



LED: Diodos Emisores de Luz

Información de la Tecnología

Introducción

La realidad del cambio climático hace que el uso de la energía a escala global se encuentre bajo intenso debate. La iluminación es uno de los usos más básicos de la energía en la humanidad. Hoy, la iluminación se traduce en un 19% del consumo de la electricidad mundial (IEA 2006). La baja eficiencia (aprox. 5%) de las viejas tecnologías y el despilfarro en iluminación hacen evidente la necesidad de introducir mejoras en este sector.

La Iluminación en Estado Sólido (SSL, por sus siglas en inglés) emerge como una tecnología alternativa en iluminación con una amplia variedad de aplicaciones. Los Diodos Emisores de Luz (LEDs, por sus siglas en inglés) son la tecnología SSL de mayor disponibilidad en el mercado, ofrece una gran variedad de ventajas sobre las otras tecnologías de iluminación, desde la eficiencia, solidez y longevidad hasta la capacidad de generar de manera directa una gran cantidad de colores. Los LEDs actualmente disponibles ya están reemplazando rápidamente a otras fuentes de iluminación como así también son hoy la tecnología preferida para luces decorativas y de diferentes aplicaciones. La potencia de los LEDs, como fuente de iluminación general (luz blanca), es actualmente una de sus principales promesas de cara al futuro. En este documento se presenta la tecnología de la iluminación con LED, centrándose en sus aplicaciones, ciclo de vida y su capacidad para mejorar la eficiencia en la iluminación.

¿Por qué necesitamos alternativas?

Actualmente se utilizan diferentes tecnologías en iluminación. La más antigua, la iluminación incandescente, fue inventada originalmente a fines del 1800, y a excepción de las luces halógenas, el diseño de las lámparas prácticamente no ha cambiado desde 1930. La forma más ineficiente de iluminación eléctrica, la luz incandescente, posee una eficiencia de conversión eléctrica energía-luz de sólo el 5%. A pesar de esto, son las que más se utilizan, principalmente en el sector residencial. Consumen el 30% de la energía eléctrica usada para iluminación mientras que sólo producen un 7% de luz efectiva. Hoy se reconoce que es necesario ponerle un final al uso de las lámparas incandescentes. Los grandes fabricantes de lámparas disminuyeron su producción (BBC 2007) y los gobiernos de diferentes países ya presentaron iniciativas para retirar las lámparas de la venta (Coghlan 2007)

Las lámparas fluorescentes, la alternativa actual de iluminación de interior, representan el 64% de la iluminación generada eléctricamente y representa el 45% del uso de energía eléctrica para iluminación. La eficiencia de la iluminación fluorescente varía según el tipo de lámpara, aunque generalmente es de 5 y 8 veces mayor a las incandescentes. Todas las lámparas



fluorescentes contienen mercurio, aunque en cantidades cada vez menores. La mayoría de las lámparas fluorescentes emiten luz ultravioleta debido a su modo que funcionamiento.

El otro grupo principal de tecnologías en iluminación, las lámparas de descarga, se utilizan en espacios grandes incluyendo exteriores, grandes salas y centros comerciales. Las lámparas de descarga proveen el 29% de la luz entregada y representan el 25% de la energía eléctrica utilizada en iluminación. La mayoría de estos tipos de lámparas, sólo producen una limitada variedad de colores (por ejemplo las lámparas de sodio producen el color amarillo). Esto las limita a aplicaciones en donde el color no es importante. Algunas lámparas son muy eficientes (mucho más que las lámparas fluorescentes) y brindan la cantidad de luz necesaria para aplicaciones como el alumbrado público. Aún así, todavía se pueden mejorar. Las lámparas de vapor de mercurio, a pesar de ser una vieja tecnología ineficiente que depende de un metal tóxico, son muy utilizadas actualmente. Las lámparas de descarga producen luz no-direccional, haciendo necesarios el uso de reflectores para garantizar que la luz sea dirigida a la dirección deseada. Debido al pobre diseño de luminarias para exterior (incluyendo el de los reflectores), mucha luz se desperdicia resultando en una reducción real de la eficiencia, y en contaminación lumínica.

Esta claro que, a pesar de que existe una variedad de tecnologías en iluminación actualmente en uso, ninguna es perfecta. Muchas opciones tienen todavía una eficiencia baja, principalmente en iluminación residencial e iluminación especializada. Muchos productos eficientes deben resignar otros factores como la calidad del color y su toxicidad. Evidentemente existe la necesidad de otras respuestas a la creciente demanda de luz artificial, como es el caso de los LEDs.

