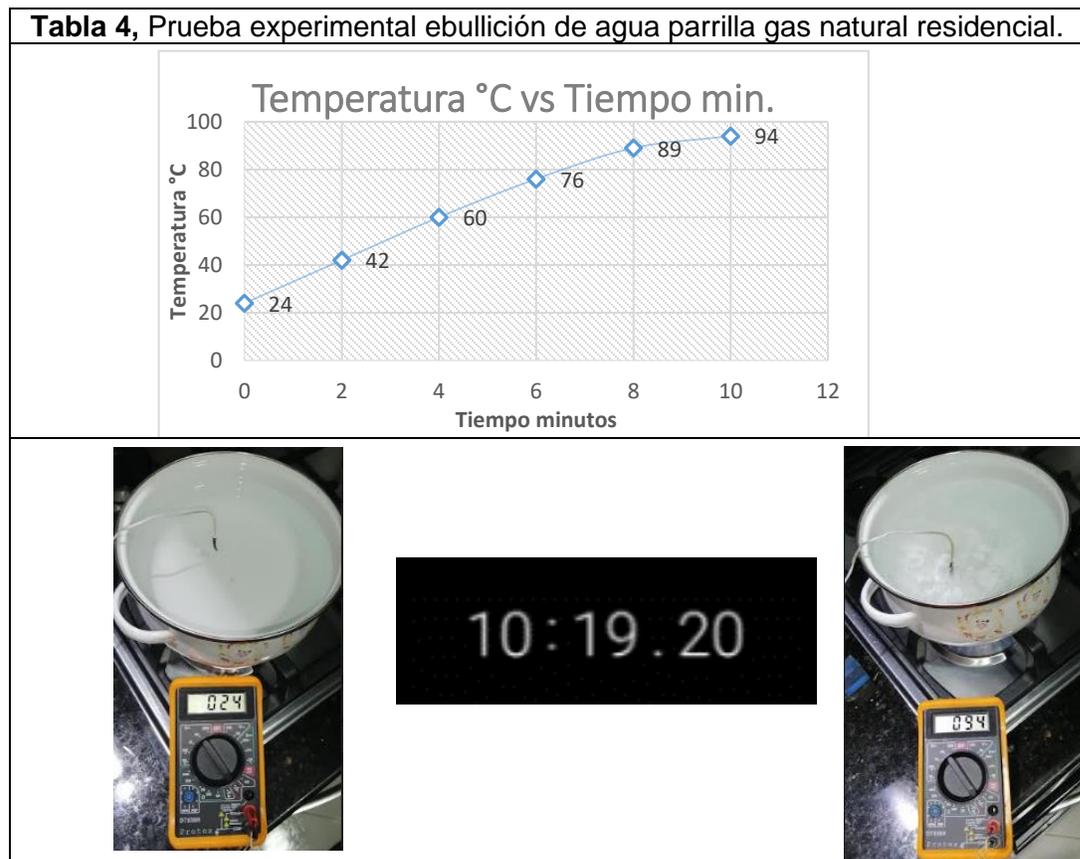
La Unidad de Planeación Minero Energética realizó el estudio "Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia", en el cual se reportan 29 millones de t/año de biomasa residual agrícola, procedentes de bagazo de caña de azúcar y panelera, de cascarilla de arroz, de fibra del cocotero, de pulpa de café, de palma de aceite, de frijol, de caña de azúcar y de cebada; los cálculos indican que esta biomasa puede tener una capacidad energética aproximada de 12.000 MWh/año.

Los anteriores estudios han mostrado que conocer el potencial energético de la biomasa residual es importante al momento de plantear proyectos para su aprovechamiento. (UPME, Anexo A Biomasa fuente renovable energía).

11 METODOLOGÍA

Las pérdidas de la estufa de biomasa propuesta se tomarán según información del documento “*MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DE UNA HORNILLA DE BIOMASA*”, (Ibarra Ballesteros et al., 2018).

A continuación, se presenta el resultado obtenido al realizar la prueba experimental de ebullición de un litro de agua con utensilios de cocina tradicionales; esta prueba se realiza para obtener datos como tiempo que tarda en llegar al punto de ebullición el agua en una estufa de gas natural ubicada en la ciudad de Medellín, observando una variación en los grados Celsius cada dos minutos. Cabe aclarar que los utensilios y el instrumento de medición utilizados en las pruebas pueden no arrojar datos tan precisos como los realizados en un laboratorio con instrumentos certificados. Tabla 4.



