

CURVAS DE DEMANDA HORARIA PARA USOS FINALES DE ELECTRICIDAD EN VIVIENDAS Y EL POTENCIAL PARA LA GESTIÓN DE LA DEMANDA

G.S. Dutt y C.G. Tanides
Grupo Energía y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires
Paseo Colón 850, (1063) Buenos Aires (Argentina)
Tel: 11 4343-0891, int. 159 - fax: int. 365 - email: gdutt@fi.uba.ar

RESUMEN: Una serie de mediciones, encuestas y análisis de datos de facturación en una muestra de viviendas en Buenos Aires fueron utilizadas para cuantificar los principales usos de la electricidad así como la curva de carga de los mismos. La iluminación, la refrigeración de alimentos y los equipos de TV y asociados (incluyendo las videocaseteras y los convertidores de cable) suman a más del 75% del consumo total de electricidad. La demanda de iluminación y de los equipos de video coincide fuertemente con la demanda total de la casa y del sistema eléctrico nacional. La demanda en punta puede reducirse notablemente mediante mejoras en la eficiencia para iluminación y aparatos de video. Las empresas distribuidoras de electricidad podrían promover estas medidas con adecuados diseños de estructuras tarifarias.

Palabras clave: residencial, eficiencia, usos finales, iluminación, televisión, video.

INTRODUCCIÓN

Una información cuantitativa y confiable respecto al consumo de energía y la variación temporal de la demanda de potencia de los distintos usos finales de la electricidad puede utilizarse para determinar los requerimientos actuales y futuros de centrales eléctricas y sistemas de transmisión y distribución. Asimismo, los mismos requerimientos pueden reducirse, y los costos para la provisión de servicio eléctrico bajarse, a través de medidas del uso eficiente de la energía y la gestión de la demanda (UEGD) a nivel del usuario final.

Los datos del consumo energético están normalmente disponibles por *sector* del consumo a través del Entes Nacionales de estadística y energía (por ej. Secretaría de Energía, INDEC, etc.) Las empresas eléctricas (distribuidoras) recolectan datos sobre los patrones del consumo energético al nivel de *usuario final*, los cuales son adecuados para la planificación para la expansión del sistema en la ausencia de programas del UEGD.

Debido a que las medidas de UEGD se aplican para usos específicos de la electricidad, el diseño adecuado de estos programas requiere de información adicional y más detallada sobre el consumo energético y demanda de potencia al *nivel de los usos finales individuales*. En el Cuadro 1 se muestra una clasificación en términos del *sector de uso energético*, el *usuario final* y el *uso final* se ilustra.

Sector de uso energético	Usuario final	Usos finales
Industria	Planta industrial	Bombeo
		Electrólisis
		Iluminación
		Otros
Edificios comerciales y públicos	Edificio de oficina, hospital, hotel, restaurante, centro comercial, escuela, etc.	Iluminación
		Ventilación
		Aire acondicionado
		Ascensores
Residencial	Casa o departamento	Otros
		Iluminación
		Refrigeración
		Televisión y video
		Calefacción
		Aire acondicionado
		Lavado de ropa
Equipo de audio		
Otros		

Cuadro 1. Sectores de uso energético, clases de usos finales y principales usos finales de electricidad.

En Argentina no se disponían de datos confiables sobre el consumo de energía y la demanda de potencia eléctricas hasta mediados de los 1990. Nuestro grupo comenzó con este trabajo en 1994, refinando las estimaciones progresivamente.

En esta ponencia primero sintetizamos nuestras estimaciones del consumo energético para los principales usos finales en viviendas de Buenos Aires. De ella surge que debido a que hay poca *variación estacional* en el consumo, la *variación horaria* es, entonces, más relevante para la gestión de la demanda de potencia. Finalmente se presenta una metodología y estimaciones de las curvas de la demanda horaria para los tres principales usos finales de electricidad en viviendas de Buenos Aires.

