

Curvas de demanda de energía eléctrica en el sector doméstico de dos regiones de México

Martín Roberto Maqueda Zamora y Luis Agustín Sánchez Viveros

Artículo presentado originalmente en la *Smart Metering West Coast*, Seattle, Washington, Estados Unidos, agosto 18 y 19, 2008.

Abstract

In this work, is presented the analysis of residential consumption, regarding the temperature of two areas and types of electrical appliances. A shape characteristic of the load of the electrical energy is obtained for two geographical areas in México. The consumption information was obtained from measurements in residential consumers and from the Mexican Utility. It is also shown the demand profile of the main residential appliances, obtained from smart metering equipments to separate the residential users' load profiles. It is shown the effect of the different variables analyzed on the electrical power consumption, mainly the type of equipment, the geographical localization, the weather (temperature, humidity and vegetation type). With the results attained, the definition of effective energy-saving programs and its effectiveness can be obtained.



Resumen

En este trabajo se presentan los perfiles del comportamiento de la demanda de energía eléctrica de las áreas central y peninsular, obtenidos a partir de la información de consumos del CENACE (Centro Nacional de Control de Energía) y los perfiles de demanda de energía eléctrica de usuarios domésticos obtenidos mediante las mediciones realizadas a un grupo específico de usuarios. También se muestra el perfil de demanda de los principales equipos electrodomésticos.

Además, se realiza la comparación de las diferentes formas de consumo de la energía eléctrica en dos regiones diferentes del país y se presenta el nivel de consumo y la participación que tienen los diferentes sectores en el sistema eléctrico de México. Asimismo, para la elaboración de este trabajo, se utilizaron equipos que realizan la desagregación de las curvas de carga del usuario doméstico, obteniendo las curvas de consumo de sus principales electrodomésticos.

Con estos resultados se caracterizaron los dos grupos de usuarios en los que el consumo de energía eléctrica depende de la región en que se encuentran, tipo de equipamiento, localización geográfica y clima (temperatura, humedad, tipo de vegetación), y nivel socioeconómico de los usuarios. Con los resultados obtenidos de los programas de medición se puede evaluar la efectividad de los programas de ahorro de energía implementados en el sector y, por lo tanto, definir nuevos programas en la administración de la demanda.

Introducción

En México existen varias instituciones que se han enfocado a diseñar y aplicar programas para lograr un uso más eficiente de la energía en diversos sectores de nuestra sociedad, como la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) actualmente CONUEE, el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), el Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE) y el Programa de Ahorro Sistemático Integral (ASI).

El ahorro de energía eléctrica es un elemento fundamental de las políticas públicas para el cuidado de los recursos energéticos no renovables, la diversificación energética, la protección del medio ambiente, el aumento de la productividad y la competitividad de la economía, y para la protección de la economía de las familias [1].

Se han tenido buenos resultados a través de los programas de normalización, programas de incentivos, de desarrollo de mercado y de ahorro de energía en los sectores industrial, agropecuario, comercial y doméstico. El problema de los programas es determinar la penetración que tienen en cada sector que se aplica y los ahorros que se dan por su implementación.

Uno de los retos que se enfrentan actualmente es el de continuar y consolidar los proyectos, programas y acciones de ahorro de energía. Por otra parte, para determinar las nuevas líneas de acción se requiere conocer a detalle las características del sector y validar el éxito de las diferentes acciones ya implementadas. Por

todo lo anterior, se necesita contar con la información suficiente para evaluar de forma correcta los ahorros por la reducción del consumo de energía, la reducción de la emisión de gases contaminantes y la aceptación de los programas.

Para conocer el impacto de los programas de ahorro de energía es necesario realizar mediciones, ya que es la mejor forma de validar las medidas y efectos de las campañas implementadas por el sector energético. El problema es que las mediciones son caras al involucrar diversos equipos y tiempo de procesamiento. No obstante, existen registradores económicos como los *data loggers*, pero únicamente pueden registrar cargas puntuales, por lo que su instalación se realiza internamente en el inmueble y se requiere mayor tiempo para el procesamiento de la información. Otra forma de realizar mediciones en el sector doméstico es la utilización de equipo con tecnología reciente, donde el *software* realiza la desagregación de curvas de los principales electrodomésticos, lo que reduce el número de equipos utilizados, ya que sólo se instala un equipo de medición en la acometida de energía eléctrica, y el *software* facilita el manejo de la información, permitiendo manipular los resultados de una manera sencilla y práctica, reduciendo así los tiempos de procesamiento. La ventaja del uso de estos equipos es que permite reducir los costos de los programas de medición y no interrumpen la privacidad del usuario. Un ejemplo de la instalación de estos equipos se muestra en la figura 1.

