



MEDICION DEL IMPACTO CAUSADO POR LA INTRODUCCION DE LAMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

C.G. Tanides y G.S. Dutt

Grupo Energía y Ambiente - Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires (FIUBA)
Av. Paseo Colón 850, (1063) Capital Federal, ARGENTINA
Tel.: 11 4343 0891 Int. 159, Fax Int. 365, email: ctanide@fi.uba.ar

RESUMEN: Como parte del proyecto Argurelec, la empresa Edenor y la Universidad de Buenos Aires llevaron adelante un estudio para determinar el impacto que tendría el reemplazo de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas en el sector residencial. El objetivo principal de las mediciones fue determinar el ahorro energético producido y la variación de la curva de carga por la sustitución de las lámparas y, en forma accesorio, la variación en los niveles de iluminancia en los planos de trabajo así como del factor de potencia como consecuencia del recambio. Las mediciones se realizaron sobre una muestra de diez viviendas. Los resultados del trabajo arrojaron una reducción promedio del consumo energético del 9,4%, y una reducción de la demanda promedio máxima en la hora pico de 0,51 kW. También se detectó que la utilización del reemplazo recomendado por los fabricantes (relación de potencia 5 a 1) redundaba en una disminución de los niveles de iluminancia del orden del 30% en condiciones reales de trabajo.

Palabras clave: iluminación eficiente, lámparas fluorescentes compactas, uso eficiente de la energía eléctrica, residencial.

INTRODUCCION

En el proyecto Argurelec¹, se realizó un monitoreo intensivo del funcionamiento de algunas lámparas incandescentes y luego de sus reemplazos por LFCs, sobre una muestra de diez viviendas, en bocas luminosas previamente identificadas. El objetivo principal de las mediciones fue determinar el ahorro energético producido y la variación de la curva de carga por la sustitución de las lámparas. Para estos fines, se reemplazó el medidor de facturación con registradores de la demanda de energía y potencia (ABB Alfa 1) en la entrada de 10 casas.

Al mismo tiempo en 5 de las mismas casas, se midió la actividad de las lámparas seleccionadas utilizando "lighting loggers" o registradores de luz (HOBO de Onset Computers), colocados cerca de las lámparas a monitorear que registraron los tiempos de encendido y apagado de las lámparas. Se ajustó el umbral de luz de cada medidor para que capte únicamente el funcionamiento de la lámpara en cuestión verificando en cada caso, que el aparato no fuera sensible al encendido de otras lámparas o a la luz natural. Con este fin, se colocó el logger cerca de la lámpara monitoreada, creando sombras para bloquear otras lámparas y la luz natural cuando fue necesario.

En general, se instalaron dos lighting loggers por casa en correspondencia con las bocas de luz de mayor intensidad de uso (ver abajo: *Selección de las lámparas a reemplazar*).

Finalmente, se realizaron mediciones adicionales con otros objetivos: determinar la variación en la iluminancia y cambio en el factor de potencia de las casas como consecuencia del reemplazo de las lámparas.

SELECCIÓN DE LAS LÁMPARAS A REEMPLAZAR

La sustitución de lámparas incandescentes por fluorescentes compactas es más rentable para las incandescentes de mayor potencia y mayor uso en términos de horas por día (Tanides, 1998). En cada casa se realizó un relevamiento del patrón de uso de las lámparas para elegir las dos bocas luminosas donde el reemplazo sería más rentable. Se utilizó en este caso un factor de 5 a 1 en la potencia de la lámpara para la sustitución entre incandescente (INC) y fluorescente compacta (LFC) obedeciendo la sugerencia de los fabricantes. Específicamente, se reemplazaron incandescentes de 100 W por LFCs de 20 W, INCs de 75 W por LFCs de 15 W e INCs de 60 W por LFCs de 12 W.