Fuente: Elaboración propia.

11.1 ETAPAS DE LA METODOLOGIA

<p>11.1.1 Etapas de la metodología Etapa de información.</p>	<p>1.1. Consulta de literatura asociada al tema.</p> <p>1.2. Consulta de información de prototipos y eficiencia existentes.</p> <p>1.3. Condiciones a las cuales se sometió los prototipos existentes.</p> <p>1.4 Materiales y biomasas, geometrías, procesos de manufactura, principio funcionamiento estufa, combustión de biomasa.</p> <p>1.5 Toma de información de posibles factores que influyan en rendimiento de estufa.</p> <p>1.6. Clasificar información a utilizar siendo debidamente referenciada.</p>
--	---

<p>11.1.2 Etapa de investigación.</p>	<p>2.1. Evaluar a que regiones inicialmente se puede apuntar con el proyecto.</p> <p>2.2. Evaluar que biomasa está más disponible en la región elegida.</p>
<p>11.1.3 Etapa de diseño.</p>	<p>3.1. Consultar eficiencia térmica de prototipos o equipos ya existentes de fuentes confiables.</p> <p>3.3. Aplicar lo investigado a los cálculos estimados.</p> <p>3.4. Definir materiales de fabricación, aislantes, eficiencia térmica de materiales, disponibilidad en la región, entre otros.</p> <p>3.5. Definir tamaño, geometrías y disposiciones.</p>
<p>11.1.4 Etapa de decisión.</p>	<p>4.1. Evaluar eficiencia de acuerdo a los cálculos realizados.</p> <p>4.2. Presentar presupuesto de acuerdo al diseño definido.</p> <p>4.3. Estimar valor o costo tentativo de fabricación.</p> <p>4.4. Definir o entregar memoria de cálculo de acuerdo a la biomasa disponible en la zona o región.</p>
<p>11.1.5 Etapa de cálculo.</p>	<p>5.1. Soportar memoria de cálculos realizadas.</p> <p>5.2. Soportar que los materiales seleccionados cumplan con los estándares de calidad de este tipo de dispositivos o cocina.</p> <p>5.3. garantizar un estimado de vida útil.</p> <p>5.4. Garantizar que es seguro.</p>

12.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a revisión de antecedentes de literatura, se considera que las 3 biomasas evaluadas en el proyecto, tienen gran presencia de hectáreas cultivadas en el departamento de Antioquia. También se consideró su gran capacidad calorífica y su disponibilidad como se observan en la Tabla 5.

12.1 PRESENCIA DE CULTIVOS DE CAÑA, CAFÉ Y PLANTACIONES FORESTALES EN ANTIOQUIA.

Tabla 5. Datos del censo agropecuario.