¿Qué son los LEDs?

Los LEDs son dispositivos en estado sólido que generan luz de una manera radicalmente diferente a otras fuentes de luz. Las lámparas incandescentes simplemente calientan un filamento de metal (tungsteno) a miles de grados Celsius debido a su resistencia al paso de la corriente eléctrica. A esta temperatura el filamento emite luz, luz que se ubica en el área infrarroja del espectro lumínico, de ahí la ineficiencia de este tipo de lámparas. Las lámparas fluorescentes generan luz al pasar corriente eléctrica a través de vapor de mercurio, esta genera una excitación que hace al vapor de mercurio emitir luz ultravioleta (UV). La luz UV golpea el fósforo dentro de la lámpara que hace que ésta se vuelva fluorescente y produzca luz blanca visible. El proceso requiere de un balasto (dispositivo electrónico) para controlar el flujo de electricidad.

En los LEDs, un bajo voltaje de corriente continua (CC) circula a través de dos capas de material semiconductor. Esto resulta en la generación de fotones de luz de un reducido rango de frecuencias. El color de la luz depende del material semiconductor utilizado y del tipo de dopante (impurezas) que se le agregue. El semiconductor se aloja en una caja epoxi que además funciona como un



sistema óptico (lente), que enfoca la luz producida. Para uso con la red de suministro eléctrico, se necesitan controladores electrónicos y convertidores de voltaje. El nivel de innovación tecnológica y de ingeniería involucrada en los LEDs modernos es mucho mayor que en las fuentes convencionales de luz.

Tecnología

Los diodos emisores de luz (LEDs) existen desde hace varias décadas, aunque hasta no hace mucho, su uso estaba limitado a usos específicos. Antes de 1990, sólo estaban disponibles los LEDs de color rojo, verde y amarillo, esto limitaba su utilidad. La invención de los LEDs azules y ultravioletas (UV) y el incremento del brillo del LED permitieron recientemente la generación de luz blanca. Desde 1990 se aceleró el desarrollo y comercialización de semiconductores emisores de luz.

Desde la invención del LED rojo en la década del 60, la potencia de la luz de este dispositivo se multiplicó por 20 cada 10 años, al mismo tiempo la disminución del costo de la luz LED (por lumen) fue de 10 veces, siguiendo la tendencia conocida como ley de Haitz (Steele 2007). En el caso de los nuevos LEDs blancos, la potencia del lumen (por dispositivo) se multiplicó por 6 entre 2002 y fines de 2006 mientras que el costo por lumen disminuyó 7 veces su valor. Entre 1995 y 2005 el mercado del LED blanco de alto brillo creció en un promedio de 42% anual (Steele 2007). Sin embargo, la tecnología aún está lejos de madurar con una penetración en el mercado limitada sólo para usos específicos.

Los LEDs de colores actualmente superan en calidad a las fuentes filtradas de luz incandescente por lo que comienzan a tener una mayor demanda comercial. Los LEDs generan una limitada amplitud de onda de luz, produciendo así directamente los colores deseados y consiguiendo eficiencias superiores que las tecnologías alternativas que dependen principalmente de luz blanca filtrada. Los LEDs que producen luz blanca aún deben esperar para lograr esa penetración en el mercado, debido a cuestiones de conversión. La luz no puede ser emitida directamente por un LED, debe ser generada por una conversión de fósforo de luz azul o UV, a partir de la mezcla de luz monocromática o por una combinación de las dos posibilidades. El uso de LEDs individuales que posean fósforos es la tecnología más generalizada. No obstante, esto presenta algunos grandes desafíos técnicos, especialmente en la creación de luz blanca cálida (similar a las incandescentes) ya que la eficiencia de los fósforos rojos queda por detrás de la de los disponibles para generar otros colores (Schubert y Kim 2005). Las eficiencias de la conversión de fósforo generalmente son bajas, esto reduce la eficiencia final de los productos. En la industria muchos creen que el criterio de mezclar luz terminará siendo dominante (brindando eficiencias de 200 lm/w – mucho más que una lámpara incandescente o fluorescente), aunque la falta de LEDs verdes de alta potencia actualmente limita la calidad del color blanco.