PERÍODOS DE ANÁLISIS

Se definieron dos períodos de medición controlados, de dos semanas cada uno: el primero llamado "Incandescente" o "INC" duró desde el 9 hasta el 22 de diciembre de 1999 y el otro período llamado "LFC" se prolongó desde el 30 de diciembre de

¹ *Promoción del uso racional de la electricidad en la Argentina (ARGURELEC)* es un proyecto dentro del programa ALURE de cooperación entre la Unión Europea y países de América Latina en el área energética. Los participantes en ARGURELEC han incluido a la Secretaría de Energía, la compañía de distribución de energía eléctrica EDENOR, y tres socios europeos: ICAEN (España), ADEME (Francia) y FAST (Italia). Se realizó un convenio por separado entre EDENOR y la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires que contribuyó a la generación de los resultados reportados en este trabajo.

1999 hasta el 12 de enero de 2000, abarcando el solsticio de verano en donde la duración de los días es prácticamente la misma. A continuación se presentan los resultados de las mediciones.

AHORRO DE ENERGÍA Y CAMBIO EN LA CURVA DE CARGA PARA TODA LA VIVIENDA

En las diez casas, se comparó el patrón del *consumo total de electricidad* —medido por el registrador en la entrada de la casa— durante los dos periodos “INC” y “LFC”, de dos semanas cada uno.

Estos datos muestran cierta dificultad en la estimación del ahorro energético a partir de la sustitución de dos lámparas, tomando la demanda total de energía y potencia para viviendas *individuales*. Esto se debe a la magnitud y variación de los otros usos de electricidad en cada vivienda, incluyendo a otras lámparas. En cambio si se considera el promedio de la demanda de las 10 casas, el ahorro es más visible tal como se observa en la Figura 1.

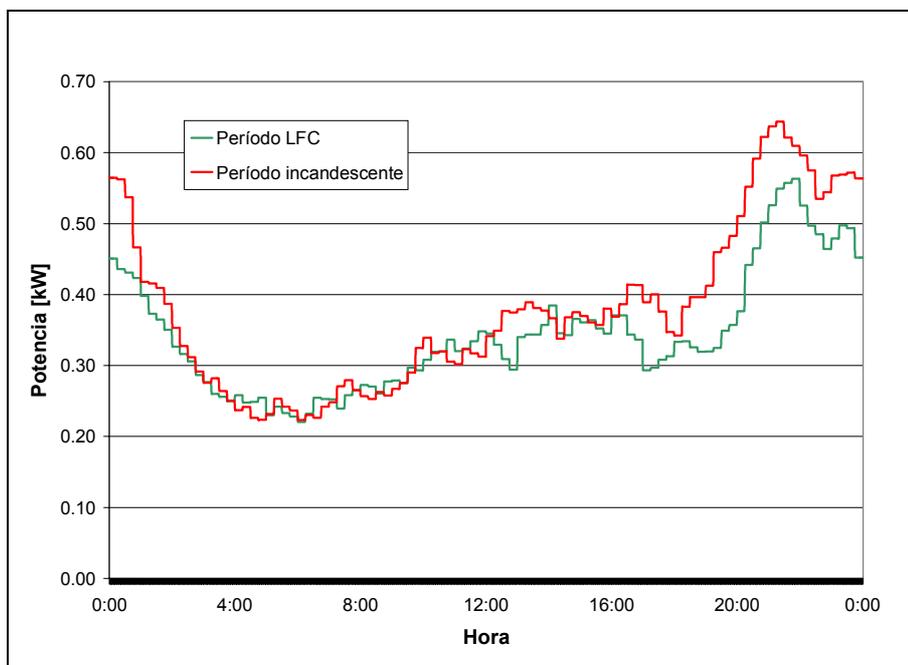


Figura 1. Comparación entre el consumo total en 10 casas durante dos periodos de medición (con incandescentes y LFC).

La Tabla 1 presenta el consumo promedio diario (kWh/día) Total y separado para los periodos Valle (23 a 5 horas), Resto (5 a 18 h) y Pico (18 a 23 h)² para las 10 viviendas. El ahorro es la diferencia entre el consumo en los periodos incandescentes y LFC (Ahorro = Consumo INC – Consumo LFC).

