ASADES

*Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*
*Vol. 7, N° 2, 2003. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184*

# EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO PARA LA COCCIÓN. ESTUDIO DE CASO.

**V. Passamai[1], M. Passamai, M. Bernaski y T. Passamai**
**INENCO – CIUNSa[*] - CONICET**
**Facultades de Ciencias Exactas y de Ciencias de la Salud**
**Av. Bolivia 5150 – 4400 Salta. R. Argentina**
**Tel.: 0054-387-4255389 – Fax: 0054-387-4255489 – E-mail: passamai@unsa.edu.ar**

## RESUMEN

En este trabajo se presentan mediciones de suministro de energía por combustión de gas, para la cocción por ebullición, su comparación con las cantidades usadas por el agua y las consecuentes pérdidas al medio ambiente, con lo cual se constata que las formas actuales y locales de empleo de la energía por la sociedad no son sustentables y deben tomarse medidas para introducir mejoras. Dado lo específico del problema, y atendiendo a la necesidad de ofrecer soluciones prácticas y accesibles a toda la sociedad, el planteo ofrece un desafío que deberá ser asumido de manera urgente por la comunidad científica y técnica que encara estos temas. Se presentan métodos alternativos de cocción, más eficientes energéticamente, con lo que se trata de motivar la difusión de la problemática para paliar la escasez futura de fuentes energéticas convencionales, debido al uso ineficiente actual.

**Palabras clave:** cocción a gas, ahorro energético.

## INTRODUCCIÓN

En trabajos anteriores (Passamai, 2000, 2002) se presentaron diversas cocinas solares para su uso en cocción de alimentos. Ante el reiterado interrogante de qué realizar cuando el cielo no está despejado, se suele contestar que en ese caso se debe cocinar como habitualmente se hace, es decir a gas, a leña, con electricidad, etc. De esta manera, se traslada nuevamente la problemática a un uso eficiente del recurso energético convencional. Se pueden ver recomendaciones tales como: "para ahorrar gas, evite que la llama rebase el fondo del recipiente colocado en el anafe, de esta manera obtendrá los mismos efectos en el mismo tiempo". A esta consigna se acompañan gráficos ilustrativos como el de la Figura 1, para persuadir al usuario de lo que debe hacer. Sin embargo nada se dice acerca del gasto comparativo entre el gas verdaderamente consumido y el estrictamente necesario para que el agua llegue a hervir.

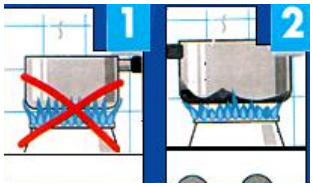

Figura 1: Recomendación para el ahorro de gas durante la cocción.

Uno de los objetivos de este trabajo fue mostrar el elevado porcentaje de pérdida de la energía, proveniente de uno de esos casos, la combustión de gas, que no se usa para la cocción y, simplemente, es perdido a la atmósfera.

Además, se investigó si el uso de la electricidad para la cocción es más eficiente, por ejemplo, mediante un hervidor sumergido en el agua de cocción. Finalmente, se llegó a un método para cocer un mismo alimento con gran ahorro energético mediante un termo común. Esto tiene su fundamento en que, estrictamente, es la temperatura y su tiempo de acción lo que realiza la cocción.

## DATO ENERGÉTICO. ESTUDIO DE CASO.

El denominado gas natural, distribuido por tuberías a los consumidores domésticos en la Ciudad de Salta, tiene un poder calorífico que ronda el valor nominal de los *38,9 MJ/m*$^3$. Se muestran a continuación la metodología empleada y los datos obtenidos de distintas experiencias de cocción de *100 g* de fideos, "spaghetti", como estudio de caso.

## MATERIAL Y MÉTODO

Los aparatos usados para realizar las mediciones fueron:

1) una balanza electrónica de precisión, marca "Metler-Toledo PB3001", con 0,1 g de apreciación;
2) un medidor de corriente alterna monofásica Tipo E90b, marca Galileo, clase 2, contrastado con un patrón controlado por el INTI en base a normas IRAM;
3) un medidor de gas "MGD G2D1", marca "galileo GR la rioja", con un error del 2% estimado por personal técnico de GasNor, con sede en Tucumán.

[1] Investigador del CONICET
[*] Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta, organismo financiador.