Cultivos caña panelera en Antioquia																																														
<p>Distribución (%) de la producción (Ton.) de panela, según departamento.</p> 	<p>Participación (%) de la producción (Ton.) de panela, área cosechada (ha.) de caña panelera rendimiento, según departamento.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DEPARTAMENTOS</th> <th>PRODUCCIÓN (MILLONES DE TONELADAS)</th> <th>ÁREA COSECHADA (MILES DE HA.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Total Nacional</td> <td>1.438.623</td> <td>297.031</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Rendimiento (Tn./Ha de panela) 4,8</td> </tr> <tr> <td>Santander</td> <td>12,9%</td> <td>11,8%</td> </tr> <tr> <td>Antioquia</td> <td>12,4%</td> <td>12,6%</td> </tr> <tr> <td>Cundinamarca</td> <td>11,8%</td> <td>12,2%</td> </tr> <tr> <td>Nariño</td> <td>9,9%</td> <td>9,5%</td> </tr> <tr> <td>Boyacá</td> <td>8,2%</td> <td>8,1%</td> </tr> <tr> <td>Cauca</td> <td>5,6%</td> <td>5,5%</td> </tr> <tr> <td>Huila</td> <td>5,5%</td> <td>5,9%</td> </tr> <tr> <td>Caldas</td> <td>4,7%</td> <td>4,8%</td> </tr> <tr> <td>Tolima</td> <td>4,6%</td> <td>4,7%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Los departamentos de Santander, Antioquia, Cundinamarca, Nariño y Boyacá representaban el 55,3% de la producción de panela en el área rural dispersa censada.</p>	DEPARTAMENTOS	PRODUCCIÓN (MILLONES DE TONELADAS)	ÁREA COSECHADA (MILES DE HA.)	Total Nacional	1.438.623	297.031	Rendimiento (Tn./Ha de panela) 4,8			Santander	12,9%	11,8%	Antioquia	12,4%	12,6%	Cundinamarca	11,8%	12,2%	Nariño	9,9%	9,5%	Boyacá	8,2%	8,1%	Cauca	5,6%	5,5%	Huila	5,5%	5,9%	Caldas	4,7%	4,8%	Tolima	4,6%	4,7%									
DEPARTAMENTOS	PRODUCCIÓN (MILLONES DE TONELADAS)	ÁREA COSECHADA (MILES DE HA.)																																												
Total Nacional	1.438.623	297.031																																												
Rendimiento (Tn./Ha de panela) 4,8																																														
Santander	12,9%	11,8%																																												
Antioquia	12,4%	12,6%																																												
Cundinamarca	11,8%	12,2%																																												
Nariño	9,9%	9,5%																																												
Boyacá	8,2%	8,1%																																												
Cauca	5,6%	5,5%																																												
Huila	5,5%	5,9%																																												
Caldas	4,7%	4,8%																																												
Tolima	4,6%	4,7%																																												
Cultivos de café en Antioquia																																														
<p>Distribución (%) de la producción (Ton.) de café pergamino seco, según departamento.</p> 	<p>Participación (%) de la producción (Ton.) de café pergamino seco, área cosechada (ha.) de café rendimiento, según departamento.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DEPARTAMENTOS</th> <th>PRODUCCIÓN (MILES DE TONELADAS)</th> <th>ÁREA COSECHADA (MILES DE HA.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Total Nacional</td> <td>776.522</td> <td>751.578</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Rendimiento (Tn./Ha Pergamino seco) 1,03</td> </tr> <tr> <td>Antioquia</td> <td>16,6%</td> <td>14,9%</td> </tr> <tr> <td>Huila</td> <td>13,7%</td> <td>15,1%</td> </tr> <tr> <td>Cauca</td> <td>11,4%</td> <td>10,8%</td> </tr> <tr> <td>Tolima</td> <td>10,7%</td> <td>12,1%</td> </tr> <tr> <td>Caldas</td> <td>8,8%</td> <td>8,5%</td> </tr> <tr> <td>Valle del Cauca</td> <td>7,4%</td> <td>6,9%</td> </tr> <tr> <td>Risaralda</td> <td>5,7%</td> <td>5,3%</td> </tr> <tr> <td>Nariño</td> <td>5,0%</td> <td>4,8%</td> </tr> <tr> <td>Santander</td> <td>4,9%</td> <td>5,1%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Los departamentos de Antioquia, Huila, Cauca, Tolima y Caldas representan el 61,2% de la producción de café pergamino seco en el área rural dispersa censada.</p>	DEPARTAMENTOS	PRODUCCIÓN (MILES DE TONELADAS)	ÁREA COSECHADA (MILES DE HA.)	Total Nacional	776.522	751.578	Rendimiento (Tn./Ha Pergamino seco) 1,03			Antioquia	16,6%	14,9%	Huila	13,7%	15,1%	Cauca	11,4%	10,8%	Tolima	10,7%	12,1%	Caldas	8,8%	8,5%	Valle del Cauca	7,4%	6,9%	Risaralda	5,7%	5,3%	Nariño	5,0%	4,8%	Santander	4,9%	5,1%									
