

COSTOS COMPARATIVOS DEL CONSUMO DE BRIQUETAS DE CARBÓN CON OTRAS FUENTES ENERGÉTICAS PARA USO DOMÉSTICO

CARLOS A. LONDOÑO G.,
DUBIAN FREDY GÓMEZ,
JAMMY DANilo DE LA PAVA.

*Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas,
Centro de Investigaciones del carbón y
Departamento de Procesos Químicos. Apartado Aéreo 1027 Medellín
e-mail: clondono@perseus.unalmed.edu.co. danilopava@epm.net.co*

RESUMEN

Se hace un análisis comparativo de costos del uso de energía eléctrica, GLP(gas licuado de petróleo), gasolina y briquetas de carbón. Para ello, se obtuvo la eficiencia energética en la cocción de alimentos para las fuentes energéticas antes mencionadas. En cuanto a costos la mejor opción es el GLP, seguido por la gasolina, luego la estufa de dos briquetas con control de fuego y la opción más costosa es la energía eléctrica independientemente del estrato socioeconómico.

PALABRAS CLAVE

Briquetas de carbón, GLP, energía eléctrica, gasolina, costos comparativos, energéticos de uso doméstico, eficiencia energética.

ABSTRACT

A comparative analysis of costs about the use of electric energy, LPG, petrol and coal briquets has been made. In order to achieve this, the energetic efficiency in relation to cooking food for each energetic source mentioned before was obtained. The costs analysis reaches the conclusion that the best option is LPG, followed by petrol, later on the two briquets oven with fire controlled and the most expensive option is the electric energy without regarding of the socioeconomic level.

KEY WORDS

Coal briquets, LPG, electric energy, petrol, comparative costs, energetic sources of domestic use, energetic efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

Las briquetas de carbón surgen en la actualidad como un medio energético muy eficaz para la sustitución de los energéticos convencionales que se utilizan en la cocción de alimentos teniendo como uno de sus principales atractivos el bajo precio de venta, es así como en este artículo se realiza un análisis comparativo entre los costos del kW-h de la briqueta aprovechado en la cocción con respecto al costo de otros energéticos utilizados en la cocción de alimentos como la energía eléctrica, gas licuado de petróleo (GLP) y gasolina teniendo en cuenta los precios de estos en la región de influencia del proyecto de comercialización de las briquetas.

Para realizar la comparación se obtuvo experimentalmente la eficiencia energética con cada uno de los combustibles que se mencionaron anteriormente.

2. ENERGÉTICOS DE USO DOMESTICO EN LAS ZONAS RURALES

Los energéticos de mayor utilización por la población rural para uso doméstico y actividades económicas ligadas a la vivienda son: Electricidad, carbón mineral, leña, carbón de leña, petróleo, GLP y otros de baja utilización como la gasolina y la carbonilla. [1]

En el plan maestro de mercadeo de briquetas de carbón [1] se encuentra la distribución de la utilización de los energéticos para cocción en dos poblaciones tipo en la zona de influencia del proyecto. Esta se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Utilización de los energéticos para cocción [1]

Energético	Uso	
	Angelópolis	Jardín
Carbón mineral	35 %	0 %
Gas Propáno	24 %	0 %
Electricidad	22 %	33 %
Leña	19 %	33 %
Petróleo	0 %	17 %
Gasolina	0 %	17 %
Total	100 %	100 %

El mayor consumo de energía para la cocción de los alimentos se presenta en la electricidad, siguiendo en orden de importancia la leña.

Las características de los principales energéticos se muestran a continuación.

2.1. ELECTRICIDAD

Los usuarios rurales campesinos que conforman la mayor población objetivo para consumo de briquetas de carbón, pertenecen en su mayoría a estratos bajos. Las tarifas del servicio de energía eléctrica alejan el servicio, de la capacidad económica de un alto porcentaje de la población. Es común que en las veredas ya electrificadas se utilice este tipo de energía para iluminación, televisión y los escasos electrodomésticos a que algunos tienen acceso; por el contrario los campesinos utilizan para cocinar cualquier otro tipo de energético de menor costo, en especial la leña. El problema de los costos de la electricidad se agudizará con el tiempo, puesto que las tarifas están indexadas y las empresas productoras tienen que alcanzar niveles de autocosteabilidad a corto plazo, logrando así el desmonte de los subsidios hasta ahora concedidos a los estratos bajos.