Investigación y Desarrollo



La Investigación y Desarrollo de los LEDs para cualquier uso (pero especialmente para iluminación general) está progresando rápidamente y es objeto de numerosas iniciativas gubernamentales e inversiones internacionales.

El Departamento de Energía de los Estados Unidos (DoE, por sus siglas en inglés) ha patrocinado una gran cantidad de proyectos de LED y OLED desde 2003 como parte de su programa de Luz en Estado Sólido (SSL) (DoE 2008). Esta iniciativa fue respaldada de manera significativa con fondos dentro de la Ley de Política Energética 2005 que asignaron al desarrollo de “tecnologías avanzadas de iluminación orgánica o inorgánica de estado sólido basadas en diodos emisores de luz blanca que, comparadas con las tecnologías de iluminación incandescente y fluorescente, tienen mayor durabilidad, son energéticamente más eficientes y competitivas en el costo, y poseen menos impactos sobre el ambiente”. La ley prometió fondos por 50 millones de dólares por año desde 2007 hasta 2009 y permite la posibilidad de que los fondos se extiendan en el mismo nivel hasta el 2013 (Ley de Política Energética 2005). El proyecto abarca desde investigación básica hasta demostraciones de luminarias de LED y OLED (Harris 2007).

En Europa existen varias iniciativas destinadas a promover el desarrollo del sector SSL (Luz en Estado Sólido). Por ejemplo, a comienzos de 2008 el gobierno británico anunció una inversión de 10 millones de libras esterlinas en investigación y desarrollo para la integración y avance de iluminación energéticamente eficiente, láseres y displays, incluyendo los LEDs (LEDs Magazine 2008). La Comisión Europea otorgó fondos para una serie de investigaciones de SSL dentro del Sexto Programa Marco y continuó haciéndolo dentro del actual, el Séptimo Programa Marco (CORDIS 2008).

Asia, específicamente Japón, Corea, y China, también está invirtiendo fuertemente en SSL. Uno de los primeros programas nacionales de investigación y desarrollo de LED comenzó en 1998 en Japón. Los fondos para este desarrollo subsisten actualmente. China lanzó el Programa Nacional de Iluminación en Estado Sólido en el 2004 con el ambicioso objetivo de ahorrar 100 TWh (Teravatios hora) para 2015 con el reemplazo del 40% de todas las lámparas fluorescentes por las Solid State Lighting (IEA 2006).

Promesas de la Iluminación LED

La iluminación por LED promete una variedad de beneficios sobre otras fuentes de luz:

- **Mayor eficiencia**
 - Potencialmente superior a todas las fuentes comunes de luz
- **Mayor longevidad**
 - Con beneficios que incluyen bajos costos de mantenimiento
- **Mayor control de distribución de la luz**
 - Los LEDs emiten luz en una dirección que luego puede esparcirse (mejor que otras fuentes de las cuales la luz se emite hacia todas direcciones y debe ser reflejada hacia la dirección deseada)

- **Mayor control cromático (color)**
 - Gran variedad de colores posibles con variedad de LEDs
- **Respuesta y control más rápidos**
 - Los LEDs no necesitan calentarse y se pueden atenuar completamente.
- **Durabilidad superior**
 - Al ser dispositivos en estado sólido, los LEDs son rígidos, sin componentes frágiles.
- Gran variedad de **temperaturas de operación**
 - Los LEDs funcionan de manera muy eficiente a bajas temperaturas, a diferencia de las lámparas fluorescentes.
- **Baja generación de calor**
 - Los productos son más fríos que las alternativas.
- **Sin Mercurio**
 - Aún no se ha identificado un riesgo toxicológico equivalente con respecto a las unidades fluorescentes de iluminación.
- **Sin emisiones UV** en los LEDs blancos
 - Beneficios potenciales en la salud versus la iluminación fluorescente, para algunas personas.
- **Imitación de la Luz de Día**
 - Se especula que la iluminación LED eventualmente imitará la luz natural del día permitiéndole a la luz artificial acercarse más a los ritmos circadianos. Esto además podría ayudar a prevenir trastornos afectivos estacionales (TAE) y fomentar la productividad en las oficinas durante el día.

Con cualquier tecnología en desarrollo, las ventajas son mayores que sus desventajas. Aunque existen desafíos técnicos que superar. En el caso de la iluminación con LED, los principales desafíos incluyen los costos, la eficiencia y la potencia. Todas estas son áreas en progreso constante. A pesar de las incertidumbres, es posible pensar un futuro optimista para la iluminación en base a LEDs.