DEPARTAMENTOS	PRODUCCIÓN (MILES DE TONELADAS)	ÁREA COSECHADA (MILES DE HA.)																																												
Total Nacional	776.522	751.578																																												
Rendimiento (Tn./Ha Pergamino seco) 1,03																																														
Antioquia	16,6%	14,9%																																												
Huila	13,7%	15,1%																																												
Cauca	11,4%	10,8%																																												
Tolima	10,7%	12,1%																																												
Caldas	8,8%	8,5%																																												
Valle del Cauca	7,4%	6,9%																																												
Risaralda	5,7%	5,3%																																												
Nariño	5,0%	4,8%																																												
Santander	4,9%	5,1%																																												
Cultivos con plantaciones forestales en Antioquia																																														
<p>Distribución (%) de la producción (Ton.) de plantaciones forestales (madera seca), según departamento.</p> 	<p>Participación (%) de la producción (Ton.) de plantaciones forestales (madera seca), área cosechada (ha.) de plantaciones forestales, según departamento.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DEPARTAMENTOS</th> <th>PRODUCCIÓN (MILLONES DE TONELADAS)</th> <th>ÁREA COSECHADA (MILES DE HA.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Total Nacional</td> <td>1.040.972</td> <td>106.092</td> </tr> <tr> <td>Antioquia</td> <td>30,7%</td> <td>29,7%</td> </tr> <tr> <td>Vichada</td> <td>11,6%</td> <td>10,0%</td> </tr> <tr> <td>Valle del Cauca</td> <td>11,1%</td> <td>12,0%</td> </tr> <tr> <td>Boyacá</td> <td>6,5%</td> <td>6,3%</td> </tr> <tr> <td>Cauca</td> <td>6,2%</td> <td>6,0%</td> </tr> <tr> <td>Quindío</td> <td>5,8%</td> <td>5,9%</td> </tr> <tr> <td>Tolima</td> <td>5,6%</td> <td>6,5%</td> </tr> <tr> <td>Santander</td> <td>4,6%</td> <td>4,3%</td> </tr> <tr> <td>Caldas</td> <td>3,8%</td> <td>3,6%</td> </tr> <tr> <td>Casanare</td> <td>3,4%</td> <td>2,9%</td> </tr> <tr> <td>Cundinamarca</td> <td>2,3%</td> <td>3,0%</td> </tr> <tr> <td>Nariño</td> <td>2,2%</td> <td>3,7%</td> </tr> <tr> <td>Huila</td> <td>1,6%</td> <td>1,4%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Los departamentos de Antioquia, Vichada, Cauca y Valle del Cauca representan el 53,5% de la producción de plantaciones forestales (madera seca) en el área rural dispersa censada.</p>	DEPARTAMENTOS	PRODUCCIÓN (MILLONES DE TONELADAS)	ÁREA COSECHADA (MILES DE HA.)	Total Nacional	1.040.972	106.092	Antioquia	30,7%	29,7%	Vichada	11,6%	10,0%	Valle del Cauca	11,1%	12,0%	Boyacá	6,5%	6,3%	Cauca	6,2%	6,0%	Quindío	5,8%	5,9%	Tolima	5,6%	6,5%	Santander	4,6%	4,3%	Caldas	3,8%	3,6%	Casanare	3,4%	2,9%	Cundinamarca	2,3%	3,0%	Nariño	2,2%	3,7%	Huila	1,6%	1,4%
DEPARTAMENTOS	PRODUCCIÓN (MILLONES DE TONELADAS)	ÁREA COSECHADA (MILES DE HA.)																																												
Total Nacional	1.040.972	106.092																																												
Antioquia	30,7%	29,7%																																												
Vichada	11,6%	10,0%																																												
Valle del Cauca	11,1%	12,0%																																												
Boyacá	6,5%	6,3%																																												
Cauca	6,2%	6,0%																																												
Quindío	5,8%	5,9%																																												
Tolima	5,6%	6,5%																																												
Santander	4,6%	4,3%																																												
Caldas	3,8%	3,6%																																												
Casanare	3,4%	2,9%																																												
Cundinamarca	2,3%	3,0%																																												
Nariño	2,2%	3,7%																																												
Huila	1,6%	1,4%																																												

