

EL USO EFICIENTE DE LA ENERGIA ELECTRICA EN LA ILUMINACION

Gautam S. Dutt, Mario Brugnoli y Carlos G. Tanides

Grupo de Energía y Ambiente (GEA), Depto. de Electrotecnia
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires
Paseo Colón 850, (1063) Buenos Aires
Tel.: 342-7362/8636/4872 Int. 361 - Fax: 331-0129
email: postmaster@gea.uba.ar

1. RESUMEN

La iluminación representa del 10 al 20 % del uso final de la electricidad en la mayoría de los países. Aunque esta proporción no es grande, es importante, ya que la eficiencia energética de la iluminación puede ser aumentada 5 veces sin alterar los niveles lumínicos, de una manera rápida y rentable. La reducción del crecimiento de la demanda eléctrica a través de mejoras en la eficiencia reduce tanto los requerimientos de capital para la expansión del sector eléctrico como los impactos ambientales asociados. En este trabajo resumimos las alternativas luminotécnicas, considerando medidas para mejorar la eficiencia de las lámparas así como de los otros elementos del sistema de iluminación.

2. TECNOLOGIAS DISPONIBLES PARA LA ILUMINACION ELECTRICA

Con la introducción de nuevas tecnologías en las lámparas y en el resto de los elementos que conforman un sistema de iluminación puede reducirse notablemente el consumo eléctrico manteniendo el nivel lumínico, dando lugar de este modo a uno de los más grandes potenciales de ahorro de energía eléctrica que es posible lograr actualmente. Estas medidas pueden aplicarse con cierta rapidez, ya que, las lámparas y componentes de los sistemas de iluminación tienen una vida útil menor que la de otros aparatos de uso final, lo que facilita su recambio.

Un sistema de iluminación consta principalmente de una fuente de luz, a veces asociada a elementos activos como el balasto en los equipos que utilizan lámparas de descarga, o a elementos pasivos tales como reflectores y difusores. Estudiaremos en primer lugar las distintas fuentes de luz poniendo especial énfasis en las posibilidades de ahorro energético.

2.1. Lámparas incandescentes

La invención de la lámpara eléctrica por Edison en 1879 marcó el comienzo de la era de la electricidad. En el diseño original se calentaba un filamento de carbono, a alta temperatura, mediante la circulación de una corriente eléctrica, hasta que emitía una radiación visible. Desde 1920 se utiliza un filamento de tungsteno arrollado en forma de espiral. Con esta modificación se consiguió aumentar sensiblemente su eficacia. La vida útil también fue mejorada introduciendo dentro del bulbo un gas inerte.

La vida útil de una lámpara incandescente actual es del orden de las 1000 horas, y su eficacia lumínica es de 10 a 17 lumen/Watt. El límite teórico es de 53 lm/W correspondiente a la radiación del cuerpo negro a la temperatura de fusión del tungsteno. Para incrementar la eficacia de estas lámparas se aumenta la temperatura del filamento, pero esto debe hacerse sin afectar su vida útil. En las lámparas comunes algunas partículas de tungsteno, que forman el filamento, se evaporan depositándose sobre las paredes del bulbo, efecto este que se incrementa con la temperatura. Se logra disminuir este problema manteniendo el bulbo de la lámpara a una temperatura elevada e introduciendo un gas halógeno dentro de él. La introducción de esta técnica sólo fue posible mediante el uso de pequeñas cápsulas de cuarzo que rodean al filamento y mantienen la temperatura del bulbo suficientemente alta.

EL USO EFICIENTE DE LA ENERGIA ELECTRICA EN LA ILUMINACION

Gautam S. Dutt, Mario Brugnoli y Carlos G. Tanides

Grupo de Energía y Ambiente (GEA), Depto. de Electrotecnia
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires
Paseo Colón 850, (1063) Buenos Aires
Tel.: 342-7362/8636/4872 Int. 361 - Fax: 331-0129
email: postmaster@gea.uba.ar

1. RESUMEN

La iluminación representa del 10 al 20 % del uso final de la electricidad en la mayoría de los países. Aunque esta proporción no es grande, es importante, ya que la eficiencia energética de la iluminación puede ser aumentada 5 veces sin alterar los niveles lumínicos, de una manera rápida y rentable. La reducción del crecimiento de la demanda eléctrica a través de mejoras en la eficiencia reduce tanto los requerimientos de capital para la expansión del sector eléctrico como los impactos ambientales asociados. En este trabajo resumimos las alternativas luminotécnicas, considerando medidas para mejorar la eficiencia de las lámparas así como de los otros elementos del sistema de iluminación.