Ciclo de Vida

Mientras que los LEDs aún deben alcanzar un desarrollo comercial más maduro, esta sección ofrece un panorama general del ciclo de vida de los LEDs basado en la información disponible.

Producción

Al ser semiconductores modernos, los LEDs se producen en instalaciones similares a las plantas de la industria electrónica y no a fábricas tradicionales de luminarias. La fabricación se basa en procesos de producción y herramientas desarrolladas por la industria electrónica (microchips), la producción se lleva a cabo en ambientes limpios. La producción del semiconductor depende de materia prima ultra pura.



Además, los LEDs blancos varían mucho en color. A pesar de muchas investigaciones, los defectos son muy comunes debido a interacciones básicas entre las capas que lo componen (Bergh *et al* 2001). Resultando grandes cantidades de variaciones naturales dentro del producto terminado. Para asegurar la consistencia del producto es necesario el “envasado”. Luego de la producción, los dispositivos se prueban y agrupan según la amplitud de onda dominante en la potencia de la luz. Este proceso demanda tiempo y genera muchos rechazos, esto se suma al costo de producción, los potenciales problemas ambientales y la reducción de rendimiento.

Otra similitud con otras partes de la industria de los semiconductores, es que la producción de LED depende del uso de gases tóxicos en el proceso de producción. La tecnología “metal organic vapor-phase epitaxy (MOVPE)” que se utiliza para realizar las capas del cristal semiconductor depende de gases como la arsina, fosfina y amoníaco como materia prima y utiliza gas hidrógeno, gas explosivo e inflamable. La seguridad y la prevención de la contaminación dependen de las tecnologías avanzadas de reducción de emisiones y los sistemas de control (Shenia-Khatkhate *et al* 2004).

Los LEDs necesitan *drivers* (controladores electrónicos y convertidores/reguladores de energía). Como estos dispositivos son integrales al funcionamiento de la luz LED, también debe considerarse la huella ecológica de su producción. Mientras que es probable que estos componentes sean producidos de forma masiva y por lo tanto se beneficien de las eficiencias de la producción a gran escala, son productos electrónicos y necesariamente complejos y requieren una alta demanda energética.

Química

Los LEDs se producen a partir de una variedad de químicos semiconductores. Los diodos consisten de dos capas de cristal, cada una formada por dos de tres elementos. Las combinaciones más comunes incluyen InGaAlP (Indio Galio Aluminio Fosforo), AlGaAs (Arseniuro de galio y aluminio), AlGaP (Fosforo de aluminio y galio), GaN (Nitruro de Indio y Galio), con una variedad de otras combinaciones que se utilizan para aplicaciones especiales. Estas capas crecen principalmente en un zafiro de un solo cristal o en un sustrato de carburo de silicio. Las investigaciones han progresado con la finalidad de superar los desafíos técnicos asociados con el uso de otros materiales de sustrato de bajo costo (Semiconductor International 2007). Una variedad de otras capas, dopantes y materiales (como cables muy finos) normalmente se incluyen en la construcción final del diodo.

Para obtener luz blanca de un único LED, se usa un fósforo combinado con un LED azul o UV. Hay una gran variedad de fósforos disponibles. Comúnmente, estos son compuestos de tierras raras o metales de transición. El fósforo generalmente está incrustado en la cubierta epoxy que encapsula al semiconductor, protegiéndola y actuando como un sistema primario de óptica (lente) para la emisión de luz.



Los LEDs no contienen mercurio. Mientras que una gran variedad de elementos y compuestos se utilizan en la construcción del LED, la cubierta dura externa y la naturaleza de estado sólido del dispositivo deberían proteger al usuario (aunque no a los fabricantes y recicladores) de cualquier tipo de amenaza toxicológica durante su uso. Como con cualquier otra facetas de la tecnología de los semiconductores, el proceso que involucra a la generación de luz por semiconductor ocurre a escala atómica (cuántica). Por ello la investigación a nano-escala es esencial para mejorar estos dispositivos. En algunos casos esto sólo involucra la consideración de características estructurales a nano-escala. En otros, sin embargo, se conciben productos discretos a nano escala (Allsopp *et al* 2007 & Jia 2007).