Fuente: Censo nacional agropecuario 2014 (datos.gov, 2021).

11.2 MODIFICACION ESTUFA

Inicialmente se encontró un prototipo en la Institución Universitaria Pascual Bravo Figura 8, en donde se propuso un diseño de una estufa mono hornilla, pero sus materiales, aunque fueron a un bajo costo, sus dimensiones y medidas no lograron satisfacer la necesidad para la cual fue creada.

En el momento de realizar el análisis de la información de dicha estufa, se determinó que no poseen cálculos de eficiencia térmica ni documentación adecuada que permita determinar que tanto se están aprovechando las temperaturas, que emiten las biomazas utilizadas.



Figura 9, Estufa mono hornilla elaborada en la I.U. Pascual Bravo.

Luego de analizada la información se realizaron modificaciones en los diseños Figura 9, que se consideran pertinentes para que la eficiencia térmica aumente y no emita agentes contaminantes en exceso, en donde no solo se cuida el medio ambiente, sino que también se protege la salud de las personas que lo usan.

Las modificaciones que se plantearon al diseño original de la estufa, es la reducción de la altura de 200 mm, cambio del ángulo del ducto de suministro de biomasa de 0° a 30°.

Con las modificaciones realizadas en la hornilla, se redujo un 25 % en las pérdidas de calor por convección de las paredes de las hornillas hacia el ambiente, esto se ve reflejado en la eficiencia del dispositivo en cuanto a pérdidas y disminución de tiempo en la cocción de los alimentos. Adicional una reducción en material de fabricación, para ser más ligera y ahorro en su producción en masa.

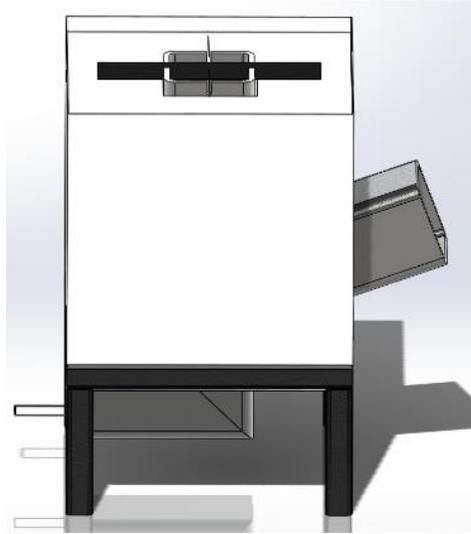


Figura 10, Modificaciones de rediseño de estufa.

12.3 CÁLCULO DE POTENCIA REQUERIDA

El objetivo principal de este trabajo fue el diseño, modelado y dimensionamiento de un horno para combustión con tres tipos de biomásas (Cascara de café, Bagazo de caña de azúcar, Madera de pino), con el propósito de obtener energía en forma de calor a partir de esta biomasa residual. Los cálculos se realizaron para llevar 1 Kg de agua a su punto de ebullición (22 a 93) °C a una presión atmosférica de 85 KPa (Antioquia) e una olla de aluminio de 0.32 Kg. Se toma como tiempo en llegar a la temperatura de ebullición 675 Segundos, este tiempo que fue tomado de un ensayo experimental que se realizó.

Para los cálculos de la potencia requerida se obtuvieron los valores del calor específico (C_p) del agua y del aluminio del libro de Transferencia de calor y masa cuarta edición (CENGEL & GHAJAR, 2011)

$$C_{p_{agua}} = 4,18 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K}$$

$$C_{p_{aluminio}} = 0,92 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K}$$

Para el cálculo de la potencia requerida se estimó un 25% en la eficiencia de estufas de biomasa y un 30% de pérdidas de calor. (Sostenible, 2015) .

$$\dot{Q}_{Agua} = \dot{m}_{agua} C_p * (T_{final} - T_{inicial}) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\dot{Q}_{Olla} = \dot{m}_{aluminio} C_p * (T_{final} - T_{inicial}) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\dot{Q}_{requerida\ real} = \dot{Q}_{Agua} + \dot{Q}_{Olla} + \text{Perdidas} + \text{Eficiencia}$$

$$\dot{Q}_{requerida\ real} = 0.061183 \text{ KW} = 611.83 \text{ W}$$

Cálculo del flujo másico de Biomasa

A partir de la potencia requerida, con el PCI de los tres tipos de Biomasa (Cascara de café, Bagazo de caña de azúcar, Madera de pino) y la eficiencia en la combustión hallamos el flujo másico de las 3 Biomosas.