4) un cronómetro digital marca Casio, con 1 de segundo de apreciación
5) un aparato con termómetro digital consistente en una termocupla de tipo K, con un 1 ºC de apreciación, marca "Mastech, M890G", contrastado con termómetros de mercurio de 0,2 ºC de apreciación.

La confiabilidad en los medidores domésticos 2) y 3) así como en el procedimiento empleado (en cuanto a variabilidad de las condiciones de experimentación, influencia potencial de la presión de distribución del gas, composición variable diaria del mismo, poder calorífico, etc.) fueron puestos a prueba con los siguientes procedimientos:

1) Por repetición de los datos cuando se realizaron las mismas experiencias un número de diez veces a lo largo de varios días (calentamiento y seguimiento de la temperatura de iguales volúmenes de agua durante el mismo tiempo y determinación de los consumos de electricidad y gas).
2) Observación del mantenimiento de las proporciones entre los consumos leídos y la energía absorbida por las masas de agua.

Estas coincidencias fueron tomadas como pautas de que el necesario error asociado a las mediciones no fuera invalidante de las conclusiones que se extraen en el trabajo, de las cuales se tiene, entonces, plena confianza de su validez.

Además, se recibió del personal responsable de GasNor la siguiente información relativa al equipo medidor:

"En cuanto a las verificaciones de error que hacemos en este laboratorio, válidas para todo medidor usado y nuevo que se coloca en instalaciones de clientes se basa en la norma 2717 de IRAM que regula los contrastes y calibraciones de medidores domiciliarios. Entre las características mas importantes resaltan las siguientes (datos relacionados con una muestra de 450 medidores modelo G2D1 contrastados en el año 2003):

* las pruebas a mínimo caudal se realizan a 50 l/h y el error promedio para una prueba de aproximadamente 450 medidores es menor que 1.83 %
* las pruebas a 0.40 del caudal máximo arrojan un error promedio de 0.39 %
* las pruebas a caudal máximo arrojan un error promedio de 0.367 %
* las pruebas se realizan en un ambiente a 21 °C ± 2 °C estable
* se usa como elemento patrón un medidor marca American Meters contrastado en METROGAS con una campana patrón.
* aparte del contraste metrológico en este laboratorio se realizan pruebas de hermeticidad y estanqueidad a todos los medidores que salen a la calle.

Solamente los medidores nuevos no se contrastan en su totalidad sino que en esos casos se toma una muestra de un lote total. En caso de que alguno de esos medidores de la muestra falle se rechaza toda la muestra."

Con la balanza se midió el peso de cien gramos de fideos y se siguió la recomendación de los fabricantes de usar 1 litro de agua para esa cantidad. Este volumen se determinó por pesada, tomando la densidad del agua corriente igual a 1 kg/l. En general, con pocos cambios entre una marca y otra, en lo que respecta al tiempo total que es conveniente dejar hirviendo la pasta, "revolviendo durante el primer minuto de cocción", existe coincidencia en la proporción de la cantidad de agua frente a la de fideos debido, entre otras razones, a la evaporación que resulta del procedimiento habitual.

Cuando el agua comienza a hervir, se agrega sal (una cucharada) y luego la pasta. Es necesario revolver durante el primer minuto de cocción y se indica un tiempo total de 7-8 min de cocción.

Como resultado de dicho procedimiento, se entrega al agua calor sensible para llevarla hasta su punto de ebullición, se mantiene en estas condiciones alrededor del tiempo estipulado (depende del tipo de fideos, altura sobre el nivel del mar –es decir el punto de ebullición-, cantidad de sal empleada, gusto del consumidor, etc.), tratando de evitar la formación de espuma, pues el agua puede derramarse e incluso apagar el fuego, y suele por ello en ese momento disminuirse a mínimo la provisión de gas. No obstante, el agua se pierde permanentemente por evaporación, con la consiguiente pérdida de calor que no es aprovechado por el alimento.

