



Características de las cargas del sector residencial en Cuba

Leonardo Casas
Alberto Ramírez
Alberto Limonte

Recibido: Octubre del 2007
Aprobado: Diciembre del 2007

Resumen / Abstract

Una de las variables más difíciles de definir a la hora de llevar a cabo cualquier estudio en las redes de distribución, es sin dudas el comportamiento de las cargas, entre las que se encuentran las del sector residencial, que se compone de elementos de consumos moderados o reducidos (equipos electrónicos, iluminación eficiente, etc.) y de equipos con demandas elevadas, como los de calor empleados en la elaboración de los alimentos; estos últimos son los que lógicamente tienen mayor influencia en el gráfico de carga. La sustitución del combustible doméstico por energía eléctrica para la cocción familiar, actividad que se realiza en un intervalo de tiempo muy bien acotado, ha introducido drásticos cambios en la demanda, el consumo, factor de potencia y los gráficos horario de estos clientes. En el trabajo se exponen tanto el método empleado para determinar las características de las nuevas curvas de carga del sector, como los resultados de las mismos.

Palabras clave: Cargas eléctricas, cargas residenciales, gráficos de carga

One of the most difficult variables to define when a distribution network study is carried out is, undoubtedly, the loads behavior, among them, are the home loads, which are integrated by low demand appliances (electronic devices, efficient lighting, etc.) and by high power equipments such as the ones used for cooking; of course, these are the most important in the load curve. The use of the electric energy for home cooking and basically because it is used in a well defined time interval has impacted hardly in the electric demand, the energy consumption, the power factor and the daily curves. In this paper are presented both, the method used to determine the characteristics of the new load curves and their results

Key words: Electric loads, residential loads, load graphics

INTRODUCCIÓN

Existen diversos métodos¹⁻³ para estimar la demanda eléctrica, con los que se suelen realizar los estudios a largo plazo. Sin embargo, para determinar el comportamiento horario es prácticamente obligatorio analizar mediciones en instalaciones ya existentes analizando, además, la composición de los receptores asociados.

Los gráficos de carga del sector residencial se caracterizan por una elevada demanda en las primeras

horas de la noche cuando la mayor parte de la familia regresa al hogar y se intensifica el uso de los equipos electrodomésticos. En los sistemas eléctricos, donde el resto de las cargas tienen un peso reducido, los gráficos totales tienen formas horarias muy similares a los del sector residencial, sobre todo en el horario pico.

La sustitución de los diversos tipos de combustibles domésticos por la energía eléctrica ha provocado una transformación significativa en los gráficos de carga

de este sector y por ende en todo el sistema, por lo que se requiere evaluar su impacto y características con el fin de realizar estudios más precisos y confiables.

Los estudios realizados con anterioridad se han basado fundamentalmente en valores medios tomados de transformadores típicos, con los que se han instrumentado gráficos que se clasifican de acuerdo con los lugares de ubicación dentro de las áreas estudiadas (centro de las ciudades, periferias, zonas rurales, etc.). Esta forma de simplificar el problema ha dado resultados aceptables, si se tiene en cuenta que estudios más rigurosos requieren mayor número de muestras y clasificarlas por estratos.

La fuerte tendencia a la uniformidad del equipamiento doméstico de alto consumo ha tendido a establecer gráficos prácticamente semejantes en la mayor parte de los sectores de la población. Los resultados obtenidos de diferentes muestras indican que la probabilidad supuesta de la coincidencia de los gráficos, sobre todo en el horario de mayor demanda, son lo suficientemente confiables como para aceptarlos con pocas reservas.

SELECCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES A ESTUDIAR

Las limitaciones del combustible convencional de uso doméstico estimularon la proliferación de cocinas y medios de cocción rústicas de gran ineficiencia; prácticamente no existía una sola vivienda en que estos equipos no estuvieran presentes en una u otra versión, pero todos con las mismas características de ser altos consumidores con rendimientos deficientes.

Como programa de la Revolución Energética, se estableció la acción combinada de sustituir el combustible convencional doméstico por la energía eléctrica y eliminar los equipos altos consumidores, para lo cual se estableció un módulo familiar formado por equipos (tabla 1).