Período	Consumo promedio, kWh/día y ahorro (%)			
	Valle 23 a 05 horas (kWh/día)	Resto 05 a 18 horas (kWh/día)	Pico 18 a 23 horas (kWh/día)	Total
INC	2,33	4,17	2,60	9,1
LFC	2,11	3,98	2,16	8,25
Ahorro	0,22 9,5%	0,19 4,5%	0,44 17,0%	0,85 9,4%

Tabla 1. Valor promedio de consumo energético y ahorro en las 10 casas con incandescentes y LFCs en bocas luminosas seleccionadas.

De la Tabla 1 se observa que debido al mayor uso de lámparas en las primeras horas de la noche, se manifiesta una mayor incidencia sobre el consumo total de energía en las mismas horas. El ahorro promedio de las 10 casas es 9,4% del consumo total eléctrico. Para las casas individuales, el ahorro va desde 0,5% hasta 25,7%. Debe observarse que debido a que los dos periodos de medición se ubican en el solsticio de verano austral, cuando el día es más largo, el consumo de energía para la iluminación y las posibilidades de ahorro en el mismo son mínimos.

² Los precios mayoristas de electricidad y las tarifas para usuarios medianos y grandes se dividen en estas tres bandas horarias, con valores distintos en cada banda.

Los mayores ahorros se observan en las horas pico (18 a 23 h) donde existe mayor uso de lámparas. El ahorro promedio es del 17,0% en este horario con ahorros individuales que van desde *menos* 9,2% (es decir un aumento en el consumo) hasta ahorros de 29,5%.

En las horas Valle (23 a 5 h) el ahorro promedio de las 10 casas fue del 9,5% con valores que mostraron un *aumento* en el consumo del 9,2% a un ahorro máximo del 19,0%. Este nivel de ahorro en el Valle implica que hubo un uso significativo de las lámparas reemplazadas en este horario, en los dos periodos.

En las horas Resto (5 a 18 h) la mayor parte de la banda horaria dispone de luz natural. Por otro lado, incluyen las horas laborales en las cuales algunas personas no están en sus casas. Sin embargo, cabe recordar que los periodos de medición no corresponden al periodo escolar e incluyen dos fines de semana cada uno. Además, el periodo LFC incluye el 31 de diciembre y el 1 de enero. Todo esto implica la posibilidad de una mayor presencia de personas en casa que durante un periodo plenamente laboral y escolar. El promedio de ahorro para las 10 casas fue del 4,5%. Estos ahorros van desde un mínimo del 2,2% a un máximo del 29,3%.

AHORRO DE ENERGÍA PARA LAS LÁMPARAS SUBSTITUIDAS

En las cinco casas en donde se instalaron registradores en las bocas de luz, se comparó la variación horaria en el uso de las lámparas para los periodos de medición.

Como ejemplo de los resultados obtenidos, se presentan en la Figura 2 las gráficas correspondientes a la potencia promedio demandada a lo largo del día por un artefacto de 3 lámparas ubicado en el comedor de una de las residencias. En cada caso, se observa una notable reducción en la demanda de las lámparas entre el periodo INC y el LFC.

