



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
INGENIERÍA MECÁNICA

Estudio comparativo de la eficiencia térmica y poder calorífico de briquetas hechas de residuos sólidos reciclables para su utilización como combustible en la cocina limpia ONIL con respecto a la leña de madero negro.

AUTORES

Br. Jordan Steven Sánchez Chavarría

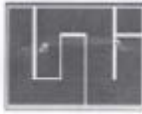
Br. Carlos José Gutiérrez González

Br. Víctor Manuel Bermúdez Arias

TUTOR

Ing. María Teresa Castillo Rayo

Managua, 16 de Marzo de 2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

SÁNCHEZ CHAVARRÍA JORDAN STEVEN

Carne: **2015-0582U** Turno **Diurno** Plan de Estudios **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los uno días del mes de septiembre del año dos mil veinte y uno.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





Lider en Ciencia y Tecnología

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA hace constar que:

GUTIÉRREZ GONZÁLEZ CARLOS JOSÉ

Carne: 2015-0174U Turno Nocturno Plan de Estudios 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es EGRESADO de la Carrera de INGENIERÍA MECANICA.

Se extiende la presente CARTA DE EGRESADO, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los uno días del mes de febrero del año dos mil veinte y uno.

Atentamente

Ing. Wilmer José Gutiérrez
Secretario de





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

BERMÚDEZ ARIAS VICTOR MANUEL

Carne: **2015-0127U** Turno **Diurno** Plan de Estudios **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los uno días del mes de septiembre del año dos mil veinte y uno.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad



Managua, 09 de junio de 2022

Brs. Víctor Manuel Bermúdez Arias
Carlos José Gutiérrez González
Jordan Steven Sánchez Chavarría

Por este medio hago constar que el protocolo de su trabajo monográfico titulado **Estudio comparativo de la eficiencia térmica y poder calorífico de briquetas hechas de residuos sólidos reciclables para su utilización como combustible en la cocina limpia ONIL con respecto a la leña de madero negro**, para obtener el título de **Ingeniero Mecánico** y que contará con la Ing. **María Teresa Castillo Rayo** como tutor, ha sido aprobado por esta Decanatura.

Cordialmente,


MSc. Luis Alberto Chavarría Valverde
Decano



C/c Archivo
LCHV/art

Aprobación de monografía

En la ciudad de Managua a los 31 días del mes de enero del 2023

Yo, María Teresa Castillo Rayo. He leído, asesorado y aprobado el proyecto monográfico titulado:
Estudio comparativo de la eficiencia térmica y poder calorífico de briquetas hechas de residuos sólidos reciclables para su utilización como combustible en la cocina limpia ONIL con respecto a la leña de madero negro.

Realizado por los bachilleres:

- Jordán Steven Sánchez Chavarría. No carnet: 2015-0582U
- Carlos José Gutiérrez González. No carnet: 2015-0174U
- Víctor Manuel Bermúdez Arias. No carnet: 2015-0127U

Para que se les sea asignado el jurado calificador para proceder a la realización de la defensa monográfica.

Atentamente:



Ing. María Tereza Castillo Rayo.

Tutor

Dedicatoria

Llenos de regocijo dedicamos este trabajo monográfico primeramente a Dios, por habernos brindando la inteligencia, perseverancia, sabiduría y fortaleza que permitió a cada uno superar las adversidades presentadas a lo largo de nuestras vidas y así hacer posible el encontrarnos concluyendo esta etapa de estudio.

A nuestros padres, quienes con mucho esfuerzo, cariño y paciencia, fueron capaces de formarnos como personas de bien y con buenos valores, por motivarnos a siempre seguir adelante y por siempre haber creído en nosotros.

A esos familiares que ya no nos acompañan en vida pero que cuando les fue posible estuvieron siempre con nosotros.

A nuestra tutora Ing. María Teresa Castillo Rayo, quien en todo momento nos brindó de su ayuda y oportuno apoyo para hacer posible el desarrollo de nuestro trabajo monográfico.

A cada docente que nos proporcionó parte de sus conocimientos a través de las clases impartidas durante cursábamos la carrera, en especial al docente Pablo Mota, quien nos apoyó incluso en ciertos aspectos del presente trabajo

Resumen

En el presente estudio se tiene como fin elaborar dos tipos de briquetas de aserrín con cáscara de plátano y de aserrín con cartón para emplearse en una cocina limpia marca ONIL como sustituto de la leña, posterior a esto se utilizó una bomba calorimétrica marca Mahler para determinar el poder calorífico de la briqueta que mejor comportamiento presentó de cada tipo y por último se ejecutó una prueba de ebullición de agua de nombre Water Boiling Test (WBT), la cual consistió en simular el proceso de cocción de agua, como combustible de ambos tipos de briquetas de manera independiente, se usó leña de madero negro, con el propósito de comparar los resultados obtenidos en el WBT, del combustible tradicional usado en estas cocinas (la leña) respecto a las briquetas fabricadas y así determinar si estas últimas superan en cuanto a eficiencia térmica, a la leña de madero negro.

Tras realizado el estudio se determinó que de los dos tipos de briquetas fabricadas, la que mejores resultados presentó fue la de 70% aserrín y 30% cartón, con un poder calorífico de 26.67 MJ/Kg, la de menor utilidad fue la briqueta compuesta de 65% aserrín y 35% cáscara de plátano, con un poder calorífico de 36.40 MJ/Kg, sin importar que el poder calorífico de esta última fue mayor al de la briqueta de aserrín con cartón, su fragilidad, tiempo prolongado de secado y cantidad de humo que estas generaban, era mayor debido a que acumulaban más humedad por la cáscara de plátano. Los valores de eficiencia térmica de la cocina empleando como combustible las briquetas respecto a la leña de madero negro, fueron menores, esto se debió a que la cocina ONIL no está diseñada para utilizar en ella briquetas como combustible ya que la cámara de combustión de esta es muy pequeña. Las briquetas pueden ser usadas como combustible sólido en sustitución de la leña, de este modo se reduciría la tala de árboles y se vería beneficiada la industria maderera con el aprovechamiento del aserrín que normalmente se desecha, creando nuevos fuentes de trabajo y mejorando el medio ambiental, al utilizar el aserrín como combustibles y no leña.

Índice de contenido

I.	Introducción	1
II.	Objetivos	2
	2.1. Objetivo general	2
	2.2. Objetivos específicos	2
III.	Justificación	3
IV.	Marco teórico	4
	4.1. Biomasa	4
	4.1.1. Ventajas de la biomasa	4
	4.1.2. Desventajas de la biomasa	5
	4.2. Definición de briqueta	5
	4.3. Aprovechamiento de las briquetas	6
	4.4. Composición de la briqueta	6
	4.4.1. Residuos solidos	7
	4.5. Propiedades físicas de las briquetas	8
	4.5.1. Formas y dimensiones de las briquetas	8
	4.5.2. Densidad en briquetas	8
	4.5.3. Humedad en briquetas	8
	4.6. Ventajas del uso de briquetas	9
	4.7. Definición de bomba calorimétrica	9
	4.8. Aplicaciones de la bomba calorimétrica	9
	4.9. Definición de cocina mejorada / limpia	10
	4.9.1 Descripción de cocina ONIL	10
	4.10. Definición de leña	11
	4.11. Origen, distribución y ubicación del madero negro	11
	4.11.1. Descripción física del madero negro	11
	4.11.2. Utilización del madero negro	12
	4.12. Descripción de la prueba de ebullición de agua (WBT)	12
	4.12.1. Fases de desarrollo	12

V.	Metodología de investigación.....	14
5.1.	Tipo de Enfoque	14
5.2.	Tipo de estudio.....	14
5.3.	Área de Investigación	14
5.4.	Diseño de investigación	15
5.5.	Población	15
5.6.	Muestra	15
5.7.	Tipo de muestreo	15
5.8.	Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	15
5.8.1.	Técnica.....	15
5.8.2.	Instrumentos	16
5.9.	Análisis de la información.....	16
5.10.	Operacionalización de variables.....	17
VI.	Desarrollo del tema	18
6.1.	Definición y composición porcentual de las briquetas	18
6.1.1.	Elaboración de briquetas	18
6.1.2.	Ensayos a los que fueron sometidas las briquetas	20
6.1.3.	Resultado de la etapa de ensayo de las briquetas.....	21
6.2.	Calculo del poder calorífico de las briquetas elaboradas	23
6.2.1.	Equipos y materiales para la determinación de poder calorífico	23
6.2.2.	Procedimiento para la determinación del poder calorífico en una bomba calorimétrica Mahler	26
6.2.3.	Protocolo de trabajo utilizado en la bomba calorimétrica de Mahler	28
6.2.4.	Resultado de análisis de poder calorífico de las briquetas	30
6.2.5.	Poder calorífico de las briquetas.....	37
6.3.	Determinación de la eficiencia térmica de las briquetas y leña de madero negro en cocina ONIL	37
6.3.1.	Materiales y equipos utilizados en la prueba de ebullición de agua	37
6.3.2.	Prueba de ebullición de agua (WBT).....	38

6.3.3. Variables consideradas para la obtención de la eficiencia térmica en los combustibles, a través de la prueba de ebullición de agua.....	41
VII. Resultados	46
7.1. Tiempo para llevar a ebullición 5 litros de agua.....	46
7.2. Consumo específico de combustible	47
7.3. Tasa de combustión.....	48
7.4. Potencia Térmica entregada del combustible hacia la estufa.....	48
7.5. Eficiencia Térmica de la estufa	50
VIII. Conclusiones	52
VIII. Recomendaciones	54
IX. Bibliografía.....	55
X. Anexos.....	57

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Briqueta de aserrín.....	6
Ilustración 2. Tipo de onda del cartón corrugado	7
Ilustración 3. Cocina ONIL	10
Ilustración 4. Prueba de ebullición de agua WBT	13
Ilustración 5. Diagrama de flujo para la fabricación de briquetas.....	18
Ilustración 6. Bomba Calorimetrica de Mahler.....	24
Ilustración 7. Calorímetro I: S.Co.....	24
Ilustración 8. Balanza Satorius.....	24
Ilustración 9. Balanza METTLER TOLEDO	24
Ilustración 10. Molino IKA.....	25
Ilustración 11. Prensa Pellet Press	25
Ilustración 12. Muestra de briqueta de Aserrín y Cascara de Plátano.....	26
Ilustración 13. Muestra de briqueta de aserrín y cartón corrugado.....	26
Ilustración 14. Hilo de ignición PHYWE 06104-00.....	26
Ilustración 15. Esquema de bomba calorimétrica y calorímetro	30

Índice de tablas

Tabla 1. Operación de variables	17
Tabla 2. Clasificación de la briqueta según el resultado presentado tras prueba física	21
Tabla 3. Clasificación de la briqueta según el resultado presentado tras prueba de encendido	21
Tabla 4. Resultados de la prueba física a las que fueron sometidas las briqueta.	22
Tabla 5. Resultados de la prueba de encendido a las que fueron sometidas las briquetas	22
Tabla 6. Cantidad de los materiales utilizados en el análisis de poder calorífico de las muestras.....	30
Tabla 7. Temperaturas obtenidas durante la combustión de la muestra de aserrín con cascara de plátano	31
Tabla 8. Temperaturas obtenidas durante la combustión de la muestra de aserrín con cartón	31
Tabla 9. Masa residual del hilo de ignición tras la combustión de las muestras	31
Tabla 10. Datos usados en la fórmula del poder Calorífico de cada muestra.....	35
Tabla 11. Valores obtenidos del WBT ver 4.2.3 de la leña de Madero Negro.....	43
Tabla 12. Valores obtenidos del WBT ver 4.2.3 de la Briqueta de Aserrín con Cáscara de Plátano	44
Tabla 13. Valores obtenidos del WBT ver 4.2.3 de la Briqueta de Aserrín con Cartón.....	45

Índice de gráficos

Gráfico 1. Comparación del tiempo empleado para llevar a ebullición 5 L de agua.....	46
Gráfico 2: Comparación de combustible específico consumido en las fases de inicio en frío, inicio en caliente y fase a fuego lento.....	47
Gráfico 3: Comparación de tasa de combustión de la leña de madero negro, briquetas de aserrín con cáscara de plátano y aserrín con cartón.....	48
Gráfico 4: Potencia de los combustibles en la fase de inicio en frío, fase en caliente y fase a fuego lento.....	49
Gráfico 5: Combustible consumido en la fase de inicio en frío, fase en caliente y fase a fuego lento.....	49
Gráfico 6 comparación de la Eficiencia térmica de la estufa en las fases de inicio en frío, inicio en caliente y a fuego lento.	50
Gráfico 7 comparación de la eficiencia Térmica y Poder calorífico de los combustibles.	51

I. Introducción

El progreso tanto industrial como social en Nicaragua ha generado cambios significativos en el medio ambiente, naturaleza y bosques, siendo estas las principales fuentes de materia prima y recursos para los diferentes sectores económicos del país, por tanto, el aprovechamiento de ciertos recursos como los desperdicios de madera, trae consigo beneficios por su utilización en la elaboración de briquetas lo que permite un mejor manejo de estos recursos sólidos, en beneficio del medio ambiente y en el beneficio de usuarios que utilizan cocinas de leña.

Los residuos sólidos tienen potencial para ser transformados y aprovechado de diferentes formas, actualmente en las industrias alimenticias, agrícolas, agroindustriales y sector maderero de nuestro país, se generan residuos y estos son considerados agentes contaminantes, debido a sus características y practicas productivas, en las que quizás las entidades no cuentan con normativas, regulaciones y leyes establecidas que generen un sistema basado en la gestión ambiental y que por ende minimicen su daño.

En el caso de los aserraderos que producen grandes cantidades de desperdicios como el aserrín, pulpas, etc., generan plagas de hongos e insectos por la capacidad que estas tienen de captar humedad, sin embargo, si a estos residuos se les da el tratamiento correcto, podrían ser aprovechados para fabricación de briquetas, producidas a base de aserrín y diferentes tipos de aglutinantes, teniendo como resultado un biocombustible sólido.

En el presente estudio se realizó la selección de los residuos sólidos reciclables que formarían parte de las briquetas que se elaboraron, posterior a esto se definió la cantidad porcentual idónea de los componentes que las conformaron, se midió el poder calorífico, con una bomba calorimétrica, luego se determinó la eficiencia térmica de las briquetas elaboradas y la de la leña *Gliricidia sepium* (madero negro) empleadas en la cocina limpia ONIL y por último se compararon los datos de poder calorífico y eficiencia térmica de los productos.

II. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Realizar un estudio comparativo de la eficiencia térmica y poder calorífico de briquetas elaboradas a base de aserrín, con residuos sólidos como aglutinantes para su utilización como combustible en la cocina limpia ONIL con respecto a la leña de madero negro.