La distribución de energía eléctrica en México se divide principalmente en los sectores: industrial, comercial, doméstico y de servicios. Dentro de estos sectores,

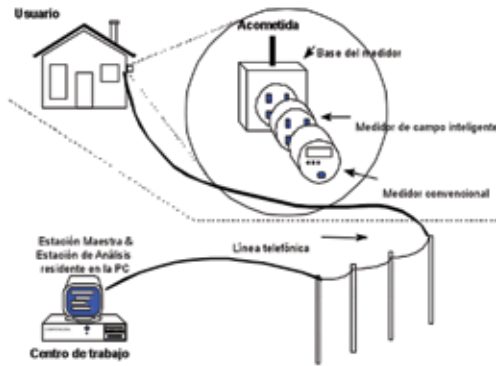
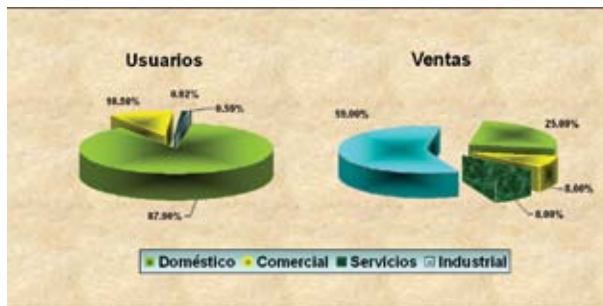
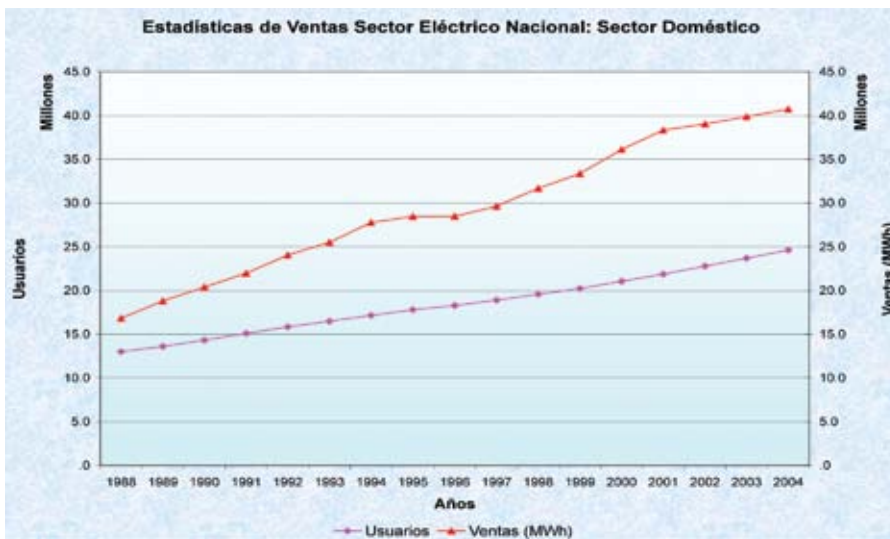


Figura 1. Instalación de equipo de medición automatizado en la acometida de un usuario doméstico.



Gráfica 1. Usuarios/sector y consumos /sector.



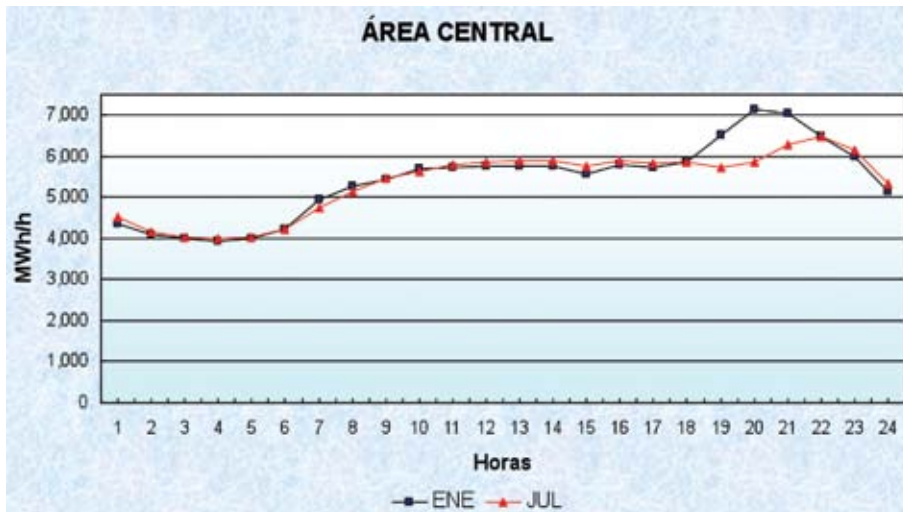
Gráfica 2. Estadísticas de ventas del sector doméstico.