$$PCI_{cascara\ de\ café} = 15880 \frac{KJ}{Kg\ Café}$$

$$PCI_{bagazo\ caña\ de\ azúcar} = 13148 \frac{KJ}{Kg\ Caña}$$

$$PCI_{madera\ de\ pino} = 14759.7 \frac{KJ}{Kg\ pino}$$

$$\dot{Q}_{requerida\ real} = \dot{m}_{combustible} * PC_{inferior} * \epsilon_{combustible}$$

$$\dot{m}_{combustible} = \frac{\dot{Q}_{Agua\ requerida}}{PC_{inferior} * \epsilon_{combustion}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\dot{m}_{café} = 0.1541 \frac{g\ café}{s}$$

$$\dot{m}_{caña} = 0.1861 \frac{g\ caña}{s}$$

$$\dot{m}_{pino} = 0.1658 \frac{g\ pino}{s}$$

Q perdido

$$Estufa\ original \rightarrow 269,6433091$$

$$Estufa\ modificada \rightarrow 198,8403847$$

Se realizaron cálculos por las pérdidas de convección hacia el ambiente de la estufa con las medidas originales, respecto a la estufa con las medidas de altura modificadas teniendo como resultado una diferencia de 70,8 W equivalente a un 26.25% en la reducción de pérdidas de calor por convección lo que genera una mayor eficiencia de la estufa.

Es importante revisar y detallar los cálculos totales presentados dado que a través de ellos se pueden tomar decisiones para realizar un rediseño de la estufa, y con ello obtener una mejor eficiencia. (VER ANEXO 5. CALCULOS).

Se propone un diseño de estufa circular, tomando como referencia la geometría circular que encontramos en general en utensilios de cocinas utilizados en procesos de cocción.

Como característica principal es de una sola hornilla con chimenea integrada que genera y aproveche al máximo la quema de las biomásas mencionadas anteriormente, que cuide el medio ambiente y la salud de quien la use.

Para nuestra propuesta de diseño, nos basamos en los principios del Dr. Larry Winiarski que ha sido de gran aporte en el diseño de estufas eficientes. Los diseños de Winiarski combinan la combustión limpia y completa junto con la optimización del intercambio térmico. (Baldwin & Winiarski, 1987)



Figura 11, Estufa 3J Elaboración propia.

12.4 Material propuesto para diseño estufa 3j

12.4.1 Concreto poroso aislante

Es una mezcla que se compone de material silíceo pulverizado (arena, escoria o ceniza volante), cemento y/o cal, agua y aditivo incluso de aire como, por ejemplo, el polvo de aluminio. Este, al reaccionar químicamente con el agua alcalina, produce hidrógeno y expande el mortero a medida que se forman macroporos de

diámetro entre 0,5 y 1,5 mm. Posteriormente se cura el material con vapor bajo presión (autoclave) por un periodo de 6 a 12 horas, usando una temperatura de 190 °C y una presión de 1,2 MPa. Esto forma una matriz de mortero endurecido que consiste esencialmente en silicatos de calcio hidratados.

Puede considerarse como el coeficiente de resistencia a la transmisión de calor. Una de las características más especiales que posee el concreto celular es el valor relativamente alto del aislamiento térmico, que se hace mayor o menor en razón inversa a la densidad del material. La conductividad total de un concreto poroso es la resultante de la conductividad térmica de la estructura de silicatos más la del aire contenido en ellos. Por esta razón, la conductividad térmica se relaciona con la densidad aparente.(SILVA, 2019)

12.4.2 Materiales de preparación del aislante

- **Cemento:** La cuantía de cemento generalmente varía entre 300 y 385 kg/m³.
- **Agua:** La cantidad de agua debe ser tal que guarde una relación agua – cemento tan bajo como sea posible (entre 0,25 y 0,4), de modo que se mantenga la estructura de vacíos.
- **Agregados:** El tamaño nominal máximo de los agregados no debe exceder de 1/3 del espesor del pavimento especificado. Los agregados típicamente están en una gradación entre 3/4” a 3/8” (19 a 9.5 mm).
- **Pigmentos:** Se pueden utilizar en el diseño de mezclas de éstos concretos y deben cumplir con ASTM C979. (TOXEMENT, 2017).

Luego de estudiar los posibles materiales y biomásas que se pueden usar, se logró determinar cuáles son los que mejor eficiencia brinda a la estufa. Es por esto que se presenta un presupuesto que se ajusta a los requerimientos necesarios para cumplir con los objetivos planteados inicialmente.

Para conocer el costo estimado de la estufa 3J, se realizó un estudio de costos de materiales necesarios que se encuentran en el mercado actual, los cuales se

presentan más detalladamente en el ANEXO 6. PRESUPUESTO. Para tener una mejor referencia de más materiales aislantes en el mercado nacional se puede consultar ANEXO 7. TABLA DE AISLANTES.