Con estos datos, suponiendo que al principio del proceso no existe evaporación de agua, el consumo energético intrínseco del agua se puede calcular fácilmente, teniendo en cuenta el calentamiento sensible. Si su temperatura inicial es de *20 °C* y la final de ebullición corresponde a *100 °C*, el salto térmico es de *80 °C*. Como el calor específico del agua es $C_p$*= 4,18 kJ/(kg°C)*, el calor absorbido para llegar a la ebullición es:

$$m\ C_p\ \Delta T = 1\ kg \times 4{,}18\ kJ/(kgK) \times 80\ K = 334{,}4\ kJ,$$

donde *m* corresponde a la masa de agua exclusivamente, despreciándose la de los fideos. Como durante el tiempo en que se produce el calentamiento sensible existe evaporación, así como especialmente durante el que corresponde a la ebullición, se realizaron experiencias por medio de las cuales se midió dicha pérdida de agua y el calor absorbido para la evaporación del agua, reemplazando en la siguiente fórmula:

$$m_e\ L = m_e \times 2500$$

donde $m_e$ es la cantidad de agua evaporada y $L = 2500\ kJ/kg$ es el calor latente de vaporización de la misma. Si se evaporara un *40 %* de la cantidad inicial de agua, este calor sería *1000 kJ*.

En total, el calor puesto en juego para el proceso de calentamiento sensible y evaporación, sería de unos *1350 kJ.* Con los tiempos experimentales de preparación, se pueden calcular las respectivas potencias.

**Experiencia N° 1: Cocción de 100 g de fideos**

Siguiendo la receta, se usó 1 l de agua para preparar 100 g de fideos, en Salta, a 1200 m s. n. m. Luego de finalizada la preparación, se constató, efectivamente, que el 40 % del agua se había evaporado.

Los datos tomados se volcaron en la Tabla 1 y, en la Figura 2, se grafican el gasto de gas y la evolución de la temperatura del agua en función del tiempo.

De acuerdo con las boletas de gas, y consultando a la empresa GasNor, el coeficiente de conversión que lleva los $m^3$ que se consumen, a las kilocalorías correspondientes al poder calorífico del gas, viene dado por:

$$9300\ kcal/m^3$$

debiéndose, además, multiplicar por el coeficiente *1,02* que es un "factor de presión" indicado para la obtención del consumo, en metros cúbicos, corregido para Salta.

| LecturaGas (m3) | Gasto de Gas (m3) | T (°C) | t (min) | Operación |
|---|---|---|---|---|
| 11651.427 | 0.000 | 23.5 | 0 | Cal. sensible |
| 11651.510 | 0.083 | 55 | 4 | " |
| 11651.562 | 0.135 | 75 | 7 | " |
| 11651.642 | 0.215 | 90 | 11 | " |
| 11651.662 | 0.235 | 93 | 12 | Ebullición |
| 11651.750 | 0.323 | 95.5 | 17 | " |
| 11651.895 | 0.468 | 95.5 | 24 | " |

Tabla 1: Operaciones de calentamiento del agua para la cocción de fideos.

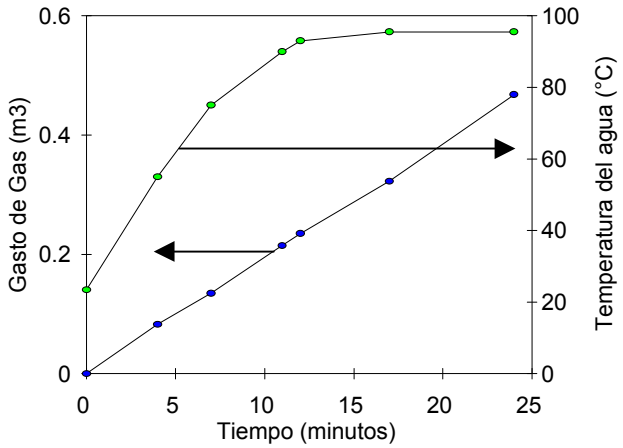


Figura 2: Curvas de evolución del consumo y temperatura obtenida.

La Tabla 1 muestra también que los tiempos involucrados son algo mayores que los establecidos en las instrucciones, debido posiblemente al menor punto de ebullición del agua en Salta (aproximadamente *95,5 °C*). Efectivamente, se emplearon *12 min* de ebullición en lugar de *8 min*.

La Tabla 2 ilustra los cálculos realizados para determinar la energía que absorbe el agua, la que consume el gas empleado en la cocción, la correspondiente eficiencia (*100×Agua/Gas*) y las respectivas potencias.

| | Agua (kJ) | Gas (kJ) | Eficiencia (%) | Pot. Agua (W) | Pot. Gas (W) |
|---|---|---|---|---|---|
| Calor sensible | *291* | *9318* | *3* | *403* | *12942* |
| Calor latente | *1002* | *9239* | *11* | *1392* | *12832* |
| Total | *1293* | *18557* | *7* | | |

Tabla 2: Energía absorbida por el agua y energía de gas correspondiente durante la cocción.