el que más consumo de energía eléctrica tiene es el industrial con un 59% del total, esto con el 0.6% de los usuarios. El sector comercial consume el 7.91% con el 10.59% de los usuarios. El residencial consume el 24.91% con el 87.90% de los usuarios, y por último, el sector público consume el 8.10% con menos del 0.92% de los usuarios [2]. Estos valores se muestran en la gráfica 1.

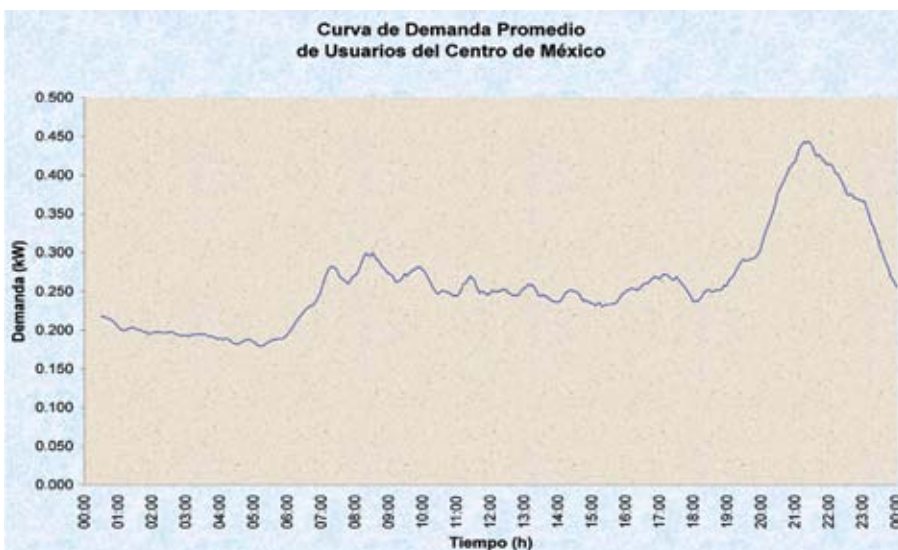
Los programas de ahorro de energía del sector energético en México se encuentran enfocados principalmente al sector doméstico, debido a que tienen el mayor número de usuarios con un 87.90% y tienen un consumo del 24.91%, casi la cuarta parte del consumo nacional. Por esto, es de vital importancia para el sector energético en México atender los problemas sociales y económicos del sector doméstico.

Como se sabe, el nivel socioeconómico de los usuarios se ve reflejado en el consumo de energía eléctrica, y a su vez, el tipo de equipamiento depende de la región donde se encuentren estos usuarios. Al incrementarse el ingreso per cápita de los usuarios, se incrementa la compra de productos electrodomésticos cuya operación incrementa directamente el consumo y demanda de energía eléctrica, tanto de los usuarios como del Sistema Eléctrico Nacional.

En México la tasa de crecimiento de usuarios en el sector doméstico desde 1988 a 2004 varió de un mínimo de 2.73% a un máximo de 5.46%, y el promedio fue de 4.07%; la tasa de crecimiento de consumo de energía eléctrica varió de un mínimo de 0.07% a un máximo de 11.81%, y el promedio fue de 5.73% respectivamente. La gráfica 2 muestra la evolución del crecimiento de los usuarios y el consumo de 1988 a 2004 [2].



Gráfica 3. Curvas de demanda: área central.



Gráfica 4. Curva de demanda promedio de un grupo de usuarios del centro de México: Cuernavaca, Morelos.

Debido al impacto que tiene el consumo de los usuarios domésticos en la curva de demanda del sector eléctrico nacional, es importante mantener un programa de normalización sobre los equipos que se producen y entran al país, ya que el uso de éstos afectan directamente la economía de los usuarios, al incrementarse el consumo de energía eléctrica, lo cual afecta directamente la facturación de energía que tienen que pagar.