PATRONES DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Los componentes del uso final de electricidad para una muestra de viviendas en Buenos Aires fueron cuantificados mediante una combinación de mediciones, encuestas y análisis de la facturación.

Las *mediciones* incluían tanto el consumo energético como otros parámetros eléctricos. Las mediciones comprendían el monitoreo del consumo total de la vivienda con el medidor de facturación, mientras que otro medidor similar se utilizaba para registrar el consumo energético de la heladera. A partir de estas mediciones —dos períodos de 15 días cada uno, una vez en el verano y la otra en el invierno— se estimaron el consumo anual de la heladera¹.

Para los demás equipos eléctricos, se midieron la potencia activa, la corriente y el factor de potencia, prestando especial atención a las pequeñas cargas fantasmas²: el consumo permanente “en espera” (standby) de transformadores, televisores, videocaseteras, audio, teléfonos y contestadores, radiorelojes, computadoras personales, etc.

La potencia de la iluminación fue estimada a partir de la potencia de las lámparas y estimaciones de las pérdidas en balastos para tubos fluorescentes. El consumo energético de todo equipamiento con excepción a las heladeras fue estimado a partir de encuestas de las horas de uso y mediciones de la potencia. En el consumo en “estado de espera” se diferenciaron tanto el patrón de uso como la potencia, según el tipo de uso: operando, y en espera, activo y pasivo, donde fuera necesario.

El consumo total de energía de cada vivienda, estimado por este procedimiento “*bottom-up*” fue comparado con datos de la facturación de los dos años anteriores. Nuestra estimación “*bottom-up*” fue ajustada, si se observara una diferencia grande en el consumo total de energía. Además, se determinó el consumo energético para la climatización —no considerado en nuestra estimación previa— a partir de las variaciones estacionales del consumo facturado durante los dos años.

La Figura 1 presenta un desglose del consumo entre los principales usos finales de electricidad en viviendas de Buenos Aires. Cada barra muestra el consumo promedio correspondiente al uso final especificado, como porcentaje del total de la vivienda.

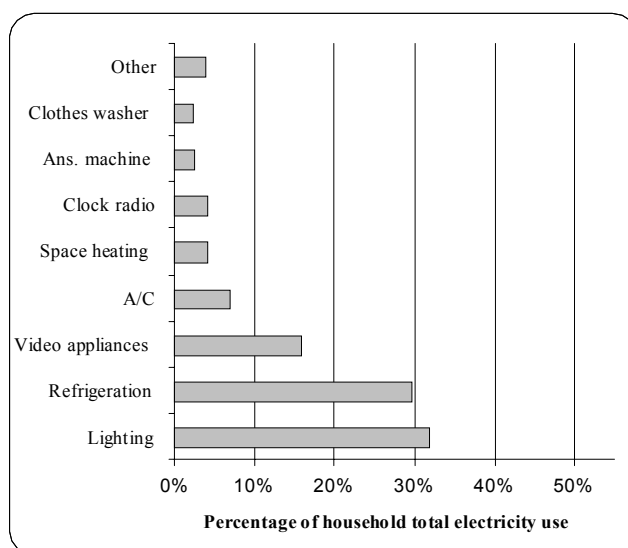


Figura 1. Contribución de los principales usos de electricidad, como porcentaje del consumo total de energía en las viviendas de Buenos Aires (Tanides, 1997).

¹ En este momento se está realizando un monitoreo continuo que lleva más de un año en una muestra de heladeras.

² En un discurso en junio del 2001, el Presidente norteamericano Bush denominó “Vampire devices” a estas cargas que, suman al 4% del consumo total del sector residencial en su país, una magnitud (52 TWh) poco menos que toda la demanda de electricidad de Argentina (aprox. 65 TWh en 2000), considerando *todos* los sectores de consumo.

