

ESTUFA ECO-EFICIENTE PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS CON MECANISMO DE FALDAS Y DISTRIBUIDOR DE LLAMA

a) Sector tecnológico:

La presente invención se refiere a una estufa de biomasa eficiente para la cocción de alimentos y calefacción, con un menor consumo de biomasa y emisión de gases y material particulado. Los sectores tecnológicos en los que se enmarca el desarrollo son el sector de la energía, tecnología, industria metalmecánica y medio ambiente.

b) Antecedentes:

El consumo de biomasa en países en desarrollo tiene un papel fundamental para satisfacer la demanda energética [1]. El uso de biomasa para procesos de cocción en estufas tradicionales deriva un alto consumo de combustible y mayor cantidad de emisiones contaminantes. Por lo general, en las comunidades más pobres de países en desarrollo es donde se utilizan estufas poco eficientes, lo que impacta negativamente en el medio ambiente, la salud de niños y mujeres que están en contacto con los productos de combustión, así como efectos de deforestación [2], [3], [4]. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) a nivel mundial cerca de 3000 millones de personas cocinan y calientan sus hogares con sistemas abiertos en los que queman biomasa o carbón [5].

En Colombia entre el 15% y el 20% de la población depende de la leña como principal combustible para cocción, lo que indica que alrededor de 1.6 millones de hogares diariamente enfrentan la necesidad de obtener leña para procesar sus alimentos [6], el cual comúnmente se lleva a cabo en un fogón tradicional de tres piedras [7].

La extracción de leña es uno de los mayores factores responsables de la destrucción de bosques [8]. Adicionalmente, la recolección de leña es realizada por mujeres y niños principalmente, quienes deben recorrer grandes distancias, lo que aumenta las tareas del hogar y disminuye la calidad de vida de la población [9]. En Antioquia (Colombia) el consumo de leña per cápita de 5.5 kg por día en la región comprendida entre los municipios de Abejorral, Argelia, Nariño y Sonsón [1]. Por tanto, es necesario optimizar el uso de la leña para satisfacer las necesidades energéticas de la población rural.

Los fogones tradicionales presentan bajas eficiencias energéticas del 10% a 13% [10], [11]. Según el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales (PROURE) del Ministerio de Minas y Energía de 2010 [12], el Gobierno Nacional ha tratado de sustituir el uso de leña en regiones rurales por gas licuado de petróleo (GLP), lo que no ha sido posible debido a la extensión del terreno nacional y la dificultad de acceso a estas regiones. Por esto es importante encontrar soluciones encaminadas a un mejor uso de

la leña, que es el recurso energético que prima en las zonas aisladas. De hecho, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el desarrollo de estufas eficientes que contribuye a la reducción de emisiones contaminantes y material particulado, además de un menor consumo de leña. Este tipo de proyectos se alinean con el Programa Nacional de Estufas Eficientes para Cocción con Leña [13].

Se ha registrado que la eficiencia de fogones tradicionales puede ser inferior al 10% [10] [14], lo cual incide en un mayor consumo de leña [15]. Por su parte, la Unidad de Planificación Minero Energética (UPME) establece que la eficiencia de una estufa tradicional se encuentra en un rango entre 5 y 10%. La menor eficiencia de estas estufas tiene asociada una mayor cantidad de emisiones contaminantes en comparación con estufas mejoradas [16]. En particular, el uso de leña a fuego abierto también deteriora la calidad del aire debido a emisiones de material particulado muy fino (PM_{10} y $PM_{2.5}$), lo que genera impactos en la salud humana, principalmente niños, mujeres y adultos mayores [7][17, 18]. La OMS afirma que en el mundo cada año mueren más de cuatro millones de personas prematuramente por enfermedades atribuibles a la contaminación del aire en los hogares, como consecuencia del uso de combustibles sólidos para cocinar [19]. En efecto, en 2010 la enfermedad pulmonar crónica obstructiva (EPOC) se registró como la cuarta causa de muertes en el mundo, y la inhalación del humo de la biomasa es uno de los factores de mayor riesgo para que se genere EPOC [20]. En el caso colombiano, las condiciones del uso de la leña y la exposición al humo producido también se han asociado a la enfermedad respiratoria crónica [21]. Según el Banco Mundial, en 2010 el costo medio anual estimado por impactos en la salud a causa de contaminación de aire asociada al consumo de combustibles tradicionales, principalmente leña, en regiones rurales de Colombia fue de 1129 millones de pesos [22]. Cada año en Colombia se presentan alrededor de 1150 muertes prematuras [23], principalmente en regiones rurales donde casi el 50% de dicha población utiliza combustibles sólidos [24].