En las siguientes secciones se muestran los perfiles del comportamiento de la demanda de energía eléctrica de las áreas central y peninsular, los cuales se obtuvieron a partir de

la información del CENACE, así como de los perfiles de demanda de usuarios domésticos, obtenidos a partir del monitoreo realizado a un grupo de usuarios. También se muestra el perfil de demanda de los principales equipos electrodomésticos, que actualmente están considerados dentro de los programas de incentivos.

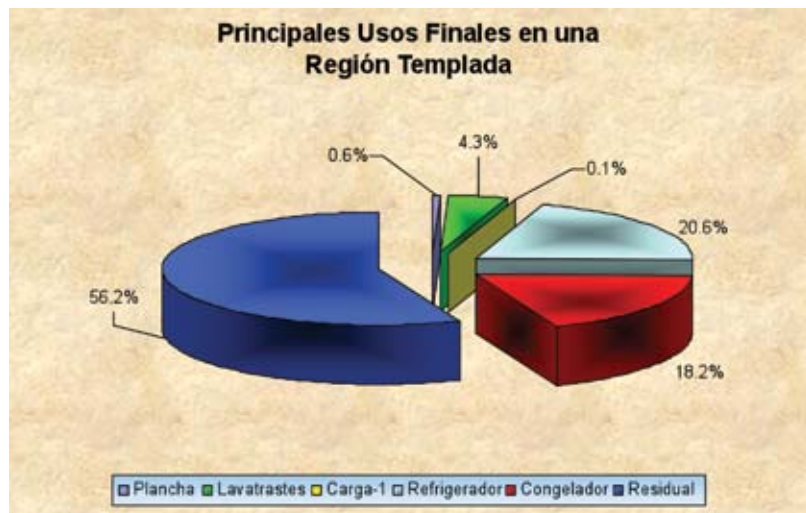
Comportamiento de la curva de demanda del área central

La curva de demanda del área central corresponde a los siguientes Estados: Distrito Federal, Morelos, Guerrero y algunas ciudades del Estado de México y Puebla. En la gráfica 3 se puede observar que el mes de mayor demanda es enero con 7,136 MWh a las 20 hrs; en cambio, durante el mes de julio la demanda máxima es de 6,807 MWh a las 22 hrs. Asimismo, se observa un desplazamiento en la hora de la demanda máxima debido al programa de cambio de horario [7, 8]. En el caso particular de esta área se puede observar que las curvas mantienen un comportamiento muy parecido, sólo cambia de las 18 a las 22 hrs. En esta área el clima es templado subhúmedo con lluvias abundantes en verano; semi-frío subhúmedo con lluvias abundantes en verano, y cálido subhúmedo con lluvias todo el año. Además, el efecto de la temperatura durante el mes de julio es despreciable, ya que no se nota un incremento considerable en el perfil de demanda, por lo que esta curva conserva el mismo patrón de demanda durante todo el año.

En la gráfica 4 se muestra la curva de demanda de un conjunto de usuarios del sector doméstico de la ciudad de Cuen-



Gráfica 5. Principales usos finales en una región semicálida.



Gráfica 6. Principales usos finales en una región templada.

navaca, Morelos, donde se presenta un clima semicálido con lluvias abundantes en verano y una temperatura promedio máxima de 23°C y mínima de 18°C. En la curva de demanda se puede apreciar que la demanda máxima ocurre en la noche, a las 21 hrs., y su patrón de comportamiento es similar al que se muestra en la gráfica 3 del área central. En esta curva se puede apreciar cómo influye el equipamiento de los usuarios, ya que su principal carga es la iluminación y el equipo de refrigeración para la conservación de alimentos.

De las mediciones realizadas a usuarios domésticos de la ciudad de Cuernavaca, Morelos, se encontró que el 35.5% del consumo de energía corresponde al refrigerador, 3.8% a la bomba de agua, 1.1% a la cafetera, entre sus principales cargas; y del 56.7% del consumo de energía residual se considera que el consumo promedio de iluminación en el sector doméstico de la República Mexicana es de un 43%; por lo que, con esta información, llegamos a identificar el 86.3% del consumo de energía eléctrica de esta muestra de usuarios (gráfica 5).