2.2. LEÑA

Es uno de los combustibles más utilizados en nuestro medio por la población campesina. En la actualidad deben conseguirla en el monte aún verde, transportarla y secarla lo que les ocupa grandes períodos de tiempo; presenta factores negativos

como deforestación, humo, hollín, calor radiante, residuos y olor.

2.3. GAS PROPANO

Actualmente existen apenas unas pocas áreas urbanas que inician la distribución de gas por red, el resto de los usuarios se surte a través de pipetas cuyo transporte es difícil y costoso.

Como factor negativo se encuentra el aparente peligro en su utilización, a juicio de los usuarios.

2.4. CARBÓN MINERAL

Existe bastante en la región del proyecto y es de fácil obtención, tiene difícil manipulación y es contaminante.

2.5. PETRÓLEO Y GASOLINA

Son de fácil consecución y de buen rendimiento energético. Los factores negativos que presentan son la contaminación, hollín y la manipulación altamente peligrosa.

2.6. BRIQUETAS DE CARBÓN

Se producen dos tipos de briquetas:

- Briqueta corriente: Consta de un cuerpo básico formado en un 80 % por carbón, 15 % de arcilla y 5 % de químicos para evitar la emisión de humos y olores.
- Briqueta de fácil encendido: Se compone de tres capas:
 - * La superior: Fácil encendido; formada por pirógeno, carbón y aglutinante.
 - * La intermedia: Alta combustión; formada por carbonilla, carbón y aglomerante.
 - * La inferior: Cuerpo básico de la briqueta; formada por carbón y arcilla

Todas las briquetas poseen una altura de 10 cm y un diámetro de 12 cm.

3. CALCULO DE LOS COSTOS DE LOS ENERGÉTICOS

3.1. COSTO DEL kW-h APROVECHADO

3.1.1 Briquetas

El costo del kW-h aprovechado de las briquetas en cada estufa utilizada en el trabajo se calcula de la siguiente forma:

$$Y_B = \frac{\sum X_{Bi}}{\eta \sum (Q_{DWi} \times D_i)} \quad (1)$$

Siendo:

η = Varía según la cantidad de briquetas utilizadas en la estufa. ($i = 1, 2, 3$)

Q_{DWi} = El poder Calorífico promedio de las briquetas ($kW\cdot h/g$)

η = Eficiencia térmica promedio sin control del fuego [2].

D_i = Peso de las briquetas (g).

X_{Bi} = Precio de las briquetas (\$/Briqueta)

Y_B = Costo de kW-h aprovechado (\$/kW-h).

3.1.2 Energía Eléctrica

El costo del kW-h aprovechado de la energía eléctrica se puede calcular de la siguiente forma:

$$Y_E = \frac{X_E}{\eta_E} \quad (2)$$

Siendo:

η_E = Eficiencia térmica promedio del fogón eléctrico.

X_E = Tarifa de la energía eléctrica (\$/kW-h).

Y_E = Costo de kW-h aprovechado (\$/kW-h).

3.1.3 Gasolina

El costo del kW-h aprovechado de la gasolina se puede calcular de la siguiente forma:

$$Y_G = \frac{X_G}{\eta_G Q_G} \quad (3)$$

Siendo:

η_G = Eficiencia térmica promedio del fogón de gasolina.

X_G = Precio de la gasolina (\$/L).

Q_G = Poder calorífico de la gasolina (kW-h/L).

Y_E = Costo de kW-h aprovechado (\$/kW-h).

3.1.4 Gas Licuado de Petróleo

El costo del kW-h aprovechado del gas licuado de petróleo se puede calcular de la siguiente forma:

$$Y_P = \frac{X_P}{\eta_P Q_P} \quad (4)$$

Siendo:

η_P = Eficiencia térmica promedio del fogón de gas.

X_P = Precio del GLP (\$/lb).

Q_P = Poder calorífico del GLP (kW-h/lb).

Y_P = Costo de kW-h aprovechado (\$/kW-h).