2. TECNOLOGIAS DISPONIBLES PARA LA ILUMINACION ELECTRICA

Con la introducción de nuevas tecnologías en las lámparas y en el resto de los elementos que conforman un sistema de iluminación puede reducirse notablemente el consumo eléctrico manteniendo el nivel lumínico, dando lugar de este modo a uno de los más grandes potenciales de ahorro de energía eléctrica que es posible lograr actualmente. Estas medidas pueden aplicarse con cierta rapidez, ya que, las lámparas y componentes de los sistemas de iluminación tienen una vida útil menor que la de otros aparatos de uso final, lo que facilita su recambio.

Un sistema de iluminación consta principalmente de una fuente de luz, a veces asociada a elementos activos como el balasto en los equipos que utilizan lámparas de descarga, o a elementos pasivos tales como reflectores y difusores. Estudiaremos en primer lugar las distintas fuentes de luz poniendo especial énfasis en las posibilidades de ahorro energético.

2.1. Lámparas incandescentes

La invención de la lámpara eléctrica por Edison en 1879 marcó el comienzo de la era de la electricidad. En el diseño original se calentaba un filamento de carbono, a alta temperatura, mediante la circulación de una corriente eléctrica, hasta que emitía una radiación visible. Desde 1920 se utiliza un filamento de tungsteno arrollado en forma de espiral. Con esta modificación se consiguió aumentar sensiblemente su eficacia. La vida útil también fue mejorada introduciendo dentro del bulbo un gas inerte.

La vida útil de una lámpara incandescente actual es del orden de las 1000 horas, y su eficacia lumínica es de 10 a 17 lumen/Watt. El límite teórico es de 53 lm/W correspondiente a la radiación del cuerpo negro a la temperatura de fusión del tungsteno. Para incrementar la eficacia de estas lámparas se aumenta la temperatura del filamento, pero esto debe hacerse sin afectar su vida útil. En las lámparas comunes algunas partículas de tungsteno, que forman el filamento, se evaporan depositándose sobre las paredes del bulbo, efecto este que se incrementa con la temperatura. Se logra disminuir este problema manteniendo el bulbo de la lámpara a una temperatura elevada e introduciendo un gas halógeno dentro de él. La introducción de esta técnica sólo fue posible mediante el uso de pequeñas cápsulas de cuarzo que rodean al filamento y mantienen la temperatura del bulbo suficientemente alta.

Una lámpara halógena típica duplica la vida útil de una lámpara incandescente común, mientras que su eficacia lumínica es del orden de 17 a 23 lm/W. La mayor temperatura del filamento produce una radiación más blanca con menor contenido de infrarrojo pero mayor de ultravioleta. Esto puede resultar peligroso para las personas o para algunos objetos por lo que es conveniente la introducción de filtros en las luminarias.

Estas lámparas de iodo, como se las llama habitualmente, son ampliamente utilizadas en los faros delanteros de los automóviles, para iluminación exterior y en algunas vidrieras. Las denominadas dicróicas, son fabricadas para trabajar en baja tensión (12 Volt). Con esto se logra reducir las dimensiones de su filamento, lo que permite considerarlas como una fuente puntual de luz. De este modo es posible disponer de un reflector parabólico con una precisa ubicación de la fuente de luz en el foco del mismo. Estos son confeccionados por "láminas de interferencia multicapa" (dicricas) que transmiten la luz infrarroja pero reflejan la radiación visible. Es notable la difusión que han adquirido estas lámparas en los últimos años. Se las puede observar en la mayoría de las vidrieras y exhibidores, en oficinas, en museos, etc.