En la gráfica 6 se presenta la distribución de consumo de los principales electrodomésticos para un grupo de usuarios de una zona templada (Distrito Federal). Asimismo, se muestra que los equipos de refrigeración consumen el 38.8%, el lavavajillas el 4.3%, la plancha participa con un 0.6%. El residual es del 56%, pero dentro de éste se encuentra la iluminación artificial, que representa a nivel nacional el 43% de consumo de los usuarios domésticos.

Las gráficas 5 y 6 muestran que el residual de una región semicálida es de 56.7% y de una región templada es de 56.2%; y el consumo por refrigeración es de un 35.5% y 38.8% respectivamente. En este caso particular ambas regiones pertenecen al área central y su perfil de consumo es el que se muestra en la gráfica 3.

Comportamiento de la curva de demanda del área peninsular

En esta sección se muestra el comportamiento de la curva de demanda del área peninsular (Quintana Roo, Yucatán, Campeche y algunas ciudades de los

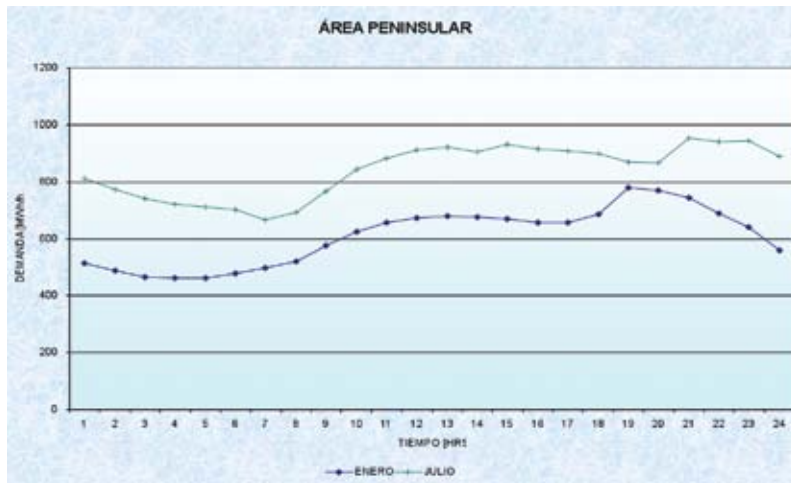
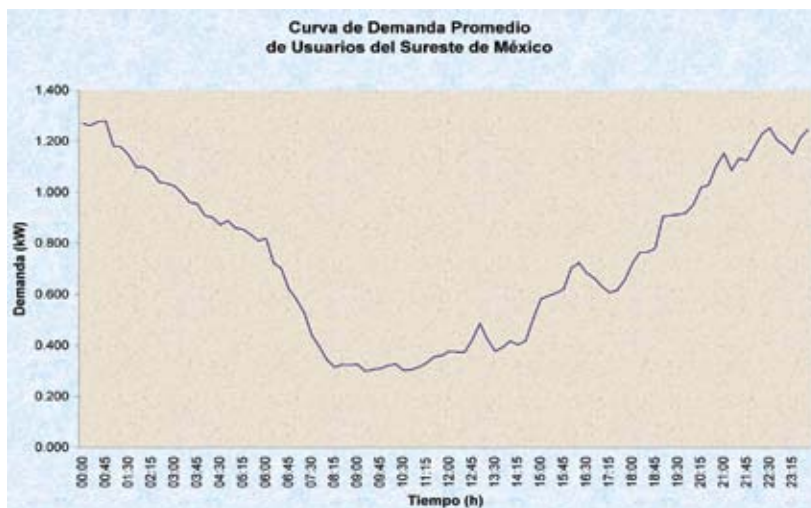


Figura 5. Modo aprendizaje.



Gráfica 8. Curva de demanda promedio de usuarios del sureste de México: ciudad de Mérida, Yucatán.

estados de Tabasco y Chiapas). En la gráfica 7 se puede observar que la demanda máxima del mes de julio es de 954 MWh a las 21 hrs.; en cambio, para el mes de enero es de 781 MWh a las 19 hrs., con lo que se presenta un desplazamiento en la hora de la demanda máxima. En este desplazamiento está incluido el programa

de cambio de horario de verano [7, 8]. También se puede observar que en la curva del mes de julio los valores que forman el perfil de demanda son más altos que los que forman el perfil de demanda del mes de enero. Además, en esta área el clima es cálido subhúmedo y el efecto de la temperatura se puede apreciar en un incre-

mento de demanda de energía eléctrica de la curva del mes de julio, presentando un patrón de comportamiento diferente al que se presenta en el mes de enero.

