

Análisis comparativo de eficiencia en cocción con gas natural y electricidad

*Andrés Amell Arrieta, Francisco Javier Cadavid Sierra y Juan Carlos Ospina Ospina**

Resumen

El uso del gas natural en los procesos de cocción y calentamiento de agua en el sector residencial del Valle de Aburrá, representará una importante aplicación de este energético. Históricamente los requerimientos energéticos de los procesos citados han sido satisfechos con electricidad.

En el estudio de la sustitución de la electricidad es necesario estimar el consumo de gas natural para seguir satisfaciendo los requerimientos energéticos de los diferentes estratos, suponiendo que los hábitos alimenticios en estos no tienen variaciones importantes en el tiempo.

Dado que el volumen de gas natural requerido para sustituir la electricidad en las condiciones planteadas depende del consumo de energía eléctrica antes de la sustitución, de la eficiencia de los equipos eléctricos, de la eficiencia de los equipos de gas que se van a instalar y del poder calorífico del gas sustituto, la determinación de estas eficiencias es necesaria.

En este trabajo se presentan los cálculos de eficiencias de cocinas eléctricas y a gas en procesos de cocción, teniendo en cuenta diversos escenarios y condiciones de ensayo.

----- *Palabras clave:* eficiencia, gas natural, electricidad.

Abstract

The natural gas will have, at the Aburra Valley, a massive application in residential process like heating water and cooking, historically doing with electricity.

In the study of electricity substitution in necessary to estimate the gas consumption in order to keep satisfying the energetic requirements at the different strata supposing that, alimentary habits in these have not important valuation through the time.

Since the volume of natural gas requirements for the electricity substitution at given conditions depend on electrical energy before substitution, electrical equipment efficiency, gas equipment efficiency and gas substitution heating value, the determination of these efficiencias are necessary.

* Miembros del Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.

This work presents the calculation processes comparing gas heating and cooking processes versus electrical devices taking in mind several schemes and essay conditions.

----- *Key words:* efficiency, natural gas, electricity.

1. Introducción

En este trabajo se evaluó la eficiencia o rendimiento de la cocción con gas natural y se comparó con la de la electricidad, ensayando cocinas de gas y cocinas eléctricas de diferentes fabricantes.

Para esto, primero se determinó la eficiencia de dos cocinas de gas y del proceso de cocción, siguiendo la norma técnica colombiana NTC 2832 [1] y utilizando el gas natural de la Guajira como gas de referencia.

Luego, se calculó la eficiencia de las cocinas eléctricas y del proceso de cocción con electricidad; se aplicó, en el primer caso, el proyecto de norma colombiana NTC "Electrotecnia" [2] y, en el segundo, un procedimiento de cálculo similar al utilizado en los equipos de gas.

Finalmente, para determinar qué tanto influía el precalentamiento sobre la eficiencia de ambos tipos de equipos (de gas y eléctricos) se determinó la eficiencia de los procesos de cocción con precalentamiento y sin él.

2. Procedimiento

Al analizar las normas sobre ensayos de eficiencia de equipos eléctricos y de gas, se observó que estos no consideraban algunas situaciones que caracterizan el proceso real de cocción; por ejemplo, estos ensayos se realizan con calentamiento previo y consideran como carga de proceso un bloque de aluminio. Para desarrollar los ensayos en condiciones próximas a la realidad y comparar los resultados de diferentes procedimientos, se decidió diferenciar entre ensayo de proceso y ensayo de equipo. A continuación se describen los procedimientos que se llevaron a cabo durante la ejecución del estudio.

2.1. Procedimiento empleado en cocinas de gas

2.1.1. Eficiencia del proceso

Estos ensayos consistieron en medir la eficiencia de los equipos en frío, es decir, sin un calentamiento previo; se emplearon dos recipientes:

uno de aluminio de 22 cm y otro de peltre de 22 cm, con el siguiente procedimiento:

- Los recipientes se llenaron con 3,7 kg de agua y se les instaló una termocupla tipo *K* en el centro del recipiente.
- Se colocó el recipiente sobre la cocina, con el agua a la temperatura del acueducto. Se registró esta temperatura como la temperatura inicial, T_i .
- Se encendió el equipo y se dejó funcionando hasta que el termómetro marcara 80 ± 1 °C. En este punto se apagó el equipo y se registró el tiempo y el volumen de gas consumido.
- Se retiró el recipiente y se registró la temperatura máxima del agua. Esta temperatura máxima se registró como la temperatura final, T_f .

Además de los ensayos anteriores, se realizaron otros complementarios utilizando el recipiente de aluminio de 22 cm. Para evaluar la eficiencia del proceso con el equipo caliente y determinar las diferencias respecto a la eficiencia obtenida con el equipo frío. Luego se procedió a retirar el recipiente de aluminio de 22 cm, se instaló un recipiente similar con 3,7 kg de agua, se registró la temperatura inicial y se esperó hasta alcanzar una temperatura en el agua de 80 ± 1 °C.