2.2. Lámparas fluorescentes

La utilización de estas lámparas se ha extendido desde la década del 30, principalmente en talleres, locales comerciales, oficinas e iluminación exterior. Una descarga eléctrica iniciada en un plasma de mercurio débilmente ionizado, produce una radiación ultravioleta. Esta excita una capa de fósforo que se encuentra depositada en la pared interior del tubo la que emite una radiación visible mediante un proceso conocido como fluorescencia.

La eficacia lumínica de estas lámparas en su versión más difundida, todavía en uso, alcanzó los 70 lm/W, valor muy superior al obtenido por las lámparas incandescentes pero muy lejano aún del máximo teórico de 350 lm/W. En los últimos años, esta eficacia ha sido mejorada mediante el uso de fósforos de alta eficiencia.

Tradicionalmente se usaron halofosfatos, los que emiten una radiación en un rango amplio del espectro, mientras que las lámparas más nuevas utilizan trifósforos los que emiten en regiones del espectro limitadas por las longitudes de ondas correspondientes a los colores rojo, verde y azul. Los dos tipos de fósforos pueden ser combinados para mejorar el rendimiento del color y aumentar la eficacia. Con los nuevos fósforos es posible aumentar la densidad de potencia, lo que permite, en consecuencia, reducir el tamaño de las lámparas. Ya es posible adquirir en el comercio minorista local tubos finos de 26 mm de diámetro además de los tradicionales de 38 mm. Se comercializan también tubos de menor diámetro y menor longitud con forma circular o en "U".

En los últimos años se han introducido en nuestro país la versión más reducida de este tipo de lámpara, las llamadas fluorescentes compactas (LFC). Hoy observamos gran variedad de marcas y modelos los que se ofrecen como alternativa a las lámparas incandescentes mostrando la diferencia en el consumo para igual nivel de iluminación. Así por ejemplo, un fabricante ofrece una LFC de 20 W equivalente a una incandescente de 100 W y con una vida útil 8 veces mayor. Los distintos modelos se diferencian fundamentalmente por disponer de balasto electromagnético o balasto electrónico, incorporado a la lámpara o fuera de ella. No siempre es posible el simple reemplazo de una lámpara incandescente por una LFC debido a la diferencia en sus dimensiones. Para facilitar estos cambios varios fabricantes han diseñado modelos en los cuales sobre la rosca común Edison va adosado el balasto electrónico y sobre la cubierta de este se dispone de uno, dos o tres tubos en "U". Así es posible obtener una emisión lumínica equivalente a la de una lámpara incandescente en un tamaño casi igual.

Para mejorar el rendimiento de las lámparas fluorescentes existen nuevas tecnologías en desarrollo, las que reducen las pérdidas de conversión de la radiación ultravioleta a luz visible. Además del uso de fósforos avanzados, se puede reducir una cantidad importante

de radiación que se pierde antes de alcanzar el fósforo en un proceso denominado autoabsorción.

El Laboratorio de investigación Lawrence Berkeley responsable de muchas innovaciones para mejorar el rendimiento de las lámparas, algunas ya comercializadas, ha identificado varias formas de disminuir la autoabsorción. El mercurio natural contiene siete isótopos estables los que resultan transparentes a la radiación ultravioleta emitida por la descarga. El aumento de la proporción de ^{190}Hg aparece como una de las formas más promisorias de reducir la autoabsorción. Otra es la adición de un campo magnético axial con el tubo. Un campo magnético de 0,06 Tesla incrementa la emisión lumínica en un 6% [Berman, 1989].

Una vez sobre el fósforo se produce otra importante pérdida de energía debido a que un fotón de radiación ultravioleta posee mucha mayor energía que un fotón de luz visible, por lo que sería deseable que pudiéramos conseguir la combinación adecuada para que se liberen dos fotones de luz visible.

Las lámparas fluorescentes, así como otras lámparas de descarga, poseen características que hacen necesario el auxilio de dispositivos especiales para su funcionamiento normal. Estos aparatos son los denominados balastos los que en la mayoría de los casos también intervienen en el proceso de ignición de la descarga. El balasto en sí mismo adiciona un consumo de energía, pero existen alternativas donde su inclusión permite un balance final positivo para todo el sistema de iluminación.