3.2 COSTO DEL kW-h CONSUMIDO

El costo del kW-h consumido es igual al producto de la eficiencia de cocción por el costo del kW-h aprovechado.

3.3 COSTO MENSUAL DE LA ENERGÍA

Corresponde al costo total de la energía consumida en cocción de alimentos en un mes con cualquiera de los energéticos y se puede calcular de la siguiente forma:

$$CEM = CEC \times C + D + CF \quad (5)$$

Siendo:

CEM = Costo de la energía por mes (\$/mes)

CEC = Costo del kW-h consumido (\$/kW-h)

C = Consumo mensual de energía (kW-h/mes)

D = Depreciación (\$/mes)

CF = Cargo Fijo (\$/mes)

La depreciación se refiere al valor mensual que se debe tener en cuenta por la compra de las estufas y se utilizó depreciación lineal a cinco años.

4. MONTAJE

El procedimiento experimental para obtener las eficiencias energéticas se unificó para todos los combustibles en la forma descrita para estufas que usan briquetas de carbón [3]. La descripción de los equipos utilizados se encuentra en un Anexo

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados que se presentan tienen una exactitud del 95% y la forma como se realizó el manejo

estadístico de los datos ha sido explicado por Gómez y De la Pava [4].

Todos los precios que se presentan son para el mes de Julio de 1999.

Las tarifas de energía eléctrica en zonas residenciales dependen del estrato y del consumo de energía para los estratos uno, dos y tres. A continuación se muestran las tarifas con datos suministrados por la Empresa Antioqueña de Energía que es la encargada de suministrar la energía eléctrica en las zonas rurales de Antioquia.

Tabla 2 Tarifas de la energía eléctrica (\$/kW-h). (Julio de 1999) [5]

Estrato	Consumo (kW-h/mes)			Cargo Fijo (\$)
	1 - 112	113 - 200	Más de 200	
1	46.15	84.53	169.06	330
	1-97	98-200	Más de 200	
2	46.15	101.44	169.06	860
	1-87	88-200	Más de 200	
3	46.15	143.70	169.06	2261
4	169.06			-
5	204.14			-
6	204.14			-

Las tarifas de los demás energéticos se presentan a continuación.

Tabla 3 Precio de las briquetas, gasolina y GLP en el mercado. (Julio de 1999)

Energético	Costo
Briqueta de fácil encendido	450
Par de briquetas	550 ^a
Tres briquetas	700 ^b
Gasolina (\$/L)	700
GLP (\$/lb)	300

^aIncluye una briqueta de fácil encendido y una corriente[6].

^bIncluye una briqueta de fácil encendido y dos corrientes[6].

La eficiencia de las estufas eléctricas entendida como la relación entre la energía aprovechada en la cocción y la energía suministrada es de 54.8 %. Con esta eficiencia y teniendo en cuenta la tarifa del kW-h consumido se puede tener el precio del kW-h aprovechado, este se ve en la Tabla 4.

Tabla 4 Precios del kW-h aprovechado para la energía eléctrica (\$/kW-h). (Julio de 1999).

Estrato	Consumo (kW-h/mes)		
	1 - 61	62 - 110	Más de 110
1	84.22	154.25	308.50
	1-53	54-110	Más de 110
2	84.22	185.11	308.50
	1-48	49-110	Más de 110
3	84.22	262.23	308.50
4		308.50	
5		372.52	
6		372.52	

Con la ayuda de las fórmulas que se dieron en el numeral 3 se puede calcular el precio del kW-h consumido y aprovechado para los demás energéticos (Tabla 5).

De las eficiencias energéticas obtenidas para los diferentes tipos de estufas se tiene que la más eficiente es la estufa eléctrica (54.8 %). Las eficiencias de las estufas de gasolina y de GLP son muy similares, lo mismo ocurre entre las estufas de las briquetas, de las cuales la estufa con capacidad de dos briquetas es la que tiene mayor eficiencia (37.4 %).