El efecto del clima se puede apreciar en la gráfica 8, la cual muestra un grupo de usuarios del sector doméstico de la ciudad de Mérida, Yucatán, que tienen un clima cálido subhúmedo con lluvias todo el año en un 85% de su territorio y una temperatura promedio máxima de 28°C y mínima de 23°C. En la curva de demanda se puede apreciar que la demanda máxima ocurre principalmente en la noche y al amanecer, esto se debe principalmente al uso de equipo de climatización artificial, como son los equipos acondicionadores de aire y ventiladores.

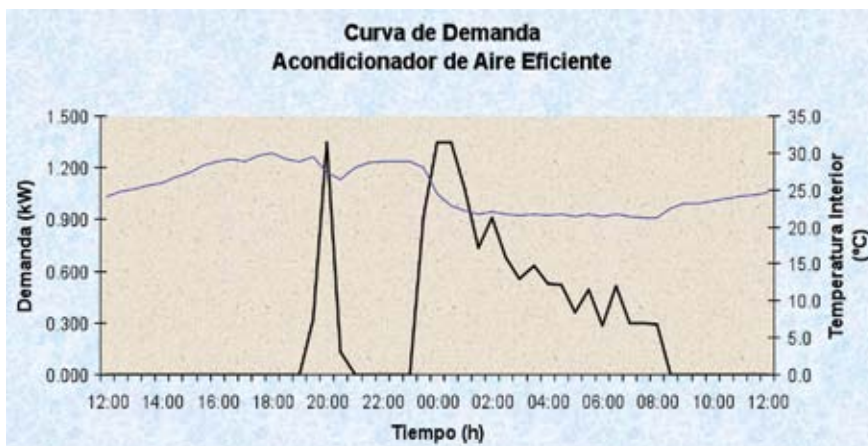
A partir de las mediciones realizadas a esta muestra particular de usuarios de la ciudad de Mérida, se pudo establecer que los equipos de uso final que más consumen energía eléctrica son: acondicionador de aire 20%, refrigerador 16% y ventilador 5%, éstos representan un 41% del consumo total, como se muestra en la gráfica 9.

Con esta información y considerando que en el sector doméstico el consumo de energía eléctrica por iluminación es de un 43% en promedio [5], se determina cómo se está consumiendo el 84% del total del consumo de energía eléctrica del usuario.

Si se comparan los porcentajes de consumo de los diferentes equipos identificados para esta región con los del punto II, se puede observar que son diferentes, esto se debe principalmente al tipo de equipamiento que depende directamente del clima que se presenta en esa región.



Gráfica 9. Principales usos finales en región cálida.



Gráfica 10. Gráfica de demanda de un aire acondicionado eficiente y la temperatura interior de la habitación.

A continuación se muestra un conjunto de gráficas de los principales electrodomésticos de uso común para el grupo de usuarios de esta región.

La gráfica 10 muestra el comportamiento de la demanda de un equipo acondicionador de aire eficiente, en donde se aprecia que la demanda del equipo disminuye al disminuir la temperatura interior de la habitación y la temperatura mínima es alcanzada en un par de horas.

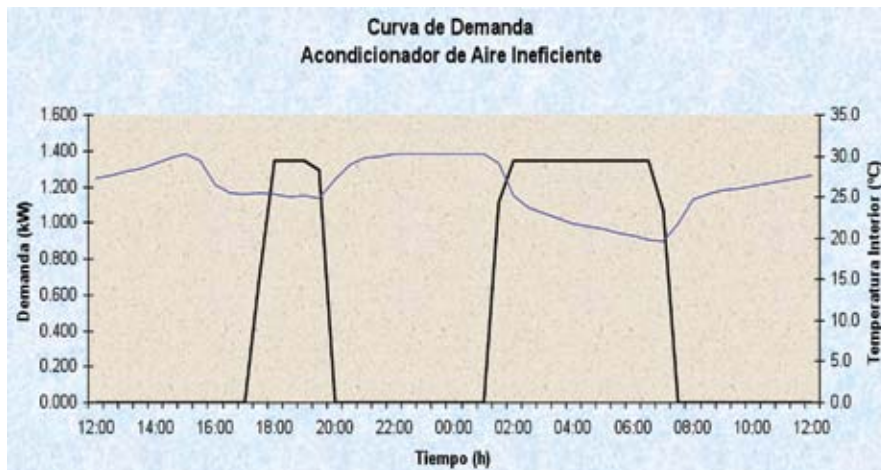
En la gráfica 11 se muestra el comportamiento de la demanda de un equipo acondicionador de aire ineficiente, se aprecia que el equipo nunca reduce la demanda aun cuando la temperatura interior ha disminuido, debido a esto el consumo de energía eléctrica es mayor que cuando se utiliza un equipo eficiente, ya que con el uso de nuevas tecnologías se reduce el consumo promedio de energía eléctrica hasta en un 44% [5], por lo que es muy importante identificar qué equipos están operando incorrectamente para realizar un planteamiento correcto de los nuevos programas de ahorro de energía eléctrica en México.