En su versión más difundida, los balastos de tipo electromagnético operan a frecuencia de línea (50/60 Hz). La intensidad de la luz emitida varía periódicamente al doble de la frecuencia de línea dando lugar al denominado efecto estroboscópico, debido al cual los objetos en movimiento pueden ser vistos como una imagen borrosa detenida. Este fenómeno, que no es observable en las lámparas incandescentes debido a su inercia térmica, puede provocar graves accidentes en los talleres. Si se hiciera operar a las lámparas fluorescentes a una frecuencia muy superior a la de línea este efecto deja de ser perceptible. El trabajo a frecuencias del orden de los 20 kHz trae consigo, además, una consecuencia muy favorable, el rendimiento lumínico mejora en una cifra próxima al 10%. La operación a esta frecuencia agrega la ventaja de que los ruidos a que pueda dar lugar el aparato caen fuera de la frecuencia audible para el ser humano.

Para permitir el trabajo en alta frecuencia, se han desarrollado balastos electrónicos de estado sólido, los que rectifican la tensión alterna de línea y a partir de la tensión continua obtenida ondulan a 20 kHz o más por medio de un inversor. En resumen, la utilización de los balastos electrónicos mejora la calidad de la luz con la ventaja adicional de aumentar el rendimiento del conjunto.

La utilización de lámparas de descarga gaseosa con balasto electromagnético convencional ya introducía notables perturbaciones en la forma de onda de la corriente. Lejos de mejorar este problema, los balastos electrónicos generalmente ocasionan un desmejoramiento de la situación. Esto es debido a que la mayoría carece de filtros adecuados, por lo que se introducen en la red corrientes con fuertes distorsiones de tercera, quinta y altas armónicas de la fundamental (50, 60 Hz).

La presencia de terceras armónicas fuertes en los sistemas trifásicos puede producir un notable incremento de la corriente de neutro, aún cuando se verifique un perfecto reparto de cargas entre las fases. Las armónicas de alta frecuencia pueden producir interferencias en las comunicaciones radiales, telefónicas y en algunos aparatos electrónicos. Algunos fabricantes (inclusive en nuestro país) han desarrollado balastos electrónicos con un adecuado filtrado que evitan las distorsiones y en algunos casos también actúan como estabilizadores de tensión, permitiendo el uso de las lámparas para un amplio rango de tensiones de alimentación.

Otra forma de aumentar el rendimiento de las lámparas fluorescentes se consigue mediante la operación sin electrodos. En una lámpara fluorescente convencional, la

descarga eléctrica se inicia mediante una diferencia de potencial aplicada entre dos electrodos ubicados en los extremos del tubo. El material que compone estos electrodos se va disgregando con el tiempo, dando lugar a un acortamiento de la vida útil del tubo, así como a un ennegrecimiento de las paredes próximas a los mismos, lo que provoca una disminución del flujo luminoso.

La descarga también puede ser iniciada desde el exterior del tubo mediante una onda electromagnética de 100 a 500 MHz de frecuencia [Berman, 1985; Berman et al., 1989]. es decir una frecuencia del orden de las utilizadas en transmisiones radiales o televisivas. El plasma de mercurio se excita principalmente en las proximidades de la superficie del tubo sobre la que se encuentra depositado el fósforo, reduciendo de esta manera las pérdidas por autoabsorción, antes mencionadas.

Utilizando esta técnica es posible extender en forma notable la vida útil de las lámparas llegando a las 60.000 hs. La operación sin electrodos acompañada por otras mejoras tecnológicas puede triplicar el rendimiento que se obtiene con los tubos fluorescentes convencionales (ver tabla 1).

