



## Estudio de las principales cargas eléctricas del sector residencial en Cuba

**Daniel Argota Pupo**

Carrera: Ingeniería eléctrica.

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

**Resumen:** En Cuba el consumo de energía eléctrica en el sector residencial representa el 52 % del total y recientemente se ha alertado sobre su progresivo crecimiento. Mediante el empleo de equipos electrónicos de medición de alta precisión, enlazados a una computadora, se realizó un estudio de la demanda y el consumo de electricidad de múltiples equipos electrodomésticos. Para ello se priorizó el análisis de las cargas que deciden el comportamiento energético. Se ofrece una panorámica de varias marcas de equipos así como las regularidades de la potencia eléctrica durante diferentes condiciones de operación.

**Palabras clave:** Carga eléctrica; ahorro de electricidad; equipo electrodoméstico.

## Electrical loads assessment for Cuba's residential sector

**Abstract:** Electric energy consumption by the residential sector in Cuba accounts for 52% of the total domestic power consumption and the alarm has been recently raised over its progressive increase. A study on power requirements and power consumption of several electrical appliances was conducted using highly accurate electronic measuring devices connected to a computer. It was also required to prioritize the analysis of the loads having major impact on the power consumption pattern. This work includes a general description of different brands of household equipment and the electric potential regularities under different operating scenarios.

**Key words:** Electrical load; energy saving, electrical appliances.

*Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor,  
la electricidad y la energía atómica: la voluntad.*

*Albert Einstein*

## **Introducción**

Cuba, al igual que la mayoría de los países, carece de recursos energéticos y satisface la mayor parte de sus necesidades para el transporte, la transformación y, en menor medida, para la producción de electricidad con la importación de combustibles fósiles. El sector con más consumo energético es el residencial, con el 51,96 % del consumo eléctrico nacional.

En Cuba se han producido cambios radicales en determinados conceptos relacionados con el Sistema Electroenergético Nacional que han conllevado a una verdadera revolución en el terreno de la producción, transmisión y distribución de la energía eléctrica. Estos cambios se deben al incremento de la demanda, fundamentalmente en el sector residencial, con la incorporación de nuevas cargas, por lo que es necesario el estudio en los circuitos de distribución residenciales en las nuevas condiciones de explotación.

Rodríguez (2009) plantea que el estudio de los circuitos de distribución reviste una gran importancia debido a que en ellos se concentran los usuarios finales de la energía eléctrica, a partir de los dispositivos de protección y medición NU-LEC instalados en los sistemas de distribución eléctrica.

Cuba ha demostrado que el desarrollo energético sostenible es, en primer lugar, un problema de voluntad política. Vivimos en un mundo único y toda contaminación atmosférica producida por un país la sufre, en mayor o menor grado, el resto del mundo (Bérriz & Álvarez, 2008).

El insuficiente conocimiento del comportamiento energético de las cargas eléctricas del sector residencial en Cuba no favorece la toma de decisiones en el hogar, en aras de incrementar la cultura energética para favorecer el ahorro energético. Por ello se realiza un estudio de la demanda y el consumo de las cargas eléctricas de los principales equipos electrodomésticos con mayor influencia en el consumo de energía eléctrica en el sector residencial en Cuba.

Se utilizaron métodos de investigación empíricos para contribuir a la descripción y caracterización de las cargas eléctricas en el sector residencial y sus principales regularidades; métodos de compilación de conocimientos mediante entrevistas, revisión de bibliografía, y búsqueda de informaciones en la Empresa Eléctrica para la sistematización del conjunto de conocimientos relacionadas con el objeto de estudio y métodos matemáticos, específicamente los que se derivan del uso de los análisis de regresión y el tratamiento de datos para la evaluación computacional de diferentes estados de las cargas.