Para tratar de dar solución a la problemática descrita se han desarrollado varios programas y estufas mejoradas a biomasa en Colombia. Según el Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2016-2022, en Colombia se han instalado alrededor de 30000 estufas a 2014 distribuidas en 14 prototipos [14]. La Organización Panamericana de la Salud presenta los 12 prototipos más distribuidos en el país, ver Figura 1 [25].

	
a) Corantioquia	b) Fundación natura
	
c) Eco-estufa Catalana (EPM)	d) Patrimonio natural en PNN Las Orquideas
	
e) Patrimonio natural (dos puestos)	f) Patrimonio natural (Lorena)

Figura 1. Algunos modelos de estufas en Colombia, adaptado de [25].

	
g) Patrimonio natural (híbrido triangular)	h) Patrimonio natural (híbrido lineal de dos puesto)
	
i) Fundación Mar Viva (Riscaleña)	j) Estufa Huellas
	
k) Patrimonio natural (estufa rocket)	

Figura 1 (Cont.). Algunos modelos de estufas en Colombia, adaptado de [25].

Las estufas mejoradas promovidas en Colombia, de Figura 1a a 1j se denominan estufas tipo plancha con chimenea, aunque en algunos casos por el tamaño se requiere ubicarla fuera de la cocina. Estas estufas son de alta inercia térmica, por lo que se pierde alrededor del 80% de la energía suministrada por la leña en el calentamiento de toda la estufa. La inercia térmica de estas estufas se debe a los materiales que predominan en su construcción, tales como ladrillo, arena, cemento, placas de fundición, entre otros [7]. Estas estufas son

las que se vienen distribuyendo en el país con el objetivo de reducir el consumo de leña en las tareas de cocción. Sin embargo, una reciente investigación desarrollada por la Fundación Natura, muestra que las eficiencias térmicas alcanzadas por las estufas Huellas, Sistema de cocción eco-eficiente (SCE), y Fundación natura (4 puestos), es de 10.7%, 11.9%, y 12.7%, respectivamente, estas estufas son distribuidas en los departamentos de Antioquia y Santander, quienes representan las regiones con mayor número de estufas instaladas (alrededor del 80%) [25]. Estas estufas no alcanzan a ser clasificadas como estufas mejoradas según los niveles de eficiencia definidos por la *Global Alliance for Clean Cook Stoves* [26]. Por su parte, la estufa tipo *rocket* de Patrimonio natural, presenta eficiencias superiores al 20%, con la característica que es de un solo puesto (una hornilla) y sin chimenea.

En Colombia existen 3 registros de patentes/modelo de utilidad de estufas de cocción de biomasa identificados con los números de expedientes 09146806 (Estufa Leñera ecológica y eficiente), 13122430 (Estufa para cocción de alimentos en interiores domésticos a partir de la combustión de la biomasa con alta eficiencia), 15128447 (Estufa de plancha de alta eficiencia de combustión con madera para cocinar). En la invención 15128447 se describe una estufa tipo plancha compuesta por una cámara de combustión que comprende una entrada, una cámara de chimenea que comprende una entrada y una salida, una cámara de ruta de gas que comprende un techo y un piso, en donde el techo está definido por una superficie de plancha para cocinar removible que tiene una superficie superior substancialmente plana y una superficie inferior; una caja de chimenea; y una chimenea. En muchas modalidades, la cámara de chimenea define un área de sección transversal que es mayor que el área de sección transversal de la entrada de la cámara de combustión para evitar que el humo se escape de la cámara de combustión a través de la entrada. Por su parte la invención 13122430 consiste en un sistema doméstico de cocción de alimentos a partir de la combustión eficiente de biomasa y la implementación de un sistema cerrado tipo horno que evita que los gases entre en contacto con el usuario. La alimentación del sistema se hace por una puerta que también cumple la función de regular el paso del aire al mismo, manteniendo un flujo constante y parejo. El sistema se encuentra sellado en su parte superior por una losa en la que están embebidas las parrillas y que, conjuntamente con el horno, captan y transfieren la energía producida en la combustión. Los gases caliente viajan por el sistema y deben enfriarse antes de salir del mismo por el limitador de flujo que se encuentra 1cm por encima del borde de la boca del vano de la puerta y, posteriormente, por la chimenea. La chimenea está rodeada por un enfriador que, por medio de una serie regular de agujeros en su sección inferior, toma el aire caliente de la habitación en el que está instalado el sistema y lo dirige afuera de la misma. Finalmente la invención 09146806 a

pesar de no estar concedida es una estufa de leña ligera, de fácil instalación que permite sea reubicada, la estructura de la estufa se basa en juntas pequeñas que permiten mantener el calor generado por la combustión dentro de la estufa y por medio de un recorrido largo que retarda la salida de los gases se aprovecha para que los mismos entreguen calor que transportan al pasar zonas de hornos y parillas al buscar la chimenea. Según los inventores, un elemento que mantiene una combustión eficiente es el diseño del oído o entrada de aire a la cámara de combustión, el cual permite modificar la cantidad de aire que ingresa a esta cámara.

A nivel internacional existen estufas de combustión de biomasa como la descrita en el modelo de utilidad de China No. CN 2459539, donde se describe una estufa que utiliza fragmentos de madera como combustible, la cual tiene forma de barril, con una abertura en la parte inferior para la entrada de aire y una chimenea en la parte superior. El problema que presenta esta estufa es que al tener un solo quemador, solo permite calentar un recipiente con alimentos a cada momento y no tiene los medios necesarios para aprovechar el calor de los humos generados por la combustión.