El costo del kW-h de las briquetas disminuye a medida que aumenta el número de briquetas que usa la estufa. esto se debe a que cuando se aumenta la capacidad de las estufas se aumenta la cantidad de briquetas corrientes utilizadas, las cuales tienen un menor costo y suministran una cantidad de energía mayor que la briqueta de fácil encendido. Lo anterior daría para pensar que lo mejor para la cocción es utilizar una estufa con bastantes briquetas corrientes, pero su número está limitado por el tiempo de uso en cocción de la estufa.

Tabla 5 Precios del kW-h de las briquetas, la gasolina y el GLP. (Julio de 1999)

Energético	Eficiencia		\$/kW-h Aprovechado		\$/kW-h Consumido
	Sin control	Con control	Sin control	Con control	
Estufa de una briqueta	35.5	24.2	244.4	358.7	86.8
Estufa de dos briquetas	37.4	23.4	130.7	208.8	48.9
Estufa de tres briquetas	37.0	23.3	111.5	176.9	41.3
Gasolina	49.1		139.8		68.6
GLP	49.9		90.9		45.4

Si se quiere cocinar tres veces al día con la estufa de una briqueta se necesitan diariamente tres briquetas de fácil encendido, lo que representa un costo mensual de \$ 40500; las tres briquetas de fácil encendido en combustión continua suministran 165.6 kW-h aprovechado al mes. Si se utiliza una estufa con capacidad de dos briquetas se requieren 30 briquetas de fácil encendido y 30 briquetas corrientes al mes, que tiene un costo mensual de \$ 16500; las dos briquetas de carbón si se utiliza controlando el fuego tres veces al día entregan un total de 78.9 kW-h aprovechables al mes. Si se utiliza una estufa con capacidad de tres briquetas se requieren 30 briquetas de fácil encendido y 60 briquetas corrientes al mes, que tienen un costo de \$ 21000; las tres briquetas de carbón si se utilizan controlando el fuego tres veces al día entregan un total de 118.8 kW-h.

Desde el punto de vista de costos la mejor es la estufa con capacidad de dos briquetas, pero tiene la limitante que en el mes entrega una menor cantidad de energía aprovechada que la estufa de tres briquetas y que la entregada por la estufa de una briqueta.

Si se comercializa en el medio la estufa con capacidad de dos briquetas que es como lo propone Bricarbón, los hogares que la utilicen para cocinar tres veces al día deben tener un consumo aprovechado menor o igual a 78.9 kW-h, tomando este valor como base de consumo mensual se pueden calcular los costos de los demás energéticos. Con la energía eléctrica se debe tener en cuenta que esta no solamente se utiliza para cocción de alimentos en el hogar; el consumo promedio de una familia de cinco personas es de 400 kW-h [1] de los cuales $78.9 \text{ kW-h} / 0.548 = 144 \text{ kW-h}$

serían debidos a la cocción y se pagarian al precio de cada kW-h de los 400 kW-h. Los costos de los energéticos junto con el precio comercial de las estufas se muestran en la Tabla 6

De los resultados mostrados en la Tabla 6 se puede decir que las estufas de dos briquetas no compiten en costo con el GLP ni con la gasolina; pero sí con la energía eléctrica en todos los estratos. Esto adicionalmente hace viable el uso de briquetas de carbón tanto en el sector comercial como en el industrial en comparación con la energía eléctrica.

Tabla 6 Costo mensual de la energía.(Julio de 1999)

Energético	Costo de la estufa (\$)	Costo mensual (\$/mes)*
Electricidad estrato 1	46000 ^a	17808
Electricidad estrato 2	46000 ^a	19172
Electricidad estrato 3	46000 ^a	22491
Electricidad estrato 4	46000 ^a	25107
Electricidad estrato 5	46000 ^a	30158
Electricidad estrato 6	46000 ^a	30158
Estufa de una briqueta	28000	40967
Estufa de dos briquetas	35000	17083
Estufa de tres briquetas	45000	21750
Gasolina	54000 ^b	11972
GLP	93000 ^c	8728

a. Este valor es para una estufa de dos puestos.

b. Este valor es para una estufa de gasolina de dos puestos.

c. Este valor incluye una estufa de gas de dos puestos cilindro de 40 lb y regulador de presión.

La depreciación de las estufas se realizó a cinco años.

