

Estudio sobre la influencia de la potencia calorífica del quemador y el tipo de recipiente en la eficiencia de cocción a nivel residencial

Study on the influence of the heat output of the burner and the type of container in the cooking efficiency at the residential level.

Yamid Alberto Carranza Sánchez, Andrés Felipe Villa Panesso
 Facultad de Tecnología, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia
 yamidc@utp.edu.co
 andresv@utp.edu.co

Resumen- Este artículo presenta el estudio experimental de la influencia de los factores potencia calorífica del quemador y tipo de recipiente en la eficiencia de cocción en una estufa de tipo residencial. Se emplea como combustible gas propano y se realiza el calentamiento de agua para simular el proceso de cocción. Para los factores estudiados se han tenido en cuenta dos niveles para cada uno de ellos en un experimento factorial 2². Se determina el nivel de interacción de dichos factores y su influencia en el proceso de cocción.

Palabras Claves- Eficiencia de cocción, quemadores, recipientes de cocción.

Abstract- This article shows the experimental study of the influence of the factors calorific power of the burner and type of container in the efficiency of cooking in a type of residential stove. It is employed like fuel propane and the warming-up of water is carried out to simulate the cooking process. To the studied factors were taken into account two levels for each one of them in a factorial experiment 2². The cooking process it's determined by the level of interaction and their influence.

Keywords- Cooking efficiency, burners, cooking.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se ha generado una gran preocupación en el tema del ahorro energético, los altos costos de los portadores energéticos y el alto impacto ambiental que las aplicaciones de conversión de energía conllevan. El uso racional y eficiente de la energía es una situación crítica en los diferentes sectores de consumo: industrial, comercial, transporte y residencial. En el caso del sector residencial, esta situación está movilizándolo a los gobiernos para tomar cartas en el asunto para promover el ahorro energético en actividades de consumo residenciales como la iluminación, la refrigeración, la cocción, entre otros. En el área de la cocción, pruebas realizadas en los Estados Unidos por la *U.S. Bureau of Standards* han demostrado que algunas

personas consumen un 50% más de energía que otras para cocinar los mismos alimentos [1]. Un adecuado estudio de los artefactos y elementos para la cocción de alimentos y de los procedimientos utilizados para este fin, son factores importantes de estudio para el mejoramiento de la eficiencia energética del proceso de cocción a nivel residencial y, por ende, de los programas de optimización de los recursos energéticos de un país.

En Colombia, desde hace algunos años se han lanzado campañas por parte de la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG), la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el Ministerio de Minas y Energía (MME) con el ánimo de invitar a los colombianos a cambiar su cultura de consumo de energía en el ámbito residencial. En el caso del Sistema de Información de Eficiencia Energética y de Energías Alternativas (SI3EA) de la UPME, se hace énfasis en iluminación y en refrigeración a nivel residencial.

Según documentos de Actualización y Revisión de los Balances Energéticos Nacionales de Colombia 1975-2009 [2] producido por la Unidad de Planeación Minero Energética UPME, el análisis del sector residencial arroja diversos análisis críticos entre los cuales se retoman los siguientes, debido a la relación inherente a la temática del presente estudio:

- “La estructura del consumo neto y útil de energía por usos y fuentes se halla seriamente afectada por la metodología de imputación de usos por fuente. Esto es así porque se han utilizado estructuras prácticamente fijas para asignar las cantidades de energía neta de cada energético por uso a lo largo de toda la serie de los Balances Energéticos Nacionales BEN desde 1975 a 2009.”
- “Lo anterior deforma totalmente la estructura de usos y no refleja los procesos de sustitución entre fuentes por uso, con lo cual la evolución de indicadores de consumo por uso por habitante resultan poco verosímiles. En particular, la aplicación de estructuras constantes de usos de la electricidad hace que los consumos calóricos de la energía eléctrica EE, (Ej. Cocción), se

hallen sobredimensionados, restando cantidades a otros usos cautivos de la EE. Es decir tal como se hallan actualmente asignados los energéticos por uso hacen que no se refleje cabalmente la fuerte sustitución que se ha producido desde 1997 en adelante con la penetración masiva del gas natural.”

▪ “Otro aspecto crítico lo constituye el hecho de que los consumos en energía útil resulten de eficiencias globales por fuente y no por fuentes y usos. Es decir no existe un análisis de consumos útiles válido.”

En este sentido, es importante poder generar información para propender por unos adecuados balances energéticos y de eficiencia en las aplicaciones de cocción para detallar mejor la estructura de consumo de portadores energéticos a nivel residencial: energía eléctrica y gas.

En el caso de Colombia, en el uso de energía para la cocción ha sido utilizado tradicionalmente el Gas Licuado del Propano GLP y, en los últimos años, se ha venido masificando el uso del Gas Natural GN. La figura 1 presenta la estructura de consumo sectorial del Gas Licuado del Propano GLP en el ámbito nacional desde el año 1993 hasta el 2005. Nótese cómo el mayor componente es el consumo de GLP a nivel residencial [3].

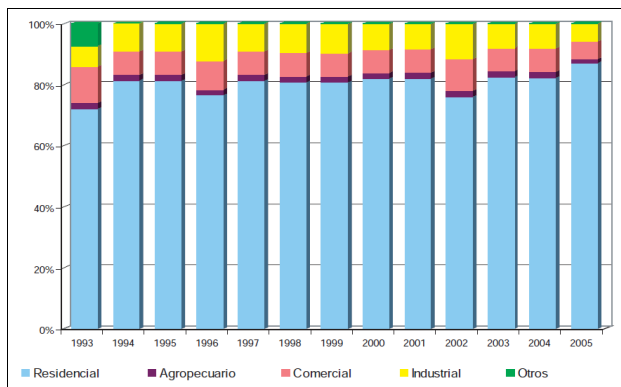


Figura 1. Estructura del consume residencial de energía neto por usos

Este trabajo presenta un estudio en el cual se hace la evaluación de la eficiencia energética para la cocción a nivel residencial a partir del portador energético gas propano GLP. Para ello se emplea un diseño experimental en función del nivel de potencia calorífica del quemador y del tipo de recipiente. Se utiliza un diseño factorial 2^2 que permite evaluar los dos factores mencionados y sus niveles que varían individualmente o de manera conjunta y así determinar las combinaciones o tratamientos que más influyen positiva y negativamente en la eficiencia de cocción. El estudio se apoya en teoría básica de la termodinámica y en un diseño y montaje experimental para la medición de variables del proceso de cocción el cual es simulado como un proceso de calentamiento de agua.

II. EFICIENCIA DEL PROCESO DE COCCIÓN

En este estudio el proceso de cocción ha sido analizado a partir del calentamiento de agua mediante un quemador de gas propano. La conversión de energía química del combustible gas propano genera la energía térmica que permitirá el proceso de calentamiento del agua y una parte de la energía se disipa al medio ambiente en forma de calor o energía perdida, tal como se ilustra en la figura 2.

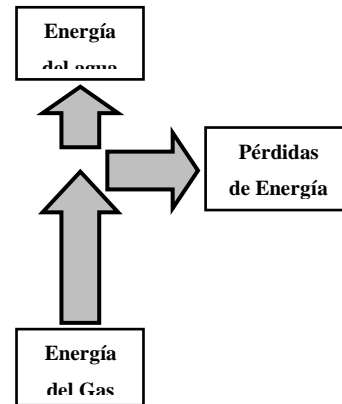


Figura 2. Flujo de energía en la aplicación de cocción

La eficiencia del proceso de conversión de energía corresponde a la fracción de la energía que llega al proceso respecto a la energía entregada por el portador energético. Para el caso de la eficiencia del proceso de calentamiento o cocción η , ésta se encuentra relacionada con la energía que se adiciona al agua E_{agua} y con la energía o calor suministrado por el combustible E_{comb} y puede expresarse como:

$$\eta = \frac{E_{agua}}{E_{comb}} \times 100\% \quad (1)$$

La determinación de la energía adicionada al agua se realiza a partir de la Primera Ley de la Termodinámica [4]:

$$E_{agua} = m \cdot (u_f - u_i) \quad (2)$$

Donde m es la masa del agua que se utiliza en el proceso de calentamiento, u_f y u_i es la energía interna del agua al final y al inicio del proceso de cocción. Asumiendo que el agua se mantiene líquida durante el proceso de calentamiento, se calcula la energía interna del agua a partir de su temperatura y considerando el estado de líquido comprimido.

Para el caso de la energía suministrada por el combustible, el cálculo se realiza mediante el flujo de combustible en el quemador y el tiempo durante el cual se realiza el proceso de calentamiento desde un estado inicial del agua hasta uno final. Esta energía o calor del combustible E_{comb} puede expresarse como:

$$E_{comb} = \dot{V}_{comb} \cdot t \cdot PC \quad (3)$$

Donde \dot{V}_{comb} es el flujo volumétrico de combustible en el caso de ser un combustible gaseoso, t es el tiempo que dura el calentamiento y PC es el poder calorífico del combustible que en el caso de un combustible gaseoso es la energía liberada en la combustión por unidad de volumen. Para este estudio se ha considerado el poder calorífico inferior del GLP.

La tabla 1 presenta los datos de referencia considerados en el experimento para la masa de agua, para la temperatura inicial, para la temperatura final y el poder calorífico del GLP. En el caso de la temperatura inicial se presenta un rango debido a la variación tenida durante el experimento.

| VARIABLE | VALOR | UNIDAD |
|------------------------------|-------|-------------------|
| Masa | 1 | kg |
| Temperatura inicial del agua | 20-22 | °C |
| Temperatura final del agua | 70 | °C |
| Poder calorífico | 85748 | kJ/m ³ |

Tabla 1. Datos de algunas variables del experimento

Las pérdidas de energía $E_{pérdidas}$ en el proceso de calentamiento están relacionadas con la energía suministrada por el combustible y con la energía adicionada al agua en el proceso de calentamiento mediante la siguiente expresión:

$$E_{pérdidas} = E_{comb} - E_{agua} \quad (4)$$

Las pérdidas de energía están relacionadas con la eficiencia del proceso de cocción mediante la siguiente expresión:

$$\eta = \left(1 - \frac{E_{pérdidas}}{E_{comb}}\right) \times 100\% \quad (5)$$

III. MONTAJE Y PLAN EXPERIMENTAL

Como se mencionó anteriormente, este experimento consiste en determinar la energía agregada al agua durante un proceso de calentamiento el cual simulará un proceso de cocción y, paralelamente, en determinar la energía suministrada por el combustible durante el proceso de cocción. La figura 3 presenta el montaje experimental empleado para este estudio. Este consiste en un cilindro de gas propano que suministra el combustible a la estufa de gas. En la línea de suministro de combustible se encuentra un medidor de flujo volumétrico de gas o flujómetro. La estufa calienta el recipiente y el grado de calentamiento es medido a través del termómetro de termopar.



Figura 3. Montaje experimental

A. Cilindro de gas propano y medidor de flujo

El cilindro de gas empleado contiene el combustible Gas Licuado del Petróleo. El GLP ha sido tradicionalmente el primer energético utilizado para la cocción en los sectores residencial y comercial, no obstante la penetración que ha tenido el gas natural en los grandes centros urbanos y en localidades a lo largo de las redes de transporte de este último [5]. El cilindro de gas tiene un regulador de gas instalado para garantizar la presión típica de operación de las instalaciones de tipo residencial [6]. Para la medición del consumo de gas se ha empleado un medidor de flujo de área variable VFA-3 marca Dwyer® cuyo rango de medición de aire es de 0-5 SCFH (*Standard Cubic Feet per Hour*). Se hacen las correspondientes correcciones para la medición del gas GLP y por presión y temperatura, a partir de las siguientes expresiones. La ecuación 6 se emplea para hacer la corrección del flujo de gas por el tipo de combustible [7]:

$$Q_{propano} = Q_{aire} \cdot \sqrt{\frac{R_{propano}}{R_{aire}}} \quad (6)$$

Donde $Q_{propano}$ es el caudal equivalente de gas propano para el medidor de flujo que viene calibrado para aire, Q_{aire} es el caudal de aire estándar brindado por la escala del medidor de flujo, $R_{propano}$ es la constante de gas del propano y R_{aire} es la constante de gas del aire. Los datos de estas variables son presentados en

la tabla 2. Adicionalmente se hace una corrección por la presión y la temperatura del gas mediante la siguiente ecuación [8]:

$$Q_{\text{propano}^*} = Q_{\text{propano}} \cdot \sqrt{\frac{P_1 \cdot T_2}{P_2 \cdot T_1}} \quad (7)$$

Donde Q_{propano^*} es el caudal corregido de gas propano, P_1 es la presión actual, P_2 es la presión estándar, T_1 es la temperatura actual y T_2 es la temperatura estándar. Los valores considerados en este experimento se presentan en la tabla 2.

De acuerdo con el manual del flujómetro la presión actual P_1 se determina sumando la presión manométrica del gas a la presión de referencia de 14,7 psia. Se ha considerado una presión manométrica del gas de 5,6 psig. La temperatura estándar según el manual del flujómetro es 530 R.

| VARIABLE | VALOR | UNIDAD |
|----------------------------|-------|----------|
| R_{propano} | 189 | J/(kg-K) |
| R_{aire} | 287 | J/(kg-K) |
| Presión actual P_1 | 20,3 | psi |
| Presión estándar P_2 | 14,7 | psi |
| Temperatura actual T_1 | 540,6 | R |
| Temperatura estándar T_2 | 530 | R |

Tabla 2. Datos de las variables para hacer correcciones del flujo de gas

B. Estufa de gas y recipientes

La estufa de gas empleada es convencional para la utilización de GLP denominada también cocineta a gas y sus boquillas el quemador son las correspondientes para dicho combustible [9]. Su uso es destinado exclusivamente a aplicaciones de cocción de tipo residencial. Es adecuada para ubicar en ella recipientes de hasta de 28 cm de diámetro cuando se usa un solo puesto. El mínimo diámetro de recipiente es de 10 cm.

Los recipientes utilizados se denominan calderero recto y chocolatera base ancha, según se muestra en la figura 4. Se han empleado estos dos recipientes porque se considera que son una muestra representativa de dos recipientes con forma distinta y porque son ampliamente usados en las aplicaciones de calentamiento a nivel residencial. Los recipientes están fabricados en aluminio de alta pureza que ofrece durabilidad, resistencia y alta conducción del calor según las especificaciones del fabricante [10]. Ambos recipientes tienen una capacidad adecuada para 1,5 litros. Las dimensiones de los recipientes se presentan en la tabla 3. Cabe resaltar que en el estudio no fue utilizada la tapa de los recipientes.



Figura 4. Recipientes de cocción empleados. Izquierda: Chocolatera. Derecha: Calderero.

C. Termómetro, termopares y balanza

Para la medición de la temperatura del agua fue empleado un termómetro de termopar Fluke® modelo 54-2 cuya resolución es de 0,1 °C. Los termopares empleados son tipo K. Los termopares se introdujeron en el agua a dos alturas diferentes sin contacto con el material del recipiente y en puntos centrales para hacer un estimativo de la medición de temperatura del agua. Fue asumido que toda la masa de agua en el recipiente se encontraba a la misma temperatura ya que esto es un supuesto que facilita el desarrollo experimental. Para la medición de la masa de agua se ha empleado una balanza 3 kg con una resolución de 0,1 gramos. Se ha despreciado la masa que se pierde en el proceso de cocción.

D. Plan experimental

Algunas de los parámetros relevantes del proceso son presentadas en la tabla 1. Para el caso del flujo volumétrico de combustible se determina su valor dependiendo del nivel de potencia calorífica del quemador ya que este es uno de los factores del experimento como se expone a continuación. El volumen de combustible consumido se calcula tomando el flujo volumétrico y multiplicándolo por el tiempo t transcurrido en el proceso de llevar el agua desde la temperatura inicial hasta la temperatura final definida. El experimento se desarrolló a una presión atmosférica de 86 kPa en la ciudad de Pereira y una temperatura ambiente alrededor de 27 °C.

Para este estudio se ha implementado un diseño factorial 2^k , donde el número 2 hace alusión a que hay dos niveles para cada factor k . El objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores (en este caso dos: *el tipo de recipiente* y *la potencia calorífica de la estufa*) sobre una o varias respuestas (la eficiencia de calentamiento), cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores. Para estudiar la manera en que influye cada factor sobre la variable de respuesta es necesario elegir al menos dos niveles de prueba para cada uno de ellos. En este experimento se tienen 2 niveles para el factor *tipo de recipiente*: el nivel 1 es *el tipo chocolatera* y el nivel 2 es *el tipo calderero*, mientras que para el factor *potencia calorífica* se han definido 2 niveles a saber: el primero es *la posición de llama media* y el segundo es *la posición de llama alta*. De esta manera se tomaron dos recipientes con diferentes características geométricas y se calentó un kilogramo de agua con gas propano en una estufa en

nivel medio y alto de la llama cuyos valores equivalentes en flujo volumétrico de gas son presentados en la tabla 3.

Por convención, los niveles 1 y 2 del factor 1 se denotan como A1 y A2 respectivamente; y los niveles 1 y 2 del factor 2 se denotan como B1 y B2 respectivamente. Este diseño factorial se representa de manera geométrica por los vértices del cuadrado de la figura 5. Cada vértice representa un punto de diseño o tratamiento lo cual está concordante con el número de combinaciones de un diseño factorial $2^2=4$. Las combinaciones o tratamientos se presentan en la tabla 4. El área limitada por este cuadro se conoce como región experimental, y en principio, las conclusiones que se obtengan del experimento sólo tienen validez sobre esta región [11].

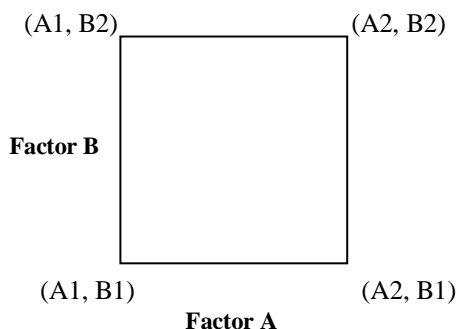


Figura 5. Representación del diseño factorial 2^2

Con el diseño experimental establecido en la tabla 4 se corren aleatoriamente todas las réplicas de los tratamientos que pueden formarse con los niveles de los factores a estudiar. Para obtener el número de corridas experimentales se multiplica el número de tratamientos por el número de réplicas. En este estudio se optó por realizar 4 réplicas de cada tratamiento lo cual genera un total de 16 experimentos.

| TIPO DE RECIPIENTE (A) | Tipo A1 Chocolatera | Tipo A2 Calderero |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Diámetro | 13 cm | 16 cm |
| Altura | 15 cm | 10 cm |
| POTENCIA DEL QUEMADOR (B) | Posición B1 Llama media | Posición B2 Llama alta |
| Flujo volumétrico GLP [CFH] | 0,94 | 1,88 |

Tabla 3. Parámetros de los niveles del experimento. Los valores del flujo de gas GLP son corregidos. Factor de corrección: 0,94.

| Plan de pruebas | | | | | |
|-----------------|----|--------------------|----|----|----|
| Combinación | | Número de corridas | | | |
| A | B | 1 | 2 | 3 | 4 |
| A1 | B1 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| A2 | B1 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| A1 | B2 | 9 | 10 | 11 | 12 |

| | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|
| A2 | B2 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|----|----|----|----|----|----|

Tabla 4. Plan de pruebas

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos de temperaturas iniciales T_i y finales T_f para cada una de las corridas del experimento se presentan en la tabla 5. La temperatura final fue definida en 70 °C. La temperatura inicial tiene alguna variabilidad considerando la variación durante el tiempo de realización del experimento. Se cuidó de enfriar los recipientes para reducir sesgos y también de permitir un tiempo de calentamiento inicial de la estufa para que todas las pruebas fueran realizadas con similar condición térmica reduciendo los transitorios del calentamiento de la masa de la estufa.

| Combinación | | Corrida | | | | | | | |
|-------------|----|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | | T_i | T_f | T_i | T_f | T_i | T_f | T_i | T_f |
| A1 | B1 | 22 | 70 | 21 | 70 | 21 | 70 | 21 | 70 |
| A2 | B1 | 21 | 70 | 20 | 70 | 21 | 70 | 20 | 70 |
| A1 | B2 | 21 | 70 | 20 | 70 | 21 | 70 | 21 | 70 |
| A2 | B2 | 21 | 70 | 21 | 70 | 21 | 70 | 20 | 70 |

Tabla 5. Temperaturas iniciales T_i y finales T_f para cada una de las corridas del experimento

La tabla 6 presenta los tiempos de calentamiento o cocción para cada una de las corridas del experimento.

| Datos iniciales en minutos | | | | | |
|----------------------------|----|---------|------|------|------|
| Combinación | | Corrida | | | |
| A | B | 1 | 2 | 3 | 4 |
| A1 | B1 | 9,33 | 8,33 | 8,88 | 9,08 |
| A2 | B1 | 9,47 | 8,58 | 9,35 | 8,40 |
| A1 | B2 | 7,22 | 7,92 | 7,62 | 7,05 |
| A2 | B2 | 6,75 | 6,62 | 6,33 | 6,58 |

Tabla 6. Tiempos de cocción para el experimento [min]

[1]. Cálculo de energía del combustible, energía del agua y eficiencia de cocción

La energía del agua en el proceso de calentamiento es calculada a partir de la ecuación 2. La tabla 7 presenta los datos de la energía consumida en el calentamiento del agua para todas las corridas realizadas.

| Energía contenida en 1kg de agua (kJ) | | | | | |
|---------------------------------------|----|---------|-------|-------|-------|
| Combinación | | Corrida | | | |
| A | B | 1 | 2 | 3 | 4 |
| A1 | B1 | 200,8 | 204,9 | 204,9 | 204,9 |
| A2 | B1 | 204,9 | 209,1 | 204,9 | 209,1 |
| A1 | B2 | 204,9 | 209,1 | 204,9 | 204,9 |

| | | | | | |
|----|----|-------|-------|-------|-------|
| A2 | B2 | 204,9 | 204,9 | 204,9 | 209,1 |
|----|----|-------|-------|-------|-------|

Tabla 7. Energía contenida en el agua

La energía aportada por el combustible durante el proceso de calentamiento es calculada a partir de la ecuación 3. La tabla 8 presenta los datos de la energía suministrada del combustible.

| Energía del combustible (kJ) | | | | | |
|------------------------------|----|---------|-------|-------|-------|
| Combinación | | Corrida | | | |
| A | B | 1 | 2 | 3 | 4 |
| A1 | B1 | 354,9 | 316,9 | 337,8 | 345,4 |
| A2 | B1 | 360,2 | 326,4 | 355,7 | 319,5 |
| A1 | B2 | 549,3 | 602,6 | 579,7 | 536,4 |
| A2 | B2 | 513,6 | 503,7 | 481,6 | 500,6 |

Tabla 8. Energía aportada por el gas propano

Las pérdidas de energía en el proceso son presentadas en la tabla 9 y son calculadas a partir de la ecuación 4.

| Energía perdida en el proceso (kJ) | | | | | |
|------------------------------------|----|---------|-------|-------|-------|
| Combinación | | Corrida | | | |
| A | B | 1 | 2 | 3 | 4 |
| A1 | B1 | 154,2 | 111,9 | 132,9 | 140,5 |
| A2 | B1 | 155,3 | 117,3 | 150,7 | 110,4 |
| A1 | B2 | 344,4 | 393,4 | 374,8 | 331,4 |
| A2 | B2 | 308,6 | 298,7 | 276,7 | 291,5 |

Tabla 8. Pérdidas de energía en el proceso

La eficiencia del proceso de cocción, calculada a partir de la ecuación 5 y los datos de las tablas 7 y 8, se presenta en la tabla 9. En esta tabla se presenta también el valor promedio para cada uno de los tratamientos o combinaciones realizadas.

| Eficiencia del proceso de cocción (%) | | | | | | |
|---------------------------------------|----|---------|------|------|------|----------|
| Combinación | | Corrida | | | | Promedio |
| A | B | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| A1 | B1 | 56,6 | 64,7 | 60,7 | 59,3 | 60,3 |
| A2 | B1 | 56,9 | 64,1 | 57,6 | 65,4 | 61,0 |
| A1 | B2 | 37,3 | 34,7 | 35,4 | 38,2 | 36,4 |
| A2 | B2 | 39,9 | 40,7 | 42,6 | 41,8 | 41,3 |

Tabla 9. Eficiencia del proceso de calentamiento

[2]. Efecto de los factores y niveles del diseño factorial

Los siguientes gráficos muestran el comportamiento de la eficiencia energética del proceso de calentamiento del agua con respecto al tipo de recipiente y al nivel de apertura del quemador de gas.

Las figuras 6 y 7 muestran los efectos principales de los niveles de los factores en la eficiencia de cocción, siendo el

eje horizontal donde se ubican los niveles del factor y en el eje vertical se encuentra el valor promedio de la respuesta observada en los correspondientes niveles.

La figura 6 muestra el efecto del factor A tipo de recipiente en la eficiencia de cocción sin tener en cuenta el efecto del factor 2 o potencia del quemador. En ella se nota que el efecto de cambiar el tipo de recipiente, genera un incremento de aproximadamente un 6% en la eficiencia del nivel A2 respecto al nivel A1. El valor de cada nivel corresponde a la respuesta promedio de los tratamientos con ese nivel.

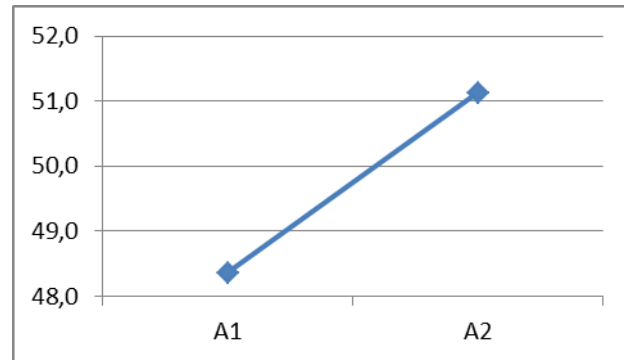


Figura 6. Gráfico de eficiencia [%] vs Tipo de recipiente (A). A1: Chocolatera, A2: Calderero

La figura 7 muestra el efecto del factor B potencia del quemador en la eficiencia de cocción sin tener en cuenta el efecto del factor A o tipo de recipiente. Obsérvese que el efecto de incrementar la llama de media a alta, genera una reducción de aproximadamente un 36% de la eficiencia con llama alta respecto de la llama media.

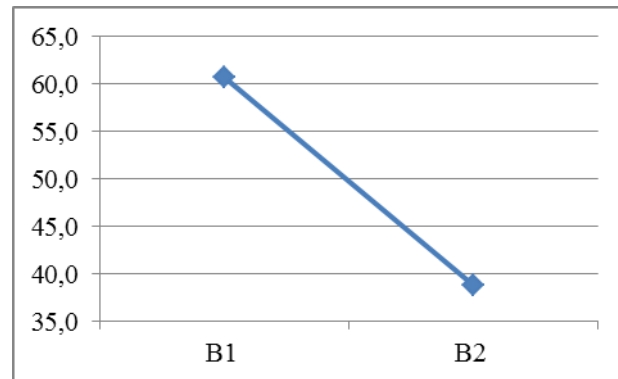


Figura 7. Gráfico de eficiencia [%] vs Potencia del quemador (B). B1: Llama media, B2: Llama alta

Una simple conclusión a partir de los resultados de las figuras 6 y 7 no es definitiva, por ello se debe analizar el efecto combinado de los dos factores y sus niveles.

En la figura 8 se puede observar los efectos de interacción AB de los factores. En el eje horizontal se encuentran los niveles de las potencias de la llama B1 y B2. Se puede afirmar que cuando se utiliza el recipiente A2 (calderero) con la apertura del

quemador en B1 (llama media) la eficiencia presentada en el proceso de cocción es la más alta. Al incrementar la potencia de la llama al nivel máximo la eficiencia tiene una caída considerable de más de 15 puntos.

Se observa una leve ventaja de eficiencia de la interacción (A2, B1) respecto a la combinación (A1, B1). El nivel más bajo de eficiencia se presenta en la combinación (A1, B2).

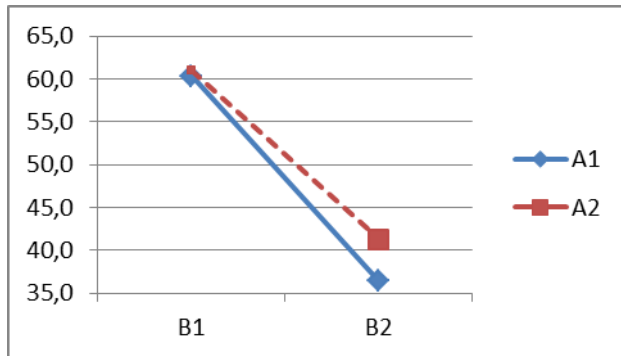


Figura 8. Efectos de interacción AB en la eficiencia [%]

En la figura 9 se presenta la interacción BA de los factores. En esta gráfica el eje horizontal presenta los niveles del tipo de recipiente A1 y A2. Puede notarse que similar a lo interpretado en la figura 8, la máxima eficiencia se tiene con el nivel de llama medio B1. La influencia del tipo de recipiente con el nivel de llama medio es muy baja. Según la figura 9, emplear la llama media B1 en lugar de la llama alta B2 representa una mayor eficiencia independientemente del tipo de recipiente. De manera similar se observa que la eficiencia más baja está en el tratamiento (A1, B2).

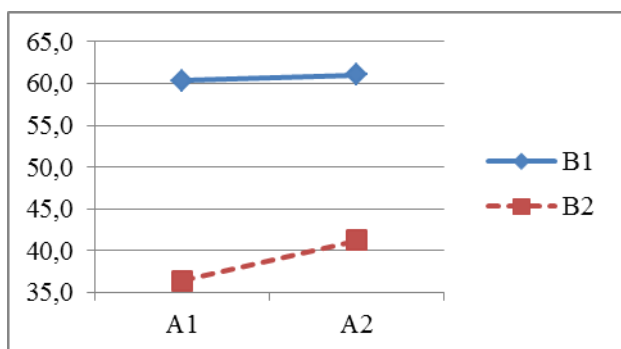


Figura 9. Efectos de interacción BA en la eficiencia [%]

La figura 10 presenta el porcentaje de influencia del factor A o tipo de recipiente (1,6%) y del factor B o potencia de la llama (97,5%) en la respuesta del experimento. Nótese que el factor asociado a la potencia del quemador es el que tiene un mayor peso o influencia en la eficiencia del proceso de cocción, aspecto que es verificado en las gráficas. El factor tipo de recipiente tiene una influencia baja en la eficiencia de cocción.