En México, uno de los equipos de mayor uso en el sector doméstico es el refrigerador, por lo que es importante mostrar la curva de demanda dentro de su operación normal. La gráfica 12 muestra el comportamiento de operación de un refrigerador eficiente, además, se observa que el equipo cicla constantemente.

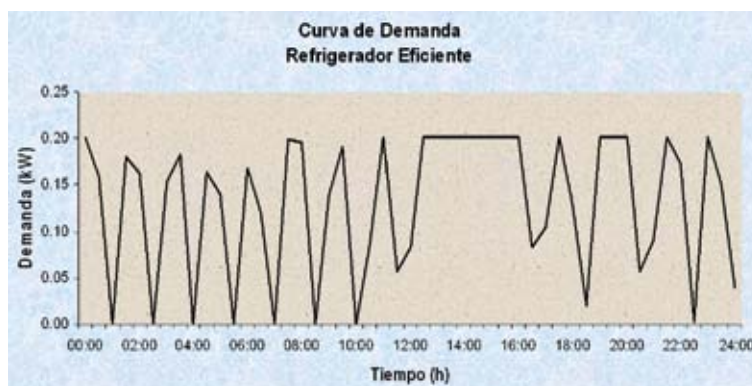
En cambio, en la gráfica 13 se puede ver el comportamiento de la operación de un refrigerador ineficiente, en este caso, aunque el equipo está ciclando, en su valor mínimo no llega a ser cero, por lo que no se apaga totalmente el equipo. Además, durante las horas de mayor uso, que en este caso ocurre de las 8 a las 11 hrs. y de las 17 a las 24 hrs., el equipo no cicla ninguna vez, lo que ocasiona un consumo mayor. Es importante mencionar que en México un gran porcentaje de refrigeradores domésticos son ineficientes.

Conclusiones

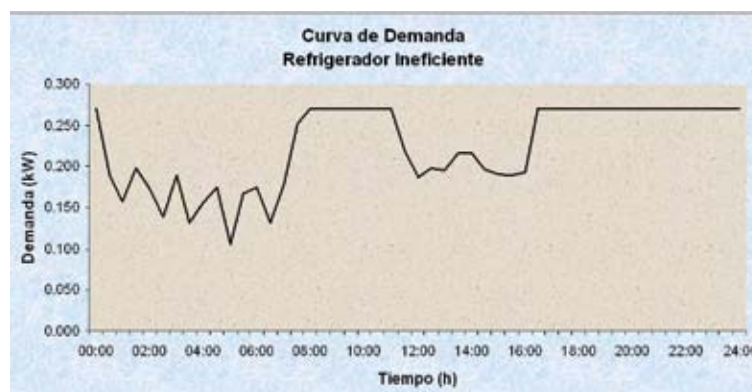
Con base en la información que muestran las curvas de perfiles de demanda características de cada región, se demuestra que



Gráfica 11. Gráfica de demanda de un aire acondicionado ineficiente y la temperatura interior de la habitación.



Gráfica 12. Gráfica de demanda de refrigerador eficiente.



Gráfica 13. Gráfica de demanda de refrigerador ineficiente.

el patrón de comportamiento es diferente, esto se debe a que las características y tipo de equipamiento de cada región influyen en la demanda y el consumo de energía eléctrica, ya que cada región tiene como particular su ubicación geográfica y su clima (temperatura, humedad, tipo de vegetación).