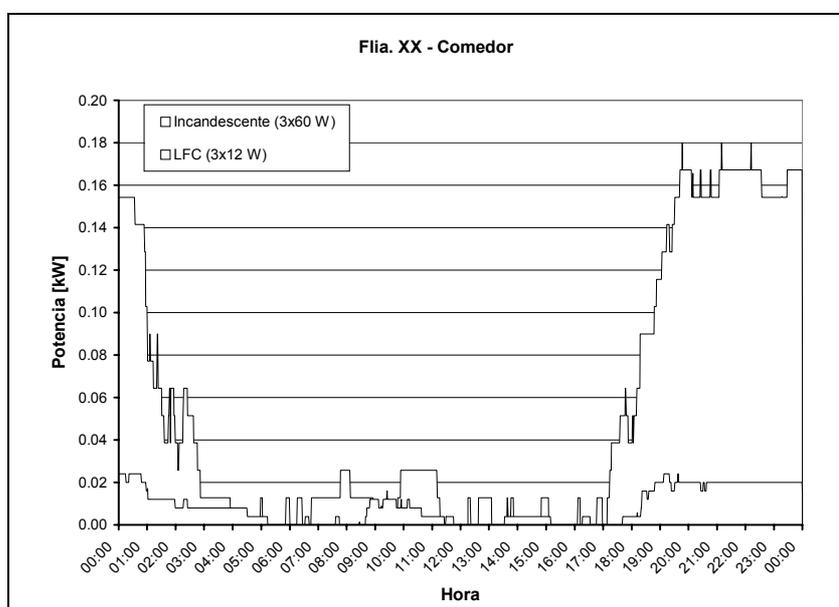


Figura 2. Potencia promedio demandada a lo largo del día por un artefacto de 3 lámparas ubicado en el comedor de una de las residencias.

En la Figura 3 se muestra la variación horaria de la demanda total de todas las bocas de luz monitoreadas, para los dos periodos de medición. Se observa una notable reducción en la demanda total en la sustitución de lámparas incandescentes por fluorescentes compactas, acorde a la diferencia en potencia de las mismas.

Es importante destacar tanto en este caso como en el anterior que no existe una correspondencia exacta entre la demanda de las incandescentes y de las LFCs debido a que se trata de diferentes periodos de tiempo.

En la Tabla 2 se sintetizan los resultados cuantitativos, en donde se reporta en las columnas correspondientes a Energía ahorrada la cantidad de energía promedio diaria que hubiese podido ser ahorrada en el periodo INC de haber habido lámparas fluorescente compactas y la que efectivamente se ahorró durante el periodo en donde se instalaron las LFCs. Adicionalmente se agrega la demanda promedio máxima dentro de cada banda horaria.

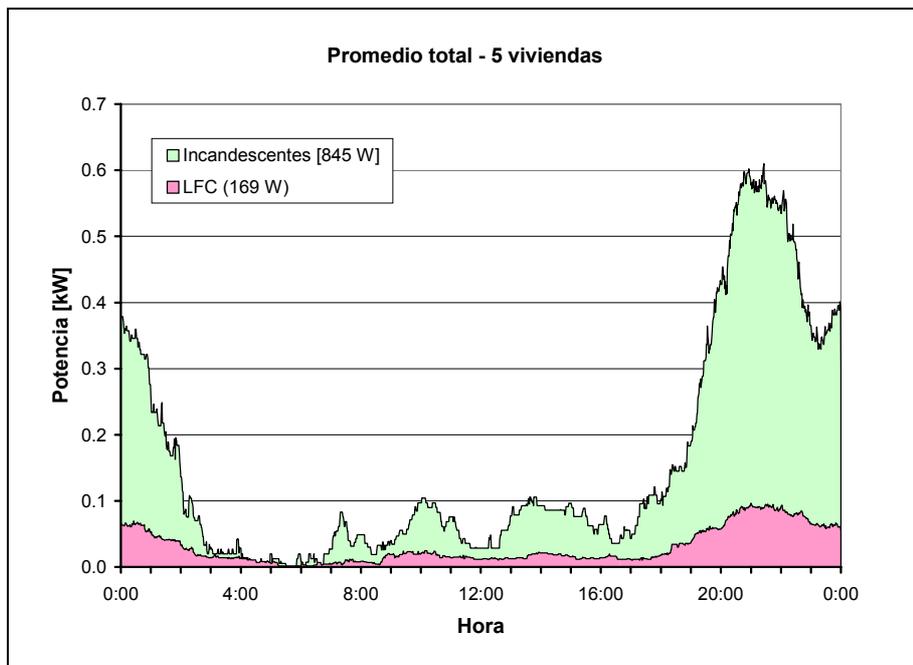


Figura 3. Variación horaria de la demanda total de todas las bocas de luz monitoreadas, para los dos períodos de medición.

Período	Potencia lámparas [W]	Energía ahorrada [kWh]				Demanda promedio máxima [kW]		
		Valle	Resto	Pico	Total	Valle	Resto	Pico
INC	845	11,16	8,06	21,89	41,04	0,40	0,12	0,61
LFC	169	9,70	8,37	16,06	34,08	0,07	0,03	0,10

Tabla 2. Ahorros potenciales (INC) y efectivos (LFC) en las cinco casas con registradores de luz.