Tabla 1. Eficacia de las lámparas fluorescentes para diferentes tecnologías
Fuente: Berman, 1985 y Berman et al., 1989

Tecnología	Eficacia de la lámpara [lm/W]	Estado del desarrollo tecnológico
Convencional	70	Comercial
Operación en alta frecuencia	80	Comercial
Fósforos avanzados	100	Comercial
Enriquecimiento isotópico	110	Laboratorio
Campos magnéticos	120	Laboratorio
Fósforos de dos fotones	180	Investigación
Operación sin electrodos	230	Comercial

2.3. Lámparas de descarga de alta intensidad

A diferencia de las lámparas fluorescentes en este caso la emisión de luz tiene su origen en una descarga que se produce dentro de un volumen mucho menor. La descarga vaporiza e ioniza un metal que, en estas condiciones, convierte al espacio encerrado por la ampolla en un medio conductor.

Las tres lámparas de descarga de alta intensidad más comunes son las de vapor de mercurio de alta presión, vapor de sodio de alta presión y mercurio halogenado. También existen, pero con menor difusión lámparas de vapor de mercurio y de sodio baja presión. Todas ellas tienen mayor eficacia que las incandescentes.

En general, las lámparas de descarga de alta intensidad ven limitadas sus aplicaciones a la iluminación de espacios muy amplios, como talleres, depósitos, estadios deportivos, y fundamentalmente en el alumbrado público. Esto se debe principalmente a su pobre rendimiento de color, así como a la elevada potencia para la que se fabrican. Además la demora de estas lámparas para alcanzar su máxima intensidad luminosa, con posterioridad a su encendido, hace que sólo resulten adecuadas para la iluminación de aquellos lugares donde deben permanecer conectadas durante tiempos prolongados sin interrupción.

Las lámparas de vapor de mercurio de alta presión producen una emisión blanco azulada, mientras las de sodio de alta presión poseen un corrimiento hacia el amarillo. Ambas

emiten un espectro continuo de colores. No es el caso de las lámparas de sodio de baja presión, en las cuales la emisión es básicamente monocromática, situándose en los 589 nm de longitud de onda. La radiación visible corresponde a las longitudes de onda comprendidas entre los 380nm (violeta) y los 700 nm (rojo). El ojo humano es más sensible a las radiaciones de 550 nm (amarillo) durante el día y alrededor de los 500 nm (verde) durante la noche. De lo dicho se deduce que las lámparas de sodio de baja presión emiten en una zona muy próxima al pico de nuestra sensibilidad. Este es el factor por el cual estas lámparas son las más eficientes disponibles. El rendimiento de las distintas lámparas de descarga de alta intensidad se muestra en la tabla 2. Dentro de cada tipo el rendimiento es generalmente algo mayor al aumentar la potencia.

	Potencia [W]	Eficacia [lm/W]
Vapor de mercurio de alta presión	40 - 1.000	40 - 60
Vapor de sodio de alta presión	35 - 1.000	51 - 130
Vapor de sodio de baja presión	18 - 130	200
Vapor de mercurio halogenadas	32 - 12.000	78 - 110

Fuente : Catálogos de fabricantes de lámparas

Aún cuando las lámparas de descarga de alta intensidad no resultan aconsejables para muchas aplicaciones, es posible lograr un importante ahorro energético realizando intercambios entre las diferentes lámparas que integran este grupo. Por ejemplo, en el alumbrado público es posible el reemplazo de lámparas de 250, 400 y 1000 W de vapor de mercurio por lámparas de vapor de sodio de alta presión de 150, 250 y 400 W respectivamente, sin modificar el nivel de iluminación. El cambio de una lámpara de vapor de mercurio por una de vapor de sodio requiere también el cambio del balasto. Para evitar este costo adicional algunos fabricantes han diseñado lámparas de vapor de sodio de reemplazo directo, adaptando la característica de encendido y de funcionamiento de la lámpara de vapor de sodio al balasto que utiliza la de vapor de mercurio.

3 - SISTEMAS DE ILUMINACION Y OTRAS OPCIONES DE AHORRO

3.1. Luminarias

Hasta el momento, hemos identificado posibilidades de ahorro energético en la iluminación, estudiando los distintos comportamientos de balastos y lámparas, y destacando las alternativas de mayor rendimiento. Otro elemento a tener en cuenta si queremos mejorar la eficiencia de un sistema de iluminación es la luminaria. Utilizando distintas variantes en su diseño es posible lograr modificaciones sustanciales en la distribución de la luz emitida, consiguiendo de este modo que esta se proyecte sólo hacia aquellos sectores donde resulte necesaria. En edificios comerciales y en el alumbrado público es posible lograr ahorros muy significativos.