Tabla 1 Módulo de equipos eléctricos para el hogar	
Hornilla eléctrica	1 200 W
Olla arrocera	700 W
Olla universal	820 W
Calentador	1 000W
Jarra para hervir agua	1 700 W
Utensilios de cocina eficientes	

De igual forma, y como parte de la estrategia de elevar la eficiencia de los equipos del hogar, se sustituyeron las obsoletas lámparas incandescentes por otras de alto rendimiento y los refrigeradores de gran tiempo de explotación por modelos modernos de menor consumo.

A pesar de la disminución del consumo de los equipos gastadores, la demanda se ha incrementado por el equivalente del combustible fósil remplazado, aun teniendo en cuenta que todos estos equipos son de gran calidad en el aprovechamiento de la energía (aislamiento térmico, control energético, etcétera).

Dado que el equipamiento de calor, el de mayor demanda, de cada vivienda es el mismo para cada cliente, y que se utilizan a prácticamente las mismas horas, es evidente que su efecto sobre el gráfico de carga es el de mayor influencia. Basados en este hecho no existe gran error si se considera que la probabilidad de coincidencia de los picos de los clientes sea alta (85 - 90 %) y a partir de aquí se han determinado los valores de la muestra (transformadores dentro de los circuitos de distribución con carga residencial del orden del 94 % o mayores) mediante:⁴

$$n = \frac{n'}{1 + \frac{n'}{N}}$$

$$\text{donde } n' = \frac{p(1-p)}{(se)^2}$$

p: Probabilidad de coincidencia de los picos,
(se)²: Error estándar al cuadrado.

n: Número total de transformadores.

Con p = 0,9 y se = 0,1 se analizaron los dos circuitos con carga residencial superior al 95 % del total con los resultados que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2 Población y muestra de los circuitos 19 y 20		
Circuito	Población (N)	Muestra (n)
19	93	8
20	35	7

ANÁLISIS DE LOS GRÁFICOS DE CARGA

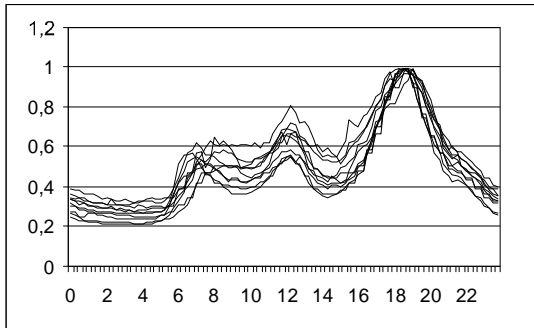
Los gráficos de carga obtenidos muestran tendencias a un comportamiento muy similar entre sí (en p.u.) independientemente del número de clientes asociados a cada transformador y de la composición del resto de su equipamiento. Es de destacar que en el horario pico, que coincide con el mayor uso de los equipos para la elaboración de los alimentos, las diferencias entre los diferentes gráficos es muy pequeña, como se muestra en la figura 1.

La figura 2 es el valor medio de los gráficos de la figura 1. Existen gráficos bien diferenciados entre sí para los días laborales y los fines de semana.

La varianza y la relación de desviación estándar entre el promedio (figuras 3 y 4 respectivamente), verifican la coincidencia de las muestras obtenidas.

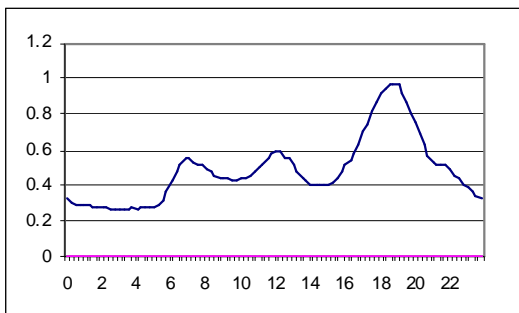
Como puede apreciarse el valor máximo de la varianza es de un 1 %, en tanto que el valor medio es inferior a 0,4 %. Los mayores valores que se detectan ocurren en las primeras horas del día y después del pico nocturno donde la mayor aleatoriedad del uso de los equipos de menor consumo tienen posibilidades de mostrarse con mayor peso porque no quedan enmascarados por los dispositivos de generar calor que son los de mayor potencia. Se puede observar cómo alrededor de las 5:00 p.m. el valor de la varianza es prácticamente cero.