Esto indica, claramente, lo ineficiente que es el sistema de calentamiento doméstico a gas, interpretándose que las pérdidas se producen por la forma en que se realiza la transferencia de la energía. Dichas pérdidas se estima que son producidas hacia la

atmósfera, mayormente. También pueden atribuirse a otras alternativas: mala combustión o baja calidad del gas empleado. De cualquier forma, el resultado es que el usuario paga por un uso de gas que no es 100 % eficiente y, en el mejor de los casos, alcanza –en una hipótesis de valor medio- solamente el 10 % de lo que se requiere para el uso neto por parte del agua.

**Experiencia N° 2: Preparación de 100 g de fideos con 500 ml de agua.**

Se realizó una segunda prueba utilizando la mitad del agua que es recomendada emplear, llevando a cabo la experiencia cuidadosamente, para minimizar el consumo energético de gas. También se constató que la calidad de la cocción no disminuyó al compararla con la experiencia anterior.

Se midió la cantidad de agua remanente luego del proceso, la cual fue de *114,1 g*. Como resultado, se evaporó el *77,2 %* de su peso inicial. Esto quiere decir que el calor absorbido estrictamente por el agua se repartió de la siguiente manera:

Calor sensible: *m Cp (95,5-25) = 0,5 kg x 4,18 kJ/(kg K) x 70,5 = 147 kJ*
Calor latente de evaporación: *m(ev) x 2500 kJ/kg = 0,3859 kg x 2500 kJ/kg =965 kJ.*

La suma, *147 kJ + 965 kJ = 1112 kJ* es decididamente *menor* que la energía obtenida por la combustión total del gas.

| **Tiempo de calentamiento (*min*)** | **Temperatura (*°C*)** | **Observaciones y comentarios** |
|---|---|---|
| 0 | 25 | Inicio del calentamiento |
| 4 | 87 | Aparición de burbujas |
| 5 | 94,5 | Inicio de la ebullición |
| 8 | 90 | Se agregó sal |
| 10 | 95,5 | Ebullición plena |
| 18 | 90 | Se evita la pérdida de espuma |
| 22 | 93 | Hervor suave |

Tabla 3: Medición de la temperatura del agua para preparar fideos.

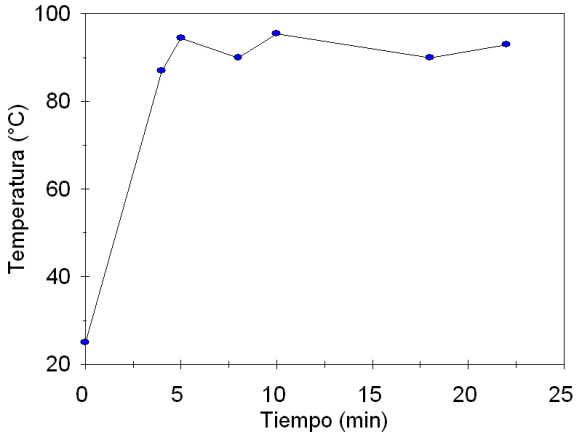


Figura 3: Representación de los datos de la Tabla 3.

De la lectura del medidor de gas domiciliario, y reuniendo todos los valores en la Tabla 4, se obtuvieron datos comparables con los de la Tabla 2.

| | **Agua (kJ)** | **Gas (kJ)** | **Eficiencia (%)** | **Potencia Agua (W)** | **Potencia Gas (W)** |
|---|---|---|---|---|---|
| Calor sensible | *147* | *6212* | *2,4* | *306* | *12941* |
| Calor latente | *965* | *9200* | *10,5* | *1340* | *12778* |
| Total | *1112* | *15412* | *7,2* | | |

Tabla 4: Energía absorbida por el agua y energía de gas correspondiente durante la cocción, para la exp. 2.

En este caso también se constató el aumento de tiempo empleado para el período de ebullición (*17 min* en lugar de *8 min*), lo que hizo que no hubiera diferencia energética significativa entre usar un litro de agua o la mitad.

**Experiencia 3**

Para eliminar las pérdidas a la atmósfera, se usó un termo en el cual se colocó la cantidad de agua necesaria para cubrir completamente *100 g* de fideos. Ello se logró con *633,2 g* de agua, de acuerdo con la capacidad del recipiente.