El modelo de utilidad de China No. CN 2434530 describe una estufa que consiste en un cilindro hueco cuya pared interior contiene una pluralidad de hoyos para escape de humos, que conducen a una cavidad en la pared exterior, la cual está conectada a una chimenea. En este caso, los humos generados en la combustión son dirigidos hacia la cavidad. Para después ser expulsados por la chimenea, de modo que la cavidad retiene el calor para mantener o elevar el calor en la propia cámara de combustión y no tiene ningún medio para aprovechar el calor para otros objetivos como el otro fuego para la cocción de alimentos.

El documento alemán No. DE 20309303 describe una estufa cilíndrica con una rejilla inferior accesible por medio de una puerta lateral. Esta estufa no permite su uso en espacios cerrados como el interior de una vivienda ya que no tiene medios para dirigir los humos generados en la combustión. Por otro lado, la patente de Estados Unidos US 5842463 describe una estufa portátil cilíndrica con una rejilla para combustible y un anillo de orificios para la toma de aire. Esta estufa está diseñada para ser utilizada en exteriores, ya que tampoco tiene medios para dirigir los humos producidos por la combustión y consecuentemente tampoco tiene los medios para aprovechar el calor de dichos humos. La solicitud de patente WO 201 1060403 muestra una estufa cilíndrica con una rejilla en la parte inferior, muy similar a las descritas en los documentos anteriores y de igual forma no cuenta con los medios para dirigir los humos producidos en la combustión y el calor de dichos humos no es aprovechado para otras funciones.

c) Descripción de la invención:

En áreas rurales de países en desarrollo es común el uso de gas natural (GN) o gas licuado de petróleo (GLP) para procesos de cocción; sin embargo, este tipo de combustibles presenta problemas relacionados con la disponibilidad y precios elevados para los bajos ingresos de la población vulnerable (más del 70% de las necesidades básicas insatisfechas), por lo que se requiere de un desarrollo en la tecnología de cocción basado en alternativas energéticas de otras fuentes diferentes al GN y GLP [2]. La combustión eficiente de biomasa (leña) en aplicaciones de cocción se presenta como una alternativa que brinda mayor eficiencia en los procesos de cocción, así como menores emisiones con respecto a los procesos de cocción tradicionales con leña [27].

El problema técnico que se quiere resolver con la invención es: a) aumentar eficiencia térmica asociada a las estufas de cocción a leña con menor consumo de combustible, b) desarrollar un producto modular, seguro y fácilmente transportable, de modo que sea versátil y se adapte a diferentes lugares y/o configuraciones de las cocinas, c) evitar emitir gases de combustión al interior de los hogares al instalar una chimenea, d) optimizar el montaje inicial de la estufa, al no superar los 60 minutos, e) encendido sencillo, rápido y seguro.

Con el fin de encontrar un equipo capaz de dar solución a la problemática asociada con la cocción de alimentos y calefacción con estufas de biomasa, se propone una estufa mejorada de dos o cuatro puestos (hornillas) que contempla un diseño liviano, modular, reproducible en materiales metálicos de alta resistencia metálica y térmica, ergonómico, y cuidado estéticamente.

*La cámara de combustión se ha diseñado y dimensionado de modo que la biomasa se oxida alcanzando altas eficiencias de combustión y los gases transfieren la energía a las ollas mediante convección natural. Esto se logra aprovechando el cambio de densidad de los gases de combustión debido a su mayor temperatura, para maximizar la transferencia de calor de los gases a las ollas, las hornillas donde se colocan las ollas, se han diseñado maximizando la transferencia de calor hacia los recipientes y reduciendo la transferencia de calor a los alrededores, ya que ambas hornillas cuentan con mecanismos “aislantes de calor de las ollas”, conocidos como faldas. Ninguna de las estufas presentadas en la sección de antecedentes plantea esta solución, la cual aumenta la eficiencia y por consiguiente reduce el consumo de biomasa y los tiempos de cocción. En términos generales, el mecanismo de falda realiza una doble función en cuanto a la transferencia de calor hacia las ollas para el proceso de cocción: i) reduce las pérdidas de calor de las ollas hacia los alrededores, y ii) favorece el calentamiento de las ollas en el proceso de cocción.

La cámara de combustión es tipo cohete (Rocket). La estufa permite aislar la transferencia de calor hacia los alrededores, usando materiales livianos y resistentes al calor; tiene un ducto de evacuación aislado térmicamente que direcciona a los gases calientes aun un fogón de fuego medio, y finalmente hacia la chimenea, la cual a su vez genera el tiro natural que permite mantener una buena entrada del aire primario a la cámara de combustión, esto garantiza una combustión adecuada de la biomasa. La graduación de potencia en la estufa es proporcional a la cantidad de biomasa que se alimenta a la cámara de combustión, la cual se deposita de modo seguro en la parrilla.