Analizando estos resultados podemos llegar a algunas conclusiones. Como es de esperar la potencia instalada de las lámparas se reduce en un factor de cinco (80%), de 845 W a 169 W entre los dos períodos.

Las incandescentes en su conjunto consumieron 3,734 kWh por día mientras que las LFC sólo 0,711 kWh, una reducción de 81%. Esto es idéntico a la reducción de potencia (80%).

A partir de esta información fue posible obtener el valor del Factor de Coincidencia con la Punta (FCP)³ de la demanda definido como la relación entre la demanda máxima ejercida por las lámparas monitoreadas y su potencia instalada en el horario pico. En el período INC este valor alcanzó el 72% y en el LFC el 59%. La diferencia puede deberse a la existencia de algunos feriados en el segundo período.

El promedio de encendidos diarios resultó ser de 5, con un máximo de 14 y un mínimo de 1. El promedio de uso de las lámparas fue de 4,4 horas por día en el período incandescente y 4,2 h/día en el LFC⁴. No se observó una ampliación en las horas de uso de las LFC respecto a las incandescentes, hecho que es factible debido a que la mayor economía de las LFC podría inducir a un mayor encendido de las lámparas.

Aunque se seleccionaron las bocas de luz de mayor intensidad para estas mediciones, se observó que solamente 4 de las 9 bocas registraron un encendido promedio de más de 2 horas por día. Es importante tomar esto en cuenta para programas de promoción de lámparas fluorescentes compactas pues la rentabilidad del cambio es menor cuanto menor es el uso diario de la lámpara incandescente en cuestión. Por otro lado el menor uso horario por día puede significar mayor cantidad de encendidos y apagados.

La vida útil de la mayoría de las lámparas fluorescentes compactas⁵ depende de la cantidad de encendidos. Con LFCs que soportan entre 5.000 y 10.000 ciclos, una lámpara que es encendida 14 veces en un día durará entre uno y dos años. Algunas normas definen la vida nominal de éstas con ciclos de encendido de 3 horas. Si una lámpara con una vida nominal de 10.000

³ La obtención de este valor difícilmente pueda hacerse mediante encuestas debido a su carácter de aleatorio, ya que dentro de un lapso de tiempo reportado como encendidas, a veces se apagan las luces cuando no se están utilizando, debido a salidas no programadas, etc., hechos que reducen la simultaneidad del encendido.

⁴ Un consumo de 3.734 Wh con una potencia de 845 W implica un uso de $3.734/845 = 4,4$ horas/día.

⁵ Un fabricante de lámparas declara que su línea larga vida de LFC resisten cientos de miles de encendidos.

horas es encendida una vez al día y operada durante 3 horas, durará nueve años. Por lo cual estas lámparas no deberán ser recomendadas en puntos con un alto número de encendidos diarios.

VARIACIÓN EN LOS NIVELES DE ILUMINANCIA

En la sustitución de las lámparas incandescentes por fluorescentes compactas se utilizó una relación de potencia de 5 a 1, es decir, por ejemplo, una LFC de 20 W reemplaza a una incandescente de 100 W. Esta relación de 5 coincide con las indicaciones de los fabricantes en cuanto al flujo luminoso total (lúmenes) de las lámparas. Para verificar esta suposición se midió la iluminancia (lux) provista por las lámparas sobre el plano que supuestamente debían iluminar, en condiciones reales de funcionamiento. Se observó una disminución del nivel de la lámpara fluorescente compacta con relación a la incandescente. La reducción en los niveles de luz también fue observada y comentada por varios usuarios. En el boxplot⁶ de la Figura 4 se comparan las iluminancias entre las lámparas incandescentes y las LFCs.