2.1.2. Eficiencia del equipo

En estos ensayos se midió la eficiencia de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC 2832, así:

- Se instaló el recipiente de aluminio de 22 cm de diámetro, con 3,7 kg de agua, se encendió el equipo y se operó durante 10 min.
- Luego, se retiró el recipiente y se colocó otro correspondiente a la potencia nominal del equipo de acuerdo con los valores presentados en las normas. Para las tres cocinas empleadas se utilizaron los siguientes recipientes de aluminio:

Equipo marca 1: 18 y 20 cm

Equipo marca 2: 18 y 20 cm

- Con los recipientes correspondientes a cada cocina, se operó hasta alcanzar temperatura de 90 ± 1 °C en el agua. Luego de alcanzar esta temperatura, se apagó el equipo, se retiró el recipiente y se registró el tiempo de la prueba, el volumen consumido de gas y la temperatura final del agua.

Durante las pruebas se hizo medición continua y se controlaron las siguientes variables:

- Humedad relativa
- Presión atmosférica
- Temperatura ambiente
- Temperatura del agua en el medidor de sello húmedo
- Volumen de gas utilizado
- Temperatura del agua en el recipiente
- Presión de suministro de gas.

El anexo A presenta los equipos, insumos y recipientes utilizados durante los ensayos.

2.2. Procedimiento empleado en cocinas eléctricas

En estos equipos se efectuó el cálculo de la eficiencia de proceso adecuando los procedimientos de las pruebas realizadas con las cocinas de gas, con el fin de comparar la eficiencia de ambos energéticos bajo las mismas condiciones. Adicionalmente se aplicó el Proyecto de Norma NTC Colombiana “Electrotecnia”, para determinar la eficiencia del equipo.

2.2.1. Eficiencia de proceso

El procedimiento es análogo al mencionado en el numeral 2.1.1, pero en esta ocasión el valor registrado no es el volumen de gas sino el consumo de energía, en vatios. Igualmente se hicieron ensayos con la cocina precalentada para comparar las diferencias. Conviene anotar que los ensayos se hicieron con equipos que trabajan a un voltaje nominal de 220 V.

2.2.2. Eficiencia de cocinas eléctricas según el proyecto de norma técnica colombiana “Electrotecnia”

Adicionalmente se hizo una prueba de eficiencia de equipo según el proyecto de norma técnica colombiana “Electrotecnia”.

Durante las pruebas con los equipos eléctricos se hizo medición continua y control de las siguientes variables:

- Humedad relativa
- Presión atmosférica
- Temperatura ambiente
- Energía eléctrica consumida por la cocina
- Temperatura del agua en el recipiente.

3. Ecuaciones de cálculo empleadas

Para calcular la eficiencia de los equipos de gas se utilizó la norma técnica colombiana NTC 2832, está presenta las siguientes ecuaciones:

$$\eta = 4,186 * 10^{-3} * M_{H_2O} * \frac{T_2 - T_1}{V_c * H_s} * 100 \quad (1)$$

En la cual:

η : eficiencia

M_{H_2O} : masa de agua en el recipiente, kg

T_1 : temperatura inicial del agua, °C.

T_2 : temperatura final del agua, °C.

V_c : volumen del gas consumido, en m^3 (st).

st: condiciones estándar ($P = 1$ atm, $T = 15,5$ °C)

H_s : poder calorífico superior del gas, MJ/ m^3 (st).

$$V_c = V_{med} * \frac{P_a + P_s - P_w}{1013} * \frac{288,15}{273,15 + T_g} \quad (2)$$

En la cual:

V_c : volumen del gas consumido, en m^3 (st).

V_{med} : volumen del gas medido, en m^3

P_a : presión atmosférica, en mbar.

P_s : presión de suministro en el punto de medida del caudal, en mbar.

P : presión parcial del vapor de agua, en mbar.

T_g : temperatura del gas en el punto de medida del flujo, en °C.

Debido a que el objetivo del trabajo es comparar la eficiencia de las cocinas de gas y eléctricas, para el cálculo de la eficiencia de proceso en los electrodomésticos, se utilizó la ecuación (1).

Por último, para calcular la eficiencia de las cocinas eléctricas según el método mencionado en el proyecto de norma del Icontec "Electrotecnia" se empleó la siguiente ecuación:

$$\eta = M_{Al} C_{p_a} \frac{(T_{b2} - T_{b1})}{E_R} * 100 \quad (3)$$

En la cual:

η : eficiencia

M_{Al} : masa del bloque de aluminio, igual a 3,85 kg

C_{p_a} : calor específico del aluminio, igual a 0,92 KJ/(kgK)

T_{b1} : temperatura inicial del bloque, K.