El área de la sección transversal del ducto de gases es contante, desde la entrada de la cámara de combustión a la salida de la chimenea. La cámara de combustión cuenta con la parrilla donde descansa la biomasa a ser quemada, un cenicero removible que permite la acumulación y posterior retiro de la ceniza producto de la combustión, estos dos dispositivos le confieren tiempos de operación prolongados a la estufa en función de las necesidades del usuario(a). Para reducir las pérdidas de calor y optimizar la transferencia térmica del fuego hacia las ollas, la cámara de combustión y los ductos de gases son aislados con materiales térmicos livianos y seguros, lana mineral y una placa cerámica refractaria. La estufa es una estructura que permite ser reubicada de acuerdo a las necesidades del usuario.

*A diferencia de los prototipos de la sección de antecedentes, esta invención ha sido diseñada en materiales metálicos, y conformada por diferentes módulos: 1) bases, 2) cámara de combustión, cuerpo distribuidor de llama y gases, ducto, hornillas, aislante y carcasa, 3) chimenea, 4) parrilla y cenicero, 5) gorro chino, 6) tornillos de ensamble. El diseño modular permite que la estufa sea fácilmente transportable, lo cual es una diferencia con las estufas de la sección de antecedentes, excepto con la estufa tipo rocket de un puesto u hornilla de Patrimonio Natural. El carácter modular y liviano de los materiales utilizados le confieren seguridad a los usuarios si se requiere desplazar la estufa.

*El uso de la chimenea ha sido seleccionado para garantizar la calidad del aire al interior de los hogares que usen la estufa. Este dispositivo, además de generar el tiro para el ingreso del aire en la cámara de combustión, emite los gases por fuera de la cocina. Con relación a las estufas de la sección de antecedentes, todas cuentan con este dispositivo, excepto la tipo rocket de un puesto de Patrimonio natural. La estufa de Patrimonio natural no cuenta con un ducto de evacuación de gases ni chimenea por lo que se infiere que los gases producto de la combustión de la biomasa permanecen en el ambiente de la cocción de alimentos ocasionado los problemas anteriormente descritos en la sección de antecedentes.

*El diseño modular ha sido concebido de modo tal que el montaje de esta estufa sea sencillo en tiempo, mano de obra y por consecuente en costos. El tiempo máximo para

armar la estufa es de 30 a 60 minutos. Esto también garantiza que el mantenimiento a realizar (aseo o cambio de elementos) es sencillo, sin implicar obras de construcción para esto. Con respecto a las estufas de la sección de antecedentes, todas excepto la tipo rocket, requieren de maestro de obra, días de obra civil y secado antes de comenzar a usar la estufa en las labores de cocción.

*El encendido de la estufa permite manipular la leña por dos sitios, la cámara de combustión y la hornilla de fuego alto, por ello el encendido es rápido y sencillo. Las estufas de los antecedentes también permiten manipular la leña por la cámara de combustión y la hornilla de fuego alto. Sin embargo, el diseño tipo rocket de esta estufa favorece una entrada adecuada de aire para el encendido y la consecuente de la combustión de la leña.

*La estufa eco-eficiente se caracteriza por ser una estufa con dimensiones ajustadas a cálculos biomecánicos y datos antropométricos estadísticos que la hacen ergonómica entre un amplio rango de usuarios de contextura, estatura y fuerza muscular diferente, lo cual hace que la estufa sea versátil con relación al usuario, quien puede realizar la cocción de sus alimentos en forma cómoda, segura y eficiente.

La cámara de combustión (1) de la estufa eco-eficiente permite una alimentación variable de leña, según requerimientos del usuario, esto le confiere un menor consumo de combustible y por tanto una mayor eficiencia térmica.

No se encontró en el estado de la técnica ningún documento que contemple el uso de una falda o superficie lateral en las hornillas de cocción, y un cuerpo distribuidor de llama y gases para mejorar la transferencia de calor del fuego o de los humos calientes a las ollas de cocción, ni se encontró ningún documento que muestre la implementación de dos cámaras de combustión independiente cuando la estufa es de cuatro puestos u hornillas. Adicionalmente, la superficie de cocción no es tipo plancha, las ollas se colocan en la primera hornilla al contacto directo del fuego, y en la segunda hornilla, la olla se puede alojar en la corriente de gases caliente producidos en la combustión aprovechando el calor de ellos para la cocción de los alimentos.

d) Reseña a los dibujos:

La **Dibujo 1** muestra una representación correspondiente a una vista en perspectiva de la estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos de dos puestos (hornillas) realizada de acuerdo con el objeto de la invención compuesta por: (1) cámara de combustión, (2) parrilla porta leña, (3) cenicero removible, (4) cuerpo distribuidor de llama y gases, (5) ducto de circulación de gases, (6) hornilla de fuego alto con mecanismo de falda, (7) hornilla de

fuego medio-bajo con mecanismo de falda, (8) carcasa, (9) base de soporte, (10) soporte de chimenea, (11) chimenea, y (14) agujeros de refrigeración por convección de aire.