2.2. Objetivos específicos

- Definir la composición porcentual de las briquetas hechas a base de aserrín con aglutinantes de cáscara de plátano, como de cartón ondulado.
- Calcular el poder calorífico de las briquetas elaboradas, utilizando la bomba calorimétrica.
- Determinar la eficiencia térmica de las briquetas y la leña de madero negro en la cocina limpia ONIL.
- Comparar los datos de poder calorífico y eficiencia térmica entre las briquetas a base de aserrín con aglutinante de cáscara de plátano, como de cartón ondulado y la leña de madero negro.

III. Justificación

Conforme al aumento de la población mundial se incrementa la generación de residuos sólidos y su tratamiento se ausenta de las prácticas del ser humano o no se aplica de forma correcta, tanto en los hogares como a nivel industrial, acabando estos desperdicios en vertederos o incineradoras, afectando de gran modo al medio ambiente debido al potencial contaminante en el aire y los suelos, la acumulación de residuos de distintas procedencias se combinan y generan una alteración en las propiedades tanto física como química. Esta alteración reduce la fertilidad del suelo, retención de agua, porosidad y capacidad de aireación. Las aguas tanto superficial como subterráneas se ven afectadas por el líquido percolado producto de la descomposición de los desperdicios que son llevados por los drenajes naturales a ríos y quebradas. El aire se ve perjudicado debido a la acumulación de grandes cantidades de residuos en un mismo lugar, esto conlleva a la descomposición lenta y con baja o nula presencia de oxígeno.

El depósito de residuos trae consigo criaderos de insectos y roedores que afectan directamente al ser humano produciendo enfermedades como el dengue, salmonela, cólera, entre otras. El aglomeramiento de desechos perjudica al ser humano con la acumulación de aserrín sin un correcto tratamiento, pues este afecta al ser humano con enfermedades cardiopulmonares, asma, bronquitis crónica, antracosis, cáncer y otros problemas respiratorios, que han sido atribuidos producto de la exposición de este residuo.

Como respuesta a la situación anteriormente mencionada, se propone el presente estudio, que consiste en determinar y comparar la eficiencia térmica y el poder calorífico de briquetas hechas de residuos sólidos reciclables. para su utilización como combustible en la cocina limpia ONIL con respecto a la leña *Gliricidia sepium* (madero negro).

IV. Marco teórico

4.1. Biomasa

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, macadamia (un tipo de nuez), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde el descubrimiento del fuego. Desde la prehistoria, la forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa: quemándola en hogueras a cielo abierto, en hornos y cocinas artesanales e, incluso, en calderas, convirtiéndola en calor para suplir las necesidades de calefacción, cocción de alimentos, producción de vapor y generación de electricidad. (BUN-CA, 2002, pág. 4)

4.1.1. Ventajas de la biomasa

- La biomasa es una fuente renovable de energía y su uso no contribuye a acelerar el calentamiento global; de hecho, permite reducir los niveles de dióxido de carbono y los residuos de los procesos de conversión, aumentando los contenidos de carbono de la biosfera.
- La captura del metano de los desechos agrícolas y los rellenos sanitarios, y la sustitución de derivados del petróleo, ayudan a mitigar el efecto invernadero y la contaminación de los acuíferos.
- Los combustibles biomásicos contienen niveles insignificantes de sulfuro y no contribuyen a las emanaciones que provocan “lluvia ácida”.
- La combustión de biomasa produce menos ceniza que la de carbón mineral y puede usarse como insumo orgánico en los suelos.
- La conversión de los residuos forestales, agrícolas y urbanos para la generación de energía reduce significativamente los problemas que trae el manejo de estos desechos.

- La biomasa es un recurso local que no está sujeto a las fluctuaciones de precios de la energía, provocadas por las variaciones en el mercado internacional de las importaciones de combustibles. En países en desarrollo, su uso reduciría la presión económica que impone la importación de los derivados del petróleo.
- El uso de los recursos de biomasa puede incentivar las economías rurales, creando fuentes de trabajo y reduciendo las presiones económicas sobre la producción agropecuaria y forestal.
- Las plantaciones energéticas pueden reducir la contaminación del agua y la erosión de los suelos; así como a favorecer el mantenimiento de la biodiversidad. (BUN-CA, 2002, pág. 26)

4.1.2. Desventajas de la biomasa

- Por su naturaleza, la biomasa tiene una baja densidad relativa de energía; es decir, se requiere su disponibilidad en grandes volúmenes para producir potencia, en comparación con los combustibles fósiles, por lo que el transporte y manejo se encarecen y se reduce la producción neta de energía. La clave para este problema es ubicar el proceso de conversión cerca de las fuentes de producción de biomasa, como aserraderos, ingenios azucareros y granjas, donde los desechos de aserrío, el bagazo de caña y las excretas de animales están presentes.
- Su combustión incompleta produce materia orgánica, monóxido de carbono (CO) y otros gases. Si se usa combustión a altas temperaturas, también se producen óxidos de nitrógeno. A escala doméstica, el impacto de estas emanaciones sobre la salud familiar es importante. (BUN-CA, 2002, pág. 26)

4.2. Definición de briqueta

La briqueta es un biocombustible sólido densificado que se produce por compactación de biomasa vegetal o de residuos de ella, incluido polvo de lijado residuos vegetales agrícolas, o incluso carbón vegetal. También puede

fabricarse a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, de mezclas de biomasa vegetal picada con lodos de depuradora. (Seoánez, 2013, pág. 251)



Ilustración 1. Briqueta de aserrín

4.3. Aprovechamiento de las briquetas.

Según el autor Seoánez (2013) “Las briquetas se utilizan tanto a nivel industrial como a nivel doméstico, y se producen para valorizar residuos de la madera o de sus industrias para reducir costos, pues se densifica la biomasa residual.” (pág. 251)

4.4. Composición de la briqueta

Es necesario incrementar su potencia calorífica cuando el objetivo de su uso lo requiera. Para incrementar la potencia calorífica de las briquetas se añaden aditivos a base de productos de gran poder calorífico. Estos aditivos son muy variados, siendo los más utilizados sobre todo la parafina, y también el almidón, el bórax, ciertas colas, nitratos, etc. (Seoánez, 2013, pág. 254)

4.4.1. Residuos solidos

Se entenderá como residuos sólidos a cualquier objeto o material residual peligroso o no peligroso que se produce tras la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo y que pueden ser susceptibles de aprovechamiento o transformación para darle otra utilidad o uso directo. (Política Nacional sobre gestión integral de residuos sólidos, 2005)

4.4.1.1. Aserrín

Según La Real Academia Española (2005) “El serrín o aserrín es el desperdicio del proceso de serrado de la madera.”

4.4.1.2. Aglutinante

De acuerdo con Seoáñez (2013) “Es un aditivo para facilitar la aglomeración de materias primas y de diversos productos.” (pág. 473)

4.4.1.3. Cartón corrugado

El cartón corrugado según la Cámara de Comercio de Bogotá (2010) “Está hecho de material de celulosa, que consiste de una hoja de papel con la cual se forma una “flauta” (papel ondulado) en una máquina corrugadora”. En ambos lados de la flauta se adhieren hojas planas de papel, conocidas como “liner”, su resistencia varía de acuerdo con el tipo de onda utilizado: A (5.0 mm), B (3.0 mm), C (4.0 mm), E (1.5 mm), (Ver figura 2)





Flauta	Gráfica de onda
A	
C	
B	
E	

Ilustración 2. Tipo de onda del cartón corrugado (Camera de comercio de Bogota, 2010)

4.4.1.4. Cáscara de plátano

La cáscara representa entre el 35% y el 40% del plátano, residuo potencialmente aprovechable en la fabricación de diferentes productos de valor agregado como es el almidón. Se ha considerado el uso de las cáscaras de plátano como materia prima para procesos de generación de energía debido a su relativo alto poder calorífico (16,12 MJ/kg) y contenido medio de cenizas (9,92% base seca), en comparación con otras materias primas de origen biomásico (Fasina, 2014, pág. 55).

4.5. Propiedades físicas de las briquetas

4.5.1. Formas y dimensiones de las briquetas

Las briquetas pueden ser cilíndricas, de sección hexagonal, octogonal, cuadrada o rectangular, o con las esquinas biseladas. También pueden ser de las mismas secciones, pero además huecas, e incluso de sección de $\frac{1}{4}$ de cilindro, con estrías en la parte redondeada. La forma dependerá del sistema y dibujo del pistón de briquetado y de la matriz final. La mayoría de las briquetas suelen ser de forma cilíndrica, con diámetros entre 7 y 9 cm, y de longitud entre 30 y 80 cm. (Seoáñez, 2013, pág. 252)

4.5.2. Densidad en briquetas

Uno de los principales propósitos de hacer briquetas es densificar la materia prima, ya que comprimir las reduce volumen y abarata bastante los costos, aunque estos se incrementan algo por la parte que corresponde a su fabricación. La densidad de las briquetas dependerá de la materia prima utilizada, del nivel de secado y de la presión de compactación que se aplique con la briquetadora. (Seoáñez, 2013, pág. 253)

4.5.3. Humedad en briquetas

La humedad inicial de las briquetas dependerá de la humedad con que se suministra la materia prima. Si los componentes de la briqueta han sido desecados previamente a niveles inferiores al 12 % de humedad, después del

proceso de briquetado la humedad será inferior al 10 % (puede oscilar entre el 7 y el 10 %). Una vez fabricada la briqueta, si se envasa en paquetes de plástico, su nivel de secado se mantiene o desciende ligeramente. (Seoáñez, 2013, pág. 253).

4.6. Ventajas del uso de briquetas

- Muy poca humedad lo cual favorece al encendido.
- Limpio, crea muy poca ceniza (esto favorece a calderas y generadores de vapor ya que no hay incrustaciones en la tubería de la membrana de agua).
- Fáciles de almacenar (se reduce mucho el costo por almacenamiento).
- Bajísimo costo por producción (ya que se producen a través de residuos) (Roque Moya, 2017, pág. 19)

4.7. Definición de bomba calorimétrica.

La bomba calorimétrica permite la determinación del poder calorífico específico de una muestra, llevando a cabo su combustión en atmósfera de oxígeno. Para ello es necesario conocer la capacidad calorífica del sistema, la masa de muestra y el incremento de temperatura que origina la combustión en la celda de medición del calorímetro. (Universidad Española de Alicante, 2022)

4.8. Aplicaciones de la bomba calorimétrica.

- Estudio de combustibles sólidos y líquidos
- Estudio de explosivos y propelentes
- Estudios nutricionales y metabólicos
- Estudio de materiales de desecho.
- Estudios fundamentales y de valor educacional. (Universidad Española de Alicante, 2022)

4.9. Definición de cocina mejorada / limpia

Una cocina mejorada, también conocida como estufa mejorada o ecología, es un sistema de cocción de alimentos que permite ahorrar combustible (generalmente leña) y a la vez reduce significativamente la cantidad de emisiones nocivas para la salud humana. (PROLEÑA, 2013, pág. 6)

4.9.1 Descripción de cocina ONIL

Es una cocina formada por tres piezas modulares, lo que facilita su construcción y manejo. Cuenta con chimenea y aros de distintos tamaños para facilitar cocinar con diferentes tipos de ollas, con capacidad estimada de hasta 12 litros. Viene equipada con una mesa de concreto en los laterales que permite cocinar de forma cómoda. Destaca principalmente por el poco humo que produce aunque también consigue un ahorro de leña considerable. (PROLEÑA, 2013, pág. 19)



Ilustración 3. Cocina ONIL (PROLEÑA, 2013)

4.10. Definición de leña

La leña es la madera lignificada procedente de los árboles o de los arbustos, troceada o no, destinada a la combustión para obtener calor. La leña ha sido a lo largo de la historia de la humanidad, el combustible básico para calentar o elaborar alimentos, y para proporcionar calor a la vivienda y a ciertas actividades manufactureras.

Los bosques proporcionan leñas con biomasa caída al suelo, cortando matorrales, ramas y árboles. En la actualidad, la leña sigue siendo en muchos países del mundo poco desarrollado el combustible básico para la cocción de alimentos en los hogares. En los países más desarrollados se utiliza la leña para proporcionar calor en las chimeneas. (Seoáñez, 2013, pág. 132)

4.11. Origen, distribución y ubicación del madero negro.

El madero negro (*Gliricidia Sepium*) es descrito como uno de los árboles más corrientes y mejor conocidos de muchas partes de América central. La planta crece bien en condiciones de humedad y calor entre los 22 °C hasta 30 °C, con una precipitación de 800 a 2300 mm por año, floreciendo en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1300 o incluso los 1600 msnm. (Gomez y otros, 2002, pág. 15)

4.11.1. Descripción física del madero negro

La *Gliricidia Sepium* es un arbusto o árbol mediano de corteza gris, de estriado leve. Hojas pinnadas verde pálido, yemas con aspecto dorado. Racimos axilares o terminales con muchas flores que caducan dejando pequeñas vainas en formación. Se reconoce por sus corolas en forma de mariposas rosadas sus vainas con una fina nervadura, la corteza interna con olor y sabor a rábano. (Gomez y otros, 2002, pág. 15)

4.11.2. Utilización del madero negro

Es usado para leña, forraje, construcción de poste, horcón y artesanía. Buena para la producción de abono verde. Se usa en asocio con cultivos. Usado también en planes de reforestación y en la recuperación de suelos degradados. Las hojas, raíces, semillas y corteza son tóxicas para los roedores y perros, por lo que su corteza u hojas secas, molidas y mezcladas con maíz cocido se usan como cebo para ratas. Especie ornamental pero poco usada para ello. Las hojas maceradas se usan para combatir los hongos dermales. (Quezada y otros, 2010, pág. 65).

Su leña es pesada y posee un poder calorífico desde 4050 hasta 4900 kcal/kg (16945.2 kJ/kg hasta 20500 kJ/kg) y con una densidad de 0.803 g/cm³. (Gomez y otros, 2002, pág. 18)

4.12. Descripción de la prueba de ebullición de agua (WBT)

Este test está diseñado para calcular el rendimiento energético de la cocina en términos de transferencia de calor y eficiencia de la combustión. Permite determinar la eficiencia del proceso mediante el cual una cocina emplea la energía contenida en el combustible en calentar el agua en una olla. (Clean Cooking Alliance [CCA], 2014)

4.12.1. Fases de desarrollo

El WBT consta de tres fases que siguen inmediatamente una a la otra. Estos se discuten a continuación y se muestra gráficamente en la ilustración 4.