Se debe señalar que el tamaño de muestra es pequeño, por lo cual los valores son aproximados. Sin embargo, se puede llegar a las siguientes conclusiones: los tres principales usos finales son la iluminación, las heladeras y los equipos de video (TV, VCR, etc.) sumando el 78% del total de las viviendas. Aunque las contribuciones absolutas y relativas de los demás usos cambiarían en la medida de que se amplíe el tamaño de la muestra, se espera que los tres principales usos continúen siendo responsables de más del 75% del total. Por este motivo es en estos usos finales adonde limitaremos nuestra discusión en el resto de este trabajo.

CURVAS DE CARGA HORARIA

Tal como se ha mencionado, las variaciones horarias en la demanda son más importantes en Argentina que las variaciones estacionales, tanto en el sector residencial —que es el objeto de este estudio— como en otros sectores. Esto es válido no sólo en Buenos Aires sino casi en todo el país, debido a la extensa red de gas natural en Argentina y al escaso uso de la electricidad para la calefacción. Además, la saturación del aire acondicionado en el sector residencial es todavía baja. En el área de Buenos Aires, de hecho el consumo es algo mayor en invierno, como consecuencia del uso de calefactores eléctricos portátiles.

Por estas razones, iniciamos nuestro análisis de las curvas de demanda con un estudio de la demanda *horaria* para los tres principales usos de electricidad en el sector residencial: iluminación, refrigeración y equipos de video.

El método utilizado se basa en:

- Una encuesta de las horas de operación de la iluminación y equipos de video;
- Mediciones de la potencia de los equipos de video en los distintos modos de operación;
- Mediciones del consumo energético de la heladera; y
- Un modelo para la variación horaria de la demanda de heladeras.

Para las heladeras, consideramos un consumo promedio de 650 kWh/año, obtenido a partir de mediciones previas. Para la variación horaria de la demanda de electricidad, se observó, de datos obtenidos en un monitoreo extenso de heladeras en los EEUU (Dutt et al., 1994), que la variación del consumo diario seguía una curva aproximadamente senoidal. La demanda diversificada de heladeras tenía un valor mínimo a las 6 AM y un máximo a las 6 PM, que era 40% superior al mínimo. Esta variación responde a la siguiente relación:

$$A(t) = A_0 \times (1 + 0.16 \text{ sen } \omega t) \quad (1)$$

Supusimos que los demás usos de electricidad sumaban el 15% del total (1835 kWh/año), y que esta demanda no tenía variación horaria. La Figura 2 muestra el patrón de la curva horaria de viviendas en Buenos Aires, desglosado entre los tres principales usos finales y “otros”. Debido a que hemos decidido ignorar la variación estacional de la demanda en este estudio, se propone que la curva horaria de la Fig. 2 represente el promedio anual.

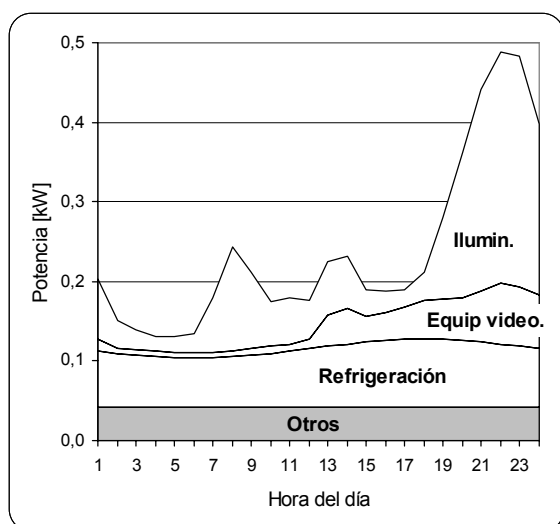


Figura 2. Curva de la demanda horaria para los principales usos finales en viviendas de Buenos Aires (nuestra estimación)