13 ANEXOS

1. Planos estufa rocket (cuadrada)

- 1.1 [Cenicero](#)
- 1.2 [Chimenea](#)
- 1.3 [Cubierta](#)
- 1.4 [Mesa](#)
- 1.5 [Parrilla](#)
- 1.6 [Placa superior](#)
- 1.7 [Tapa](#)
- 1.8 [Ensamble](#)
- 1.9 [Chimenea mejorada](#)
- 1.10 [Cubierta mejorada](#)
- 1.11 Imágenes reales

2. Planos estufa (3J)

- 2.1 [Chimenea](#)
- 2.2 [Cuerpo](#)
- 2.3 [Parrilla](#)
- 2.4 [Parte superior chimenea](#)
- 2.5 [Soporte](#)
- 2.6 [Tapa soporte parrilla](#)
- 2.7 [Tapa](#)
- 2.8 [Ensamble](#)

3. Modelos CAD estufa rocket

- 3.1 [Cenicero](#)
- 3.2 [Chimenea](#)
- 3.3 [Cubierta](#)
- 3.4 [Mesa](#)

- 3.5 [Parrilla](#)
 - 3.6 [Placa superior](#)
 - 3.7 [Tapa](#)
 - 3.8 [Ensamble estufa](#)
4. Modelos CAD estufa (3)
- 4.1 [Chimenea](#)
 - 4.2 [Cuerpo](#)
 - 4.3 [Ensamble](#)
 - 4.4 [Parrilla](#)
 - 4.5 [Parte superior chimenea](#)
 - 4.6 [Soporte](#)
 - 4.7 [Tapa Soporte olla](#)
 - 4.8 [Tapa soporte parrilla](#)
 - 4.9 [Tapa](#)
5. [Cálculos](#)
- 5.1 Cálculo calor
 - 5.2 Cálculo estufa original
 - 5.3 Calculo estufa modificada
6. [Presupuesto](#)
7. [Tabla aislante](#)

14 CONCLUSIONES

- Con base a la revisión de literatura asociada al diseño y fabricación de estufas de biomasa eficientes, los modelos de cocina analizados procuran reducir de una manera eficiente el consumo de biomasa o combustible, permitiendo así ampliar el conocimiento para el desarrollo del proyecto. Además, se identificaron las características y diferencias que tienen los modelos de carácter estético, dimensiones y materiales de fabricación entre otros.
- Las dimensiones de la estufa se proponen apoyados en prototipos existentes en el mercado, obteniendo parámetros como medidas y peso de acuerdo a materiales de construcción característicos de una estufa portátil, procurando así lograr un diseño que contemple aspectos importantes para obtener una buena combustión y ruta de emisión ideal.
- *Para la presentación del prototipo de la estufa 3J, se utilizó el programa de diseño CAD Solidworks 2018 para la elaboración de planos, modelos y ensambles; también se empleó el paquete de office especialmente EXCEL para el planteamiento y elaboración de memoria de cálculos, garantizando así unos resultados que pueden ser de suma importancia al momento de ejecutar el proyecto, dado el caso que decida llevarlo a cabo.