Los gráficos medios de los transformadores de los circuitos 19 y 20 de la ciudad de Santa Clara presentan comportamientos similares a los de la figura 5.



Gráficos de carga residenciales.

1

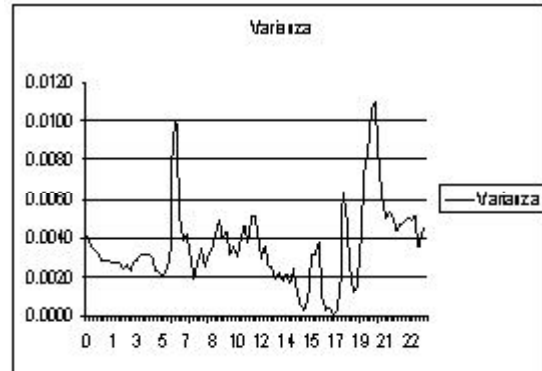


Valor medio de los gráficos de carga.

2

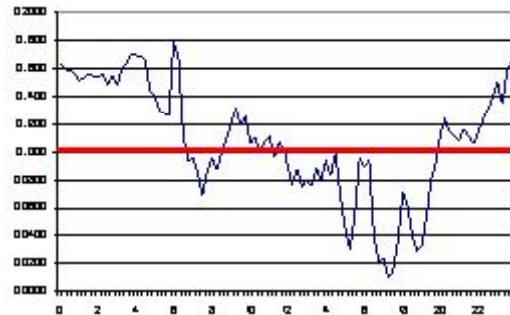
Algo similar ocurre con la representación de la relación desviación estándar, valor medio, cuyo promedio es de un 10 %, límite considerado como altamente satisfactorio para este tipo de análisis.

La confianza en los resultados obtenidos se puede comprobar mediante la comparación de los gráficos de carga promedio de los transformadores medidos y el gráfico de carga total del circuito, tanto para los días laborales como para los días correspondientes al fin de semana (figuras 6 y 7).



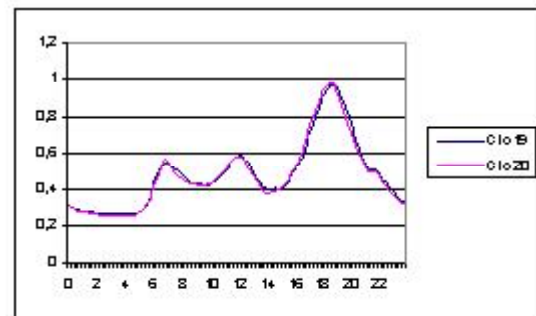
Varianza de los gráficos de carga.

3



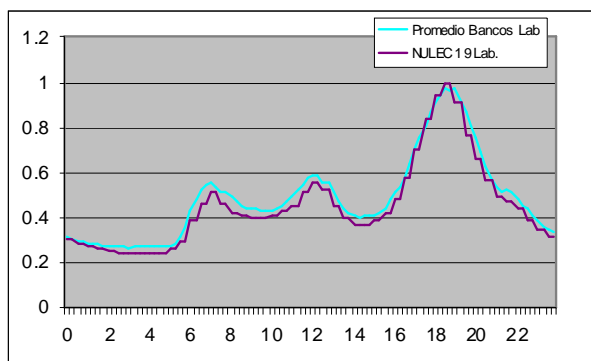
Relación entre la desviación estándar y el valor medio.