### **Cargas eléctricas de equipos electrodomésticos**

El comportamiento de las cargas eléctricas en el sector residencial depende de múltiples factores, fundamentalmente del tiempo de trabajo, las condiciones técnicas, la marca del equipo y las condiciones en que se utilizan. Los equipos de cocción de alimentos son los más representativos en la matriz energética del hogar (Montero, 2010) y, por otra parte, las pérdidas de energía eléctrica debido al funcionamiento en espera de los equipos electrónicos contribuyen a la energía total consumida (Padrón, 2012). Para tener una idea inicial de diferentes niveles de consumo de algunos equipos del hogar se seleccionó la vivienda del autor de este trabajo y se obtuvo una panorámica energética de los equipos existentes para las condiciones normales de operación.

#### **El refrigerador**

Dentro del consumo de electricidad en el sector residencial, particularmente en países en desarrollo, los refrigeradores constituyen uno de los equipos de mayor consumo, de ahí la importancia de optimizar su funcionamiento y minimizar la energía que demandan. Pero para esto hay que tener conciencia energética y evitar abrir tanto la puerta ya que esto contribuye al aumento de la energía eléctrica, además, se debe regular el termostato del equipo para una temperatura adecuada y cerciorarse de que esté en buen estado la junta ya que es algo vital para el ahorro de energía (Figura 1).

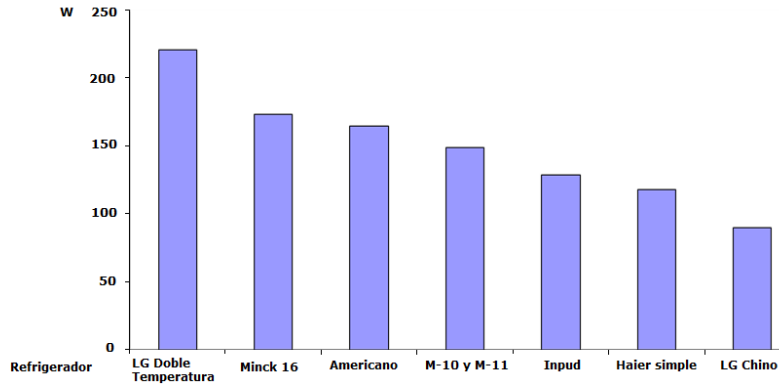


Figura 1. Mediciones de la demanda nominal de diferentes refrigeradores domésticos.

En el estudio de los refrigeradores se realizó la medición de la potencia en un refrigerador de modelo Haier, en sus dos momentos, durante el arranque y durante la marcha estable. En este caso, el refrigerador estaba equipado con alimentos, carnes y pomos de agua en el congelador, además de otros productos en las otras secciones. En la medición el voltaje se mantuvo en unos 104,5 V. En la Figura 2 se muestra la gran diferencia de las potencias activas en el momento de arranque y marcha estable de este equipo. En el caso de la marcha estable el equipo demanda 1,73 A.

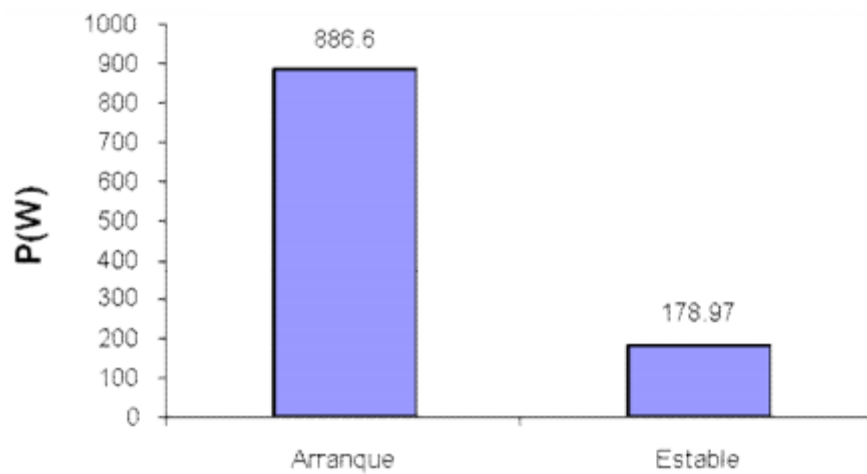


Figura 2. Demanda característica de un refrigerador HAIER HSED8WNAWW.