El calentamiento del agua se realizó mediante una resistencia eléctrica sumergida en el agua, leyéndose con el medidor doméstico los *kW×h* consumidos para la operación, en función del tiempo que duró la experiencia. En este caso, una vez que el agua alcanzó su temperatura de ebullición, se introdujeron la sal y los fideos, inmediatamente se recuperó la temperatura de ebullición volviendo a introducir el hervidor y luego se dejó el contenido encerrado en el termo durante *14* minutos, mientras se agitaba de forma periódica, para homogeneizar la temperatura en su interior y evitar que la pasta se pegue. El resultado fue idéntico al obtenido anteriormente, con un significativo aumento de la eficiencia en el consumo energético, debido a la mejora introducida en la transferencia térmica.

La Tabla 5 muestra los datos obtenidos en esta oportunidad.

| t (min) | T °C | kJ-electr | kJ-agua | Pérdidas (kJ) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 24 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 95 | 216 | 188 | 28 |
| 12 | 88 (se introd. fideos) | 216 | 169 | 47 |
| 13 | 95 | 252 | 188 | 64 |
| 27 | 91 (al finalizar) | 0 (no se usó la el.) | 177 | 11 (por evap.) |

Tabla 5: Datos obtenidos durante la preparación de *100g* de fideos por electricidad.

Obviamente, la energía eléctrica empleada fue absorbida casi completamente por el agua, de modo que los *kJ-eléctricos* difieren muy poco de los *kJ-agua.* Las pérdidas aumentan paulatinamente, mientras se emplea energía eléctrica para calentar. La última pérdida energética se debe al enfriamiento del agua en el termo, mientras permanece cerrado. No obstante, la temperatura final para esta experiencia –91°C- es suficiente para la cocción del alimento. El efecto de cocción se debe, además, al tiempo de permanencia por encima de esa temperatura.

La relación *100(188/252)= 75 %* indica la alta eficiencia de este método de cocción comparada con el *7 %* de las anteriores, a gas. En términos de potencias, la correspondiente al medio eléctrico de calefacción del agua fue de *450 W* en su momento de máximo, mientras que la correspondiente al agua era de *392 W*. Esto es un 87 %.

Experiencias similares, realizadas con arroz, aconsejan dejar este alimento un tiempo mayor dentro del termo. Pero esto no significa inconveniente alguno, pues se puede preparar con antelación al momento de servir y se cocina adecuadamente duplicando o triplicando los tiempos indicados para la cocción.

Los inconvenientes de orden práctico por el uso del termo fueron, entre otros, cierta dificultad que se presenta al finalizar la cocción para extraer el alimento, pues, por ejemplo, se pega un poco en el recipiente, obligando a agitar y usar el agua caliente para arrastrar la comida. En un caso, a uno de los experimentadores se le rompió el termo, indicando de este modo ciertos cuidados que hay que tener, innecesarios en las tareas de la cocina. La opinión de algunas amas de caso no está a favor de usar el procedimiento indicado, aun cuando sea eficiente térmicamente.

**Experiencia 4**

En este caso se llevó a hervor *633,2 g* de agua (se eligió esta cantidad por ser la que se usó en la experiencia anterior) para preparar *100 g* de fideos, manteniendo constante el consumo de gas. En la tabla se tienen los tiempos, temperatura del agua, gastos de gas, tanto en $m^3$ como en *kJ* acumulados; los gramos de agua evaporados y la energía total absorbida por el agua, tanto sensible como por evaporación.

| Tiempo(min) | Gasto($m^{3)}$ | T (°C) | Energía Gas, kJ | Agua evap., g | En. Agua, kJ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,00 | 0,000 | 21.1 | 0 | 0 | 0 |
| 1,33 | 0,024 | 36 | 952 | 4 | 48 |
| 1,77 | 0,034 | 41 | 1348 | 5 | 64 |
| 2,30 | 0,044 | 47 | 1745 | 6 | 83 |
| 3,30 | 0,064 | 58 | 2538 | 9 | 119 |
| 3,85 | 0,074 | 64 | 2934 | 10 | 139 |
| 4,30 | 0,084 | 69 | 3331 | 12 | 156 |
| 4,88 | 0,094 | 75 | 3727 | 13 | 177 |
| 5,48 | 0,104 | 82 | 4124 | 15 | 198 |
| 5,95 | 0,114 | 87 | 4520 | 16 | 215 |
| 6,55 | 0,124 | 94 | 4917 | 18 | 237 |
| 6,97 | 0,134 | 96 | 5313 | 25 | 299 |
| 7,48 | 0,144 | 96 | 5710 | 34 | 322 |
| 11,82 | 0,224 | 96 | 8882 | 110 | 511 |
| 17,33 | 0,330 | 96 | 13085 | 206 | 752 |

Tabla 6: Datos medidos durante la cocción de fideos para la experiencia 3.