Eficiencia Energética

Según las predicciones de la industria (publicadas a principios de 2007), las luminarias comerciales LED de blanco frío deberían alcanzar una eficiencia comparable a la de una lámpara fluorescente compacta (LFC) entre 2010 y 2012 y mucho mayor a la de una lámpara fluorescente lineal (LFL) para 2015 (U.S. Departamento de Energía 2007). Sin embargo, estas predicciones parecen ser conservadoras comparadas con otras fuentes. Esto no significa que sea una materia incierta, ya que en cualquier industria de rápido desarrollo existen muchas predicciones diferentes (Philips 2007, LEDs Magazine 2007a). Debido a la gran variedad de predicciones, y la confusión que puede generar, este documento no hará hincapié en las diferentes predicciones. Sin embargo, una predicción muy citada es que se puede esperar que los LEDs blancos alcancen finalmente eficacias de al menos 150 lm/W (lumens/watt). Esto es casi el doble de las LFC, una vez y media las LFL y casi diez veces las lamparitas incandescentes. Esta cifra la manejan varias fuentes independientes y es mucho menor a la que en teoría puede alcanzar el LED (Schubert y Kim 2005).

La eficiencia energética total de un sistema de iluminación puede ser juzgada en términos de energía lumínica útil entregada por unidad de energía eléctrica consumida. La eficiencia de un sistema LED depende de la provisión de energía y electrónica (colectivamente, el “driver”), el diodo emisor de luz y el sistema óptico.

Medir la eficiencia, comparar productos y evaluar las última investigaciones puede ser un desafío. La velocidad del progreso tecnológico en iluminación de LED blancos derivó en productos que llegaron al mercado antes que se finalicen los estándares universalmente aceptados para medir las eficiencias. Algunas iniciativas, como el programa del Departamento de Energía de los Estados Unidos de Evaluación e Informe de Productos LED Comercialmente Disponibles (CALiPER, por su acrónimo en inglés) ayudan a tratar este asunto. Sin duda, a medida que madure la industria, este problema se resolverá rápidamente. Aunque en este momento, mientras que es claro que hay un rápido progreso en la investigación y desarrollo, es difícil medir de manera precisa qué tan rápido está ocurriendo. El nuevo criterio de Energy Star lanzado en septiembre de 2007 y estándares relacionados deberían brindar



una clara comparación de productos. Esto se hará efectivo el 30 de septiembre de 2008, sujeto a estándares relacionados y a la finalización del procedimiento de pruebas.

Vida Útil

Los LEDs fallan de una forma diferente a las otras fuentes de luz. En lugar de detenerse de manera simple y abrupta, los LEDs reducen su intensidad de manera gradual en el tiempo. La llamada “depreciación de lumen” resultante en una reducción del 30 o 50% en potencia de luz, es considerada comunmente como una falla. Aunque tales diferencia parecen grandes, el ojo humano no responde linealmente a los cambios en la intensidad de la luz, entonces son aceptables en términos de rendimiento. Se espera que la vida de los dispositivos LED alcancen las 50.000 horas. En este período de vida y en períodos superiores, las fallas en la provisión de energía pueden ser un factor limitante y no la falla del diodo. Mientras que debería ser posible que en productos especializados supere las 50.000 horas aunque esto podría ser a expensas de ciertos criterios de rendimiento. Aún existen algunas dudas acerca del proceso utilizado para evaluar la vida útil de los productos, dado que 50.000 horas equivalen a 5.7 años, mucho más que el tiempo que ha transcurrido desde que se han desarrollado algunos de los productos disponibles actualmente.

Facilidad de reciclado

Es probable que las luces blancas LED residenciales de primera generación sean utilizados como reemplazo directo en adaptadores ya diseñados para lámparas incandescentes. Esto hará que la electrónica se construya a partir de lámparas, en una forma similar a las LFC. Esto derivará en lámparas con una gran diversidad en cuanto a composición de materiales. Como sucede con las actuales LFC, existirán los mismos desafíos en cuanto al reciclado cuando se acabe la vida útil de la lámpara. En la actualidad, el reciclado del balasto electrónico de las LFC incluye la destrucción seguida de la fundición para recuperar el contenido de metal de valor. Es razonable pensar que un destino similar le espera al los reemplazo de las lámparas LED. Los fabricantes de LED afirman que su tecnología debería ser vista como una iluminación de futuro a largo plazo. Si este es el caso, para permitir que se desarrolle todo el potencial de la tecnología (atenuación, cambios en la temperatura del color, etc.) y para garantizar la facilidad del reciclado y el reemplazo, se necesitarán cambios en la infraestructura del sistema. Nuevos sistemas separarán la electrónica de las lámparas (en una manera similar a los tubos fluorescentes). Esto permitirá una electrónica más eficiente y el reemplazo o modernización de los componentes individualmente, minimizando así tanto el tamaño como la complejidad del flujo de desechos y permitiendo un reciclado más eficaz.