Los refrigeradores domésticos funcionan a intervalos a partir de la desconexión de la máquina compresora cuando se alcanza la temperatura de refrigeración seleccionada. La cantidad de conexiones, así como el tiempo que dura, dependen de la cantidad de calor que debe eliminar el ciclo de refrigeración, dado fundamentalmente por la temperatura de los productos así como por las aperturas de las puertas del equipo.

La energía eléctrica que consume este equipo representa entre el 20 % y el 40 % del total que consume un cliente residencial. Los resultados se refieren a una vivienda con cuatro personas las cuales trabajan o estudian durante todo el día. Durante el horario pico y hasta que las personas se disponen a dormir los intervalos de trabajo del refrigerador son más cercanos. En los otros horarios los intervalos de operación son más aislados. Esta medición se realizó sin personas en el hogar. En el tiempo en que se realizó la medición se abrió la puerta solamente seis veces aproximadamente a las 11:30 am. y siete veces alrededor de las 7:50 pm. Durante los restantes períodos el refrigerador continuó su funcionamiento herméticamente.

### Equipos de cocción de alimentos

La cocina de cada hogar se convierte en estos momentos en el lugar donde se decide aproximadamente el 60 % del consumo de electricidad a partir de la gama de equipos existentes. Estas razones obligan a tomar diferentes medidas que permitan un uso más racional de estos equipos.

### La hornilla eléctrica: niveles de potencia, energía y calentamiento de agua

La hornilla eléctrica es uno de los equipos que más se utiliza en la cocina cubana por su rápido y eficiente trabajo, pero hay que reconocer que es uno de los más consumidores de energía por lo que hay que tener en cuenta el buen uso a la hora de elaborar los alimentos; por ejemplo, durante la cocción de los alimentos la eficiencia es mucho mayor si los recipientes se encuentran tapados y si las tapas tienen un buen aislante térmico.

Se realizó la medición de la potencia que demanda la hornilla eléctrica de modelo LB-100f en sus tres niveles: alto, medio y en bajo para un valor de tensión promedio de 100,8 V.

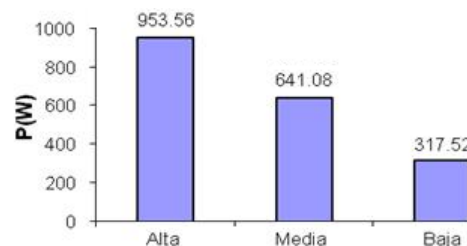


Figura 3. Niveles de demanda de la hornilla eléctrica LB-100f.

Para tener una idea más acertada de la demanda de potencia activa en los diferentes niveles de operación de la homilla se realizó un muestreo de 100 viviendas asociadas a un mismo transformador de distribución.

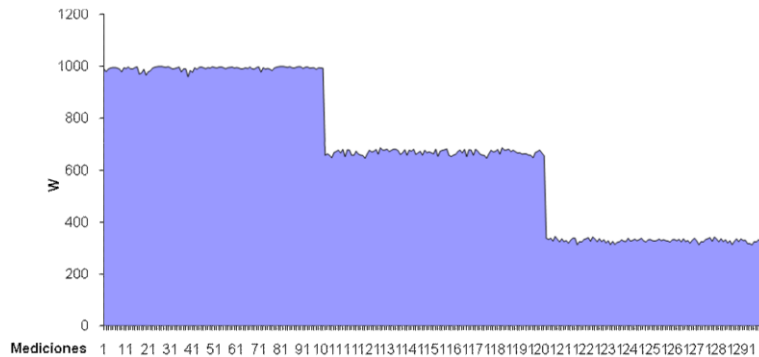


Figura 4. Medición de demanda de 100 homillas de la misma marca en un mismo circuito.