Un ejemplo donde se puede apreciar el efecto del clima de las diferentes regiones del país en el consumo de energía eléctrica es comparando el consumo medio anual de cada región. Por ejemplo, el consumo medio anual nacional es de 137 kWh/usuario, mientras que en el sureste del país, en Oaxaca, se tiene un consumo medio anual de 84 kWh/usuario y Chiapas tiene 92 kWh/usuario [3] (en estas regiones la mayoría de la población no tiene equipos de consumo de energía eléctrica para la climatización artificial). En cambio, en los estados del norte del país se presenta un mayor consumo, como es el caso de Nuevo León con un consumo medio anual de 218 kWh/usuario y Sinaloa con 258 kWh/usuario, esto principalmente por el uso de equipo para climatización artificial y al poder adquisitivo de la población de estos Estados.

En el sector energético es de vital importancia saber cual es el grado de penetración de los diferentes programas que se aplican para reducir el consumo y demanda de energía eléctrica, ya que sin esta información no se pueden evaluar de forma correcta los ahorros de las medidas implementadas para reducir el consumo de energía, así como conocer la disminución del uso de recursos energéticos en la generación, transmisión y distribución. De igual forma, no se puede

medir cuál es la reducción de emisión de contaminantes por parte de la empresa generadora de energía eléctrica. Por ello, es importante realizar programas de medición que nos proporcionen información más exacta de la forma en que se está consumiendo la energía eléctrica en los diferentes sectores y así detectar de una manera precisa que equipos presentan un alto consumo de energía eléctrica o son ineficientes.

Bibliografía

- [1] Dirección General de Planeación Energética, SENER. "Prospectiva del sector eléctrico 2005-2014" 142 pp. México, 2005.
- [2] Comisión Federal de Electricidad. *Estadísticas de ventas: Sector Eléctrico Nacional, agrupación sectorial de tarifas*, 2005.
- [3] Comisión Federal de Electricidad. "Estadísticas por Entidad Federativa 2000, 2001".
- [4] García, F., Maqueda, M. *Medición de energía eléctrica y tipificación de usos finales en el sector doméstico*. Energía Racional, núm. 52, 5-15, 2004.
- [5] Maqueda, M., Sanchez, A., Ramos, G. *Monitoreo de equipos de aire acondicionado y otros usos finales en el sector doméstico*. Energía Racional, núm. 45, 34-38, 2002.
- [6] Ramos, G., Fiscal, R., Maqueda, M., Sada, J., Buitrón, H. *Variables que influyen en el consumo de energía eléctrica*. Boletín IIE. Vol. 23, 11-17, 1999.
- [7] Covarrubias, R. *Horario de Verano 1997*. Energía Racional, núm. 27, 5-7, 1998.
- [8] Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica. *El Horario de Verano en México-Memoria de su establecimiento*. 79 Págs., 1998.



MARTÍN MAQUEDA ZAMORA

[maqueda@iie.org.mx]

Ingeniero en Electrónica, con especialidad en Sistemas Digitales y Computadoras, egresado de la Universidad Autónoma Metropolitana en 1990. Ingresó al IIE en 1991, donde se ha desarrollado en el área de eficiencia desde 1993 en la Gerencia de Uso de Energía Eléctrica. De 1996 a 2000 participó como investigador en el proyecto de evaluación del consumo y la demanda de la implementación del programa de Cambio de Horario de Verano (CHV) y a partir de 2001 a la fecha labora como Jefe de Proyecto del programa CHV. Tiene experiencia en *Advance Metering Infrastructure* (AMI) y *Automated Meter Reading* (AMR), así como en el análisis y evaluaciones del comportamiento de las curvas de carga de usos finales en el sector residencial. Ha participado en el desarrollo de programas de evaluación en el sector energético en Mexicali, programa de evaluación de ahorro de energía en Mérida y, recientemente, en el programa de mediciones de energía eléctrica en viviendas de interés social en las ciudades de Mexicali, Baja California Norte, y Torreón, Coahuila. También participó en el programa de normalización, certificación y etiquetado de electrodomésticos en Colombia y en proyectos de iluminación para PEMEX.



LUIS AGUSTÍN SÁNCHEZ VIVEROS

[lasv@iie.org.mx]

Ingeniero Industrial en Eléctrica por el Instituto Tecnológico de Veracruz en 1995. Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Energética por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey, en 2004. Ingresó en agosto de 1995 a la Gerencia de Uso de Energía del Instituto de Investigaciones Eléctricas, donde se ha desempeñado como investigador y líder de proyectos en las áreas de calidad y uso eficiente de energía eléctrica. Miembro de la *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) y la *Association of Energy Engineers* (AEE). Autor y coautor de diversos artículos en conferencias y revistas técnicas nacionales e internacionales. Agente Capacitador Externo acreditado por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS).