

## USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA ILUMINACIÓN RESIDENCIAL

Carlos G. Tanides

Grupo Energía y Ambiente (GEA) – Depto. Electrotecnia – Facultad de Ingeniería (UBA)  
 Av. Paseo Colón 850, (1063) Capital Federal, ARGENTINA  
 Tel.: (+54 1) 343-0891 Int. 361; Fax #: (+54 1) 331-0129; Email: gea@aleph.fi.uba.ar

### RESUMEN

En una muestra de 15 viviendas en Capital Federal y Gran Buenos Aires se relevaron diversos tipos de datos con el objeto de analizar las posibilidades del uso eficiente de la energía eléctrica en la iluminación. De este análisis surge que el 86 % del stock de lámparas utilizadas es del tipo incandescente (de muy bajo rendimiento) y que el mayor consumo eléctrico para iluminar se produce en las cocinas. El trabajo propone como reemplazo inmediato de las lámparas incandescentes la utilización de Lámparas Fluorescentes Compactas. Con este fin, se evalúan, en función de los datos y utilizando como índice de comparación el Costo Anualizado Total, los casos en que estos cambios resultan económicamente rentables. A partir del estudio emerge que se podría disminuir el consumo en iluminación un 54 % y que tan sólo reemplazando 2 lámparas por residencia podríamos alcanzar aproximadamente la mitad de este ahorro.

### INTRODUCCIÓN

El consumo de energía eléctrica del sector residencial argentino ocupa el segundo lugar luego del sector industrial superándolo en su tasa de crecimiento anual. El 50 % de toda la electricidad consumida en este sector ocurre en Capital Federal, Gran Buenos Aires (GBA) y La Plata, áreas estas concesionadas a tres distribuidoras de energía eléctrica (Edenor, Edesur y Edelap). A diferencia de lo que sucede a nivel nacional, el sector residencial aquí es el de mayor consumo.

Desde 1994 nuestro grupo de investigación se encuentra estudiando el comportamiento de este sector y analizando la adopción de una "Estrategia energética basada en los usos finales" que promueva principalmente el uso eficiente de la energía dadas sus enormes ventajas para combatir la escasez de recursos no renovables, proveer de servicios energético a un menor costo y minimizar el impacto ambiental causado por la generación, transporte, distribución y consumo de la energía eléctrica. [Tanides, 1997]

De nuestro trabajo —realizado básicamente en la zona de Capital Federal y GBA— ha surgido, entre otras cosas, el patrón de consumo eléctrico residencial en esta área, destacándose que más del 85 % del consumo se produce en tan sólo tres usos finales: la iluminación (lámparas) (32 %), la conservación de los alimentos (heladeras y freezers) (30 %) y los TVs y asociados (televisores, videocaseteras y conversores de cable) (16 %). Se han comenzado distintas gestiones para poder aprovechar el potencial de ahorro estimado para el sector—7 TWh para el año 2010— [Tanides, 1997], pero, por diversos factores, sólo vislumbramos como única posibilidad en el corto plazo la promoción de la iluminación eficiente.

### RESULTADOS DE UNA AUDITORÍA DE LA ILUMINACIÓN EN EL SECTOR RESIDENCIAL

En 1997 se realizó una auditoría energética de 15 viviendas concentrada exclusivamente en la iluminación [Mazzeo et al.]. El trabajo consistió básicamente en relevar todas las lámparas tomando el dato de su tipo y potencia, las clases de ambientes en donde estaban ubicadas, el consumo total facturado, el número de integrantes de la familia, el nivel social y la superficie cubierta de la vivienda. Adicionalmente se encuestó al grupo familiar sobre el horario de encendido durante el día de todas las luminarias de la vivienda discriminando entre días de semana, sábados y domingos, cubriendo de esta manera las diferencias de hábitos en una familia. La información obtenida aportó datos esenciales para el estudio del potencial de ahorro en iluminación del sector y puede sintetizarse de la siguiente manera.

En términos de tipo de lámparas, el stock en el sector se halla conformado principalmente por las incandescentes (86 %), la mayor parte de las cuales son de 40 y 60 W de potencia. Efectuando el mismo análisis pero considerando la distribución del consumo de energía eléctrica también son las lámparas incandescentes las que originan el mayor consumo (83 %). En la Tabla 1, podemos apreciar la distribución por tipo de lámpara, del stock y del consumo eléctrico.