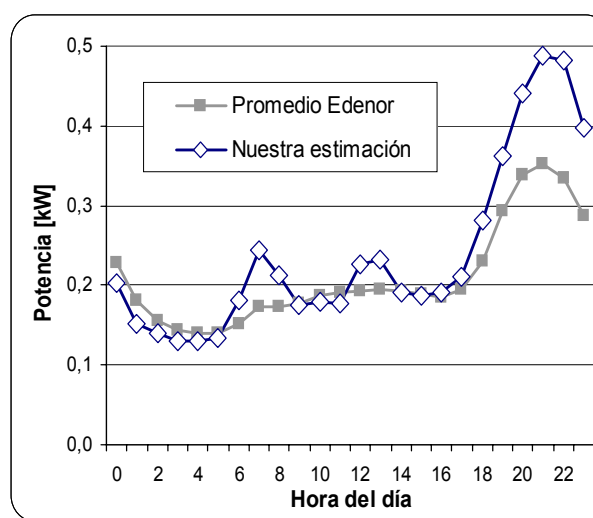


Figura 3. Comparación entre la curva de la demanda horariao estimada en una muestra de viviendas con la curva de carga residencial para los 2,1 millones de usuarios residenciales de Edenor.

La suma de la demanda horaria a lo largo de las 24 horas, multiplicado por 365 nos indica el consumo energético anual para los distintos usos finales considerados. Los resultados se presentan en el Cuadro 2. El resultado más notable de este ejercicio es que el consumo total de energía, 2.097 kWh/año, es muy superior al promedio para viviendas en Buenos Aires (1.835 kWh/año) considerado aquí. Esta discrepancia también se observa si comparamos nuestra curva de demanda con la de

Edenor, ésta última siendo el promedio para todos sus clientes residenciales (Fig. 3).³ Se observa que la punta de la demanda en el promedio de Edenor es mucho menos pronunciada que aquella resultante de nuestro análisis.

Uso final	Consumo anual, kWh (%)
Iluminación	818 (39%)
Heladeras	650 (31%)
TV y video	266 (13%)
En espera, excepto TV y video	88 (4%)
Otros	275 (13%)
Total	2.097 (100%)

Cuadro 2. Consumo energético anual, estimado de las curvas de carga.

En la busca de pistas para esta discrepancia, comparamos los porcentajes en el Cuadro 2 con los valores obtenidos en nuestros estudios anteriores mostrados en la Fig. 1. En aquel estudio, se había estimado el consumo para la iluminación en 32% comparado con el 39% en el Cuadro 2. Una posible razón para la sobrestimación del consumo en el relevamiento de iluminación puede ser debido a que fue realizado en julio, y es muy probable que se hayan reportado más horas de encendido por ser invierno.

Los resultados presentados son las primeras estimaciones de las curvas de carga horaria residencial, desglosado entre los principales usos finales. Mejores estimaciones requerirían de los siguientes pasos:

- Uso de tamaños de muestra mayores estratificados por grupo socioeconómico;
- Relevamiento de todos los usos finales en el mismo conjunto de viviendas para evitar sesgos en la magnitud de las distintos usos; y
- Relevamiento de iluminación en distintas estaciones para estimar variaciones en el transcurso del año.

En un subconjunto de la muestra mayor, se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

- Monitoreo de las curvas de carga de las heladeras en distintas estaciones;
- Monitoreo de los patrones de consumo de la iluminación y los quipos de video utilizando registradores y comparando los resultados con aquellos de las encuestas.

POTENCIAL PARA LA GESTIÓN DE LA DEMANDA

Nuestras mediciones confirman que la iluminación y los TVs y asociados residenciales coinciden fuertemente con la demanda de punta global, no sólo para este sector sino para el Sistema Argentino de Interconexión (SADI). La Fig. 4 muestra una curva típica de demanda para el SADI. Mejoras en la eficiencia energética en la iluminación y los TVs y asociados residenciales tendrán un impacto importante y favorable sobre la curva de carga, reduciendo la demanda durante las horas vespertinas de punta. Se cuantifica dicho impacto con el procedimiento que se presenta a continuación.