El Galio (uno de los principales componentes de los semiconductores LED) suele estar presente en concentraciones similares tanto en desechos electrónicos y cenizas (de industrias de carbón y fosfatos) como en fuentes



naturales (Grupta *et al* 2007). Por ello el reciclado puede resultar comercialmente atractivo.

Aplicaciones

A la fecha, los LEDs han penetrado en una serie de mercados de iluminación y han permitido el desarrollo de otros mercados. La mayor penetración ha sucedido en áreas que utilizan LEDs de color (monocromáticos). La tecnología del LED de color ya es madura y por lo tanto está lista para entrar al mercado. Además, la diferencia comparada con las incandescentes de color en términos de eficiencia lumínicas es muy apreciable.

Iluminación en vehículos

Los LEDs ya se han utilizado durante años para luces de color (freno e intermitente) en una limitada variedad de vehículos. Las ventajas sobre la tecnología incandescente incumbente incluye la eficiencia superior, mayor potencia de luz (más brillante), mayor vida útil (posiblemente mayor a la del vehículo), mayor solidez, mayor seguridad (alcanza su brillo máximo rápidamente) y mayores posibilidades de estilo (IEA 2006). Los LEDs blancos ya son utilizados para lámparas de día y están hechas para ser utilizadas en los faros delanteros en un futuro cercano (Whitaker 2007a). Las mejoras en la eficiencia son considerables, un sistema de LED de 5W puede reemplazar las luces de día que pueden utilizar más de 150W (IEA 2006). Se pronostica que el mercado automotriz del LED se duplique de \$650 millones en 2006 a \$1300 millones en 10 años (LEDs Magazine 2007b).

Alumbrado público y semáforos

Los LEDs se utilizan de manera exitosa tanto en semáforos como en señales peatonales. En los Estados Unidos se estima que todas las señales de tránsito que utilizan LED requieren el 11% de la energía que utilizan las señales incandescentes convencionales. El mercado aumentó en la longevidad de los LEDs lo que los hace más atractivos para estas aplicaciones ya que el cambio de las lámparas de los semáforos ocasiona interrupciones y cuesta importantes sumas de dinero. Por estas razones, para el 2002, el 30% de las señales de tránsito de los Estados Unidos ya habían sido reemplazadas (IEA 2006). Proyectos piloto en otros sectores ya están en marcha.

La tecnología del LED blanco se está volviendo económicamente viable con las primeras grandes instalaciones en desarrollo (LEDs Magazine 2007c). Así como ofrecen ventajas de longevidad y eficiencia, los LEDs se pueden atenuar completamente y pueden ser diseñados para producir luz direccional, reduciendo así de manera potencial una de las principales fuentes de contaminación lumínica del cielo nocturno.



Iluminación arquitectónica, publicitaria y decorativa

Los LEDs ya se utilizan para iluminar edificios y estructuras (incluyendo, por ejemplo, la Torre Eiffel). La producción de colores brillantes, solidez y longevidad los hacen una opción muy atractiva. Los LEDs también están reemplazando a las lámparas de neón para publicidad.

Pantallas electrónicas

Los LEDs blancos son ampliamente utilizados para las luces de fondo de pantallas en aparatos electrónicos móviles como los teléfonos celulares, palms y cámaras digitales. Para el 2004 el 75% de los teléfonos celulares vendidos a nivel mundial utilizaban LEDs blancos (IEA 2004). A los LEDs también se los considera la tecnología del futuro para las pantallas LCD, por su eficiencia y rendimiento (Semenza 2007).

Iluminación General

Hasta el momento, los LEDs no se utilizaron en iluminación general (residencial y oficinas). Como ya se mencionó, el desarrollo de los LEDs blancos está en curso. Actualmente la mayoría de los productos con LEDs blancos para hogares se han limitado a ciertos mercados, como las lámparas de escritorio e iluminación de mesadas.

La competencia anual “Iluminación para el Mañana” (Lighting for Tomorrow), co-patrocinado por el Departamento de Energía de Estados Unidos, incluyó los productos LED en los últimos dos años.