Tabla 1. Distribución, por tipo de lámpara, del stock y del consumo de electricidad en el Sector Residencial de Cap. Fed. y GBA. [Mazzeo et al., 1997]		
Tipo de lámpara	Participación en el stock (%)	Consumo de energía eléctrica (%)
Incandescentes	85,6	83,3
Tubo fluorescente	7,7	11,6
Tubo fluorescente circular	1,4	1,6
Lámpara fluorescente compacta	3,9	1,4
Dicroica	1,4	2,1

La caracterización del consumo por tipo de ambiente muestra que la cocina es el principal consumidor de electricidad para iluminación, seguida por los dormitorios (ver Tabla 2), por lo que resultaría de interés una profundización acerca de las pautas de diseño y del estudio de la forma de utilización de estos ambientes.

### LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EL SECTOR RESIDENCIAL

De la Tabla 1 se nota un marcado dominio en el escenario lumínico residencial de las lámparas incandescentes, distribuyéndose el resto en distintas opciones —fundamentalmente— de las del tipo fluorescente. Parece prioritario entonces reemplazar estas lámparas por tecnologías más eficientes.

Existen en el mercado, distintas opciones de lámparas eléctricas, pero el reemplazo más sencillo y efectivo propuesto en un principio es aquel que substituye una lámpara incandescente convencional, de un pésimo rendimiento ( $< 10\%$ ) por una *Lámpara Fluorescente Compacta (LFCs)* de tipo integral (pues poseen el mismo tipo de zócalo, E27). El ahorro energético resultante de reemplazar una tecnología por otra oscila alrededor del 70 a un 80 % para lámparas con flujos luminosos equivalentes. La corta vida útil de las lámparas a reemplazar (incandescentes) y la facilidad de efectuarlo, constituyen la oportunidad más inmediata de ahorro energético en el sector residencial.

En el reemplazo de una lámpara por otra se deberá reparar en ciertos detalles para que el resultado no sea un fracaso que desprestigie a la tecnología, como muchas veces ocurre. Principalmente deberá tenerse en cuenta que las equivalencias sugeridas por los fabricantes —del orden de 5 a 1— se basan en la comparación de los flujos luminosos de estas lámparas bajo condiciones de ensayo estándar que son con el casquillo hacia arriba y a una temperatura de 25 °C. En las LFCs, los flujos luminosos son función de la posición y la temperatura en que operan; fuera de estas condiciones los flujos luminosos pueden disminuir hasta un 20 % [Davis et al., 1994]. También deberá considerarse el artefacto en donde se colocarán, que usualmente se encuentra diseñado para lámparas incandescentes —de otro formato y tamaño—.

Por esto, en este análisis para cubrir estas eventualidades sugerimos en general reemplazos de potencia del orden 4 a 1 que aseguran en la mayor parte de los casos resultados óptimos. Nominalmente este cambio implica un aumento de la cantidad de luz como se observa en la Tabla 3.

### LAS OPCIONES DEL MERCADO

Las LFCs se encuentran en el mercado básicamente en dos tipos distintos: a) con balasto electromagnético y b) con balasto electrónico.

Las LFCs de marca reconocida tienen un precio de alrededor de \$ 19 para los modelos electromagnéticos (13, 18 y 25 W). Estos modelos son algo pesados y bastante voluminosos pero su precio es menor al de las electrónicas.

En el caso de los modelos con balasto electrónico los precios para las marcas anteriormente citadas son de \$ 23 para las de menor potencia (7 W) y sólo se incrementan hasta los \$ 27 para las más grandes (23 W). Existen marcas de procedencia china también con balasto electrónico de precios sensiblemente menores, de \$ 13 para 7 W hasta \$ 17 para el caso de potencias de 27 W. Las lámparas con balastos electrónicos son mucho más compactas y livianas y poseen mayor rendimiento que su equivalente electromagnético.

Las LFCs poseen una característica negativa —que empaña la posibilidad de los cambios— que es tener un bajo factor de potencia (fdp) —alrededor de 0,5— lo que las convierte en un arma de doble filo dado el actual control del fdp que están realizando las distribuidoras. Existen en el mundo LFCs que tienen buen fdp ( $> 0,9$ ) pero estas marcas y/o modelos aún no se hallan en nuestro país. Se ha detectado un modelo de procedencia china que declara en su envase *High Power Factor* y *Low Harmonic Distortion* pero las mediciones realizadas en nuestro laboratorio también determinaron un bajo fdp (0,5).

Debido a que el balasto tiene una vida útil muy superior al de las lámparas una opción interesante para el futuro es el desarrollo de luminarias apropiadas para este tipo de lámparas en donde el balasto sea fijo y el elemento intercambiable sea tan sólo la lámpara. En estos casos los costos del reemplazo son sensiblemente menores —del orden de los \$ 6—, haciendo todavía más rentable la medida. Existen ya algunos modelos de luminarias que permiten esta posibilidad, aunque la filosofía no se encuentra lo suficientemente extendida.

### EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL REEMPLAZO

El análisis para efectuar el reemplazo deberá considerar el mantenimiento o incremento del flujo luminoso y la evaluación de los costos de compra, el costo de operación de las lámparas, su vida útil, las tasas de descuento del mercado etc. Para conju-

**Tabla 2.** Distribución, por tipo de ambiente, del consumo de electricidad para iluminación [kWh/año-ambiente] en el Sector Residencial de Cap. Fed. y GBA, según muestra. [Mazzeo et al., 1997]

Tipo de ambiente	Consumo anual [kWh]
Cocina	297
Dormitorio	186
Pasillo, galería	120
Living, sala de estar	118
Comedor, living comedor	115
Baño	91
Otros	119
Total iluminación por residencia	1.046

gar todos estos elementos se realiza la comparación en base al índice denominado Costo Anualizado Total (CAT), que tiene en cuenta tanto el valor de compra como de operación de las lámparas —en este caso el costo energético—. El CAT presenta la ventaja de permitir la evaluación simple de alternativas con diferente vida útil como las lámparas incandescentes y fluorescentes. Dadas dos ó más alternativas, será económicamente más conveniente aquella que presente menor CAT. La expresión que permite calcular este índice para una alternativa genérica es la siguiente:

$$CAT_i = C_i \times FRC_i(d, n_i) + PE \times E_i$$

siendo:  $CAT_i$ : Costo anualizado total de la alternativa "i";  $C_i$ : Costo inicial de la inversión para la alternativa "i" (en nuestro caso el precio de la lámpara incandescente / fluorescente compacta);  $FRC_i$ : Factor de recuperación del capital de la alternativa "i", que anualiza la inversión inicial;  $PE$ : Precio de la energía y  $E_i$ : Consumo anual de energía de la alternativa "i" en kWh / año.

El  $FRC_i$ , a su vez se calcula de la siguiente manera:

$$FRC_i = \frac{d \times (1 + d)^{n_i}}{(1 + d)^{n_i} - 1}$$

donde:  $d$ : tasa real de descuento;  $n_i$ : vida útil de la alternativa i en años que está dada por:

$$n_i = \frac{VA_i}{HD_i \times 365 \text{ días / año}}$$

siendo:  $VA_i$ : Vida útil (en horas de encendido) de la alternativa "i" en horas y  $HD_i$ : las horas de funcionamiento diarias.

Para nuestras evaluaciones, utilizamos como índice de comparación el Costo Anualizado Total (CAT)<sup>1</sup> y tomando una tasa de descuento ( $d$ ) de 0,09, precio de la energía ( $PE$ ) de 0,10 \$/kWh, y como vida útil de las lámparas ( $VA_i$ ) 1.000 horas para las incandescentes y 8.000 horas para las LFCs, surge que los cambios de lámparas incandescentes por LFCs con balasto electrónico (el caso de mayor costo y mayor rendimiento) de marca reconocida de flujo luminoso equivalente. Nuestro análisis demuestra que las LFCs serán rentables para cada potencia a partir de un determinado tiempo de uso diario que depende de la potencia. Estos valores se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Reemplazo de lámparas incandescentes por LFCs. Características técnicas y tiempo de uso diario [h] que justifica el cambio de manera rentable. [Mazzeo et al., 1997]					
Potencia de lámpara incandescente [W]	25	40	60	75	100
Flujo luminoso [lúmenes, lm]	230	430	730	950	1380
Costo de compra [\$]	0,50	0,40	0,55	0,55	0,70
Potencia de LFCs [W]	7	11	15	20	23
Flujo luminoso [lm]	300	600	900	1.200	1.500
Costo de compra [\$]	21	21	22	23	24
Tiempo de uso diario a partir del cual el reemplazo es rentable [h]	3	2	1,5	1,5	1

## POTENCIAL DE AHORRO EN ILUMINACION

El potencial de ahorro dependerá entonces del patrón de utilización, del tipo de lámparas utilizadas, su vida útil, sus costos y el precio de la energía, elementos estos que intervienen en la evaluación del CAT ya desarrollada. En función de estos elementos, de los resultados de la auditoría realizada y de los reemplazos sugeridos en el punto anterior encontramos que el potencial de ahorro en la iluminación alcanza un 54 % de toda la electricidad consumida para producir luz. Dicho de otra manera, al cambiar de lámparas incandescentes a LFCs consumiríamos menos de la mitad de la electricidad para obtener aún más luz. Pero un análisis en profundidad acerca de la forma de obtener este potencial nos muestra que el ahorro se concentra en unas pocas bocas de luz del hogar, y que reemplazando unas pocas lámparas obtendremos gran cantidad del ahorro posible. La Figura 1 muestra esta situación.