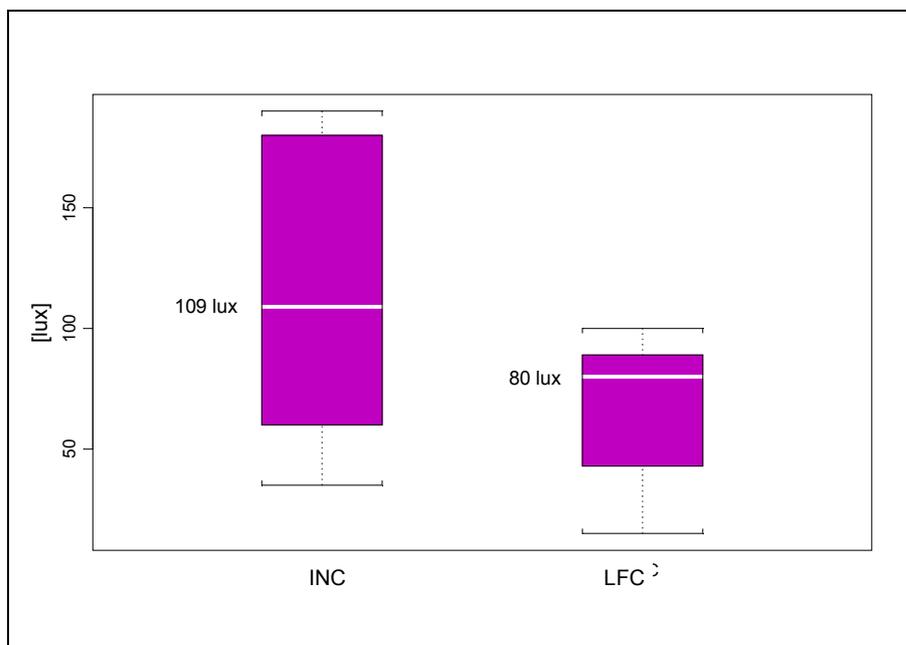


Figura 4. Boxplot de comparación de la iluminancia producida por lámparas incandescentes (INC) y LFCs sobre planos típicos de trabajo en condiciones reales de funcionamiento.

En la Figura 4 se aprecia una reducción de la iluminancia del orden del 30% respecto del valor original (INC) al colocar los equivalentes LFCs. Este elemento deberá ser tenido en cuenta a la hora de promover este tipo de tecnología ya que causa rechazo en el usuario que utiliza la relación de sustitución indicada por el fabricante. Se conoce el caso de Dinamarca, en cuyos programas de reemplazo de incandescentes por LFCs se recomienda una relación 4 a 1 (Karbo, 2001).

EL FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia (fdp) de las LFCs suele ser de alrededor de 0,5 versus 1 para las incandescentes que son cargas resistivas. Una de las características técnicas a considerar en la promoción de las lámparas de bajo consumo es si la reducción del fdp con el reemplazo de lámparas incandescentes por LFCs influye en el fdp del consumo total domiciliario de manera apreciable.

Una manera empírica es a partir de la medición del fdp de toda la casa, con y sin el uso de lámparas fluorescentes compactas, en distintas horas del día. En el transcurso del día, quedan energizados distintos aparatos, por lo cual el fdp varía según la hora.

En 6 casas se midió el factor de potencia en la entrada de la casa, simulando las condiciones correspondientes al patrón de encendido de las lámparas y demás equipos eléctricos a las 21 horas, debido a que la iluminación residencial se utiliza con mayor frecuencia en las horas de la noche.

El fdp de la casa depende no sólo de los aparatos conectados sino también de aquellos controlados por termostatos se encuentran activados en el momento de las mediciones. Para evitar ambigüedad en los resultados se controló el encendido de las heladeras y freezers, es decir se realizaron mediciones por separado con las heladeras y freezers funcionando y para los casos en que estos están apagados.

⁶ La barra blanca en el boxplot dentro de la caja central representa la mediana, no el promedio.

Las mediciones reportadas a continuación comprenden seis de las casas con sustitución de dos o tres incandescentes por LFC con balastos *electrónicos*. Las LFC no incorporaban filtros de armónicos para mejorar el factor de potencia.

Los resultados de las mediciones se sintetizan en la Tabla 3, donde se observa que el factor de potencia baja cuando la casa operaba con las LFCs respecto a la situación con las incandescentes aunque puede considerarse que el impacto sobre el factor de potencia de las casas fue insignificante⁷.