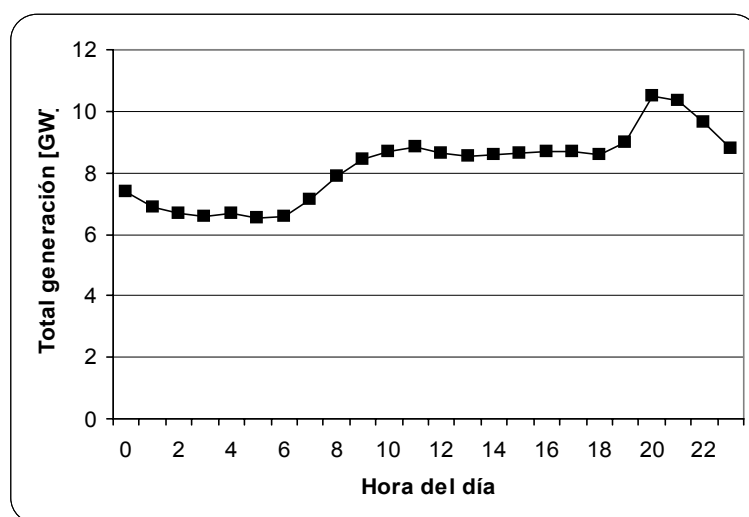


Figura 4. Variación horaria en la electricidad generada en el mercado mayorista en un día típico en noviembre del 1998 (Cammesa, 1998).

³ Se tomó el promedio anual de las curvas para los clientes en las dos tarifas residenciales T1R1 y T1R2, ponderado por la cantidad de clientes en las dos tarifas. Debido a que los circuitos para los clientes residenciales no son separados de otros usuarios, las curvas de Edenor también se basan en estimaciones, suposiciones para las cuales no tuvimos detalles.

Iluminación

Consideramos el reemplazo de lámparas incandescentes por fluorescentes compactas (LFC) cuando estas últimas son rentables. Utilizamos el *costo anualizado total* como criterio para la evaluación económica (ver Tanides, 1998).

Del relevamiento residencial se conocen las horas por día de encendido de *cada* lámpara incandescente, y se puede determinar si sería rentable el reemplazo de lámpara en cada caso. El potencial de ahorro energético en la iluminación de las viviendas encuestadas promediaba el 52%, según nuestras suposiciones. Además, el consumo energético está concentrado en pocas lámparas en cada vivienda, por lo cual se puede lograr el 45% del potencial de ahorro cambiando tan sólo dos lámparas por vivienda (Tanides, 1998).

TVs y asociados

Esta categoría es el tercer uso final en magnitud en viviendas de Buenos Aires. El consumo se concentra en las horas de la tarde y noche, con fuerte coincidencia con la demanda en punta del sector y del sistema, aún mayor que en el caso de la iluminación. Sin embargo, son pocos los países que dan importancia a este equipamiento, que se diseña, fabrica y comercializa en un mercado del todo globalizado. Mejoras en la eficiencia requeriría de una coordinación entre las empresas y países que definen las tecnologías que llegan a los hogares argentinos.

Para estimar el ahorro en energía y potencia en TVs y VCRs (que suman la mayor parte del consumo de esta categoría), consideramos que se reemplacen todos los TVs y VCRs por los modelos más eficientes en su categoría, considerando el tamaño de la pantalla de las TVs y un consumo en espera de sólo 3 W para los TVs y VCRs eficientes. (Tanides et al., 2000)

Desconocemos con precisión los costos adicionales para mejorar la eficiencia energética de los TVs y VCRs. Sin embargo, dos observaciones son relevantes:

- aparentemente no existe correlación alguna entre el costo del equipo y su consumo energético; y
- el costo adicional del aparato que puede justificarse económicamente *por watt* de reducción en potencia es relativamente grande, tanto para el consumo en espera como para operación "ON" tanto de los TVs como las VCRs.

Por estas razones, creemos que la inversión adicional en pasar de un modelo promedio en uso al modelo más eficiente de nuestra encuesta es muy rentable. De hecho limitándonos a los modelos más eficientes de nuestro relevamiento, nuestra estimación del potencial de ahorro es conservador: no consideramos modelos más eficientes disponibles. El potencial técnico y económico de ahorro es muy superior si consideramos nuevas tecnologías (Meier et al., 1998).