<sup>1</sup>  $C_i$ ,  $E_i$  y  $VA_i$  son constantes propias de cada alternativa.

A pesar de que en promedio la cantidad de bocas de luz por residencia en la muestra ha sido de aproximadamente 14, se observa que cambiando las lámparas en 1 sólo punto luminoso de la casa —aquel en donde se consume más energía eléctrica—, en promedio 2,2 lámparas, obtendremos alrededor de un 45 % del potencial de ahorro posible, cifra que se eleva al 70 % si el reemplazo se efectúa en las dos bocas luminosas que más electricidad consumen (en promedio 4,1 lámparas). Por lo tanto frente a un programa de eficiencia energética en iluminación en el sector residencial será de vital importancia identificar aquellos puntos clave que permitirán maximizar el beneficio.

## CONCLUSIONES

El uso eficiente de la energía eléctrica en la iluminación del sector residencial representa una de las posibilidades más interesantes encontradas actualmente para combatir la escasez de recursos no renovables, proveer de servicios energéticos a un menor costo y minimizar el impacto ambiental causado por la generación, transporte, distribución y consumo de la energía eléctrica. Varias características refuerzan este concepto.

- 1) El potencial de ahorro demuestra ser muy elevado. Las estimaciones a nivel nacional para la iluminación alcanzan los 3,5 TWh para el año 2010 [Dutt, G.S., *com. pers.*, 1998]
- 2) Pocos puntos luminosos de la residencia concentran la mayor parte del consumo, lo que permite un gran aprovechamiento del potencial de ahorro cambiando pocas lámparas.
- 3) Debido a la corta vida útil de las lámparas a reemplazar (incandescentes) y a que la tecnología para efectuar el cambio se halla disponible en el mercado, el ahorro podrá obtenerse en plazos relativamente breves.
- 4) El uso eficiente de la energía eléctrica en la iluminación es una medida altamente rentable.
- 5) Debido a su alta coincidencia con la demanda pico vespertina de electricidad, una reducción en el consumo energético se reflejaría también en una disminución de la demanda de punta, permitiendo importantes ahorros en las inversiones necesarias para suministrar dichos picos.

Habrà que estudiar con mayor profundidad los efectos del bajo factor de potencia, mientras aparecen en nuestro país las tecnologías que superan esta situación.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se encuentra subsidiado parcialmente por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Buenos Aires a través del Proyecto IN007.

## REFERENCIAS

- Davis, R.G., Y. Ji, y X. Luan, (1994), "Performance Evaluations of Compact Fluorescent Lamps: What Does "Equivalent" Really Mean?", *Proceedings of the American Council for an Energy Efficient Economy 1994 Summer Study*, vol.3, pp. 3.45 - 3.56.
- Mazzeo, L., F. Bertolotti, y E. Wada, (1997), "Estimación del Consumo de Energía en la Iluminación Residencial", monografía correspondiente a la materia Uso Eficiente de la Energía Eléctrica (65.40), Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Tanides, C.G. (1997), "Uso Eficiente de la Energía Eléctrica en el Sector Residencial Argentino: estado actual y posibilidades futuras", *ASADES '97*, Río Cuarto, Córdoba, 3 al 6 noviembre.

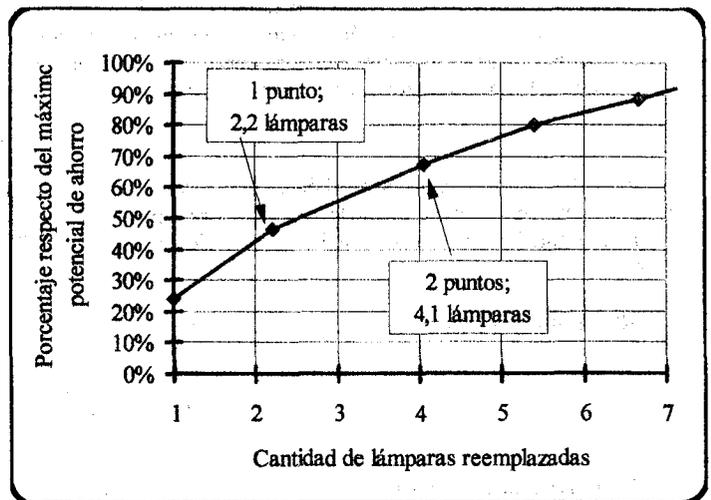


Figura 1. Porcentaje respecto del potencial de ahorro máximo identificado en función de la cantidad de lámparas reemplazadas.