Un producto premiado en 2007 fue el “primer reemplazo listo para ser lanzado al mercado en base a LED para iluminación residencial” (Lighting for Tomorrow 2007), desarrollado por LED Lighting Fixtures (www.lfinc.com), la potencia y calidad del color de la lámpara son muy similares a las lámparas incandescentes utilizadas generalmente en la iluminación residencial directa, pero consume un quinto de la energía. Este producto es más eficiente lumínicamente que los sistemas de iluminación fluorescente directa más eficientes. Para evitar el problema de calidad del color de la luz blanca, las lámparas utilizan una combinación de LEDs blancos y rojos. El producto, en un principio, cuesta más que sus alternativas incandescentes o fluorescentes. Sin embargo, un análisis sobre la recuperación de la inversión revela que, en un plazo superior a los cinco años, el costo de adquisición de productos LED se redujo a la mitad comparado con su equivalente incandescente según el brillo y menos que los productos alternativos LFC (Merrell 2007). Como se calcula que el producto dura más de 20 años, el ahorro en el costo total es muy superior.

Un reemplazo directo para los tubos fluorescentes (LFLs siglas en inglés) ya está disponible en el mercado. El producto (de EverLED) dice ser 25% más eficiente que las LFL a altas temperaturas de color. Sin embargo, debido a las actuales diferencias en el costo, el producto apunta a aplicaciones en donde la



diferencia de eficiencia es mucho mayor, como heladeras exhibidoras, o en donde una longevidad superior resulta ventajosa (Whitaker 2007b).

Iluminación residencial para hogares fuera de la red

Se estima que en el año 2002, casi mil seiscientos millones de personas no tenían acceso a la electricidad. Se pronostica que esta cifra sólo decaerá a mil cuatrosientos millones para el 2030 (IEA 2004). Esto significa que aproximadamente un cuarto de la población mundial depende de fuentes de energía para la iluminación, como el querosén, el diésel, el propano, la biomasa.

Estas fuentes de luz presentan una serie de problemas. En principio, el uso de luz a base de combustible es muy ineficiente. Por ejemplo, la potencia lumínica total anual de una simple lámpara de mecha equivale a la potencia producida en 10 horas por una lámpara incandescente de 100 W. Esta ineficiencia se refleja en la baja intensidad de luz que dificulta la lectura y el trabajo (Mills 2005). La ineficiencia también deriva del costo relativamente alto de la luz en términos de costo financiero de una baja intensidad de luz y cantidad de tiempo empleada en viajes para disponer del combustible. Los problemas de salud y seguridad por el uso de luces en base a combustibles son varios, desde la mala calidad del aire del interior de una vivienda, hasta incendios y riesgo de lesiones.

A nivel global, se estimó que de cuatro personas que dependen de fuentes de luz a base de combustible, una recibe el 0,1% de la energía lumínica total entregada. Sin embargo, la ineficiencia de la generación de luz radica en que para garantizar esta provision se requiere del 12% de la energía primaria que se utiliza para la generación de luz. La combustión de estos combustibles se traduce en una emisión de 190 millones de toneladas de CO₂ o aproximadamente una décima parte del total proveniente de la iluminación (Mills 2005). Estos son estimativos generales.

Implementar una sola red centralizada de distribución de energía no representa una solución práctica ni posible para cubrir las necesidades de iluminación de muchas personas que actualmente dependen de fuentes a base de combustibles. Sin embargo, los LEDs se están convirtiendo rápidamente en una tecnología práctica de reemplazo. Debido a las altas eficiencias de los LEDs blancos modernos, su solidez, longevidad y bajo voltaje requerido, estas lámparas son ideales para usos en áreas remotas que pueden utilizar energía generada en el lugar a partir de una variedad de fuentes. Los LEDs en la actualidad son unas 1000 veces más eficientes (en términos de lumens por watt) que un farol de llama (Mills 2005). Y se pueden utilizar con fuentes de energía de baja densidad como la solar. Se han desarrollado sistemas sencillos que utilizan paneles solares del tamaño de una hoja y una batería que puede funcionar de manera efectiva y brindar iluminación general. La tecnología cuenta con un gran potencial como herramienta de desarrollo y sustentabilidad.