15 REFERENCIAS

- Hernández, J. B., Contreras, N. R., & Núñez, J. G. (2018). Combustión de biomasa: conceptos, tecnologías y aplicaciones en la agroindustria de la palma de aceite. *Revista Palmas*, 24-44.
- Sweeney, D. (2017). *Handbook for biomass cookstove research, design, and development*. Global alliance for clean cookstove and the MIT D-Lab.
- UPME. (19 de 09 de 2021). *Atlas del potencial energético de la Biomasa residual en Colombia*. Obtenido de Portal SIEL/ Atlas del potencial energético de la Biomasa residual en Colombia: <https://www1.upme.gov.co/siame/Paginas/atlas-del-potencial-energetico-de-la-biomasa.aspx>
- UPME. (s.f.). *Anexo A Biomasa fuente renovable energía*. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/siame/Paginas/atlas-del-potencial-energetico-de-la-biomasa.aspx>
- Baldwin, & Winiarski. (1987). Principios de diseño para estufas de cocción con leña by Documentos Ecoaldeas - Issuu. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de https://issuu.com/ecoaldeas/docs/construyendo_cocinas_eficientes/21
- CENGEL, Y. A., & GHAJAR, A. J. (2011). *Transeferencia de calor y masa* (4.ª ed.). Recuperado de <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/Transferencia-de-calor-y-masa.-Fundamentos-y-aplicaciones-Cuarta-Edición.pdf>
- Cleancooking. (2021). Home | Clean Cooking Alliance. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://cleancooking.org/>
- datos.gov. (2021). Censo Nacional Agropecuario - CNA- | Datos Abiertos Colombia. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://www.datos.gov.co/Estadisticas-Nacionales/Censo-Nacional-Agropecuario-CNA-/6pmq-2i7c>
- Días, R. (2011). ESTUFAS DE LEÑA: lecciones aprendidas y recomendaciones Rodolfo Díaz HELPS International - Consultor, OLADE - PDF Free Download. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://docplayer.es/40768410-Estufas-de-lena-lecciones-aprendidas-y-recomendaciones-rodolfo-diaz-helps->

international-consultor-olade.html

- Díez Martínez, A. (2017). *estudio comparativo de la eficiencia térmica y de las emisiones de cocinas de biomasa en Senegal*. Recuperado de https://oa.upm.es/49757/1/TFG_ALICIA_DIEZ_MARTINEZ.pdf
- Fjarabo. (2021). FIGURA Energía Biomasa. Recuperado 18 de noviembre de 2021, de https://fjarabo.webs.ull.es/Biomasa/Bio04/fig04_01.htm
- Ibarra Ballesteros, J., Rueda-Ordóñez, Y., Arocha, O. G., Gelvez, O., Modelado, A., De, Y. D.-S., ... Biomasa, D. E. (2018). *MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DE UNA HORNILLA DE BIOMASA*. Recuperado de <http://giema.uis.edu.co>
- Lizeth Zambrano Bohórquez, D. (2017). *CONCENTRATION OF PARTICULATE MATTER BY WOOD COMBUSTION IN THE RURAL AREA OF THE MUNICIPALITY OF SANTA SOFIA, BOYACÁ*.
- MacCarty, N. (2013). *A zonal model to aid in the design of household biomass cookstoves*. Recuperado de <https://lib.dr.iastate.edu/etd>
- MacCarty, P. (2021). Aprovecho Research Center- testing and improving biomass cookstoves. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <http://aprovecho.org/>
- MundoEconomico. (2011). 1633328125 (768x1024). Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://imgv2-1-f.scribdassets.com/img/document/245540227/original/adca835b1f/1633328125?v=1>
- ORTIZ FONNEGRA, M. I. (2017). Cocinar en leña o carbón causa muertes por calidad del aire - Medellín - Colombia - ELTIEMPO.COM. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/cocinar-en-lena-o-carbon-causa-muertes-por-calidad-del-aire-103026>
- portafolio. (2021). Más de 5 millones de personas en el país aún cocinan con leña | Economía | Portafolio. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://www.portafolio.co/economia/mas-de-5-millones-de-personas-en-el-pais-aun-cocinan-con-lena-541774>
- SILVA, O. J. (2019). Propiedades y aplicaciones del concreto celular | ARGOS 360. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/innovacion-y->

tendencias/propiedades-aplicaciones-del-concreto-celular

Solís Pérez, M. A., & Padilla Pérez, D. H. (2016). Evaluación Energética de Cocinas Mejoradas a través del Método Water Boiling Test 4.2.3. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://1library.co/document/yrkkvg7z-evaluacion-energetica-cocinas-mejoradas-traves-metodo-water-boiling.html>

Sostenible, C. M. de A. y D. (2015). *Lineamientos para un programa nacional de estufas eficientes para cocción con leña*. 52-52. Recuperado de Lineamientos para un programa nacional de estufas eficientes para cocción con leña

TOXEMENT, E. G. (2017). *CONCRETO POROSO O CONCRETO PERMEABLE*. Recuperado de https://www.toxement.com.co/media/3812/concreto_poroso.pdf

UPME. (2021). UPME. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://www1.upme.gov.co/Paginas/default.aspx>

Wikiwand. (2021). Estufa cohete - Wikiwand. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de https://www.wikiwand.com/es/Estufa_cohete