Los diferentes niveles corresponde a valores medios de 992,11 W, 670,34 W y 330,95 W obtenidos para valores promedios de la tensión de 112,06 V. Es necesario conocer en ocasiones el principio de funcionamiento de los equipos eléctricos, en el caso de la homilla consiste en el trabajo en serie y en paralelo de dos resistencias de potencia de cuyas conexiones depende la cantidad de calor que se va a disipar para efectuar la cocción de alimentos.

El 80 % de la población cubana calienta agua para bañarse, esto significa una potencia equivalente a una planta de 400 MW (Bérriz & Álvarez, 2008).

Teniendo en cuenta este elemento se presentan en la Tabla 1 los resultados termoenergéticos inherentes al calentamiento de agua con una homilla eléctrica de la cual se concluye que:

En la posición del selector de la homilla eléctrica LB-100f en alto se consume menos energía eléctrica para calentar, hasta la temperatura de ebullición, el mismo volumen de agua contenido en un jarro entregado por la Revolución Energética con su respectiva tapa. En este caso se consume 0,4 kWh y el proceso dura 25 min.

Tabla 1. Energía para calentar agua en un jarro en los tres niveles de potencia de la hornilla

Variante	kWh	Tiempo (min)	Volt	Temp (°C)
Potencia mínima	0,505	85	107	28
Potencia media	0,425	36	100,7	26,4
Potencia máxima	0,4	25	112,3	26,4

En las otras posiciones media y baja los consumos son de 0,425 y 0,505 kWh, respectivamente, con tiempo de duración de 36 y 85 min. En la Figura 5 se puede apreciar el comportamiento de la potencia eléctrica durante este proceso de calentamiento de agua.

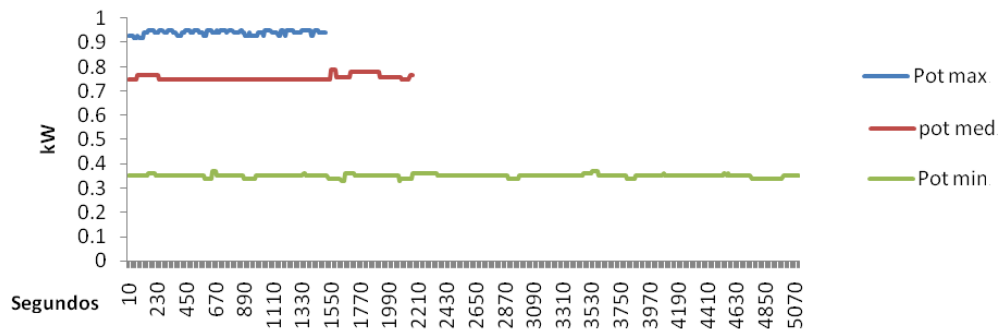


Figura 5. Curvas de potencias en los tres niveles de la hornilla eléctrica al calentar el mismo volumen de agua.

Se realizó la medición de la temperatura del agua desde 26 °C hasta llegar a su punto de ebullición. Este proceso se realizó en un jarro con buenas condiciones térmicas y con una tapa que garantizó una adecuada hermeticidad. El experimento duró unos 1 200 s. Fundamentalmente se pudo realizar un análisis de regresión estableciéndose la función lineal que relaciona la temperatura que va alcanzando el agua en función del tiempo de operación en segundos.

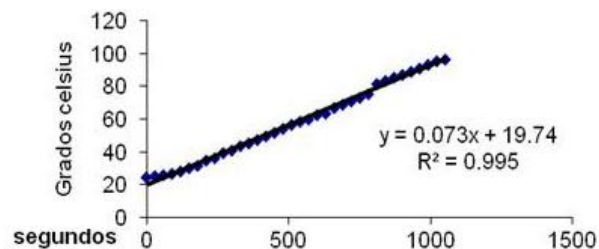


Figura 6. Comportamiento de la temperatura contra tiempo en segundo del calentamiento de agua.