7. CONCLUSIONES

La fuente energética de mayor eficiencia para la cocción de alimentos es la energía eléctrica con un 54.8% seguida por el GLP con 49.9% y por la gasolina con 49.1%. La eficiencia energética para las estufas que usan briquetas es muy inferior siendo la de mayor eficiencia la estufa de dos briquetas cuando se usa sin control de fuego y la de peor desempeño la de tres briquetas con control de fuego.

A pesar de la conclusión anterior desde el punto de vista del uso eficiente de la energía, el análisis de costos para los usuarios nos lleva a resultados totalmente diferentes, siendo la mejor opción el GLP, seguido por la gasolina. Las briquetas compiten en costos con la energía eléctrica en todos los estratos socioeconómicos cuando se usan estufas de dos briquetas con control de fuego.

No es recomendable pensar en tener en el mercado estufas de una briqueta debido a baja eficiencia energética y los costos más elevados del mercado.

De acuerdo a este estudio de costos la estufa de tres briquetas compite con la energía eléctrica en los estratos tres, cuatro, cinco y seis. Por ello se recomienda realizar un estudio que permita saber con más certeza la factibilidad de colocar este tipo de estufa en el mercado debido a que adicionalmente tiene la ventaja, con relación a la de dos briquetas, de disponer de un 50.6% más de energía aprovechable con un incremento en costos para el usuario de solo el 27.3%.

8. RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecerle a la empresa Bricarbón S.A. al facilitar implementos para esta investigación, lo mismo que al laboratorio de Ingeniería de Petróleos de la Facultad de Minas.

9. REFERENCIAS

1. PROMOTORA DE DESARROLLO FUNDACIÓN CODESARROLLO. Plan Maestro de Mercadeo, Medellín, 1997.
2. PEILAN, Wang; ZONGCHENG, Huang. Testing Method for Upper-Ignition Bituminous Coal Honeycomb Briquet and Stoves. Comunicación privada.
3. Londoño, Carlos A., De la Pava, Jammy Danilo y Gómez Dubian Fredy. "Propiedades de las briquetas de carbón." IV Congreso Nacional y III Internacional de ciencia y Tecnología del Carbón, Paipa, Colombia 19 al 22 de Mayo de 1998, pp201 a 213.
4. Gómez G. Dubian Fredy, De La Pava Jammy Danilo. "Evaluación de las propiedades e índices técnicos de briquetas de carbón en forma de panal " Trabajo de grado. Universidad Nacional. Facultad de Minas. 1998.
5. EMPRESA ANTIOQUEÑA DE ENERGÍA. Dirección de comercialización. Departamento de facturación. Tarifas Julio 1999.
6. BRICARBON S.A. Precios Julio 1999.

ANEXO

Descripción del montaje y de los equipos usados.

1. Energía Eléctrica

El equipo utilizado en la experiencia se lista a continuación:

- 1 Estufa de un puesto de 110-120 V.
- 1 Olla de aluminio de 24 cm de diámetro.
- 1 Termómetro de mercurio de -10 °C a 105 °C con precisión de 0.2 °C.
- 1 Balanza electrónica con capacidad de 4000 g. con precisión de 0.1 g.
- 1 Multímetro.
- 1 Calentador.
- 1 Beaker con capacidad de 2000 ml.
- 1 Soporte universal.
- 1 Cronómetro.

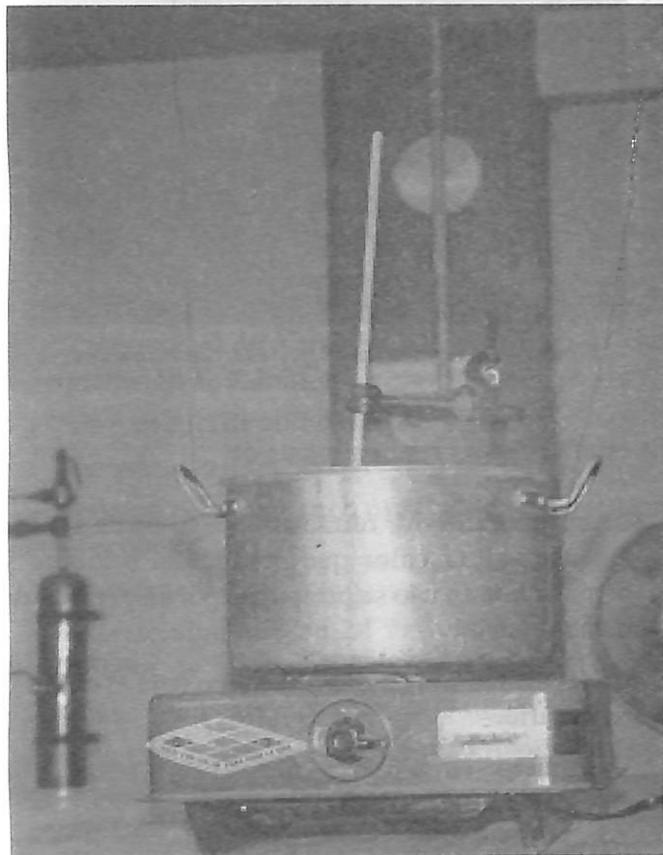


Figura 1 Montaje estufa eléctrica.

2. Gasolina

La gasolina que se utilizó para esta experiencia tiene las siguientes propiedades:

Poder Calorífico (cal/g.)	11125.4
Gravedad específica	0.7883

El equipo utilizado en la experiencia se lista a continuación:

- 1 Fogón de gasolina
- 1 Olla de aluminio de 24 cm de diámetro
- 1 termómetro de mercurio de -10 °C a 105 °C con precisión de 0.2 °C
- 1 Balanza electrónica con capacidad de 4000 g. con precisión de 0.1 g.
- 1 Calentador.
- 1 Cilindro graduado de 1000 cm³.
- 1 Beaker con capacidad de 2000 ml.
- 1 Soporte universal.
- 1 Cronómetro

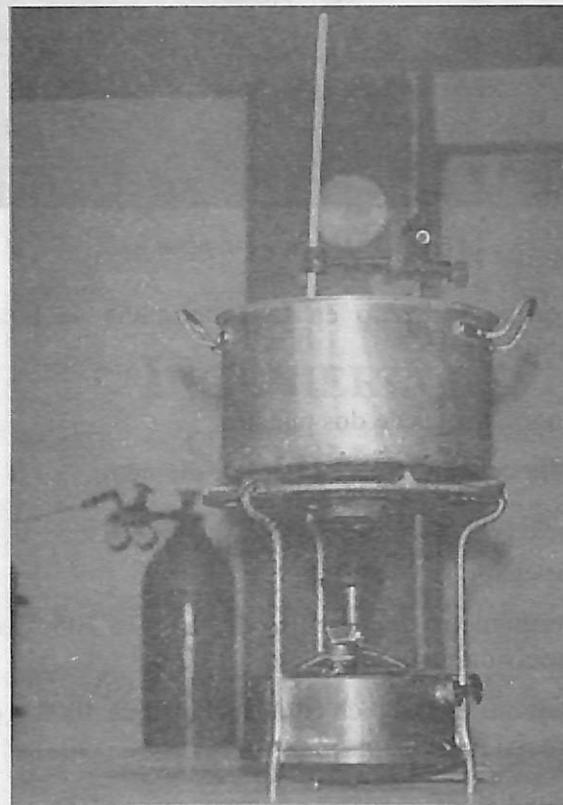


Figura 2 Montaje estufa de gasolina.

3. Gas Licuado de Petróleo

El gas licuado de petróleo que se utilizó para esta experiencia tiene las siguientes propiedades:

Poder Calorífico(kcal/m ³)	23398.9
Gravedad específica	1.55

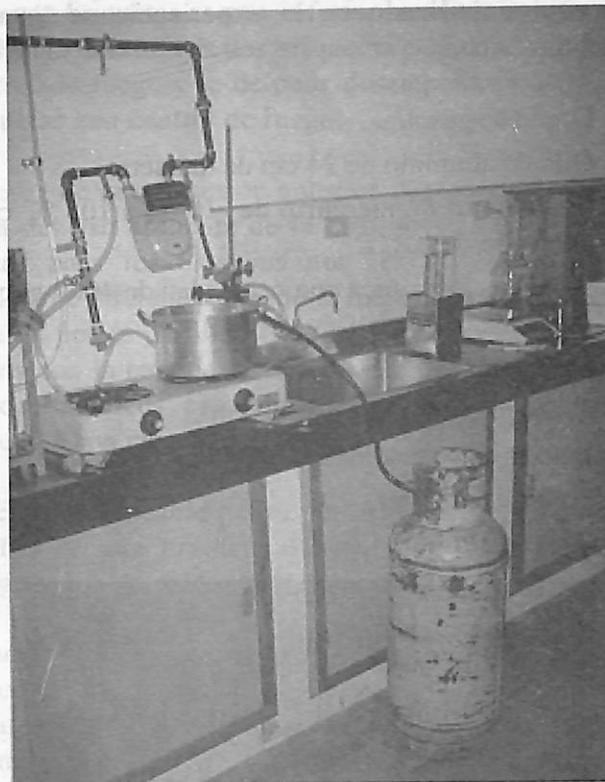


Figura 3 Montaje estufa de gas.

El equipo utilizado en la experiencia se lista a continuación:

- 1 Fogón de gas de dos puestos.
- 1 Olla de aluminio de 24 cm de diámetro
- 1 Contador de flujo de gas de tipo diafragma.
- 1 Pipeta de gas de 40 lb.
- 1 Termómetro de mercurio de -10 °C a 105 °C con precisión de 0.2 °C.
- 1 Balanza electrónica con capacidad de 4000 g con precisión de 0.1 g.
- 1 Calentador.
- 1 Beaker con capacidad de 2000 ml.

1 Soporte universal.

1 Cronómetro.

4. BRIQUETAS

La metodología para el cálculo de la eficiencia, las capacidades caloríficas y los pesos de las briquetas se encuentran publicados en otro artículo [3].



Figura 4 Estufa para el quemado de briquetas cilíndricas.

La estufa consta principalmente de:

- Un cilindro interior refractario, cuyo fin es ayudar a conservar el calor que produce la briqueta y permitir que su uso se prolongue por un periodo de tiempo mayor.
- Un revestimiento exterior metálico para el cilindro refractario.
- Una puerta en la parte inferior que permite la entrada de aire por tiro natural.
- En la parte superior existen unos orificios que permiten la entrada de aire secundario.

El método de uso de las estufas es de la siguiente forma:

- Poner las briquetas dentro de la estufa. La estufa de una sola briqueta utiliza briquetas de fácil encendido las cuales se deben introducir con la capa de fácil encendido hacia arriba. En las estufas de dos o más briquetas se introducen primero las briquetas corrientes y por último se introduce la briqueta de fácil encendido.
- Abrir la puerta de la estufa para permitir la entrada de aire a la estufa
- Ignición: Prender un fósforo y colocarlo en la parte superior de la briqueta de fácil encendido.
- Ajustar el flujo del aire primario y secundario: Cuando el fuego es muy fuerte y se quiere disminuirlo se puede cerrar un poco la puerta de entrada de aire.
- Control del fuego: Despues de cocinar una comida, el fuego puede controlarse mediante el cierre de la puerta de entrada de aire y taponamiento de la parte de calentamiento, para volver a utilizar la estufa para la siguiente comida se abre de nuevo la puerta de entrada de aire y se destapa la parte de calentamiento.

El equipo utilizado en estas experiencias se lista a continuación:

- 1 Termómetro de mercurio (De -10°C a 105°C con precisión de 0.2°C).
- 1 Termocupla de bulbo tipo K.
- 1 Termocupla de superficie tipo K.
- 1 Balanza electrónica con capacidad de 4000 g y con precisión de 0.1 g.
- 1 Calentador.
- 1 Olla de aluminio de 24 cm de diámetro marca IMUSA.
- 1 Beaker con capacidad de 2000 ml.
- 2 Indicadores de temperatura para termocuplas tipo K.
- 3 Soportes universales.
- 1 Cronómetro.

FACULTAD DE
MINAS
DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
COLOMBIA

NUEVAS CARRERAS

❖ INGENIERÍA DE
SISTEMAS E
INFORMÁTICA

❖ INGENIERÍA DE
CONTROL

Para mayor información, marque el número 2 en el desprendible final