Los artefactos más simples para tubos fluorescentes se denominan listones y están compuestos por un soporte de chapa sobre el que se disponen los zócalos conectores, el balasto y el arrancador. En las instalaciones realizadas con estos equipos es posible mejorar en forma notable el rendimiento lumínico. Para ello se adicionan difusores y reflectores al artefacto. Estos últimos pueden ser realizados de chapa esmaltada, de aluminio anodizado, o en el mejor de los casos de vidrio espejado.

El comportamiento de diferentes artefactos para dos tubos fluorescentes fue ensayado en la Universidad de San Pablo. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 3. En ésta se observa que un artefacto con reflector de vidrio espejado duplica en rendimiento a uno con la lámpara simplemente expuesta. En ambos casos se trata de luminarias con dos

tubos de 40 W. El rendimiento lumínico puede ser aumentado aún más, con el uso de balastos electrónicos y tubos de 32 W, como podemos ver en la última línea de la tabla 3.

Tabla 3. Desempeño de distintas luminarias con tubos fluorescentes

Característica de tubo, balasto y luminaria			Potencia total [W]	Flujo luminoso		Eficacia [lm/W]
				nominal [lm]	útil [lm]	
2 x 40	estándar	A	96	5.400	1.130	11,7
2 x 40	estándar	B	96	5.400	1.710	17,8
2 x 40	estándar	C	96	5.400	2.180	22,7
2 x 32	estándar	C	77	5.000	2.100	27,3
2 x 32	electrónico	C	66	5.000	2.100	35,0

Fuente: Moreira, J.R., 1988, "Estudo e pesquisa luminarias reflexivas" Instituto de Eletrotecnia e Energia, Universidade de Sao Paulo, Brasil, Geller, 1990.

Notas: Tipo de luminarias: A - estándar con lámpara completamente expuesta; B - con reflector de aluminio pulido y anodizado; C - con reflector de vidrio espejado.

La emisión de las lámparas fluorescentes es sensible a la temperatura. El flujo luminoso se reduce cuando los tubos se disponen dentro de luminarias muy cerradas que no permiten disipar el calor. Esto puede evitarse incorporando en el diseño aberturas o canales de ventilación. [Mills, 1992]. En edificios con aire acondicionado central resulta interesante diseñar la instalación de los conductos de tal forma que la salida de aire se realice a través de las luminarias, de esta forma se mejora el rendimiento de las lámparas y se reduce la carga térmica de los equipos de aire acondicionado.

3.2. Control de la iluminación

La correcta selección e instalación de lámparas y luminarias pueden minimizar la energía requerida para proveer el nivel de iluminación adecuado donde ésta es necesaria. La función de un sistema de control es regular el aporte de luz a la medida de esas necesidades. Con el avance de la electrónica, se han diseñado controles que utilizan fotocélulas para regular la intensidad de luz según la disponibilidad de luz natural.

En los edificios públicos, en los grandes comercios y oficinas existe un enorme potencial de ahorro energético en los sistemas de iluminación. En la mayoría de éstos se observan las luces encendidas fuera del horario de trabajo, o cuando la luz natural resulta más que suficiente. No sucede lo mismo en las casas de familia o en los pequeños comercios donde el mismo usuario es el que paga la factura de energía eléctrica.

Los avances técnicos logrados en los controles de iluminación permiten solucionar estos problemas. Así, podemos disponer simplemente de "timers" que a determinada hora apaguen automáticamente las luces. Más avanzados son aquellos controles dotados de sensores que detectan la presencia humana. A estos sistemas se los programa, normalmente, de tal modo que si, por ejemplo, durante 15 minutos no registran movimientos envíen una señal de apagado, o contrariamente enciendan las luces si alguien ingresa al sector. Existen también controles que miden la cantidad de luz y actúan sobre la alimentación de las lámparas de tal forma que el nivel de iluminación se mantenga constante. De este modo si el ingreso de luz natural aumenta, el control actúa de tal forma que la emisión de las lámparas disminuya o en alguna circunstancia las apaga totalmente.