Estas relaciones matemáticas pertenecen al mismo proceso de calentamiento de agua, en este caso para elevar la temperatura de 40 °C a la temperatura de ebullición cercana a los 97 °C, y permiten definir las funciones lineales de la Tabla 2 en los que se relaciona el tiempo con los kWh que se consume, la temperatura con el tiempo y la temperatura con los kWh de consumo. Todos estos fenómenos poseen un coeficiente de determinación de 0,99.

Tabla 2. Modelos matemáticos de la pruebas de calentamiento de agua

Modelo	R <sup>2</sup>
kWh = 0,018 t + 0,001	0,999
°C = 4.071 t + 32.55	0,997
°C = 217.3 kWh + 37,20	0,992

En ocasiones no se conoce el modo de conservar la energía eléctrica convertida en calor una vez que se realizan las operaciones con los equipos de cocción. Por ejemplo, para evaluar el comportamiento de la transferencia de calor una vez que se desconecta la hornilla, dejando tapado el jarro, desde que ebulle el agua hasta que alcanza 40 °C pueden transcurrir 200 min. Los resultados del modelo de regresión de este proceso indican una expresión polinómica de tercer orden con un coeficiente de determinación de 0,99.

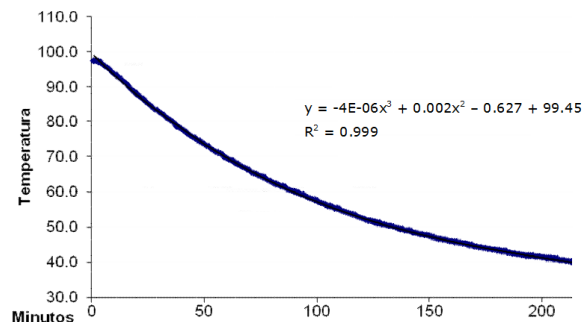


Figura 7. Gráfico del comportamiento del enfriamiento del agua en un jarro tapado desde una temperatura inicial de 97,4 °C hasta 40 °C.

### El calentador de agua: energía y potencia para diferentes volúmenes

Cuba es un país cálido pero en los meses de diciembre, enero y febrero las temperaturas tienden a bajar un poco y las personas usan con más frecuencia el calentador eléctrico. No se conoce con claridad cómo varía el porcentaje de la población que calienta agua para bañarse, aunque se estima que el 80 % de esta

calienta agua para bañarse sin importar la estación del año. Hay que tener presente que el calentador es uno de los equipos que más consumen energía eléctrica en el hogar por lo que hay que saberlo usar. Un ejemplo de mal uso es que los usuarios no lo sumergen completo y esto provoca que no se aproveche adecuadamente la temperatura y por tanto el consumo de la energía eléctrica es mucho mayor y, además, aumenta el tiempo de calentamiento.

Para definir la temperatura más preferida a la cual se debe calentar los diferentes volúmenes de agua para bañarse se tomó una muestra de la opinión de 15 personas.

Según la totalidad de los entrevistados la temperatura promedio más adecuada para utilizar el agua caliente para bañarse es de 36,6 °C. A partir de este criterio de decisión se realizó el calentamiento de agua para varios volúmenes correspondientes a 8, 10, 13, 15 y 18 L. Como se puede apreciar en la Figura 8 estos procesos oscilan alrededor de un mismo valor promedio de potencia en correspondencia al nivel de tensión que se manifiesta en la línea. También se aprecian los tiempos en que ocurren estos procesos.

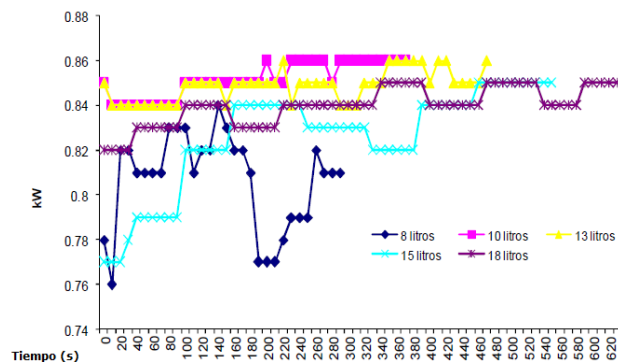


Figura 8. Comportamiento de la demanda de potencia para el calentamiento de agua de varios volúmenes.