T_{b2} : temperatura final del bloque, K.

E_R : energía eléctrica consumida durante la prueba en el equipo eléctrico para el cálculo de la eficiencia de equipo, KJ.

4. Resultados y análisis de resultados

En las tablas 1, 2 y 3, se muestran los resultados de eficiencia para cocinas de gas y cocinas eléctricas bajo diferentes escenarios. En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en Estados Unidos.

Como puede observarse en las tablas, la eficiencia de las cocinas eléctricas resultó mayor que la de gas en todos los ensayos realizados. La

diferencia promedio en puntos de eficiencia varía entre 14,5 y 27,3.

Tabla 1 Eficiencia del proceso en frío para cocinas de gas y cocinas eléctricas

Cocina	Tipo de equipo	Eficiencia	R* (η_E/η_G)**
Marca 1	Eléctrico	65,32	1,44
	Gas	45,38	
Marca 2	Eléctrico	59,55	1,25
	Gas	47,48	

* R: relación eficiencia eléctrica-eficiencia de gas

** η_E : eficiencia eléctrica.

η_G : eficiencia de gas.

Tabla 2 Eficiencia del proceso en caliente para cocinas de gas y para cocinas eléctricas

Cocina	Tipo de equipo	Eficiencia	R (η_E/η_G)
Marca 1	Eléctrico	71,59	1,42
	Gas	50,47	
Marca 2	Eléctrico	82,59	1,50
	Gas	55,47	

Tabla 3 Eficiencia del equipo para cocinas de gas según NTC 2832 y eficiencia de cocinas eléctricas según norma eléctrica

Cocina	Tipo de equipo	Eficiencia	R (η_E/η_G)
Marca 1	Eléctrico	70,14	1,56
	Gas	44,91	
Marca 2	Eléctrico	75,26	1,66
	Gas	45,32	

Tabla 4 Comparación de eficiencia de cocinas eléctrica y de gas

(se usó un cilindro de aluminio de 22,5 cm de diámetro exterior, 18,75 cm de alto para determinar la eficiencia en las cocinas eléctricas y 2,25 kg de agua para determinar la eficiencia en las cocinas de gas)

Potencia de entrada		Eficiencia en porcentaje	
		Cocinas de gas	Cocinas eléctricas
BTu/h	kW	9.000 Btu/h ¹	1.250 ¹ Watts
1.500	0,44	38	75
2.000	0,59	46	72
4.000	1,17	58	72
6.000	1,76	59	Límite:
8.000	2,34	55	4.080 Btu/h a
9.000	2,64	51	236 voltios
		12.000 ¹ Btu/h	2.100 ¹ Watts
2.000	0,59	45	80
4.000	1,17	54	76
6.000	1,76	52	71
8.000	2,34	50	Límite:
10.000	2,93	48	6.900 Btu/h a
120.000	3,52	46	236 voltios

¹ Potencia de placa del equipo

Fuente: referencia [3].

Las diferencias en las eficiencias se explican por los siguientes factores:

- En la combustión del gas natural en un gasodoméstico, se tienen pérdidas de energía por el calor latente de vaporización del H_2O en los productos de combustión, las cuales representan un diez por ciento (10%) del poder calorífico superior.
- La transferencia de calor en una cocina eléctrica se da principalmente por conducción y radiación, en las cocinas de gas por convección y radiación, siendo la radiación en las cocinas eléctricas más focalizada hacia la carga (sustancia para calentar). Todo esto genera mayor pérdida de calor hacia el ambiente en las cocinas de gas.

5. Conclusiones

5.1 La eficiencia de las cocinas eléctricas es mayor que la de las cocinas de gas. Ello implica que la relación eficiencia eléctrica-eficiencia de gas es mayor de uno, lo cual es determinante al momento de estimar los volúmenes de gas al hacer la conversión electricidad-gas.

5.2 La importancia primordial de estos datos radica en que al momento de realizar conversiones de sistemas eléctricos a sistemas de gas no se puede considerar que la relación entre la eficiencia eléctrica y la de gas sea uno a uno pues esto generaría problemas, por baja potencia, en los equipos convertidos.

5.3 El reporte de la eficiencia para un equipo determinado, depende del método o procedimiento seguido en la realización del ensayo. Por tanto el análisis comparativo de los resultados debe estar siempre referido al tipo de procedimiento seguido.

5.4 La eficiencia de las cocinas eléctricas y las cocinas de gas, previamente calentadas, se incrementó con respecto al equipo frío.