Reducción de la demanda en punta

Consideramos la sustitución hipotética de todas las lámparas incandescentes por fluorescentes compactas equivalentes (cuando sea rentable) y de todas los TVs y VCRs con los modelos más eficientes en su clase. (La eficiencia energética en las heladeras no bajaría la demanda en punta.) Esta sustitución representa un potencial "instantáneo" para la gestión de la demanda a través de mejoras en la eficiencia. Una estimación más razonable comprenderá el reemplazo progresivo de lámparas y la compra de TVs y asociados, en lugar de aquellos de rendimiento promedio, con el trasfondo de aumentos en la demanda de iluminación y electrodomésticos, como consecuencia del aumento en el número de viviendas, más lámparas por vivienda y una mayor saturación de electrodomésticos. No obstante, la sustitución "instantánea" es una manera simple de visualizar el potencial para la gestión de la demanda. Se lo muestra en la Figura 5.

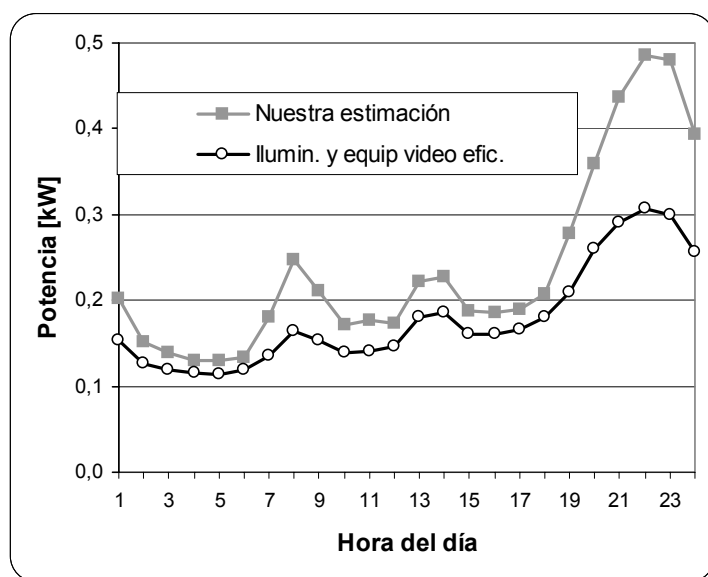


Figura 5. Nuestra estimación de la demanda total residencial comparada con un escenario en donde la iluminación y los TVs y asociados fueran eficientes. La diferencia indica el potencial para la gestión de la demanda.

Debido a la importante contribución de la iluminación y los TVs y asociados a la demanda en punta, el potencial para la reducción en la demanda con estas medidas es grande: la demanda máxima caería de 0,49 kW a 0,31 kW, una reducción de 0,18 kW por vivienda. Tal como se ha comentado antes, nuestro relevamiento conllevó a una sobreestimación del consumo energético para la iluminación. Por ello, el potencial real para la reducción en la demanda en punta sería menos que lo indicado en la Fig. 5. Considerando que la demanda máxima residencial según Edenor fue 0,35 kW en comparación con nuestra estimación de 0,49 kW, podemos bajar el potencial de reducción de la demanda proporcionalmente, a $(0,35/0,49) * 0,18 \text{ kW} = 0,13 \text{ kW}$ por vivienda. Considerando 2,1 millones de viviendas, y pérdidas en transmisión y distribución del 14%, esto implica una reducción en la demanda de generación en punta de 0,32 GW. Extrapolando a los 11 millones de viviendas electrificadas en Argentina, la potencial reducción de la demanda de generación en punta sería 1,7 GW. Se puede comparar este valor con la curva horaria de la generación en Figura 4. La generación máxima a las 21 horas fue 1,87 GW mayor que la generación en el horario de 16 a 18 horas. Es decir, el potencial de aplanar la curva de carga mediante la eficiencia energética en la iluminación y los TVs y asociados residenciales es casi equivalente a eliminar la punta nocturna de la curva horaria.