4



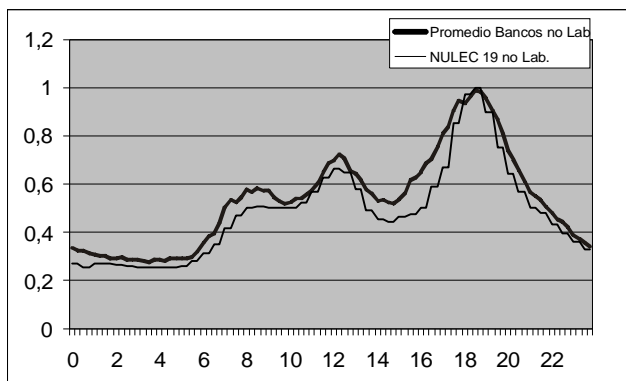
Gráficos horarios de los transformadores de los

5



Comparación del gráfico promedio de la muestra para los días laborables.

6

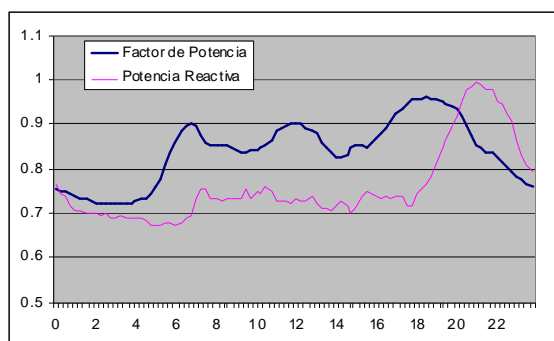


Comparación del gráfico promedio de la muestra para los días del fin de semana.

7

SOBRE EL FACTOR DE POTENCIA

Debido a la alta proporción de los equipos resistivos en la carga total, es evidente esperar un alto factor de potencia durante el horario en que estos tiene la mayor probabilidad de operar, o sea, durante el horario diurno. Obtenido por el mismo método, la figura 8 muestra el factor de potencia determinado para el circuito 19. y la demanda de potencia reactiva (p.u). Obsérvese como el factor de potencia es alto a las horas de cocción de alimentos y más bajo durante los demás, y cómo el consumo de potencia reactiva aumenta con la iluminación.



Factor de potencia y potencia reactiva del circuito 19.

8

CONCLUSIONES

1. El método para seleccionar la muestra ha dado resultados altamente satisfactorios, verificados por dos vías independientes:
 - a) El cálculo de las varianzas de los gráficos.
 - b) La comparación de los gráficos medios obtenidos con la del circuito real total.
2. Un aspecto que contribuye a la precisión de los resultados es el hecho de que se han separado como elementos diferentes los gráficos de los días laborables de los gráficos de los fines de semana.
3. Es notoria la influencia de los nuevos equipos en los gráficos de carga. Se observan los picos de los horarios en que se preparan los alimentos de la familia en el hogar: En la mañana, el mediodía y la tarde-noche.
4. Se ha observado el efecto que sobre el factor de potencia tienen las nuevas cargas, ya que en el horario pico este es muy elevado (prácticamente 1), en tanto en el resto del día su valor disminuye.
5. La potencia reactiva varía poco excepto en el horario de uso de la iluminación. Debe tenerse en cuenta que las lámparas incandescentes fueron sustituidas por otras de menor consumo de potencia activa, pero con requerimientos de potencia reactiva.

REFERENCIAS

1. **Gallardo, J. y otros:** Estimación de la demanda agregada de electricidad, Oficina de Estudios Económicos, OSINERG, Perú, enero, 2004.
2. **Moral, J. y otros:** Un modelo de predicción de la demanda de energía eléctrica: Thor II, Universidad Autónoma de Madrid, noviembre, 2003.
3. **Murillos J. y otros:** "Estudio del pronóstico de la demanda de energía eléctrica utilizando modelos de serie de tiempo. Scientia et Técnica UTP, Año IX, No. 23, diciembre, 2003.
4. **Taro, Y.:** Elementary Sampling Theory, Ed. Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, 1989.

AUTORES

Leonardo Casas Fernández

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central Marta Abréu de Las Villas, Villa Clara, Cuba
e-mail:lcasas@uclv.edu.cu

Alberto Ramírez González

Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica, Organización Básica Eléctrica (OBE), Villa Clara, Cuba
e-mail:albertor@elecvccl.une.cu

Alberto Limonte Ruiz

Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica, Profesor Auxiliar, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central Marta Abréu de Las Villas, Villa Clara, Cuba
e-mail:limonte@uclv.edu.cu