El control gradual de la intensidad de luz de las lámparas da lugar a sistemas más elaborados. Para el caso de las lámparas incandescentes es sencillo lograrlo variando la tensión de alimentación por medio de dimmers. Esto no resulta directamente aplicable a

las lámparas cuyo funcionamiento está basado en descargas en gases. Algunos balastos electrónicos de nueva generación permiten implementar estos controles [Lutron, 1992].

Los controles de intensidad de luz pueden ser combinados con los dispositivos de encendido/apagado comandados por sensores de movimiento, dando lugar en conjunto a un importante ahorro energético. Resulta demostrativa la experiencia realizada en el piso 50 del "World Trade Center" de Nueva York, donde la combinación de las estrategias de control mencionadas permitió un ahorro del 52% de la energía eléctrica utilizada en iluminación [Berman, 1985]. El programa "Controlite" del Laboratorio "Lawrence Berkeley" fué desarrollado para optimizar la aplicación de estos controles.

Además del ahorro de energía que se logra introduciendo mejoras en el sistema de iluminación es posible un importante ahorro adicional utilizando medidas arquitectónicas que permitan un mejor aprovechamiento de la luz solar. Muchos edificios modernos tienen las paredes que dan al exterior con grandes superficies vidriadas que permiten el paso de la luz solar al interior. Pero, en muchos casos observamos que los sectores próximos a las ventanas resultan sobreiluminados, provocando deslumbramientos. Lo contrario ocurre con las zonas alejadas de las ventanas donde la iluminación que proviene del exterior resulta insuficiente obligando de este modo a que las lámparas deban permanecer encendidas. Distintas variantes arquitectónicas se han diseñado para mejorar esta situación. Se trata de utilizar una combinación de persianas y pantallas que disminuyan la entrada de luz solar en las proximidades de la ventana y proyecten luz hacia los lugares alejados de la misma, aprovechando para ello la reflexión de techos y paredes.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo hemos pretendido mostrar el enorme potencial de ahorro de energía eléctrica en los sistemas de iluminación. Es en los países en desarrollo donde la incidencia en la reducción del consumo por aplicación de estas nuevas tecnologías es mayor. Ello es debido a que sólo en muy contados casos se han introducido cambios significativos en los sistemas de iluminación.

La reducción de la demanda de energía eléctrica que es posible lograr por estos medios, sin sacrificar el nivel de confort, representa un significativo ahorro en las inversiones en equipamiento de las compañías que comercializan la electricidad, consiguiéndose además reducir las perturbaciones al medio ambiente ocasionadas por la generación eléctrica.

La reducción del consumo debido a la iluminación colabora además en la reducción del pico de demanda nocturna el que se debe en gran parte al encendido de lámparas en los domicilios particulares y al alumbrado público.

REFERENCIAS

Berman, S., 1985, "Energy and lighting" en *Energy Sources: Conservation and Renewables*, (D. Hafemeister, H. Kelly y B. Levi, compiladores) Conference Proceedings 135, American Institute of Physics, New York, p. 247-257.

Berman, S. et al., 1989, "Lighting systems research", FY 1988 Annual Report, Center for Building Science, Applied Science Division, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA, p. 5.11-18.

GE, 1989, "Lamp Catalog ILD-9200, 1989 Edition", International Lighting Division, General Electric Company, Cleveland.

IES, 1984, *Lighting Handbook 1984 Reference Volume*, Illuminating Engineering Society (North America), New York.

IES, 1987, *Lighting Handbook 1987 Application Volume*, Illuminating Engineering Society (North America), New York.

Lutron, 1992, "Hi-lume: fluorescent dimming", folleto, Lutron Electronics Co., Inc., Coopersburg, PA.

McGowan, T., 1989, "Energy-efficient lighting", en *Electricity: Efficient End-Use and New Generation Technologies, and Their Planning Implications*, Lund University Press, Lund, Sweden, pp. 59-88.

Mills, E., (comp.), 1992, *Energy-Efficient Lighting: Technologies, Programs, and Policies, Special Issue of Energy--The International Journal*.