Una idea más acertada de la relación entre el volumen de agua a calentar y la energía que se consume se puede apreciar en la Figura 9(a), donde se muestra un modelo de regresión que describe un polinomio de tercer orden con un coeficiente de correlación igual a 1. A medida que aumenta el volumen de agua a calentar, desde 8 hasta 18 L, el tiempo que dura el proceso hasta llevar la temperatura del agua hasta 36 °C se ajusta a un comportamiento lineal. En la Figura 9(b) se puede verificar este comportamiento, así como la expresión característica.

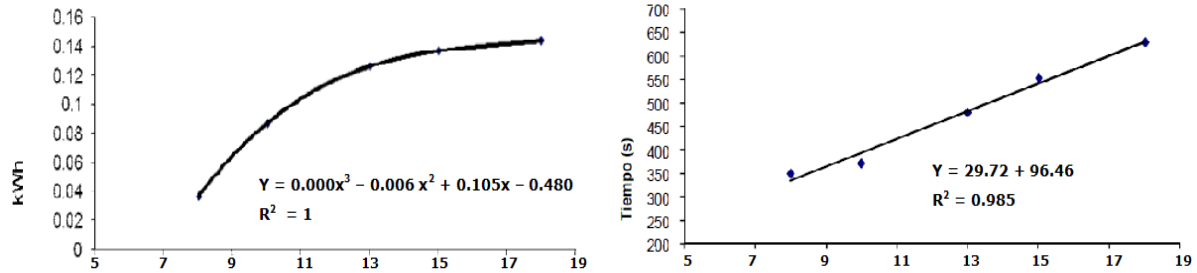


Figura 9. (a): Comportamiento de la energía eléctrica en el proceso de calentamiento de agua de varios volúmenes; (b): Tiempo contra volumen de agua.

Con un jarro de agua caliente acabada de ebulir se puede preparar aproximadamente 18 L de agua para el baño de una persona, mientras que calentando ese mismo volumen de agua directamente con un calentador se consume un 43 % menos de energía eléctrica.

### La olla de presión: potencia y energía en la cocción de diferentes alimentos

La olla de presión eléctrica es uno de los equipos más utilizados por su fácil y rápido uso, pero se debe tener en cuenta que esté siempre en buen estado y no presente problemas, principalmente con la junta ya que como es una olla de presión, al estar averiada la junta es más el gasto de energía y no se aprovechará el calor y la presión como es debido. Este factor contribuye al derroche de la energía. No se debe usar para freír carnes, huevos y otros alimentos ya que no está diseñada para este tipo de trabajo, lo cual contribuye a la rotura del equipo desaprovechando sus potencialidades energéticas.

Se realizó la medición de la potencia que demanda la olla de presión marca LIYA, en sus dos momentos, durante la cocción y durante el momento de calentamiento. Para este caso se cocinó carne de cerdo para cinco personas. En este experimento el voltaje que había en la red era de 110,8 V. Los resultados de potencia activa que manifestó este equipo fue de 680,31 W en su momento de cocción, y al pasar al momento de calentamiento su potencia activa fue de 0 W ya que al disparar este equipo mantiene su temperatura con la presión.

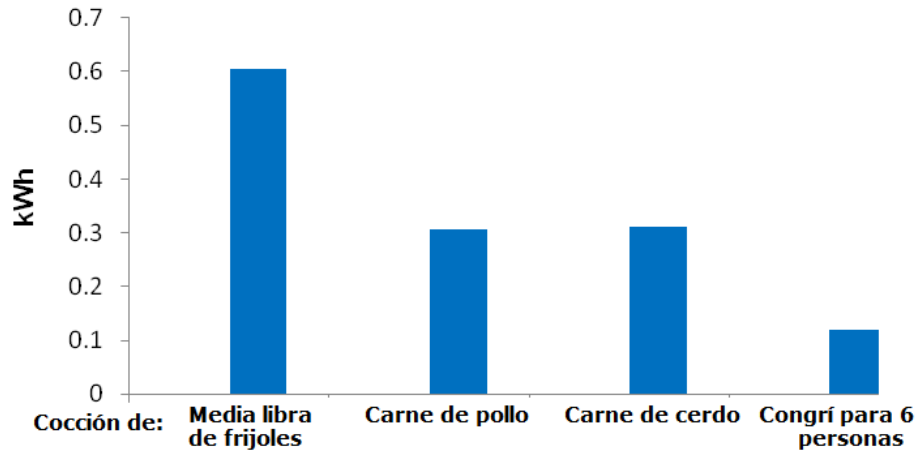


Figura 10. Comportamiento de la energía en la cocción de diferentes productos en la olla de presión LIYA de 45 min.

### La olla arrocera: potencia y energía para diferentes volúmenes

La olla arrocera puede elaborar muchos alimentos y es de fácil manipulación. Este equipo es muy eficiente en la cocción de los alimentos, pero requiere de mantenimientos y del cumplimiento de las indicaciones del manual en el cual se especifican los productos que se pueden cocinar en ella, para evitar roturas.

Se realizó la medición de la potencia que demanda la olla arrocera de modelo LIYA MG-TOP035 en sus dos momentos: durante la cocción y durante el calentamiento. Para este caso se cocinó congrí para cuatro personas. En este experimento el voltaje que había en la red era de 109,8 V. Los resultados de las mediciones de potencia activa fueron de 467,74 W en el caso en que se encontraba cocinando y 45,01 W cuando disparó y se encontraba en calentar con sus respectivas corrientes de 4,26 A y 0,409 A.

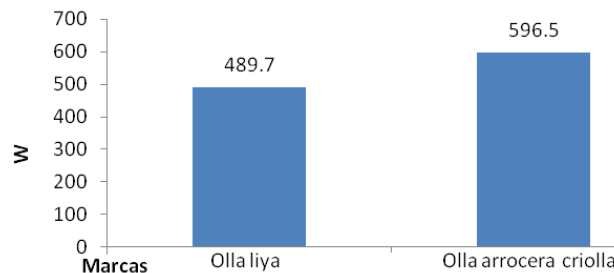


Figura 11. Gráfico del comportamiento de la potencia activa de diferentes ollas arroceras.

Se realizó, además, la medición del consumo de la energía eléctrica en el caso de la cocción en la olla arrocera de arroz blanco y congrí para las mismas cantidades de

personas y bajo las mismas condiciones de trabajo y como se muestra en el gráfico anterior el comportamiento del consumo de energía es muy similar.

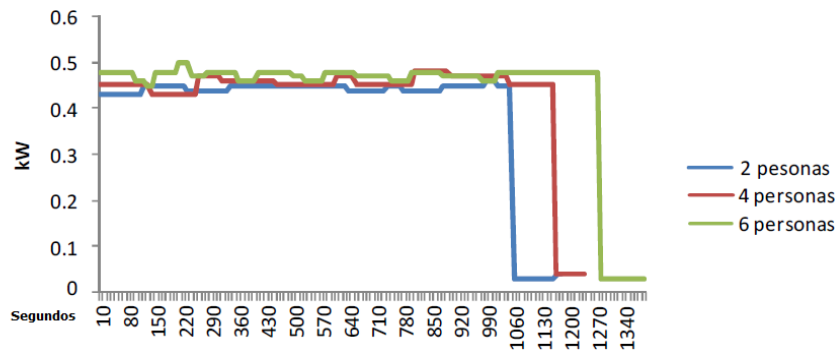


Figura 12. Comportamiento de la demanda de potencia para la cocción de arroz para diferentes cantidades de personas en la olla arrocera Liya.

### El televisor

El televisor es un equipo muy utilizado por las familias cubanas ya que es uno de los medios audiovisuales que contribuyen a la educación, formación cultural y entretenimiento del pueblo, pero hay que tener en cuenta que aunque no es uno de los más consumidores del hogar se debe tener conciencia energética ya que algunos usuarios lo utilizan como radio y, en ocasiones, se queda encendido sin que nadie lo esté viendo, y esto propicia el malgasto de la energía eléctrica del país; además, añadir que cuando no se esté utilizando este equipo no solo apagarlo por el botón *on-off*, sino desconectarlo de la red de alimentación, ya que los televisores en *standby* son de los equipos que, conectados a la red de alimentación, también consumen energía eléctrica.

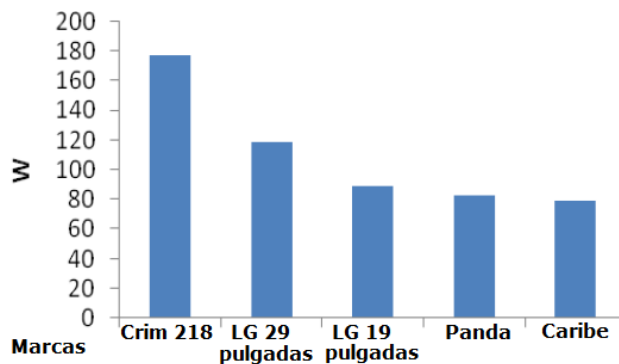


Figura 13. Comportamiento de la demanda de potencia de varias marcas de televisores.

Se realizó la medición de la potencia que demanda el televisor de modelo Panda en su momento de encendido. Para este caso se encendió el TV y se registró una potencia activa de 85 W, se cambiaron los canales y no alteró el comportamiento de la potencia activa. En este experimento el voltaje que había en la red era de 112,7 V. Se realizó la medición del consumo de energía durante una hora de encendido del televisor Panda y se registró un consumo de 0,055 kWh.

## **Conclusiones**

Se realizaron mediciones precisas de la demanda de una gran gama de los principales equipos electrodomésticos con mayor influencia en el consumo de energía eléctrica en el sector residencial en Cuba.

Se identificaron los patrones de comportamiento de la potencia activa durante las operaciones habituales para diferentes regímenes de carga de los equipos que más inciden en la estructura energética de las familias cubanas.

Se presenta una serie de comportamientos termoenergéticos en relación al calentamiento de agua, identificándose los modelos matemáticos que relacionan el tiempo con los kWh que se consume, la temperatura con el tiempo y la temperatura con los kWh de consumo.

En el caso de la cocción de alimentos, como el arroz, se consume un 17 % menos al hacerlo en la olla de presión que en la olla arrocera.

En caso de utilizar la homilla eléctrica poner el selector en el paso de máxima demanda ya que se consume un 36 % de energía menos al calentar agua en este jarro en este paso que hacerlo en el paso medio o bajo.

Para el calentamiento de agua usando los equipos como la homilla eléctrica y el calentador eléctrico se comprobó que, realizando esta actividad con el calentador eléctrico y llevando la temperatura hasta 36,6 °C, se consume un 43 % menos de energía que si se realizara con la homilla eléctrica.

## Referencias bibliográficas

BÉRRIZ, L. & ÁLVAREZ, M. 2008: Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares. Editorial Cubasolar.

RODRÍGUEZ, J. 2009: *Predicción de la demanda y regímenes de explotación del circuito de distribución 21 de Moa*. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

PADRÓN, E. 2012: Sutiles pérdidas de potencia, cuantiosas pérdidas de energía. En: Séptimo Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos, Cuba, 12 - 14 abril. ISBN 978-959-257-323-9.

MONTERO, R. 2010: Energía eléctrica en el hogar: una visión desde la formación curricular. En: Sexto Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos, Cuba. ISBN 978-959-257-231-7.