Vivienda	# de lámparas	Heladera(s) apagadas		Heladera(s) encendidas	
		INC	LFC	INC+HELA	LFC+HELA
Z1	3	0,98	0,88	0,86	0,80
Z3	2	0,94	0,92	0,91	0,92
Z4	3	0,99	0,98	0,94	0,92
Z5	2	0,83	0,76	0,85	0,81
Z6	2	0,90	0,80	0,79	0,63
Z7	2	0,93	0,90	0,82	0,76

Tabla 3. Factor de potencia de las residencias con lámparas incandescentes y LFCs, y con heladeras encendidas y apagadas.

Sin embargo, cabe observar que en algunas de las casas, el factor de potencia registrado fue menor a 0,85 con lo cual estaría sujeto a un recargo del 10% en la factura eléctrica. (Con un factor de potencia menor a 0,75, el recargo sube al 20%.)

Esta muestra es muy chica para sacar conclusiones definitivas. Sin embargo, se observa que la heladera contribuye a reducir el factor de potencia, y la combinación de heladera y LFC empeoró la situación del fdp a los efectos de las multas en 3 de las 6 casas medidas (ver Tabla 3 celdas en rojo). En sólo una de las casas, estando la heladera apagada, las LFCs produjeron un deterioro del fdp tal que colocaron el domicilio en condición de ser multado.

CONCLUSIONES

Los resultados arrojados por estas mediciones, reafirman las suposiciones que se vienen realizando con respecto a la conveniencia de la utilización de LFCs en el Sector Residencial.

- El ahorro energético producido reemplazando las lámparas incandescentes de uso intensivo en tan sólo 2 puntos fue de 0,85 kWh/día vivienda, alrededor del 10 % del consumo total eléctrico de la misma;
- el pico de la demanda se redujo, efectuando este reemplazo, un promedio de 0,1 kW por vivienda;
- el criterio de reemplazo de 5 a 1 (en la potencia de las lámparas) redundó en una disminución de la iluminancia en los planos de trabajo en condiciones reales de funcionamiento del orden del 30%, evidenciando la necesidad de modificar la relación del recambio por, al menos, una de 4 a 1;
- la selección de los puntos luminosos en donde se efectúan los reemplazos deberán considerar el número de encendidos y apagados para que la vida útil de las LFCs no se acorte considerablemente.

REFERENCIAS

- Karbo, P. (2001). *Com. Pers.*, European Council for an Energy Efficient Economy Summer Study, Mandelieu, Francia.
- Tanides, C.G. (1998). El Uso Eficiente de la Energía Eléctrica en la Iluminación Residencial, *Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar*, Vol. 2, Nro. 2, pp. 6.5-6.8, Salta, Argentina.

ABSTRACT

As part of the Argurelec⁸ project, Edenor and the University of Buenos Aires conducted a study to determine the impact of replacing intensively used incandescent lamps by CFLs. The main goal of the measurements was to evaluate energy savings and change of load curve due to lamp replacement as well as the variation in illuminance levels and power factor. The study covered a sample of 10 households. The results showed mean energy savings of 9.4%, and a peak demand reduction of 0.51 kW. Moreover, it was detected that using the 5 to 1 power ratio in replacement as recommended by manufacturers, illuminance levels were 30% lower under real working conditions.

Keywords: efficient lighting, compact fluorescent lamps, efficient use of electricity, residential.

⁷ Dicho resultado concuerda con el de la experiencia internacional, aunque no se tienen registros de mediciones hechas sobre casas individuales.

⁸ *Promoting the rational use of electricity in Argentina (ARGURELEC)* is a project within the ALURE program of co-operation between the European Union and Latin American countries in the area of energy. The participants in ARGURELEC include the Argentine Secretary of Energy, the electricity distribution company EDENOR, and three European partners: ICAEN (Spain), ADEME (France) and FAST (Italy). There was a separate agreement between EDENOR and the Faculty of Engineering, University of Buenos Aires that contributed to the results reported here.