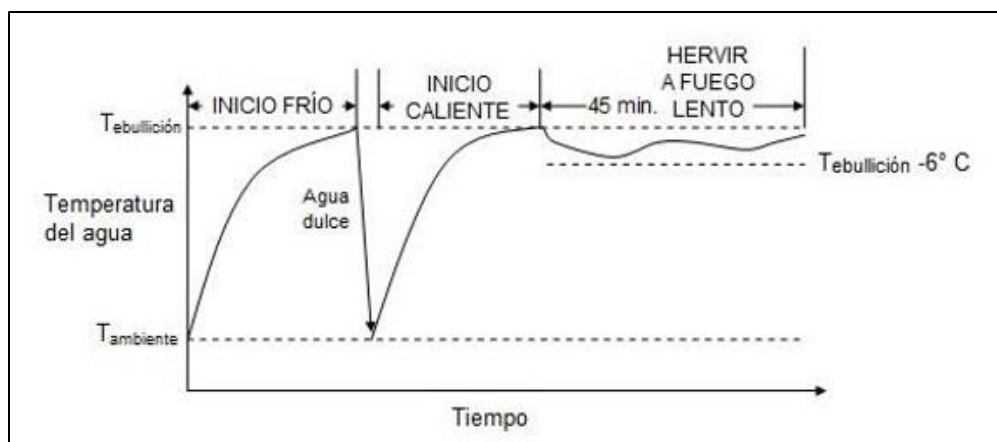


Ilustración 4. Prueba de ebullición de agua WBT. (CCA, 2014)

4.12.1.1. Fase 1: Inicio en frío de alta potencia

Para la fase de alta potencia de inicio frío, el evaluador comienza con la estufa a temperatura ambiente y se utiliza combustible de un paquete previamente pesado para hervir una cantidad medida de agua en una olla estándar. El evaluador luego reemplaza el agua hervida con una nueva olla de agua a temperatura ambiente para realizar la segunda fase.

4.12.1.2. Fase 2: Inicio en caliente de alta potencia

La fase de alta potencia de inicio caliente se lleva a cabo después de la primera fase, mientras la estufa está caliente. Una vez más, el evaluador utiliza combustible de un paquete previamente pesado para hervir una cantidad medida de agua en una olla normal. Al repetir la prueba con una estufa caliente ayuda a identificar las diferencias en el rendimiento entre una estufa cuando esta fría y cuando está caliente. Esto es particularmente importante para las estufas con elevada masa térmica, ya que las mismas pueden mantenerse calientes durante la práctica.

4.12.1.3. Fase 3: Hervir a fuego lento

La fase de hervir a fuego lento proporciona la cantidad de combustible requerido para 5 litros de agua y por debajo del punto de ebullición a 96 °C durante 45 minutos. Este paso simula el tiempo de cocción de las legumbres o leguminosas comunes en gran parte del mundo. (CCA, 2014, pág. 7)

V. Metodología de investigación

5.1. Tipo de Enfoque

Esta investigación tuvo un enfoque cuantitativo ya que se utilizó como herramienta de análisis la estadística descriptiva para la comparación de datos. Se definió la composición porcentual de las briquetas, se calculó el poder calorífico de éstas, utilizando una bomba calorimétrica y se determinó la eficiencia térmica de las mismas y el de leña de madero negro, en la cocina ONIL, para finalmente comparar los datos de poder calorífico y la eficiencia térmica de los combustibles.

5.2. Tipo de estudio

Según el tiempo de ocurrencia de los hechos y registros de la información el estudio fue Prospectivo, ya que se registró la información en la medida que fueron ocurriendo los hechos.

Según el análisis y el alcance de los resultados el estudio fue Descriptivo ya que se recopiló información de las variables las cuales fueron composición porcentual de las briquetas, aserrín y aglutinante, como también el poder calorífico de las mismas, para luego analizar la eficiencia térmica entre las briquetas y la leña de madero negro en la cocina ONIL.

5.3. Área de Investigación

El área de investigación es aprovechamiento de fuentes alternas de energía, del departamento de Energética de la Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP).

La elaboración de briquetas, y obtención de la eficiencia térmica de estas a través del WBT se realizó en el laboratorio de Turbomáquinas y la obtención del poder calorífico se llevó a cabo en el laboratorio de Biomasa.

5.4. Diseño de investigación

El tipo de diseño es transversal no experimental, debido a que no hubo una manipulación deliberada de las variables, lo que observó, se recopiló y se tomó la información en el momento.

5.5. Población

La población de este estudio son todos los residuos sólidos reciclables que pueden ser utilizados para la fabricación de briquetas, tales como papel, periódico, aserrín, cascaras, pulpas, pedazos de árboles, cartón, etc.

5.6. Muestra

La muestra se basa en 2 tipos de briquetas en las cuales se utiliza como material base aserrín y se emplea como aglutinante cáscara de plátano verde en una y cartón en la otra.

5.7. Tipo de muestreo

El tipo de muestreo para el estudio comparativo del poder calorífico y eficiencia térmica fue **No probabilístico por conveniencia**, esto debido a que las muestras fueron escogidas por la facilidad y la disponibilidad de los recursos con los que se contaba, siendo estos aserrines, cascaras de plátano, cartón, agua y leña de madero negro.

5.8. Técnica e instrumentos de recolección de datos

5.8.1. Técnica

La técnica que se utilizó para recopilar la información necesaria para concretar los objetivos de la investigación fue la observación estructurada, esto debido a que es un método fundamental de la obtención de datos de la realidad, consiste en obtener información mediante la percepción intencionada y selectiva, interpretada de un objeto o de un fenómeno determinado.

5.8.2. Instrumentos

Como instrumentos se utilizaron formatos de recolección de datos los cuales fueron llenados a medida que se desarrollaba el estudio, se registró el porcentaje de aglutinante y aserrín con el que se construyeron las briquetas y su resultado tanto en pruebas físicas como de encendido para determinar cuál combinación presentaba mejores condiciones, de igual modo se registraron los datos necesarios durante la realización del WBT, estos para ser ingresados en la hoja de Excel perteneciente al mismo test y así conocer la eficiencia térmica de las briquetas y leña al ser empleadas en la cocina ONIL.

5.9. Análisis de la información

Los datos para el análisis de resultados fueron obtenidos mediante formatos tanto elaborados por cuenta propia como ya diseñados, una vez recopilada la información, esta fue procesada en el programa Microsoft Excel y se utilizó la hoja de cálculo del Water Boiling Test Versión 4.2.3 perteneciente al test y elaborada en este mismo software, para determinar la eficiencia térmica de la cocina limpia ONIL empleando las briquetas fabricadas y la leña de madero negro, con el fin de comparar los resultados obtenidos de estos combustibles.

5.10. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operación de variables (Elaboración Propia)

Variables	Criterio	Método de recolección de información	Indicador	Instrumento
Composición porcentual de las briquetas.	Evaluación de la estructura y resistencia de una briketa.	Pruebas físicas.	<p>Malo: Cuando la estructura física de la briketa se rompe con facilidad y pierde su forma al momento de ser manipulada.</p> <p>Regular: Cuando la briketa al ser manipulada desprende un poco de material, pero conserva su forma.</p> <p>Excelente: Cuando la briketa al momento de ser manipulada presenta una estructura estable, sin desprendimiento de material y manteniendo su forma.</p>	Calculadora, Balanza digital, Lápiz, Papel, Formatos para recolección de datos de prueba física y de encendido. Observación.
	La capacidad de encendido de la briketa y si la llama se mantiene.	Prueba de encendido.	<p>Buena resistencia física y rapidez para desprender llama.</p> <p>Enciende: Cuando la briketa al ser expuestas al fuego enciende y mantiene su llama hasta calcinarse por completo.</p> <p>No enciende: Cuando la briketa al ser expuesta al fuego enciende por un lapso corto de tiempo y luego se apaga sin esta quemarse por completo.</p>	
Poder calorífico.	Medición del Poder calorífico de los tipos de briquetas	Análisis de laboratorio.	Cantidad de calor que desprende los dos tipos de briketa al ser incineradas.	Bomba calorimétrica.
Eficiencia térmica de las briquetas y la leña de madero.	Calcular la eficiencia térmica tanto de la madera como de los dos tipos de briquetas.	Hoja de cálculo del test de ebullición de agua WBT. (Versión 4.2.3).	Porcentaje de aprovechamiento del combustible.	Formato de recolección de datos.
Datos de poder calorífico y eficiencia térmica.	Comparar los datos de poder calorífico y eficiencia térmica.	Hoja de cálculo del WBT (Versión 4.2.3).	Potencia térmica y eficiencia térmica.	Cocina marca ONIL.

VI. Desarrollo del tema

6.1. Definición y composición porcentual de las briquetas

Para el presente estudio se fabricaron dos tipos de briquetas empleando como material base en común, aserrín. En la primera biqueta se mezcló aserrín con cascara de plátano verde y en el segundo tipo se utilizó aserrín con cartón corrugado como aglutinante.

6.1.1. Elaboración de briquetas

Para seleccionar la cantidad porcentual de los componentes se elaboraron 5 briquetas de cada tipo con diferentes proporciones de aserrín y aglutinante para su posterior evaluación. Para la fabricación de cada una de las briquetas se ejecutó el siguiente proceso:

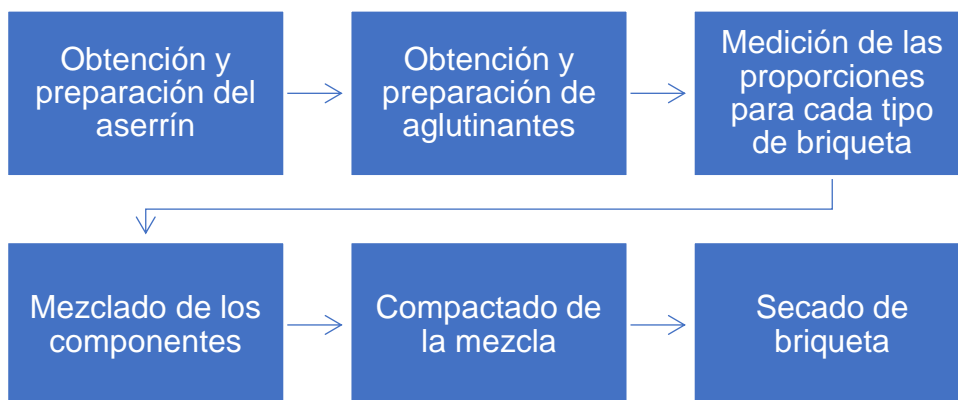


Ilustración 5. Diagrama de flujo para la fabricación de briquetas (Elaboración Propia)

6.1.1.1. Obtención y preparación del aserrín

La obtención del aserrín que formó parte de las briquetas elaboradas se obtuvo del Programa Institucional de Madera (PIMA), ubicado en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacio de la Universidad Nacional de Ingeniería. En dicho taller utilizan distintos tipos de madera para la fabricación de muebles, generándose, residuos de aserrín.

La preparación del aserrín consistió en la separación de las virutas gruesas de las finas, esto se logró mediante el uso de un tamiz para la obtención de granos de tamaño no mayor al de 8 mm de largo con diámetro de 2 a 5 mm, permitiendo así una buena compactación del material a la hora del prensado para la fabricación de briquetas.

6.1.1.2. Preparación de los aglutinantes.

En este proceso la preparación de los aglutinantes se realiza de manera diferente de acuerdo al tipo de aglutinante para cada briqueta.

6.1.1.2.1. Cascara de plátano

La cáscara de plátano se obtuvo de diferentes puestos de comida en donde se desechaban, su proceso de preparación para ser utilizada como aglutinante para briquetas consistió en 3 etapas: corte, cocción y triturado de la cáscara de plátano.

6.1.1.2.2. Cartón corrugado

El cartón corrugado utilizado para la elaboración de briquetas se obtuvo de diferentes puestos de comercio. La preparación de este material fue cortar el cartón en trozos pequeños y posterior a esto se dejaron reposar durante 24 horas en agua, esto para mejorar la adhesión con el aserrín al momento del prensado para la fabricación de las briquetas.

6.1.1.3. Mezclado y compactación de los materiales

Para el mezclado de los materiales se utilizó un recipiente plástico en el cual se agregó agua, aserrín y aglutinante (este último según el tipo de briqueta por elaborar), estos fueron removidos hasta obtener una mezcla homogénea. En el proceso de compactación de la mezcla se utilizó una prensa con cinco matrices de forma cilíndrica, que posee una altura de 12 cm, con 13 cm de diámetro y un cilindro en el centro de 4 cm de diámetro, la fuerza ejercida sobre el material aserrín-aglutinante se obtuvo de un gato hidráulico de 2 toneladas. El peso de la

mezcla con la que se trabajó fue de 2.7 Lb, de la cual 2.295 Lb eran únicamente agua, esto para hacer posible la homogenización de la mezcla, y las 0.405 Lb restantes correspondieron al aserrín y al aglutinante según la briqueta a fabricar.

6.1.1.4. Secado de briqueta

El secado por radiación solar directa, fue el utilizado para remover la humedad de las mismas, reduciendo su porcentaje a un rango de entre 11 a 16% para cada tipo. El tiempo de secado de las briquetas de aserrín con cartón tomó aproximadamente 10 días y contó con un peso final promedio de 0.43 Lb, en cambio las de aserrín con cáscara de plátano necesitó un aproximado de 35 días y tuvo un peso final promedio de 0.3 Lb (el tiempo de secado de las briquetas de cáscaras de plátano se debió al alto porcentaje de humedad que la misma cáscara posee, siendo este de aproximadamente un 92%).

6.1.2. Ensayos a los que fueron sometidas las briquetas

Para definir la composición porcentual de cada tipo de briqueta que sería sometida al análisis de poder calorífico, se elaboraron 5 briquetas de aserrín con cáscara de plátano y 5 de aserrín con cartón, cada una con porcentajes diferentes de aserrín y aglutinante, esto con el fin de valorar y conocer mediante pruebas físicas y de encendido, el porcentaje de material de cada tipo de briqueta que cumpliera con los parámetros que se establecían en cada prueba.

6.1.2.1. Prueba física

Con esta prueba se evaluó si las briquetas conservaban su estructura física o de lo contrario se desprendía material o se rompían en su totalidad al momento de ser manipuladas, transportadas y almacenadas. Para describir el resultado obtenido de cada una de las briquetas elaboradas, se establecieron las siguientes clasificaciones:

Tabla 2. Clasificación de la briqueta según el resultado presentado tras prueba física (Elaboración Propia)

Clasificación	Criterio
Malo	Cuando la estructura física de la briqueta se rompe con facilidad y pierde su forma al momento de ser manipulada.
Regular	Cuando la briqueta al ser manipulada desprende un poco de material, pero conserva su forma.
Excelente	Cuando la briqueta al momento de ser manipulada presenta una estructura estable, sin desprendimiento de material y manteniendo su forma.

6.1.2.2. Prueba de encendido

Esta prueba se utilizó para evaluar la capacidad de encendido de las briquetas elaboradas al ser expuestas al fuego y si se calcinan por completo sin que su llama se extinga durante el quemado. Como material de ignición para cada prueba de encendido se utilizaron 30 gramos de queroseno (cantidad necesaria para únicamente encender la briqueta y no quemarla por completo). Los resultados obtenidos en esta prueba se clasificaron de la siguiente forma:

Tabla 3. Clasificación de la briqueta según el resultado presentado tras prueba de encendido (Elaboración propia)

Clasificación	Criterio
No enciende	Cuando la briqueta al ser expuesta al fuego enciende por un lapso corto de tiempo y luego se apaga sin esta quemarse por completo.
Enciende	Cuando la briqueta al ser expuestas al fuego encienden y mantiene su llama hasta calcinarse por completo.

6.1.3. Resultado de la etapa de ensayo de las briquetas

En esta etapa se exponen los resultados de las pruebas tanto física como de encendido a las que fueron sometidas las briquetas elaboradas con distintas

cantidades porcentuales de aserrín con cáscara de plátano y de aserrín con cartón ondulado.

Tabla 4. Resultados de la prueba física a las que fueron sometidas las briquetas (Elaboración Propia)

PRUEBA FÍSICA DE LAS BRIQUETAS					
No. de briqueeta	% de aserrín	% de cáscara de plátano	Estado		
			Malo	Regular	Excelente
1	80	20	X		
2	75	25	X		
3	73	27		X	
4	70	30		X	
5	65	35			X
No. de briqueeta	% de aserrín	% de cartón	Estado		
			Malo	Regular	Excelente
1	80	20	X		
2	75	25		X	
3	73	27		X	
4	70	30			X
5	65	35			X

Tabla 5. Resultados de la prueba de encendido a las que fueron sometidas las briquetas (Elaboración propia)

PRUEBA DE ENCENDIDO DE LAS BRIQUETAS				
No. de briqueeta	% de aserrín	% de cáscara de plátano	No enciende	Enciende
1	80	20	X	
2	75	25	X	
3	73	27		X
4	70	30		X
5	65	35		X
No. de briqueeta	% de aserrín	% de cartón	No enciende	Enciende
1	80	20	X	
2	75	25		X
3	73	27		X
4	70	30		X
5	65	35		X

Para seleccionar la cantidad porcentual óptima para la fabricación de briquetas se consideró que éstas mantengan su estructura física al momento de ser manipuladas, transportadas y almacenadas, que enciendan y ardan por completo al ser expuestas al fuego.

Mostrado los resultados obtenidos en la prueba física y de encendido, se puede observar que en el caso de las briquetas de aserrín con cáscara de plátano, el porcentaje que cumplió con los parámetros anteriormente establecidos fue la briqueta número 5, con un porcentaje de aserrín del 65% (0.2632 Lb) y un 35% de cáscara de plátano (0.1418 Lb), en cambio para las briquetas de aserrín con cartón se seleccionó la briqueta número 4, con un porcentaje de aserrín del 70% (0.2835 Lb) y un 30% de cartón corrugado (0.1215 Lb).

6.2. Calculo del poder calorífico de las briquetas elaboradas

Para realizar el análisis de poder calorífico de las briquetas elaboradas se utilizó una bomba calorimétrica de Mahler y se tomó una muestra tanto de la briqueta de aserrín con cáscara de plátano como de la de aserrín con cartón corrugado. Las pruebas ejecutadas se llevaron a cabo en el laboratorio de Programa de Vinculación e Innovación Tecnológica “LINEA BIOMASA” ubicado en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacio de la Universidad Nacional de Ingeniería P-VIT.

Para determinar el poder calorífico de las muestras se siguió el procedimiento del equipo CALORIMAT I.S.Co. (Italy); Tipo: CBM, 220V según el método de la norma ASTM D2015-89(00).

6.2.1. Equipos y materiales para la determinación de poder calorífico

Para efectuar la determinación del poder calorífico de las muestras se utilizaron los equipos y material que se muestran a continuación:

6.2.1.1. Bomba calorimétrica y calorímetro

Se utilizó una bomba calorimétrica de Mahler, la cual fue utilizada como cámara de combustión de la muestra. La bomba calorimétrica se depositó en un calorímetro de paredes adiabáticas. Datos técnicos del calorímetro: Marca: I.S.Co. Via Cesare Balbo, 6. Milano Italia. Tipo: CBM; 220V~, 50 Hz; Max: 150V.A. No.: 24526, Capacidad térmica: 9.85750185 kJ/°C



Ilustración 6. Bomba Calorimetrica de Mahler.



Ilustración 7. Calorímetro I: S.Co.

6.2.1.2. Balanza analítica

Para determinar el peso de la muestra se utilizó una balanza de precisión marca Satorius modelo CP 2202S, con capacidad de hasta 2,200 g, y una precisión de 0.01 g. Para lecturas pequeñas de hasta 4 decimales se usó una balanza marca METTLER TOLEDO modelo ML204T/00 con una capacidad de 220 g, y una precisión de 0.0001 g.



Ilustración 8. Balanza Satorius.

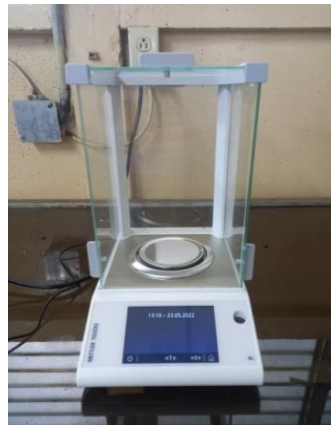


Ilustración 9. Balanza METTLER TOLEDO

6.2.1.3. Molino

Se utilizó un molino con cámara de acero inoxidable marca IKA modelo M20, para triturar y convertir en polvo fino la muestra de cada tipo de briqueta, obteniendo de este modo una composición homogénea.



Ilustración 10. Molino IKA

6.2.1.4. Prensa

Para compactar las mezclas homogenizadas según el tipo de briqueta se hizo uso de una prensa Pellet Press modelo 2811, facilitando así la manipulación y quemado de la muestra.



Ilustración 11. Prensa Pellet Press

6.2.1.5. Muestra

Se seleccionó una muestra de cada tipo de briqueta, una de aserrín con cáscara de plátano y una de aserrín con cartón ondulado, estas fueron sometidas a

calefacción durante 24 horas a 105 °C, para luego ser ingresadas a un desecador hasta el momento de su análisis.



Ilustración 12. Muestra de briqueta de Aserrín y Cascara de Plátano.

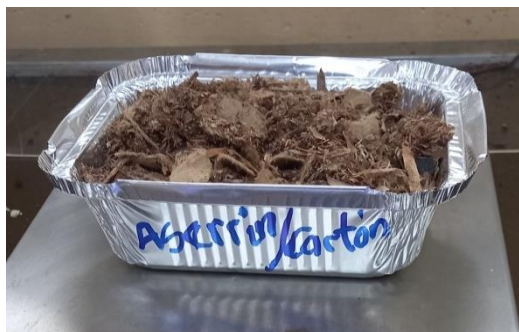


Ilustración 13. Muestra de briqueta de aserrín y cartón corrugado.

6.2.1.6. Hilo de ignición

Para dar inicio a la combustión de la muestra introducida en la bomba calorimétrica se utilizó un hilo de ignición PHYWE 06104-00 con diámetro de 0.2 mm, el cual se calentó con una corriente eléctrica de 2 A, hasta fundir el material. Poder calorífico del hilo de ignición: 6.68 kJ/g



Ilustración 14. Hilo de ignición PHYWE 06104-00

6.2.2. Procedimiento para la determinación del poder calorífico en una bomba calorimétrica Mahler

El proceso consiste en colocar en el crisol de la bomba calorimétrica una cantidad determinada de la muestra que se desea analizar (si el combustible es sólido, este se coloca en forma de pastilla). La muestra debe estar en contacto

con un alambre fino que sirve como material de ignición, este último debe estar enrollado en los soportes conectados a la tapa de la bomba calorimétrica. La bomba se carga con oxígeno a una presión determinada. Cuando incide una corriente eléctrica por el alambre de ignición, se enciende la muestra y comienza su proceso de combustión. La bomba está rodeada por una camisa de agua con el fin de absorber el calor desarrollado por la combustión, sin embargo el calor que absorbe el agua no es el poder calorífico de combustible estudiado, esto debido a los siguientes factores:

- El calorímetro absorbe parte del calor desprendido en la combustión y no únicamente el agua.
- El material de ignición aporta calor adicional al expulsado por la muestra sometida a estudio.

Aplicando la ecuación de la primera ley de la termodinámica al proceso de combustión a volumen constante y considerando los factores expuestos con anterioridad, se obtuvo la ecuación que nos permitió determinar el poder calorífico de la muestra:

$$\Delta U_{\text{Muestra}} = \frac{(CV * \Delta T) - (m_{\text{Fe}} * \Delta U_{\text{Fe}})}{m_{\text{Muestra}}} \quad (\text{Ec.1})$$

Dónde:

$\Delta U_{\text{Muestra}}$: Poder calorífico de la muestra (kJ/g)

CV: Capacidad térmica del calorímetro (kJ/°C)

ΔT : Variación de temperatura (°C)

m_{Fe} : Masa del hilo de hierro combustionado (g)

ΔU_{Fe} : Poder calorífico del hilo de hierro (kJ/g)

m_{Muestra} : Masa de la muestra combustionada (g)

$$m_{Fe} = m_i - m_f \quad (\text{Ec.2})$$

Dónde:

m_{Fe} : Masa del hilo de hierro combustionado (g)

m_i : Masa del hilo de hierro inicial (g)

m_f : Masa del residuo del hilo final (g)

$$\Delta T = t_f - t_i \quad (\text{Ec.3})$$

Dónde:

ΔT : Variación de temperatura del agua durante la combustión de la muestra (°C)

t_f : Temperatura final del agua tras la combustión de la muestra (°C)

t_i : Temperatura inicial del agua (°C)

6.2.3. Protocolo de trabajo utilizado en la bomba calorimétrica de Mahler

El protocolo próximamente expuesto se repitió de manera independiente para cada muestra de los dos tipos de briquetas estudiadas

- Se vertió 2,000 ml de agua en el recipiente interno del calorímetro el cual debe estar a temperatura ambiente.
- Se colocó tras haber sido prensada, una muestra de la briqueta con peso aproximado a 0.5 g en el crisol de la bomba calorimétrica.
- Se cortó 15 cm de alambre de ignición y se enrolló cada extremo en los soportes internos de la tapa de la bomba. El alambre debe estar en contacto con la muestra y no con el crisol.
- Se armó cuidadosamente la bomba para no mover la muestra ni el alambre de ignición de su lugar.
- Se cargó la bomba con oxígeno a una presión de 25 atmósferas y se depositó en el recipiente interior del calorímetro al cual se le colocó agua.

- Posteriormente se instaló el termómetro y el agitador. El termómetro se sumerge por lo menos 75 mm en el agua y a no menos de 12 mm de la bomba.
- Se instalaron ambas tapas del calorímetro, se puso en funcionamiento el agitador y se dejó transcurrir de 4 a 5 minutos para que la temperatura del agua terminara de homogenizarse en el recipiente.
- Una vez homogenizada la temperatura del agua, se dio paso a la corriente eléctrica por los terminales, dando comienzo al proceso de combustión de la muestra y censando su temperatura inicial, posterior a esto se procedió a tomar 10 lecturas adicionales de los cambios de temperatura durante 5 minutos cada 30 segundos.
- Tras la obtención de los datos anteriormente mencionados, se extrajo la bomba del calorímetro, se liberaron los gases de combustión mediante una válvula de alivio con la que contaba la misma bomba calorimétrica.
- Finalmente se revisó en el interior de la bomba si se quemó por completo la muestra o si quedó material restante del hilo de ignición para proceder a su pesado.

Esquema de una bomba calorimétrica de Mahler, un calorímetro y sus respectivos componentes, siendo estos los siguientes: [A] Tapa de la bomba, [B] Cuerpo de la bomba, [C] Rosca de la bomba, [D] junta de goma para cierre hermético, [E] Terminal eléctrico positivo de la bomba y válvula de admisión de oxígeno, [E2] Terminal eléctrico negativo , [F] Válvula de salida de gases, [G] Soporte 1 del alambre de ignición y ducto de oxígeno, [H] Soporte 2 del alambre de ignición, [J] Recipiente cromado de agua del calorímetro, [K] Agitador, [L] Termómetro, [LL] Recipiente de doble pared térmicamente aislada del calorímetro.

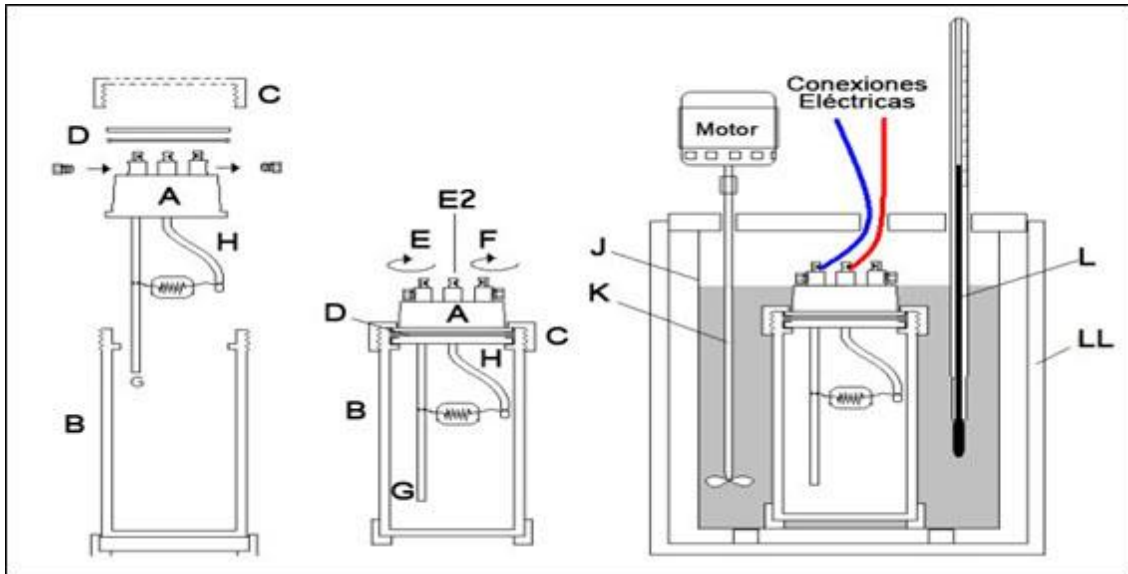


Ilustración 15. Esquema de bomba calorimétrica y calorímetro (Elaboración Propia)

6.2.4. Resultado de análisis de poder calorífico de las briquetas

El análisis de poder calorífico fue realizado de manera independiente para cada tipo de briketa y previo al proceso de ejecución de estos, se determinó la cantidad de los materiales utilizados, habiendo obtenido los siguientes valores:

Tabla 6. Cantidad de los materiales utilizados en el análisis de poder calorífico de las muestras (Elaboración Propia)

Muestra	Variable	Valor	Unidad
Aserrín y cáscara de plátano	Masa de la muestra	0.5031	g
	Masa del hilo de ignición	0.0079	g
Aserrín y cartón	Masa de la muestra	0.5013	g
	Masa del hilo de ignición	0.0102	g

Tabla 7. Temperaturas obtenidas durante la combustión de la muestra de aserrín con cascara de plátano (Elaboración Propia)

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
Inicio	24.4	3	25.52
0.5	24.56	3.5	25.7
1	24.82	4	25.92
1.5	25.15	4.5	26.1
2	25.28	5	26.26
2.5	25.32	5.5	26.26

Tabla 8. Temperaturas obtenidas durante la combustión de la muestra de aserrín con cartón (Elaboración Propia).

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
Inicio	23.9	3	24.75
0.5	24.14	3.5	24.84
1	24.25	4	24.93
1.5	24.38	4.5	25.11
2	24.54	5	25.26
2.5	24.69	5.5	25.26

Tras concluir el proceso de combustión de cada una de las muestras, se revisó el interior de la bomba calorimétrica y se pesó la masa residual del hilo de ignición, obteniéndose así los siguientes datos:

Tabla 9. Masa residual del hilo de ignición tras la combustión de las muestras (Elaboración Propia).

Muestra combustionada	Masa del hilo de ignición restante (g)
Aserrín con cáscara de plátano	0.0043
Aserrín con cartón	0.005

6.2.4.1 Determinación de los datos necesarios para el cálculo del poder calorífico de las muestras

Una vez obtenidos los datos anteriormente mostrados del análisis de laboratorio, se procedió a calcular el valor de la masa del hilo de ignición combustionado, como también el diferencial de temperatura del agua que se encontraba dentro del calorímetro al momento en que se realizó el estudio de las muestras de ambos tipos de briquetas.

6.2.4.1.1. Masa del hilo de ignición combustionado durante el análisis de las muestras

Se procedió a calcular mediante la ecuación 2, el valor de la masa del hilo de ignición combustionado en el análisis de la muestra de la briketa de aserrín con cáscara de plátano, como también en el de aserrín con cartón.

Para determinar la masa del material de ignición quemado en los análisis de ambas muestras, se utilizaron los datos pertenecientes a cada una, de la masa del hilo de ignición inicial y final, los cuales se encuentran en la tabla 6 y 9, respectivamente, efectuando así los siguientes cálculos.

6.2.4.1.1.1. Masa del hilo de ignición combustionado tras el análisis de la muestra de aserrín con cáscara de plátano:

$$m_{Fe} = m_i - m_f \quad (\text{Ec.2})$$

Dónde:

m_{Fe} : Masa del hilo de hierro combustionado (g)

m_i : Masa del hilo de hierro inicial (g)

m_f : Masa del residuo del hilo final (g)

Por tanto:

$$m_{Fe} = 0.0079 \text{ g} - 0.0043 \text{ g}$$

$$m_{Fe} = 0.0036 \text{ g}$$

6.2.4.1.1.2. Masa del hilo de ignición combustionado tras el análisis de la muestra de aserrín con cartón:

$$m_{Fe} = m_i - m_f \quad (\text{Ec.2})$$

Dónde:

m_{Fe} : Masa del hilo de hierro combustionado (g)

m_i : Masa del hilo de hierro inicial (g)

m_f : Masa del residuo del hilo final (g)

Por tanto:

$$m_{Fe} = 0.0102 \text{ g} - 0.005 \text{ g}$$

$$m_{Fe} = 0.0052 \text{ g}$$

6.2.4.1.2. Diferencial de temperatura del agua en el análisis de las muestras

Se determinó mediante la ecuación 3, el valor del diferencial de temperatura del agua en el análisis de la muestra de la briqueta de aserrín con cáscara de plátano, como en el de la de aserrín con cartón, los datos utilizados para efectuar el cálculo de cada muestra se encuentran en la tabla 7 y 8, respectivamente.

6.2.4.1.2.1. Diferencial de temperatura del agua en el análisis de la muestra de aserrín con cáscara de plátano:

$$\Delta T = t_f - t_i \quad (\text{Ec.3})$$

Dónde:

ΔT : Variación de temperatura del agua durante la combustión de la muestra ($^{\circ}\text{C}$)

t_f : Temperatura final del agua tras la combustión de la muestra ($^{\circ}\text{C}$)

t_i : Temperatura inicial del agua ($^{\circ}\text{C}$)

Por tanto:

$$\Delta T = 26.26^{\circ}\text{C} - 24.4^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 1.86^{\circ}\text{C}$$

6.2.4.1.2.2. Diferencial de temperatura del agua en el análisis de la muestra de aserrín con cartón:

$$\Delta T = t_f - t_i \quad (\text{Ec.3})$$

Dónde:

ΔT : Variación de temperatura del agua durante la combustión de la muestra ($^{\circ}\text{C}$)

t_f : Temperatura final del agua tras la combustión de la muestra ($^{\circ}\text{C}$)

t_i : Temperatura inicial del agua ($^{\circ}\text{C}$)

Por tanto:

$$\Delta T = 25.26^{\circ}\text{C} - 23.9^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 1.36^{\circ}\text{C}$$

6.2.4.2. Datos necesarios para determinar el poder calorífico de las muestras

Para facilitar el cálculo del poder calorífico de la muestra de ambos tipos de briquetas se realizó en la tabla 10 una recopilación de los datos que se utilizarían.

Tabla 10. Datos usados en la fórmula del poder Calorífico de cada muestra (Elaboración propia)

Muestra	CV (kJ/°C)	ΔT (°C)	mFe (g)	ΔUFe (kJ/g)	mMuestra (g)
Aserrín y cáscara de plátano	9.85750185	1.86	0.0036	6.68	0.5031
Aserrín y cartón		1.36	0.0052		0.5013

Los datos **CV** y **UFe**, son datos técnicos los cuales con anterioridad ya se han mostrado en el documento, siendo la capacidad térmica del calorímetro y el Poder calorífico del hilo de ignición, respectivamente. El dato de la masa de la muestra de cada tipo de briqueta se encuentra en la tabla 6.

6.2.4.3. Calculo del poder calorífico de la muestra de la briqueta de aserrín con cáscara de plátano

Para la determinación del poder calorífico de la muestra de la briqueta de aserrín con cáscara de plátano, se utilizaron los datos expuestos en la tabla 10 y se ingresaron a la ecuación 1 anteriormente planteada, desarrollándose el siguiente cálculo:

$$\Delta U_{\text{Muestra}} = \frac{(CV * \Delta T) - (m_{\text{Fe}} * \Delta U_{\text{Fe}})}{m_{\text{Muestra}}} \quad (\text{Ec.1})$$

Dónde:

$\Delta U_{\text{Muestra}}$: Poder calorífico de la muestra (kJ/g)

CV: Capacidad térmica del calorímetro (kJ/°C)

ΔT: Variación de temperatura (°C)

mFe: Masa del hilo de hierro combustionado (g)

ΔUFe: Poder calorífico del hilo de hierro (kJ/g)

mMuestra: Masa de la muestra combustionada (g)

Por tanto:

$$\Delta U_{\text{Muestra Aserrín/Cáscara}} = \frac{(9.85750185 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C} * 1.86 \text{ }^{\circ}\text{C}) - (0.0036 \text{ g} * 6.68 \text{ kJ/g})}{0.5031 \text{ g}}$$

$$\Delta U_{\text{Muestra Aserrín/Cáscara}} = 36.3961 \text{ kJ/g}$$

El resultado previamente determinado, pertenece a la muestra de la briqueta de aserrín con cáscara de plátano, analizada en el laboratorio por medio de la bomba calorimétrica.

6.2.4.4. Calculo del poder calorífico de la muestra de la briqueta de aserrín con cartón

Para determinar el poder calorífico de la muestra de la briqueta de aserrín con cartón, se utilizó la misma ecuación que en el proceso anterior, cambiando los valores y utilizando los datos expuestos de la respectiva muestra en la tabla 10, obteniendo el siguiente resultado:

$$\Delta U_{\text{Muestra}} = \frac{(CV * \Delta T) - (m_{\text{Fe}} * \Delta U_{\text{Fe}})}{m_{\text{Muestra}}} \quad (\text{Ec.1})$$

Dónde:

$\Delta U_{\text{Muestra}}$: Poder calorífico de la muestra (kJ/g)

CV: Capacidad térmica del calorímetro (kJ/°C)

ΔT : Variación de temperatura (°C)

m_{Fe} : Masa del hilo de hierro combustionado (g)

ΔU_{Fe} : Poder calorífico del hilo de hierro (kJ/g)

m_{Muestra} : Masa de la muestra combustionada (g)

Por tanto:

$$\Delta U_{\text{Muestra Aserrín/Cartón}} = \frac{(9.85750185 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C} * 1.36 \text{ }^{\circ}\text{C}) - (0.0052 \text{ g} * 6.68 \text{ kJ/g})}{0.5013 \text{ g}}$$

$$\Delta U_{\text{Muestra Aserrín/Cartón}} = 26.6736 \text{ kJ/g}$$

Este cálculo pertenece a la muestra de la briqueta de aserrín con cartón, analizada en el laboratorio por medio de la bomba calorimétrica.

6.2.5. Poder calorífico de las briquetas

Tras el cálculo del poder calorífico de la muestra de ambos tipos de briquetas, se determinó que el poder calorífico de la briqueta de aserrín con cáscara de plátano es de 36,396 kJ/kg, en cambio el de la de aserrín con cartón ondulado es de 26,673 kJ/kg.

6.3. Determinación de la eficiencia térmica de las briquetas y leña de madero negro en cocina ONIL

Se utilizó el modelo de pruebas de ebullición de agua Water Boiling Test (WBT) versión 4.2.3, en la cual se determinó la eficiencia térmica de las briquetas elaboradas y la leña de madero negro en la cocina limpia ONIL.

6.3.1. Materiales y equipos utilizados en la prueba de ebullición de agua

- Estufa (ONIL)
- Combustible (15 kg de cada tipo de briqueta y de leña de madero negro)
- Equipos de seguridad (Guantes para superficies calientes, mandil, lentes de protección, mascara contra humo, zapatos cerrados y pantalón)
- Termohigrómetro
- Termocuplas
- Multímetros

- Medidor de humedad de madera
- Reloj
- Encendedor o cerillos
- Removedor de brazas
- Material de ignición (Keroseno, Astillas, etc.)
- Recogedor y charola para el carbón
- Balance digital resistente al calor
- Formato del WBT
- Ollas con capacidad mayor a 5 L de agua
- Ahogador de fuego

6.3.2. Prueba de ebullición de agua (WBT)

6.3.2.1. Fase preliminar

- Se verificó que todos los materiales y equipos se encontraran en el laboratorio
- Se registró la temperatura del ambiente y la humedad relativa inicial
- Se midió la humedad del combustible (9 mediciones) y se registró.
- Se registró el peso de las ollas vacías y secas.
- Se registró el peso de la charola para carbón.
- Se registró el peso del combustible que se utilizó en cada fase de la prueba: 5 kg para el IFAP, 5 kg para ICAP y 5 kg para el FL.
- Se registró el peso del material de ignición (30 gramos como máximo por fase).

6.3.2.2. Primera fase Inicio en Frio Alto Poder (IFAP)

- Se colocaron los 5 kg de combustible previamente pesados para la fase IFAP, cerca de la cocina.
- Se pesó y registró el peso de las ollas vacías y el material de ignición que se utilizó.

- Se pesó y registró el peso de las ollas con 5 litros de agua a temperatura ambiente.
- Se posicionaron los termómetros en las ollas con agua.
- Se introdujo el material de ignición en la cámara de combustión de la cocina con parte del combustible que se utilizó.
- Una vez encendida la llama en la cámara de combustión de la cocina, se colocó la olla con la termocupla y se registró la hora de inicio en la primera fase. Durante la prueba se debió de mantener el fuego a alto poder sin que este se apagara.
- Se llevó el agua de la primera olla a su temperatura de ebullición y se registró la hora en que finalizó la primera fase.
- Se pesó y registró el peso de la olla con el agua tras alcanzar la temperatura de ebullición local.
- Se pesó y registró el peso del combustible que sobró en esta fase y la charola con las cenizas que quedaron en la cámara de combustión de la cocina.
- Se limpió y ordenó el área de trabajo para la siguiente fase.

6.3.2.3. Segunda fase Inicio en Caliente Alto Poder (ICAP)

- Esta fase inició 5 minutos después de haber terminado la fase de inicio en frío, aún con la cocina caliente.
- Se colocaron cerca de la cocina, los 5 kg de combustible pesados para la fase ICAP.
- Se registró el peso de las ollas vacías y se vertió en cada una de ellas, 5 litros de agua, se colocaron las termocuplas en las ollas y se registró la temperatura del agua.
- Se introdujo el material de ignición en la cámara de combustión de la cocina con parte del combustible.
- Una vez encendida la llama en la cámara de combustión de la cocina, se colocaron las ollas con las termocuplas y se registró la hora en que dio inicio la segunda fase. Igual que en la primera fase, en la segunda

también se debió de mantener el fuego a alto poder sin que este se apagara.

- Una vez que el agua de la primera olla alcanzo su temperatura de ebullición, se registró la hora, pues ahí termina esta fase, se registra el peso de las ollas con el agua restante. A partir de ese momento se inició la cuenta de 5 minutos para comenzar con la fase de fuego lento (FL).
- Se retiró de la cámara de combustión el combustible no quemado y se registró el peso de este y del combustible que no se utilizó de este segundo lote. En esta fase no se registró el peso de las cenizas que se encontraban en la cámara de combustión ya que con las cenizas restantes se da inicio a la tercera etapa del Water Boilling Test.

6.3.2.4. Tercera fase Fuego Lento (FL)

La fase de Fuego Lento (FL) es una continuación de la fase de Inicio en Caliente Alto Poder (ICAP).

- El combustible sobrante de la fase de ICAP se adicionó al lote del combustible de FL, posterior a esto se pesó y registró el dato del peso inicial del combustible.
- Se colocó el material de ignición en la cámara de combustión de la cocina junto al combustible que no se terminó de quemar y se retiró de la estufa al finalizar la fase anterior.
- Una vez que el fuego prendió, se registró la hora en que inició la fase de FL.
- Se colocó nuevamente la olla con agua usada en la fase de Inicio en caliente de alto poder (ICAP) sobre la superficie de cocción sin enfriar, ni agregar agua en la olla y se posicionó el termómetro nuevamente. El dato del peso final de la olla con agua de la fase de ICAP, fue el dato del peso inicial de la olla con agua en la fase de FL.
- Durante 45 minutos se mantuvo el fuego de tal modo que la temperatura del agua permaneciera entre 3 y 6°C por debajo del punto de ebullición local.

- Una vez pasados los 45 minutos de la prueba de FL, se registró el tiempo, la temperatura final del agua de la olla y el peso final de la olla con el agua sobrante.
- Se retiró el combustible de la estufa, se apagaron las llamas y se registró el peso final del combustible.
- Se extrajo todo el carbón restante de la estufa y se pesó junto con la charola.
- Para finalizar se limpió y ordenó el área de trabajo.

6.3.3. Variables consideradas para la obtención de la eficiencia térmica en los combustibles, a través de la prueba de ebullición de agua.

Las variables que se deben considerar, para la obtención de la eficiencia térmica a través de la prueba de ebullición de agua son:

To: Tiempo de inicio de la prueba

Tf: Tiempo de finalización de la prueba.

Wo: Peso del combustible inicial.

Wf: Peso del combustible final.

to: Temperatura inicial del agua (°C)

tf: Temperatura final del agua (°C)

We: Peso de la Escoria (Cenizas).

Wwo: Peso inicial del agua.

Wwf: Peso final del agua, llevada hasta el punto de ebullición.

Para la determinación de la eficiencia térmica, se utilizó la hoja de cálculo de Excel del **Water Boiling Test (ver 4.2.3)** y estas son las ecuaciones que se encuentran presentes en la misma:

$$E_o = C_{ep} * m_{eb} * \Delta T \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde:

E_o = Energía Útil Otorgada. (MJ)

C_{ep} = Calor específico a presión Constante (4.18×10^{-3} MJ/Kg°C)

m_{eb} = Masa de agua llevada al punto de ebullición. (Kg).

ΔT = Diferencia de Temperatura entre la inicial y la final (°C).

$$E_e = m_{comb} * PCI_{comb} \quad (\text{Ec. 5})$$

Dónde:

E_e = Energía Total de entrada (MJ)

m_{comb} = Masa del combustible quemado. (kg)

PCI_{comb} = Poder calorífico inferior del combustible quemado. (KJ/kg).

$$\tau = \frac{m_{comb}}{t_{eb}} \quad (\text{Ec.6})$$

Dónde:

T = Tasa de combustión (kg/min)

m_{comb} = Masa del combustible quemado. (kg)

T_{eb} = Tiempo para alcanzar el punto de ebullición (min).

$$P_t = \frac{E_e}{t_{eb}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Dónde:

E_e = Energía Total entregada (MJ)

T_{eb} = Tiempo para alcanzar el punto de ebullición (min).

P_t = Potencia (Kw).

$$Eft = \frac{Eo}{Ee} \quad (\text{Ec. 8})$$

Dónde:

Eft=Eficiencia térmica (%)

Ee=Energía Total Entregada (MJ).

Eo=Energía útil Otorgada (MJ).

Las siguientes tablas fueron construidas a través de los datos generados por las ecuaciones presentadas anteriormente.

Tabla 11. Valores obtenidos del WBT ver 4.2.3 de la leña de Madero Negro.

Tabla de Valores de la leña de Madero Negro						
Fase	Datos Obtenidos	Unidad	Test 1	Test 2	Test 3	Promedio (%)
Fase 1 Inicio en frio	Tiempo para llevar a ebullicion 5L agua	min	70	65	63	66.00
	Eficiencia Termica	%	14	13	13	13.33
	consumo especifico de combustible	g/L	150	165	159	158.00
	Tasa de combustion	g/min	14.9	17.6	17.9	16.80
	Potencia de la estufa	Kw	4.316	5.144	5.201	4.89
Fase 2 Inicio en Caliente	Tiempo para llevar a ebullicion 5L agua	min	58	59	58	58.33
	Eficiencia Termica	%	19	19	20	19.33
	consumo especifico de combustible	g/L	155	162	156	157.67
	Tasa de combustion	g/min	17.5	18.4	18.6	18.17
	Potencia de la estufa	Kw	5.077	5.35	5.4	5.28
Fase a fuego lento	Eficiencia Termica	%	56	54	55	55.00
	consumo especifico de combustible	g/L	14.3	14.7	15.3	14.77
	Tasa de combustion	g/min	2	2.6	2.1	2.23
	Potencia de la estufa	Kw	0.592	0.762	0.595	0.65

Tabla 12. Valores obtenidos del WBT ver 4.2.3 de la Briqueta de Aserrín con Cáscara de Plátano.

Tabla de Valores de la briqueta de aserrin con cascara de platano						
Fase	Datos Obtenidos	Unidad	Test 1	Test 2	Test 3	Promedio (%)
Fase 1 Inicio en frio	Tiempo para llevar a ebullicion 5L agua	min	65	57	65	62.33
	Eficiencia Termica	%	9	11	9	9.67
	consumo especifico de combustible	g/L	129	126	130	128.33
	Tasa de combustion	g/min	13.6	14.8	13.7	14.03
	Potencia de la estufa	Kw	7.96	8.64	8.033	8.21
Fase 2 Inicio en Caliente	Tiempo para llevar a ebullicion 5L agua	min	40	37	52	43.00
	Eficiencia Termica	%	10	13	9	10.67
	consumo especifico de combustible	g/L	105	108	128	113.67
	Tasa de combustion	g/min	18.2	19.5	16.9	18.20
	Potencia de la estufa	Kw	10.64	11.38	9.852	10.62
Fase a fuego lento	Eficiencia Termica	%	14	17	13	14.67
	consumo especifico de combustible	g/L	22	23	22	22.33
	Tasa de combustion	g/min	3.4	3.4	3.2	3.33
	Potencia de la estufa	Kw	1.98	1.983	1.84	1.93

Tabla 13. Valores obtenidos del WBT ver 4.2.3 de la Briqueta de Aserrín con Cartón.

Tabla de Valores de Briqueta de Aserrin con Carton						
Fase	Datos Obtenidos	Unidad	Test 1	Test 2	Test 3	Promedio (%)
Fase 1 Inicio en frio	Tiempo para Llevar a ebullicion 5L agua	min	65	65	61	63.67
	Eficiencia Termica	%	10	10	10	10.00
	consumo especifico de combustible	g/L	128	133	136	132.33
	Tasa de combustion	g/min	13.7	13.9	16.8	14.80
	Potencia de la estufa	Kw	5.793	5.865	7.1	6.25
Fase 2 Inicio en Caliente	Tiempo para Llevar a ebullicion 5L agua	min	36	46	43	41.67
	Eficiencia Termica	%	30	28	26	28.00
	consumo especifico de combustible	g/L	114	118	124	118.67
	Tasa de combustion	g/min	18.1	15.2	18.7	17.33
	Potencia de la estufa	Kw	7.659	6.402	7.9	7.32
Fase a fuego lento	Eficiencia Termica	%	9	10	7	8.67
	consumo especifico de combustible	g/L	40	56	45	47.00
	Tasa de combustion	g/min	5.3	7	6.1	6.13
	Potencia de la estufa	Kw	2.2	2.946	2.563	2.57

VII. Resultados

Para realizar la comparación de la eficiencia térmica y poder calorífico de los combustibles se utilizó como herramienta de apoyo las gráficas de Excel y de este modo se facilitó la comprensión y demostración de los resultados brindados en la hoja de cálculo del WBT (Versión 4.2.3), los cuales fueron presentados con anterioridad en el capítulo 3, en la tabla 11 datos obtenidos para la leña de madero negro, tabla 12 datos obtenidos para la briqueta de aserrín con cascara de plátano y la tabla 13 datos obtenidos para la briqueta de aserrín con cartón. Cabe destacar que los datos presentados en los gráficos, son los valores promedios mostrados en las tablas, con el propósito de resumir la información presentada en un solo punto.

7.1. Tiempo para llevar a ebullición 5 litros de agua

Se observa en el grafico 1, una tendencia clara presente en la fase de inicio en frio, ya que la cocina al tener baja interacción con alguna fuente de calor y encontrarse a temperatura ambiente, requiere mayor tiempo en llevar al punto de ebullición los 5 litros de agua, esto se debe a que el combustible ardiendo, tiene que evaporar la humedad contenida en la cocina y en el mismo combustible, siendo este el motivo por el cual la cocina toma más tiempo en llevar al punto de ebullición la cantidad de agua en la fase de inicio en frio en comparación a la fase de inicio en caliente, presentando una variación de entre 10 y 15 minutos.

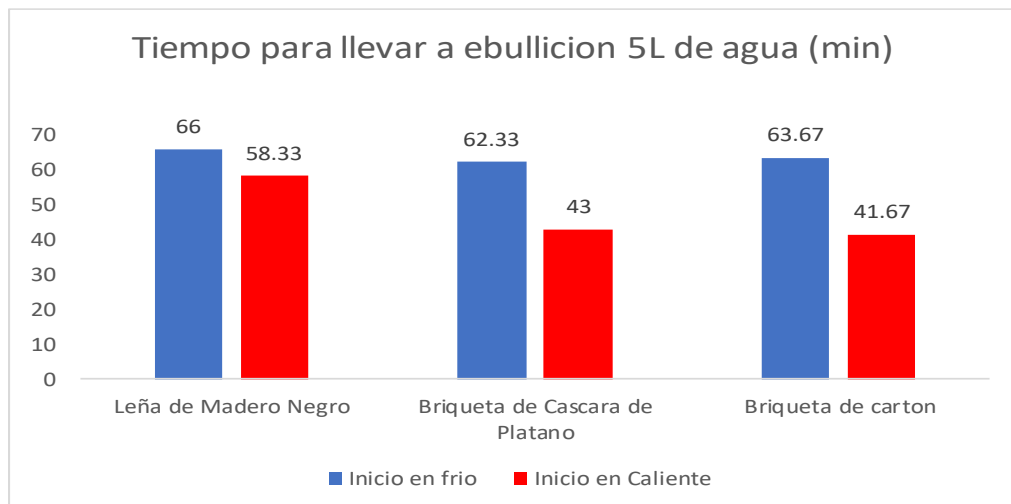


Gráfico 1. Comparación del tiempo empleado para llevar a ebullición 5 L de agua (Elaboración propia).

7.2. Consumo específico de combustible

En el gráfico 2 se observa que el consumo de combustible decrece al pasar de una etapa a la siguiente, esto se debe a que la cocina se ha calentado y por tanto está aprovechando el calor que desprendió el combustible en etapas anteriores.

En la etapa de inicio en caliente, el consumo de combustible disminuye un 0.21% respecto a la fase de inicio en frío, empleando la leña de madero negro como fuente de calor en la cocina, en el caso de la briqueta de aserrín con cáscara de plátano, el consumo se redujo en un 12% y usando la briqueta de aserrín con cartón este consumo se redujo a un 10%.

En la fase de fuego lento el consumo de combustible en la cocina se reduce a un 91% para la leña de madero negro, 82% para la briqueta de cascara de plátano, y un 64% para la briqueta de cartón, respecto a la fase de inicio en caliente de cada combustible.

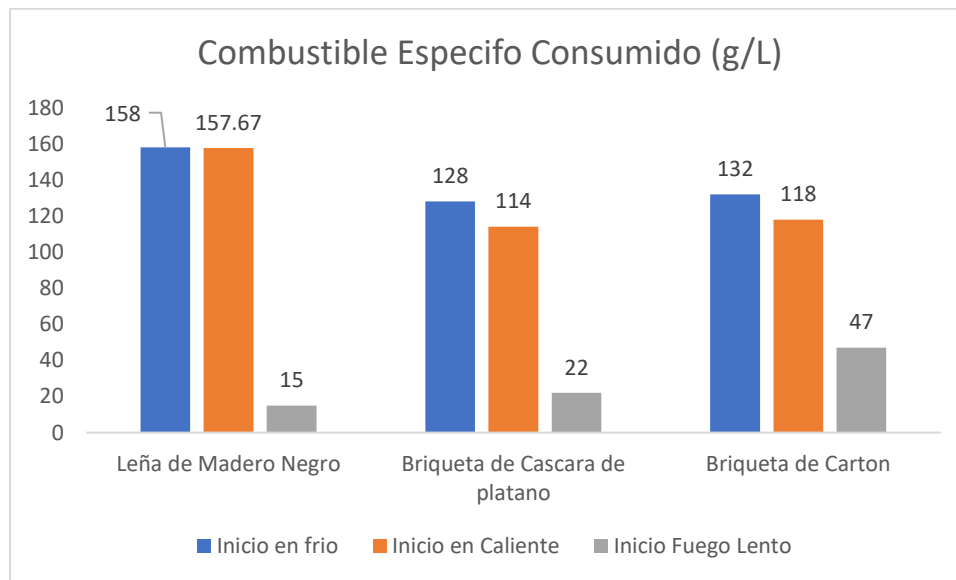


Gráfico 2: Comparación de combustible específico consumido en las fases de inicio en frío, inicio en caliente y fase a fuego lento (Elaboración propia).

7.3. Tasa de combustión

La tasa de combustión describe la cantidad de combustible que se consume por minuto, en la fase de inicio en caliente la tasa de combustión aumenta en comparación a la fase de inicio en frío, esto se debe a que la cocina al haberse calentado, hace que la ignición en los combustibles sea más rápida, en cambio en la fase de fuego lento, la tasa de quemado se reduce drásticamente, esto debido al poco aporte de combustible que hay en la cocina.

En la fase de inicio en frío el combustible con mayor tasa de combustión fue la leña de madero negro, en la etapa de inicio en caliente fue la briqueta de aserrín con cáscara de plátano y en la fase de fuego lento la briqueta de aserrín con cartón.

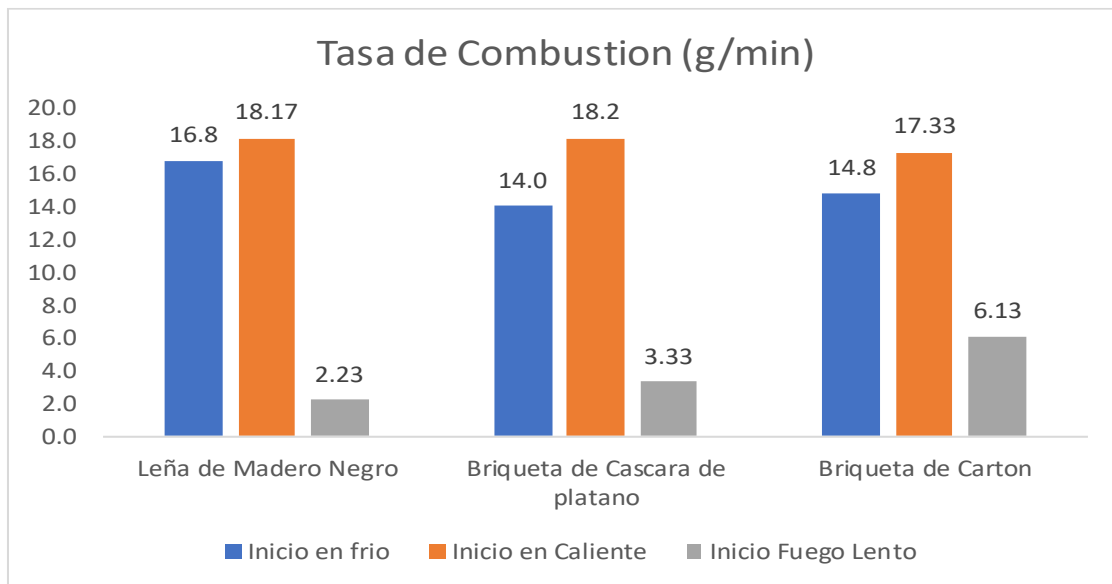


Gráfico 3: Comparación de tasa de combustión de la leña de madero negro, briquetas de aserrín con cáscara de plátano y aserrín con cartón (Elaboración propia).

7.4. Potencia Térmica entregada del combustible hacia la estufa.

La potencia de la briqueta es la rapidez con la que es entregada la energía contenida en el combustible hacia la estufa. En el gráfico 4 y 5 se observa que en la fase de inicio en frío, la cocina al no haber estado interactuando con una fuente de calor más que la proveniente del medio ambiente, ésta consumió una mayor cantidad de combustible y por lo tanto su potencia es baja en

comparación con la fase de inicio en caliente, en la cual el consumo de combustible disminuyó y la potencia en esta incrementó en un 15% en promedio, por otro lado, se puede observar que en la fase a fuego lento, la potencia disminuyó ya que la cocina al estar caliente, era menos frecuente suministrarle combustible y por lo tanto se mantuvo bastante estable la temperatura deseada en las ollas de cocción.

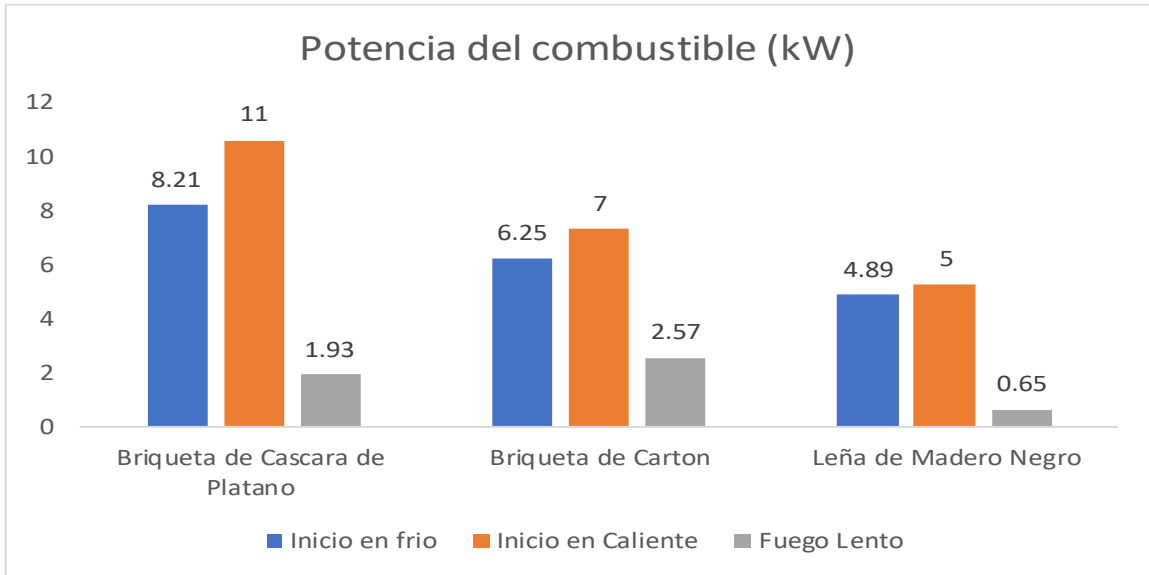


Gráfico 4: Potencia de los combustibles en la fase de inicio en frio, fase en caliente y fase a fuego lento (Elaboración propia).

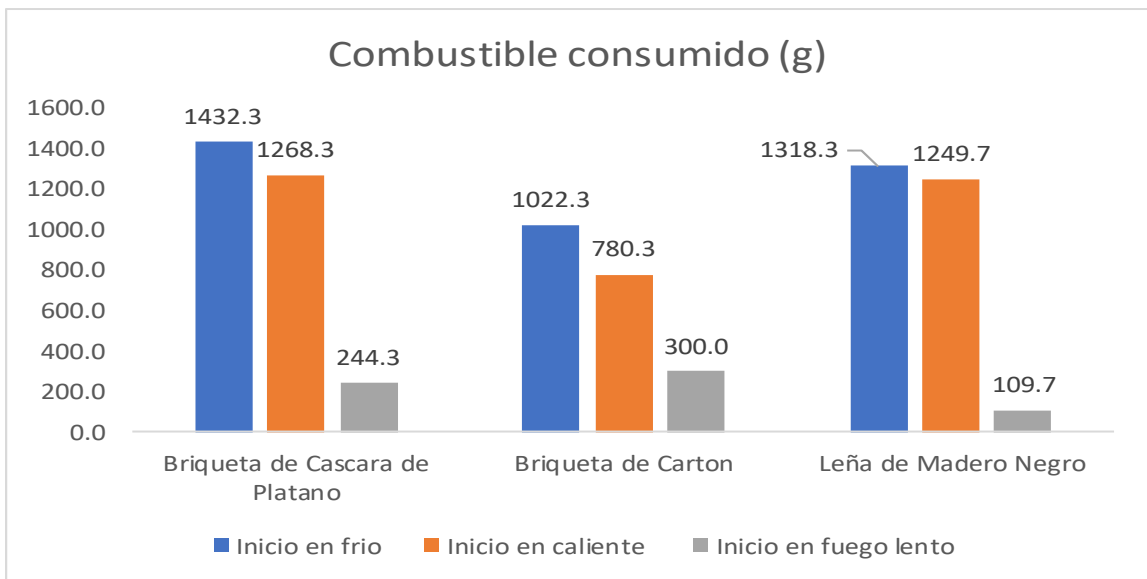


Gráfico 5: Combustible consumido en la fase de inicio en frio, fase en caliente y fase a fuego lento (Elaboración propia).

7.5. Eficiencia Térmica de la estufa

Los resultados de la eficiencia térmica, muestran un bajo rendimiento al utilizar combustibles como briquetas en la cocina ONIL, en cambio al utilizar como combustible la leña de madero negro se presentaron mejores resultados en cuanto a aprovechamiento del combustible y mayor tiempo de residencia de calor (brazas y carbón). Teniendo que la briketa de cáscara de plátano, en sus etapas de inicio en frío, caliente, y fuego lento tuvo una eficiencia baja respecto a los otros combustibles.

Otra tendencia que presenta la cocina es que la eficiencia de esta aumenta cuando esta pasa de la fase de inicio en frío a la fase de inicio en caliente hasta llegar a la fase a fuego lento, ya que al recibir constantemente calor la pérdida de este por radiación es baja, otro motivo que influye es el tipo de material con los cuales ha sido fabricada, lo cual permite que la temperatura se mantenga, siendo su etapa más eficiente la de fuego lento, exceptuando el caso de la briketa de aserrín con cartón.

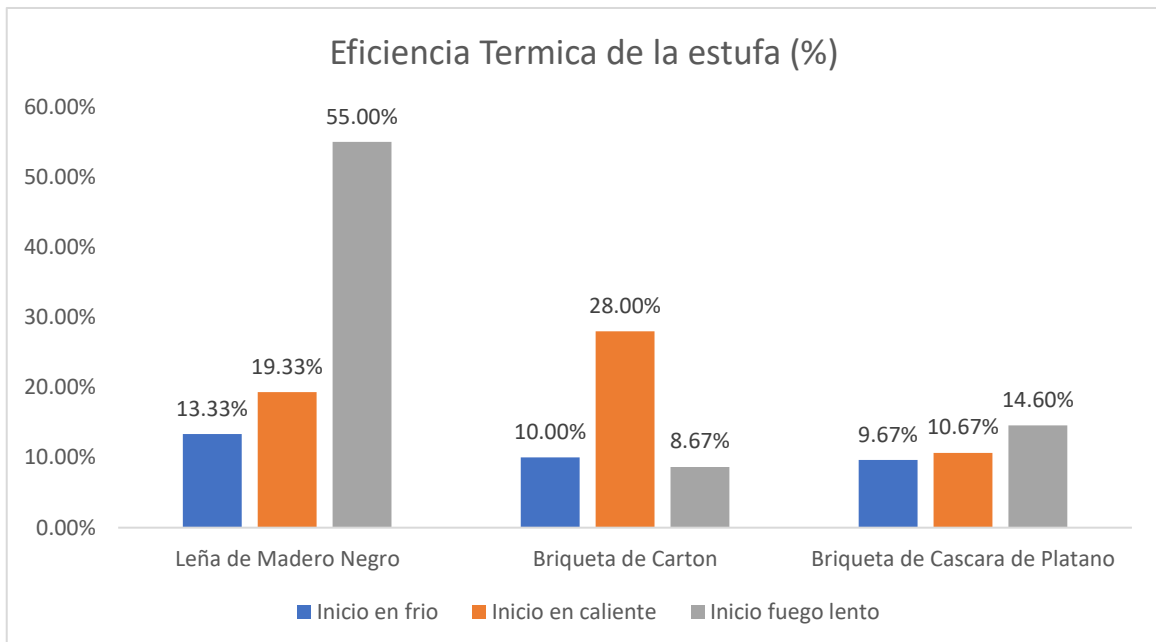


Gráfico 6 comparación de la Eficiencia térmica de la estufa en las fases de inicio en frío, inicio en caliente y a fuego lento (Elaboración propia).

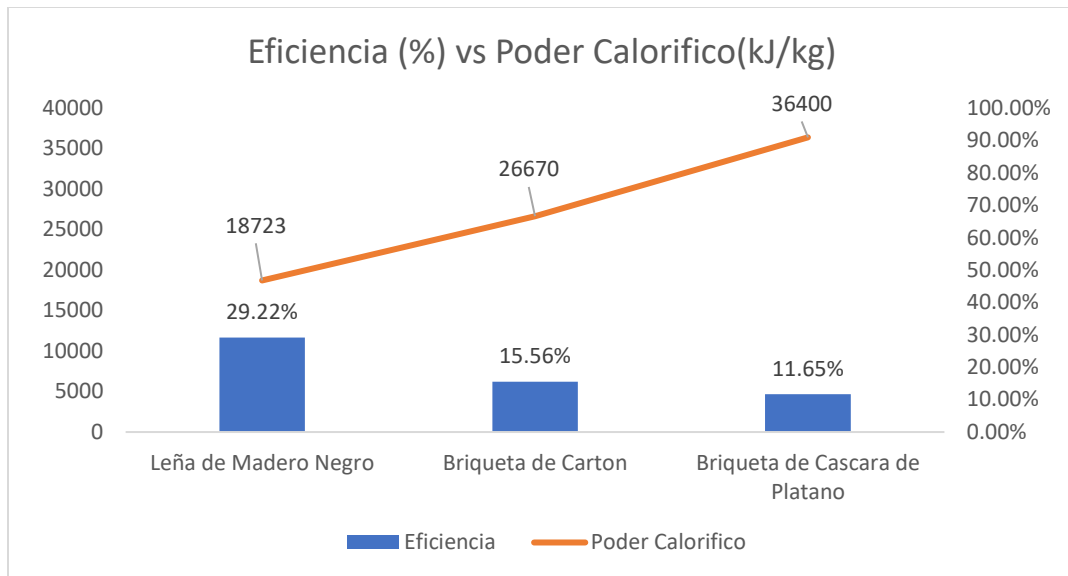


Gráfico 7 comparación de la eficiencia Térmica y Poder calorífico de los combustibles (Elaboración propia).

En resumen, se puede observar que la leña de madero negro es el combustible más eficiente en la cocina ONIL, y que el diseño de la Cocina ONIL ha sido claramente dirigido a combustibles los cuales tengan dimensiones alargadas y delgadas como la leña.

En cambio, combustibles, como briquetas tienen desventajas ante este tipo de cocinas, por sus dimensiones, ya que al ser en forma cilíndricas, deben de ingresarse en pequeñas partes (es decir, se tienen que romper en piezas pequeñas para poder introducirse al hogar de la cocina), a diferencia de la leña; otro factor es que, al ser de residuos sólidos reciclables, estas desprenden rápidamente calor, lo cual no genera muchas brasas, ni carbonilla o carbón y este se puede observar en la baja eficiencia que presenta el combustible en la cocina.

VIII. Conclusiones

1. Se elaboraron dos tipos de briquetas a base de aserrín utilizando como aglutinante cáscara de plátano para una y cartón para la otra, se seleccionó el porcentaje de material que compuso a cada briqueta en función de su estructura física y encendido, las proporciones elegidas para el primer tipo fueron 65% cáscara de plátano y 35% aserrín, para el segundo tipo fueron 70% cartón y 30% aserrín, siendo estas las combinaciones que mejores resultados presentaron durante su manipulación y uso.
2. Se calculó el poder calorífico de las briquetas seleccionadas a través de una bomba calorimétrica marca Mahler, en la fase de evaluación de las briquetas, obteniendo los valores de 26,670 kJ/kg para la briqueta de Cartón y de 36,400 KJ/kg para la briqueta de Cascara de plátano.
3. Se determinó la eficiencia térmica de las briquetas y la leña de madero negro a través de la hoja de cálculo del Water Boiling Test (Ver 4.2.3), siendo la leña de madero negro el combustible más eficiente para este tipo en específico de estufa.
4. A través de la comparación de las briquetas de aserrín con cascara de plátano, de aserrín con cartón ondulado y la leña de madero negro. Se concluye que el poder calorífico es un factor importante para la combustión, pero también lo es el equipo, estufa o cocina donde se va a utilizar este, siendo el caso de la briqueta de cascara de plátano que posee un alto poder calorífico, pero su eficiencia es baja en este tipo de estufa.

5. Las briquetas sometidas a estudio se comportaron tanto física como químicamente similar a la leña, a diferencia que estas se queman con más facilidad debido a la mayor circulación de aire que existe en ellas, sin embargo, cumplen la función de un combustible y pueden ser un buen sustituto de la leña, de este modo se promueve el uso de los residuos sólidos empleados en estas briquetas, evitando que estos contaminen el ambiente, se reduzca la tala de árboles y se crean fuentes de empleo e ingresos para los interesados en desarrollar este tipo de trabajo.

VIII. Recomendaciones

- Realizar campañas de concientización que permitan a la población conocer los beneficios de utilizar un combustible elaborado a base de residuos sólidos reciclables para sustituir parcial o totalmente el consumo de leñas en los hogares, y negocios de comida. Además de aprovechar los residuos que las industrias tales como aserraderos, mueblerías y fincas de cultivos de plátano desechado.
- Evaluar cuales son las dimensiones apropiadas que debería tener una briqueta, para que se puedan suministrar estas a la cocina ONIL de forma rápida y eficiente.
- Realizar más ensayos y pruebas de las briquetas a base de aserrín con cascara de plátano, y las briquetas de aserrín con cartón en otros tipos de cocinas para evaluar su eficiencia y desempeño.
- Realizar investigaciones en las que se incluyan otros aglutinantes como diferentes tipos de almidones, melaza, etc., dependiendo de la región donde se van a fabricar, pues de esta manera se bajarían los costos de fabricación según el sitio geográfico de Nicaragua.

IX. Bibliografía

- BUN-CA. (Septiembre de 2002). Manuales sobre energía renovable: Biomasa. (1ra). San José, Costa Rica. Manuales sobre energía renovable Biomasa: <http://www.bio-nica.info/biblioteca/BUNCA2002Biomasa.pdf>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2010). Etiqueta, envase, empaque y embalaje. Bogotá: Centro Internacional de Comercio.
- Centro Europeo de Postgrado. (Febrero de 2018). *¿Qué son las briquetas?* CEUPE magazine: <https://www.ceupe.com/blog/que-son-las-briquetas.html>
- Clean Cooking Alliance [CCA]. (Marzo de 2014). *The Water Boiling Test versión 4.2.3 Cookstove Emissions and Efficiency in a Controlled Laboratory Setting*. Clean Cooking Alliance: <http://cleancookstoves.org/technology-and-fuels/testing/protocols.html>
- Fasina, O. (2014). Energy potential of yam and plantain peels. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 16(253), 53-58. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/286217716_Energy_potential_of_yam_and_plantain_peels
- Gomez, M. E., Rodriguez, I., Murgueitio, E., Ines, R., & Rosales Mendez, M. (2002). *Arboles y Arbustos forrajeros utilizados en alimentacion animal como fuente proteica*. Colombia: CIPAV.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación* (5ta ed.). México D.F: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Ospina, J. C. (2015). *Fundamentos de envases y embalajes* (1ra ed.). Cali, Colombia: Corporación universidad de la costa.
- Política Nacional sobre gestión integral de residuos sólidos. (2005). *La Gaceta Diario Oficial*, Nicaragua(163), 20. <https://doi.org/http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/b34f77cd9d23625e06257265005d21fa/d132318726051846062570ab0064017d?OpenDocument>

- PROLEÑA. (Mayo de 2013). Cocinas mejoradas de Nicaragua. (1ra). Managua, Nicaragua.
- PROLEÑA. (Abril de 2013). Cuadernillo popular de cocinas mejoradas. 19. Managua, Nicaragua.
- Quezada, B., Zapata, G., & Meyrat, A. (2010). *Especies arboreas del Arboretum*. Editronic.
- RAE. (10 de Marzo de 2022). RAE: <https://dle.rae.es/eficiencia>
- Real Academia Española [RAE]. (s.f de 2005). *Cultura. En Diccionario de la lengua española*. Real Academia Española: <https://www.rae.es/dpd/aserr%C3%ADn>
- Roque Moya, R. (2017). En *Tecnología de la madera aplicada a la biomasa dendroenergetica* (pág. 19). universidad nacional de ciencias forestales.
- Russell, L. D., & A.AdDebiyi, G. (1997). Determinacion del poder calorifico. En *termodinamica clasica* (pág. 703). Pearson.
- Seoánez, M. (2013). *Tratado de la biomasa* (1ra ed.). España: McGraw-Hill/Interamericana.
- Universidad Española de Alicante. (13 de enero de 2022). *analisis del poder calorifico bomba calorimetrica. Servicios tecnicos de investigacion:* <https://sstti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-analisis-termico/analisis-de-poder-calorifico-bomba-calorimetrica.html#>

X. Anexos



Anexo 1. Proceso de Tamizado de Aserrín



Anexo 2. Cortado de la cascara de plátano



Anexo 3. Cocción de la cascara de plátano



Anexo 4. Triturado de la Cascara de plátano



Anexo 5. Cartón en remojo



Anexo 6. Compactación de la mezcla Aserrín-Aglutinante

Levantamiento de resultados en pruebas físicas y de encendido de briquetas elaboradas

PRUEBA FÍSICA DE LA BRIQUETA					PRUEBA DE ENCENDIDO DE LA BRIQUETA					
No. de briqueta	% de aserrín	% de cáscara de plátano	Estado			No. de briqueta	% de aserrín	% de cáscara de plátano	Estado	
			Mala	Regular	Excelente				No enciende	Enciende
# de briqueta	% de aserrín	% de cartón	Estado		# de briqueta	% de aserrín	% de cartón	Estado		
			Mala	Regular		Excelente			No enciende	Enciende

Anexo 7. Formato para levantamiento de resultados de pruebas físicas y de encendido de las briquetas.



Anexo 8. Secado de briquetas por radiación solar directa



Anexo 9. Prueba de ebullición de agua en cocina ONIL

DATOS GENERALES

FECHA	<input type="text"/>	FLUJO DE AIRE	<input type="text" value="H2O"/>
LUGAR	<input type="text"/>	PESO OLLA 1	<input type="text" value="gramos"/>
TÉCNICO	<input type="text"/>	PESO OLLA 2	<input type="text" value="gramos"/>
TIPO FOGÓN/ESTUFA	<input type="text"/>	PESO OLLA 3	<input type="text" value="gramos"/>
NOMBRE PRUEBA	<input type="text"/>	PESO CHAROLA	<input type="text" value="gramos"/>
# PRUEBA	<input type="text"/>	TEMPERATURA AMBIENTE	<input type="text" value="°C"/>



		INICIO FRIO		INICIO CALIENTE		FUEGO LENTO	
		INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Peso Filtro		<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>
Hora		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Cant. Combustible		<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>
Temp. Olla 1		<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>
Temp. Olla 2		<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>
Temp. Olla 3		<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>	<input type="text" value="°C"/>
Peso Olla 1 + H2O		<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>
Peso Olla 2 + H2O		<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>
Peso Olla 3 + H2O		<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>	<input type="text" value="gramos"/>
Iniciador de Llama		<input type="text" value="gramos"/>		<input type="text" value="gramos"/>		<input type="text" value="gramos"/>	
Charola + Carbón			<input type="text" value="gramos"/>		<input type="text" value="gramos"/>		<input type="text" value="gramos"/>

Nombre Archivo.CSV	<input type="text"/>	FOLIO	<input type="text"/>
--------------------	----------------------	-------	----------------------

FORMATO DE CAPTURA DE DATOS PEMS

Anexo 10. Formato para la toma de datos en la prueba de ebullición de agua (WBT).



No. de cotización: 1601
 Matriz de muestra: Aserrín
 Fuente:
 Cliente: Estudiante FTI (Mecánica)
 Atención: Jordan Steven Sánchez Chavarria
 Fecha: 26/05/22

Código: 213-1601-06-2022
 Telf:
 Móvil: 5791286
 email: jordansanchez1900@gmail.com
 Dirección: RUPAP
 Fecha de entrega: 06/06/22

INFORME DE ENSAYO Y/O ANALISIS

ANALISIS	MUESTRA			
	Unidad	No. 1	No. 2	No. 3
Humedad	%	11.17	10.64	
Poder calorífico	MJ/Kg	26.67	36.40	

DECLARACION: Este informe refleja el resultado de los parámetros analizados a solicitud del cliente a la(s) muestra(s) tomada(s) por él mismo

El porcentaje de humedad es en base seca ($\% H = ((mH - mS)/mS) * 100$)

Descripción de las muestras: muestra puntual

Muestra No. 1: Aserrín + Cartón
 Muestra No. 2: Aserrín + Plátano

Ing. Silvio Solórzano Moody
 Analista



MSc. Ing. Dionisio Vidaf Cáceres A.
 Coordinador de la Línea Biomasa

cc. Archivo

Pág. 1/1

1. HIGH POWER TEST (COLD START)	units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Time to boil Pot # 1	min	65	65	61	-	-	-	-	-	-	-	63.6666667	-	
Temp-corrected time to boil Pot # 1	min	71	70	64	-	-	-	-	-	-	-	68	-	
Burning rate	g/min	14	14	17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	15	✓	✓
Thermal efficiency	%	10%	10%	10%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10.20%	✓	✓
Specific fuel consumption	g/liter	128	133	136	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	132	✓	✓
Temp-corrected specific consumption	g/liter	139	142	144	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	142	✓	✓
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	3,529	3,612	3,643	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	3595	✓	✓
Firepower	watts	5,793	5,865	7,092	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6249.910024	✓	✓

2. HIGH POWER TEST (HOT START)	units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Time to boil Pot # 1	min	36	46	43	-	-	-	-	-	-	-	41.6666667	-	
Temp-corrected time to boil Pot # 1	min	40	49	46	-	-	-	-	-	-	-	45	-	
Burning rate	g/min	18	15	19	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	17	✓	✓
Thermal efficiency	%	30%	28%	26%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	28.15%	✓	✓
Specific fuel consumption	g/liter	114	118	124	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	118	✓	✓
Temp-corrected specific consumption	g/liter	127	126	132	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	128	✓	✓
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	3,228	3,183	3,352	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	3254	✓	✓
Firepower	watts	7,659	6,402	7,900	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	7320	✓	✓

3. LOW POWER (SIMMER)	units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Burning rate	g/min	5	7	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6	✓	✓
Thermal efficiency	%	9%	10%	7%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8.75%	✓	✓
Specific fuel consumption	g/liter	40	56	45	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	47	✓	✓
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	1,014	1,408	1,150	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1191	✓	✓
Firepower	watts	2,224	2,946	2,563	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2578	✓	✓
Turn down ratio	--	2.61	1.99	2.77	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2	✓	✓

Anexo 12. Resultados del WBT (Ver 4.2.3) en cocina ONIL, usando briqueta de aserrín con cartón como combustible.

1. HIGH POWER TEST (COLD START)	units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Time to boil Pot # 1	min	65	57	65	-	-	-	-	-	-	-	62.333333	-	
Temp-corrected time to boil Pot # 1	min	70	62	70	-	-	-	-	-	-	-	67	-	
Burning rate	g/min	14	15	14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	14	✓	✓
Thermal efficiency	%	9%	11%	9%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	9.58%	✓	✓
Specific fuel consumption	g/liter	129	126	130	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	128	✓	✓
Temp-corrected specific consumption	g/liter	139	137	139	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	138	✓	✓
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	4,862	4,793	4,868	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	4841	✓	✓
Firepower	watts	7,969	8,649	8,033	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8217.1846	✓	✓

2. HIGH POWER TEST (HOT START)	units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Time to boil Pot # 1	min	40	37	52	-	-	-	-	-	-	-	43	-	
Temp-corrected time to boil Pot # 1	min	43	40	56	-	-	-	-	-	-	-	46	-	
Burning rate	g/min	18	19	17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	18	✓	✓
Thermal efficiency	%	10%	13%	9%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10.68%	✓	✓
Specific fuel consumption	g/liter	105	108	128	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	114	✓	✓
Temp-corrected specific consumption	g/liter	113	117	137	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	122	✓	✓
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	3,962	4,106	4,794	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	4287	✓	✓
Firepower	watts	10,640	11,389	9,852	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10627	✓	✓

3. LOW POWER (SIMMER)	units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Burning rate	g/min	3	3	3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	3	✓	✓
Thermal efficiency	%	14%	17%	13%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	14.89%	✓	✓
Specific fuel consumption	g/liter	22	23	22	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	22	✓	✓
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	787	801	763	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	783	✓	✓
Firepower	watts	1,982	1,983	1,842	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1936	✓	✓
Turn down ratio	--	4.02	4.36	4.36	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	4	✓	✓

Anexo 13. Resultados del WBT (Ver 4.2.3) en cocina ONIL, usando briqueta de aserrín con cáscara de plátano como combustible.

1. HIGH POWER TEST (COLD START)		units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Time to boil Pot # 1	min	70	65	63	-	-	-	-	-	-	-	-	66	-	
Temp-corrected time to boil Pot # 1	min	76	66	65	-	-	-	-	-	-	-	-	69	-	
Burning rate	g/min	15	18	18	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	17		
Thermal efficiency	%	14%	13%	13%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	13.10%		
Specific fuel consumption	g/liter	150	165	159	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	158		
Temp-corrected specific consumption	g/liter	163	167	163	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	164		
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	2,835	2,912	2,833	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2860		
Firepower	watts	4,316	5,114	5,201	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	4876.8172		

2. HIGH POWER TEST (HOT START)		units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Time to boil Pot # 1	min	58	59	56	-	-	-	-	-	-	-	-	57.666667	-	
Temp-corrected time to boil Pot # 1	min	63	61	59	-	-	-	-	-	-	-	-	61	-	
Burning rate	g/min	18	18	19	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	18		
Thermal efficiency	%	19%	19%	20%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	19.33%		
Specific fuel consumption	g/liter	155	162	156	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	158		
Temp-corrected specific consumption	g/liter	168	169	165	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	168		
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	2,928	2,943	2,876	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2915		
Firepower	watts	5,077	5,350	5,400	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	5275		

3. LOW POWER (SIMMER)		units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Burning rate	g/min	2	3	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2		
Thermal efficiency	%	56%	54%	55%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	54.88%		
Specific fuel consumption	g/liter	14	15	15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	15		
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	249	257	266	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	257		
Firepower	watts	592	762	595	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	649		
Turn down ratio	--	7.29	6.72	8.75	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8		

Anexo 14. Resultados del WBT (Ver 4.2.3) en cocina ONIL, usando leña de madero negro como combustible.