Tal como se ha señalado, Argentina tiene pocas posibilidades de modificar la tecnología de TVs y VCRs que se comercializan en el país. De todos modos, la mayor parte del potencial para reducir la demanda proviene de la iluminación eficiente, y la principal medida para lograr este objetivo es mediante la sustitución de lámparas incandescentes de uso intensivo por fluorescentes compactas.

A partir de 1999, está en marcha en Argentina el Programa de Iluminación Eficiente (denominado ELI: Efficient Lighting Initiative) entre cuyos objetivos está la promoción de las LFC. ELI está administrado por la empresa distribuidora Edesur y cuenta con el apoyo de la Secretaría de Energía y Minería de la Nación y la activa participación de Edenor, Edelap y otras distribuidoras del país.

Un estudio de mercado de la demanda de iluminación residencial —realizado por Mora y Araujo para el Programa ELI— reveló que una amplia penetración de LFC requerirá mejorar el conocimiento de esta alternativa entre las familias de menores recursos, y lograr una reducción de los precios de estas lámparas, una mejora en la garantía y una financiación para la adquisición de las LFC, por ejemplo a través de las facturas eléctricas (ELI, 2001). Estos objetivos se encuentran en camino.

REFERENCIAS

- Barrio, E., Quintanilla, L.R. y Recchia, C. (1997). Estimación del consumo de energía y potencial de ahorro en equipos de televisión y video del sector residencial". Monografía de investigación para la materia "Uso Eficiente de la Energía Eléctrica", Depto. de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Beyea, J. (1977). Propuso hacer hielo dentro de la heladera en los períodos fuera de punta para la gestión de la demanda en punta. Universidad de Princeton, Centro de Estudios Energéticos y Ambientales, Princeton, N.J., USA.
- CAMMESA (1998). Boletín del MEM No. 34., p. 4. Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A., Buenos Aires.
- Dutt, G.S. Proctor, J. et al. (1994). Large-scale residential refrigerator field metering. Proc. 1994 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, pp. 2.77-2.86. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington D.C.
- ELI (2001) Efficient Lighting Initiative. Ver //www.efficientlighting.net.
- Figueroide, F. (1998). Com. pers. CEB (Compañía Energética de Brasilia), Brasilia.
- Mazzeo, L., Bertolotti, F. y Wada, E. (1997). Estimación del consumo de energía en la iluminación residencial. Monografía de investigación para la materia "Uso Eficiente de la Energía Eléctrica", Depto. de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Meier, A., Huber, W. y Rosen, K. (1998). Reducing leaking electricity to 1 watt, Proc. 1998 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, pp. 1.185-1.196. Am. Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.
- Tanides, C.G. (1997). Uso eficiente de la energía eléctrica en el sector residencial argentino: estado actual y posibilidades futuras. Anal. ASADES 1997, vol. 1, 97-100. Asociación Argentina de Energía Solar.
- Tanides, C.G. (1998). Uso eficiente de la energía eléctrica en la iluminación residencial. Proc. ASADES 1998, vol. 2, pp. 6.5-6.8.
- Tanides, C.G., Dutt, G.S. y Brugnoli, M. (2000). Characterisation and energy savings potential of video appliances in the Argentine residential sector. Energy for Sustainable Development, IV, 2, 42-50.

ABSTRACT

Measurements, surveys and billing data analysis in a sample of Buenos Aires households were used to estimate principal residential end uses of electricity, and corresponding hourly load shapes. Lights, refrigerators and video appliances add up to over 75% of total electricity use. The demand for lights and video appliances coincides strongly with household and system power demand periods. Peak demand may be decreased significantly through efficiency improvement for lights and video appliances. Electricity distribution companies may promote such measures, if tariff structures are adequately designed.

Keywords: residential, efficiency, end uses, illumination, television, video.