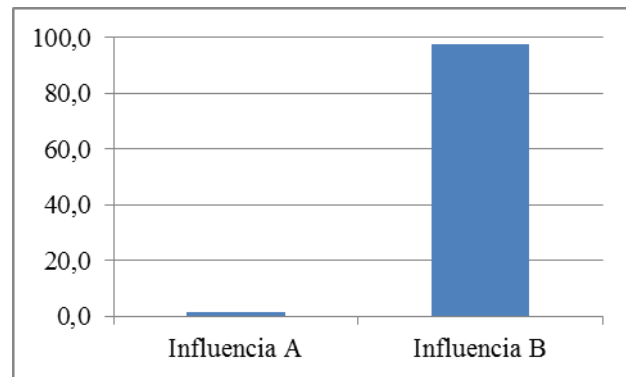


Figura 10. Porcentaje de influencia de cada uno de los factores

V. CONCLUSIONES

Un diseño factorial 2^2 ha sido aplicado para determinar la influencia del tipo de recipiente y la potencia de la llama en una aplicación residencial de cocción o calentamiento.

El factor potencia del quemador o llama es notablemente más influyente que el tipo de recipiente utilizado en el proceso de cocción.

Realizar el proceso de cocción con llama medio implica tener eficiencias alrededor del 60% independientemente del recipiente, mientras la cocción con llama alta genera eficiencias de 39% aproximadamente.

El estudio sugiere que la mejor manera de realizar un proceso de cocción eficiente es empleando llama media y calderero como recipiente de cocción. La manera más ineficiente es la utilización de chocolatera con llama alta.

Otros factores que pueden complementar este tipo de estudios pueden ser: el tipo de material, el tipo de combustible y la cantidad de masa de agua.

REFERENCIAS

- [1]. Home Energy Brief #5 COOKING APPLIANCES & DISHWASHERS, Rocky Mountain Institute, 1995, p. 4. Disponible en: <http://www.rmi.org/>
- [2]. Actualización y Revisión de los Balances Energéticos Nacionales de Colombia 1975-2009. Informe Final Tomo I. Unidad de Planeación Minero Energética UPME. Ministerio de Minas y Energía. Disponible en: <http://www.upme.gov.co>
- [3]. La Cadena del Gas Licuado del Petróleo en Colombia. Unidad de Planeación Minero Energética UPME. Ministerio de Minas y Energía. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/Glp_web.pdf

- [4]. Carranza S., Yamid Alberto. *Fundamentos de Termodinámica Técnica*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2011, p. 222.
- [5]. Actualización y Revisión de los Balances Energéticos Nacionales de Colombia 1975-2009. Informe II Tomo II-B: Residencial, Comercial y Público y Agropecuario. Unidad de Planeación Minero Energética UPME. Ministerio de Minas y Energía. Disponible en: <http://www.upme.gov.co>
- [6]. Productos Rego®. Manual de Servicio para el Instalador de Gas- LP. Disponible en: <http://www.regoproducts.com/PDFs/L-592SpanishServicemansManual.pdf>
- [7]. Dwyer. Series VF Visi-Float® Flowmeter. Specifications – Installation and Operating Instructions. Bulletin F-33. Disponible en: http://www.dwyer-inst.com/PDF_files/vf_iom.pdf
- [8]. Ibarrola, Esteban L. Rotámetros: fundamentos y calibración. Universidad Nacional de Córdoba. Departamento de Aeronáutica. Disponible en: <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/aero/Asignaturas/MecFluid/material/Teoria%20Rotametro.pdf>
- [9]. Haceb. Manual de instrucciones. Cocinetas GM-2 STD. Disponible en: http://web.haceb.com/v2_base/1189_cocineta-ar-gas2-gn.html
- [10]. Sanro. Fichas técnicas. Disponible en: <http://www.aluminiosanro.com/productos.html>
- [11]. Gutiérrez P., H. y De la Vara S., R. *Análisis y Diseño De Experimentos*, 2da Edición. México: McGraw-Hill 2008, p 545.