La **Dibujo 2** muestra una vista detallada de la cámara de combustión (1), dejando ver una parrilla porta leña (2) apoyada en el depósito que constituye la cámara de combustión, el cenicero removible (3), el cuerpo distribuidor de llama y gases (4), adicionalmente se muestra el ducto de circulación de gases (5), la hornilla de fuego alto con falda (6), la hornilla de fuego medio con mecanismo de falda (7), el acople de la chimenea (10), los topes de utensilios de cocción en el ducto de gases (13).

Dibujo 3 muestra una representación correspondiente a una vista en perspectiva de la estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos de cuatro puestos (hornillas) realizada de acuerdo con el objeto de la invención compuesta por: (1) cámara de combustión, (2) parrilla porta leña, (3) cenicero, (4) cuerpo distribuidor de llama y gases, (5) ducto de circulación de gases, (6) hornilla de fuego alto con mecanismo de falda, (7) hornilla de fuego medio-bajo con mecanismo de falda, (8) carcasa, (9) base de soporte, (10) soporte de chimenea, y (11) chimenea.

Dibujo 4. Esquema que detalla la cámara de combustión (1), (2) parrilla porta leña, (3) cenicero, (4) cuerpo distribuidor de llama y gases, (5) ducto de circulación de gases, (6) hornilla de fuego alto con mecanismo de falda, (7) hornilla de fuego medio-bajo con mecanismo de falda, (10) soporte de chimenea, (12) utensilio de cocción, y (15) el mecanismo de falda de las hornillas.

e) Modo práctico de la invención:

La estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos de dos y cuatro puestos (hornillas) se caracteriza por ser un diseño resistente y durable, modular dado que todos los componentes son intercambiables, portable y de apariencia limpia, atractiva e innovadora. Está fabricada en materiales metálicos, y aislada interiormente con lana mineral y placas cerámicas. Es de fácil instalación, con la ayuda de un destornillador y sin necesidad de contar con conocimientos específicos en temas de construcción o metalmecánica, lo cual facilita su montaje y puesta a punto inicial.

La estufa tiene una cámara de combustión de la biomasa (1), un cuerpo distribuidor de llama y gases (4), un ducto de circulación de gases (5) que permite transportar los gases calientes de la primera hornilla (6) a la segunda generando una potencia de fuego media-baja en este puesto (7). La potencia de fuego en la primera hornilla es alta debido a que la olla se encontraría sometida al fuego directo producto de la combustión de la biomasa. El ducto de circulación conduce los gases a la chimenea (11) que evacua los gases contaminantes fuera de la cocina, mejorando el ambiente libre de humo y material particulado alrededor del

usuario(a) y su grupo familiar. Las hornillas (6) y (7) cuentan con una superficie lateral cilíndrica o mecanismo de falda (15) que permite mejorar la transferencia de calor desde la cámara de combustión a las ollas. En caso de que la estufa sea de cuatro hornillas posee dos cámaras de combustión independientes (1) que permiten controlar la potencia de fuego independiente y mejorar la transferencia de calor a cada uno de los utensilios que se colocan en las hornillas (6) y (7).

La estufa tiene un recubrimiento, aislante térmico, dispuesto entre sus paredes interiores, alrededor del perímetro vertical de la carcasa de la estufa (8) para evitar quemaduras de los usuarios.

En general la estufa se caracteriza debido a sus componentes anteriormente descritos porque entrega mayor potencia térmica a la cocción, utiliza menores cantidades de combustible en el proceso y reduce las emisiones contaminantes a la atmósfera.

Prueba de desempeño: La eficiencia energética de la estufa se determinó experimentalmente con base en los procedimientos estándares de operación a partir de la prueba de ebullición de agua. Las pruebas se realizaron por triplicado en una estufa eco-eficiente de dos puestos utilizando la misma especie maderable pino para todas las pruebas. La metodología siguió el protocolo de la Global Alliance for Clean Cookstoves para la prueba de ebullición de agua (WBT) [26]. Para la prueba se utilizaron dos ollas cada una con 2.5 Lt de agua y ubicadas en las respectivas hornillas. Los resultados de la prueba se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de la prueba de ebullición de agua.

Eficiencia (%)	20.9
Tiempo test (min)	31.6
Consumo específico de biomasa (kJ/L)	2523.7
Potencia fuego (kW)	6.9

La estufa reduce riesgos de quemaduras, las temperaturas de pared alcanzaron los 38 °C después de 3 h de operación la cual fue medida usando una cámara termográfica marca FLUKE. La superficie superior que contiene las hornillas de la estufa alcanza temperaturas cercanas a los 90 °C debido a que es la superficie útil de cocción. En la imagen termográfica se evidencia la efectividad del mecanismo de faldas en las hornillas para mejorar la transferencia de calor de la cámara de combustión a las ollas, ver Figura 2. Las curvas de calentamiento de 2.5 litros de agua en cada hornilla se muestra en la Figura 3.