5.5 Se observa que los datos obtenidos en este estudio están muy cercanos a los registrados en trabajos realizados en otros países [3]. En la tabla 4 se presentan, como ejemplo, los resultados obtenidos en Estados Unidos.

6. Referencias

1. Norma técnica colombiana, NTC 2832.
2. Proyecto de norma técnica colombiana, Electrotecnia.
3. Vandaveer, F. E., Weber, E. J. *American engineering handbook*. pp. 156 section 12.

Anexo A Equipos, insumos y recipientes utilizados

A.1. Equipos de medición

- Medidor de volumen de gas tipo sello húmedo
– Marca: ELSTER

- Qmin: 0,025 m³/h
- Qmax: 2,5 m³/h
- Presión máxima de trabajo: 50 mbar
- Exactitud en el rango trabajado: + 0,4%
- Analizador de redes eléctricas
 - Marca: ACE 2.000
 - Precisión de voltaje: 0,2%
 - Precisión de corriente: 0,2%
 - Alimentación del equipo: 110 V A. C. ± 20%, 50/60 Hz
 - Consumo de potencia: 60 VA máximo
 - Sensibilidad de entrada mínima: 30 V o 250 mA
- Termocupla tipo K
 - Rango de temperatura: -200 a 1.300 °C
- Termómetro digital portátil
 - Marca: OMEGA
 - Tipo: HH81
 - Precisión: 0,1 °C, para temperaturas menores de 200 °C y 1 °C para temperaturas mayores 200 °C
- Cronómetro
 - Marca: CASIO
 - Precisión: 1/100 s

A.2. Cocinas de gas y eléctricas ensayadas

A.2.1. Cocinas de gas

- Cocina de gas marca 1
 - Categoría 1 gas propano
 - Potencia: 6,39 kW
 - Encendido: eléctrico
 - Diámetro inyector para GLP: 0,7 mm
 - Diámetro inyector suministrado para gas natural: 0,95 mm

- Cocina de gas marca 2
 - Categoría 2: GLP y GN
 - Potencia de placa: 1,75 kW
 - Diámetro del inyector suministrado para gas natural: 0,9 mm
 - Encendido eléctrico

A.2.2. Cocinas eléctricas

- Cocinas eléctricas marca 1, 1 solo puesto
 - Tipo de resistencia: tubular
 - Diámetro de la resistencia: 6 pulgadas
 - Voltaje de placa: 240 V
 - Potencia de placa: 1.100 W.
- Cocinas eléctricas marca 2, cocina mixta, dos parrillas eléctricas
 - Tipo placa: 240 V
 - Potencia de placa: 1.000 W

A.3. Insumos utilizados

A.3.1. Gas natural de la Guajira

Se utilizó gas natural de la Guajira, el cual fue suministrado por la empresa TRANSMETANO, en un cilindro a 800 psig. En la tabla A.1 se presenta la composición del gas.

Tabla A1 Composición del gas natural de la Guajira

Componente	% peso*	Peso molecular	% molar
c1	96,43	16,04	0,98028
c2	0,487	30,07	0,00264
c3	0,135	44,09	0,00050
i-c4	0,055	58,12	0,00015
nc4	0,027	58,12	0,00008
i-c5	0,025	72,15	0,00006
nc5	0,008	72,15	0,00002
c6	0,016	86,1	0,00003
c7	0,027	100,1	0,00004
O2	0,085	32	0,00043
N2	2,708	28,01	0,01576

* Composición suministrada por EEPPM, según cromatografía realizada en el ICP

Algunas de las propiedades del gas de la tabla A.1 son:

- Densidad relativa = 0,563
- Poder calorífico superior (PCS) = 10,32 kWh/m³ (st)
- Poder calorífico inferior (PCI) = 9,294 kWh/m³ (st)
- Índice de Wobbe, referido al PCS (W) = 13,755 kWh/m³ (st)
- Volumen de aire teórico (Va) = 9,4 m³ (st)/m³ (st) de gas.

A.4. Recipientes para el calentamiento del agua

En la tabla A2 se describen las principales características de los recipientes utilizados.

Tabla A.2 Características de los recipientes utilizados

<i>Diámetro del recipiente</i>	<i>Masa olla gr</i>	<i>Masa tapa gr</i>	<i>Masa total gr</i>
18	432	134	566
20	454	164	618
22 F*	393	193	586
22 C**	382	187	569
Peltre***	569	228	797

* Este recipiente se empleó en los ensayos de eficiencia de proceso cuando el equipo estaba frío y para el precalentamiento de 10 minutos en los ensayos de eficiencia de equipo.

** Este recipiente se empleó en los ensayos de eficiencia de proceso cuando el equipo estaba caliente y durante los ensayos de eficiencia de equipo.

*** Olla comercial, blanca, de 22 cm de diámetro.