En este caso, en promedio, la energía usada por el agua fue del 5 % del total consumido por el quemador de gas. En el gráfico de la Figura 3 se muestran, superpuestos, los respectivos consumos energéticos vs. tiempo, de la experiencia realizada.

## CONCLUSIONES

El proceso de cocción es ineficiente desde el punto de vista del primer principio de la Termodinámica: la energía que recibe el agua de cocción es de alrededor del 5 % del total que se consume por quemado del gas domiciliario.

Es posible que el diseño de los quemadores de gas y su modo de transferencia de calor sea el principal obstáculo que impide una mayor eficiencia. La realización de las experiencias descriptas en este trabajo muestra sencillas estrategias que pueden mejorar la eficiencia en la cocción. Sus inconvenientes prácticos son las mayores desventajas que presentan. Sin embargo, sugieren caminos para seguir en la consecución de mejoras en el futuro.

En el caso de la cocción mediante un frasco de Dewar, se puede agitar el contenido cada tanto, de modo que se produzca el mismo efecto que el hervor con agitación que suele servir para emparejar la acción térmica sobre el alimento. También servirá, por ejemplo, para evitar que los fideos se peguen. Otras ventajas del método de cocción isotérmico son: no rebalsa el líquido, se puede dejar desatendido, además de la merma en el consumo energético, etc.

Se pudo constatar también que el uso de los elementos domésticos de medición, con que se cuenta en la mayoría de los hogares, puede ser útil para determinaciones cuantitativas como las mostradas.

La realización de experiencias similares en distintos lugares, y/o durante una mayor cantidad de tiempo, podría ser útil para inferir acerca de la eventual diversidad de la calidad del gas que se recibe, así como de la confiabilidad del método sugerido de medición, en la medida que los resultados muestren cierta uniformidad.

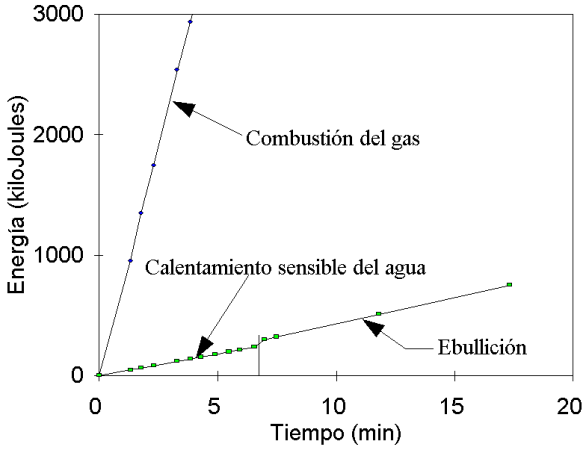


Figura 3: Comparación entre la curva de consumo de gas con la energía que llega al agua.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Del Fresno, R. A.: Máquinas Motrices. Librería Mitre. 1974.

Passamai, V. y Passamai, M.: "Experiencias con cocinas solares tipo cookit de costo mínimo", Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 6, N° 2, 2002 (art128).

Passamai, V.: "Nuevas experiencias de campo con cocinas solares", Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, N° 1, 2000 (03.09-03.13).

Perry, R. H. y Chilton, C. H.: Chemical Engineers' Handbook. Fifth Edition. McGraw-Hill. 1973.

## ABSTRACT

In this work, measurements of energy supply for gas combustion used in boiling cooking are introduced. Comparisons with quantities used by water and losses to the environment are also made. Current and local ways of uses of the energy are not sustainable, as it is shown. New policies should be taken to introduce improvements. Given the specificity of the problem, and paying attention to the necessity of offering realistic and accessible solutions to the society, the problem poses a challenge that should be taken into account by the scientific community and techniques should be developed to face the topic. Alternative and energetically more efficient methods for cooking are introduced with the motto to diffuse the problem and to palliate the future scarcity of conventional sources.

**Keywords:** gas cooking, energy saving.