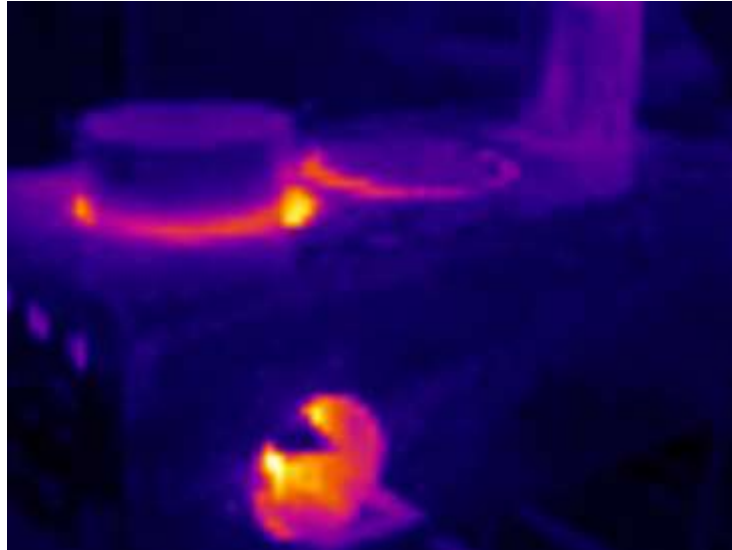


Figura 2. Imagen termográfica de la estufa.

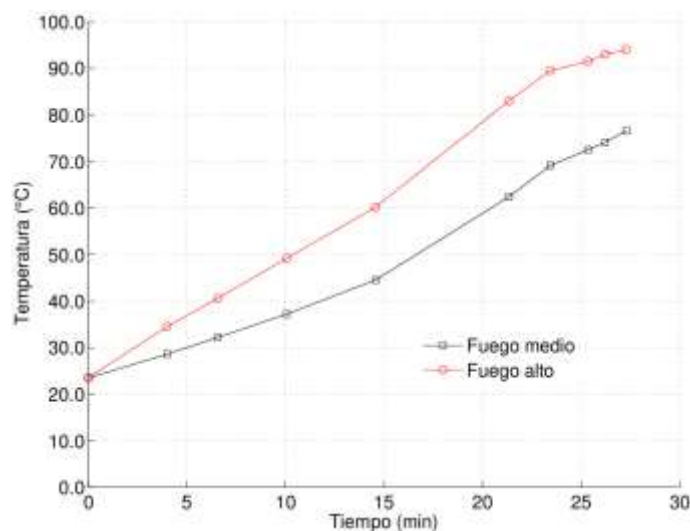


Figura 3. Curvas de calentamiento de 2.5 litros de agua en cada hornilla

El proceso de fabricación de la estufa es principalmente metalmecánico, lo cual lo hace reproducible y de altos estándares de calidad para el producto. El material utilizado para su fabricación son lámina metálica y perfiles de espesores adecuados que garantizan la integridad estructural. La cámara de combustión (1) está conformada por dos troncos de tubo que fueron previamente rolados y soldados. La parrilla (2) que soporta la biomasa está conformado por un marco metálico cubierto con una malla metálica que permite el paso del aire hacia el proceso de combustión. El ducto de los gases está conformado por dos secciones, una el ducto inferior (5) lámina doblada y la tapa superior que es ensamblada y unida por cordones de soldadura. Las hornillas (6 y 7) se fabrican con lámina rolada y

soldada al ducto de gases (5). Las bases de la estufa son perfilaría en ángulo o en tubo, la cual se une entre sí mediante soldadura, y se acopla a la carcasa de la estufa mediante unión de tornillos. La carcasa, usada para recubrir la cámara de combustión y el ducto de gases, es lámina doblada y unida mediante tornillos y/o soldadura. La carcasa posee los soportes para el aislante térmico, el cual consiste de lana mineral, película de aire, placa cerámica, y película de aire. La chimenea modular (11) se fabrica con lámina rolada y soldada, de modo tal que se acople a la base en el ducto de gases (10), y los dos tramos se acoplen entre sí. Finalmente, el proceso de pintura se da en horno con pintura de alta temperatura, no se pinta la cámara de combustión (1), la parrilla (2) el cenicero (3), el cuerpo distribuidor de llama y gases, ni el ducto de gases de combustión (5) para evitar que se evapore esta pintura con la consecuente producción de volátiles.

f) Aplicación industrial:

La estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos de dos y cuatro puestos (hornillas) es una aplicación industrial debido a que su proceso productivo involucra la compra de materias primas con proveedores, fabricación en la industria metalmecánica, ensamble, transporte del producto, requiere toda una cadena de suministro para comercializar el producto con los clientes/usuarios finales.

g) Capítulo de reivindicaciones:

1. Estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos con mecanismo de faldas y distribuidor de llama caracterizado porque está conformada por: i) una cámara de combustión de biomasa que consta de dos tubos (horizontal y vertical) de sección transversal circular que forman una L (1); ii) una parrilla (base-soporte de la biomasa) (2) y un cenicero (3) removibles; iii) distribuidor de llama y gases (4) al ducto (5), a la hornilla de alta (6) y media potencia (7); iv) dos hornillas que soportan los utensilios de cocción y son base para conformar la tapa superior del ducto de circulación de gases (6 y 7); v) ducto de circulación de gases (5) con geometría constante o variable en función de los utensilios de cocción en la hornilla de media potencia apoyados (7); vi) carcasa aislada en todo el perímetro vertical y refrigerada por convección libre (8); vii) base de soporte de toda la estructura (9), soporte de la chimenea (10) y chimenea modular de sección transversal igual a la cámara de combustión (11).

2. Estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos con mecanismo de faldas y distribuidor de llama, tal y como se reclama en la reivindicación 1, se caracteriza porque la cámara de combustión (1) está conformada por tres cuerpos. La base horizontal de longitud mayor que

la base vertical, la sección transversal circular constante de los dos primeros cuerpos. El tercer cuerpo es un distribuidor (4) de llama y de los gases, concéntrico a la base vertical de la cámara de combustión. El área lateral del cuerpo distribuidor está conformada por tres agujeros rectangulares equi-espaciados, los cuales dirigen la llama y los gases a la base superior de la hornilla de alta potencia (6) y hacia el ducto de circulación de gases (5) que distribuye la llama y gases calientes a la hornilla de fuego medio (7), mediante una sola cámara de combustión (1). La suma del área de los agujeros laterales del cuerpo distribuidor (4) es igual al área de la sección transversal del cuerpo vertical de la cámara.

3. Estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos con mecanismo de faldas y distribuidor de llama, tal y como se reclama en la reivindicación 1, también se caracteriza por una parrilla metálica (2), cuya base principal es una rejilla y un marco metálicos unidos entre sí por soldadura. La longitud de la parrilla es mayor que la base horizontal de la cámara de combustión. La parrilla va desde el fondo del tubo vertical y sale de la cámara de combustión.

La ceniza y el carbón residual sin reaccionar pasan a través de los agujeros de la rejilla de la parrilla, y son depositados en el cenicero metálico removible (3) de geometría semicircular de radio igual a la base inferior del cuerpo horizontal de la cámara de combustión.

4. Estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos con mecanismo de faldas y distribuidor de llama, tal y como se reclama en la reivindicación 1, se caracteriza por dos hornillas (6 y 7) para soporte de utensilios de cocción con tapas metálicas, una de alta (6) y otra de media-baja potencia (7). Cada hornilla está conformada por un mecanismo de falda (15) o superficie lateral de material. La base de la hornilla de alta potencia (6) está acoplada a la base superior del cuerpo distribuidor de llama (4) y conforma la tapa del inicio del ducto de circulación de gases. La sección de apoyo de los utensilios de cocción en la hornilla de media potencia es menor (diámetro del agujero mayor) (7) con respecto a la hornilla de alta potencia.

5. Estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos con mecanismo de faldas y distribuidor de llama, tal y como se reclama en la reivindicación 1, es caracterizada por el ducto de circulación de gases (5) de sección transversal constante o variable. Las bases metálicas de las hornillas (6 y 7) hacen las veces de tapa (sello) superior del ducto. La sección del ducto de circulación de gases es constante cuando los utensilios de cocción o tapas apoyan en las bases de las hornillas. El área de la sección transversal del ducto varía en la hornilla de media potencia (7), con utensilios de cocción que ingresan al ducto de circulación de gases,

reduciendo el área de sección transversal, y aumentando el área de transferencia de calor en la superficie lateral de los utensilios de cocción en la hornilla de media-baja potencia (7). La menor área transversal en (7) no afecta el flujo de gases por su menor densidad asociada a la mayor temperatura de los gases.

6. Estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos con mecanismo de faldas y distribuidor de llama, se caracteriza por una carcasa metálica (8) que cubre el sistema reclamado en la reivindicación 1. La carcasa está conformada por una lámina superior que hace parte de la superficie de trabajo que contiene las dos hornillas (6 y 7), laminas en todo el perímetro vertical y una malla protectora en la sección inferior. La lamina vertical tiene agujeros equiespaciados en la parte superior (14).

7. Estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos con mecanismo de faldas y distribuidor de llama, tal y como se reclama en la reivindicación 1, se caracteriza porque el cuerpo distribuidor de llama y gases (4) dirige a través de los agujeros laterales la llama y gases calientes a la primera (6) y segunda hornilla (7), generando hornillas de fuego alto y medio-bajo para la cocción de alimentos con una sola cámara de combustión (1).

8. Estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos con mecanismo de faldas y distribuidor de llama, tal y como se reclama en la reivindicación 1, se caracteriza porque en el caso de tener cuatro hornillas posee dos cámaras de combustión (1) independientes.

9. Estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos con mecanismo de faldas y distribuidor de llama, tal y como se reclama en la reivindicación 1, está caracterizada por el sistema de aislamiento y refrigeración de la carcasa (8), el cual está conformado por placas cerámicas, cámaras de aire, mantas de baja conductividad térmica, y los agujeros equiespaciados de enfriamiento convectivo (14).

10. Estufa eco-eficiente para la cocción de alimentos con mecanismo de faldas y distribuidor de llama, tal y como se reclama en la reivindicación 1, está caracterizada porque la toma de aire primario de la cámara de combustión se encuentra permanentemente abierta durante la operación de la estufa, la toma de aire está ubicada en el tubo horizontal de la cámara de combustión (1).

Bibliografía

1. Ramírez Quirama, J.F., Taborda Vergara, A.L.: Consumo de leña en fogones tradicionales en familias campesinas del oriente antioqueño. 9, 99-114 (2014).
2. Panwar, N.L., Rathore, N.S.: Design and performance evaluation of a 5kW producer gas stove. *Biomass and Bioenergy*. 32, 1349–1352 (2008).
3. Kumar, M., Kumar, S., Tyagi, S.K.: Design, development and technological advancement in the biomass cookstoves: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 26, 265–285 (2013).
4. Williams, A., Jones, J.M., Ma, L., Pourkashanian, M.: Pollutants from the combustion of solid biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*. 38, 113–137 (2012).
5. Lombardi, F., Riva, F., Bonamini, G., Barbieri, J., Colombo, E.: Laboratory protocols for testing of Improved Cooking Stoves (ICSs): A review of state-of-the-art and further developments. *Biomass and Bioenergy*. 98, 321–335 (2017).
6. Fundación Natura: Estufas eficientes de leña: Una parte de la solución a los problemas de la cocción doméstica en el medio rural colombiano.
7. Pérez-Bayer, J.F., Graciano-Bustamante, D.S., Gómez-Betancur, J.A.: Caracterización energética y emisiones de una estufa de cocción ecoeficiente con biomasa a diferentes altitudes. 16, 227-237 (2013).
8. Chettri, N., Sharma, E., Deb, D.C., Sundriyal, R.C.: Impact of Firewood Extraction on Tree Structure, Regeneration and Woody Biomass Productivity in a Trekking Corridor of the Sikkim Himalaya. *Mountain Research Development*. 22, 150–158 (2002).
9. Bhatt, B.P., Sachan, M.S.: Firewood consumption pattern of different tribal communities in Northeast India. *Energy Policy*. 32, 1–6 (2004).
10. Anoop, P.S., Scaria, D., Nithya, N.S., Prahitha, M.: Energy Consumption Benchmark Studies On Parboiled Rice Cooking In Kerala. *Energy Management Centre-Kerala*. (2005).
11. Jetter, J., Zhao, Y., Smith, K.R., Khan, B., Yelverton, T., DeCarlo, P., Hays, M.D.: Pollutant Emissions and Energy Efficiency under Controlled Conditions for Household Biomass Cookstoves and Implications for Metrics Useful in Setting International Test Standards. *Environmental Science & Technology*. 46, 10827–10834 (2012).
12. Ministerio de Minas y Energías: Programa De Uso Racional Y Eficiente De Energía Y Fuentes No Convencionales – PROURE. República de Colombia. (2010).
13. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: Lineamientos para un programa nacional de estufas eficientes para cocción con leña. República de Colombia. (2015).
14. Ministerio de Minas y Energía: Plan de acción indicativo de eficiencia energética - PAI PROURE 2017-2022. República de Colombia. (2017).

15. Sutar, K.B., Kohli, S., Ravi, M.R., Ray, A.: Biomass cookstoves: A review of technical aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 41, 1128–1166 (2015).
16. Jetter, J.J., Kariher, P.: Solid-fuel household cook stoves: Characterization of performance and emissions. *Biomass and Bioenergy*. 33, 294–305 (2009).
17. Valerio, F.: Environmental and health impacts of wood combustion to produce heat and power. *Epidemiologia e Prevenzione*. 36, 16-26 (2012).
18. Kocbach Bølling, A., Pagels, J., Yttri, K.E., Barregard, L., Sallsten, G., schwarze, P.E., Boman, C.: Health effects of residential wood smoke particles: the importance of combustion conditions and physicochemical particle properties. *Particle and Fibre Toxicology*. 6, 29 (2009).
19. Lambe, F., Ochieng, C.: Improved cookstoves in Central America: health impacts and uptake. Stockholm Enviromental Institute. (2015).
20. Calle Rubio, M., Rodríguez Hermosa, J.L., Álvarez-Sala Walther, J.L.: EPOC en individuos no fumadores. *Archivo de Bronconeumología*. 46, 16–21 (2010).
21. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental. República de Colombia. (2012)
22. World Bank Group: Environmental Health Costs in Colombia The Changes from 2002 to 2010. (2014).
23. World Bank Group: Colombia: Strengthening Environmental and Natural Resources Institutions. Study 2: Environmental Health in Colombia: An Economic Assessment of Health Effects. (2012).
24. Sánchez-Triana, E., Kulsum, A., Yewande, A.: Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia: Un análisis ambiental del país para Colombia. Banco Mundial. (2007).
25. Organización Panamericana de la Salud. Colombia: Contaminación del aire en los hogares. (2015).
26. Global Alliance for Clean Cook Stoves. The Water Boiling Test Version 4.2.3. (2014).
27. Varunkumar, S.: Packed bed gasification-combustion in biomass based domestic stoves and combustion systems. Tesis Doctoral. Indian Institute of Science. (2014). <http://hdl.handle.net/2005/2338>