Una iniciativa de la organización Lighting up the World Foundation (www.lutw.org) ya ha utilizado sistemas LED exitosamente en países de tres continentes. La tecnología es escalable, flexible y puede tener períodos de amortiguación de gastos de menos de un año, aunque está claro que será necesaria una inversión considerable por parte de gobiernos o grandes organizaciones de desarrollo si se quiere lograr un uso a gran escala.

OLEDs

Otra forma de iluminación en estado sólido son los diodos orgánicos emisores de luz (OLEDs) que también se encuentran en rápido desarrollo. Estos productos consisten en delgadas láminas orgánicas superpuestas entre dos conductores eléctricos y se manifiestan como “paneles de luz” en lugar de fuente puntual de luz (como los LEDs). Los OLEDs podrían incluso ser transparentes, lo que les permitiría cubrir claraboyas, esto permitiría que entre la luz del sol durante el día y producir luz durante la noche. La tecnología podría eventualmente proveer de fuentes de luz blanca aptas para iluminación general y podrían brindar una serie de beneficios sobre los LEDs. Estos incluyen muy bajos costos debido a la abundancia de la materia prima y el potencial para una producción continua de rollo a rollo. Sin embargo, los OLEDs están lejos de la comercialización que poseen los LEDs por lo que no forman el centro de atención en este informe. Sin embargo, muchos de los beneficios de los LEDs comparados con otras fuentes de luz también incluyen sus equivalentes orgánicos. Un sondeo detallado de los componentes orgánicos utilizados en los OLEDs, incluyendo sus propiedades intrínsecas y destino ambiental, serán seguramente esenciales.

¿Son los LEDs la respuesta?

Parece que los LEDs (y OLEDs) tendrán un rol importante al apuntar hacia la eficiencia energética en el sector de la iluminación. Los beneficios de estas tecnologías avanzadas son muchos y los productos comerciales que los contienen ya están emergiendo. Para muchas aplicaciones (como los semáforos), los LEDs parecen ser en la actualidad la Mejor Tecnología Disponible. Sin embargo, para iluminación general siguen siendo la Próxima Mejor Tecnología Disponible. Aún hay una serie de asuntos a tratar antes de que se alcance su comercialización generalizada (generalmente en lo que respecta al brillo, costo y estandarización). La tendencia sugiere que esto será superado. Por ello parece razonable que la iluminación en estado sólido (en ambas formas) puede ser apreciada como una futura fuente principal de iluminación artificial, con demandas que resulten razonables para que la tecnología sea mejorada y adoptada tan pronto como sea posible.

Referencias

- Allsopp, M., Walters, A. & Santillo, D. (2007) Nanotechnologies and nanomaterials in electrical and electronic goods: A review of uses and health concerns. Greenpeace Research Laboratories Technical Nota 10/2007: 22 págs. Disponible en www.greenpeace.to
- BBC (2007) Lights out for GE bulb factories. <http://news.bbc.co.uk/1/hi/business/7029269.stm> Último acceso 4 de enero 2008.
- Bergh, A., Craford, G., Duggal, A. & Haitz, R. (2001) The Promise and Challenge of Solid-State Lighting. *Physics Today* 54 (12): 42-47
- Coghlan, A. (2007) It's lights out for classic household bulb. *New Scientist* 2597: 26-27
- CORDIS (2008) Community Research & Development Information Service (CORDIS) Photonics [pages http://cordis.europa.eu/fp7/ict/photonics/home_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/ict/photonics/home_en.html)
- DoE (2008) US Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Solid State Lighting website <http://www.netl.doe.gov/ssl/> Last visited 4th January 2008
- Energy Policy Act (2005) United States Public law 109–58—AUG. 8, 2005 secciones 911 y 912
- Gupta, B., Mudhar, N., Begum, Z. & Gupta, I.S. (2007) Extraction and recovery of Ga(III) from waste material using Cyanex 923. *Hydrometallurgy* 87 (2007) 18 – 26
- Harris, S. (2007) Dept of Energy funds essential R&D for LEDs and OLEDs. *LEDs Magazine* 14:32-34
- IEA (2004) *World Energy Outlook 2004* International Energy Agency. Complete Edition - ISBN 9264108173. pp.1-576
- IEA (2006) *Light's Labour's Lost; policies for energy efficient lighting.* OECD ISBN 926410951X
- Jia, D. (2007) Nanophosphors for white LEDs. *Chemical Engineering Communications* 194 (12):1666-1687(22)
- LEDs Magazine (2007a) Power LEDs and the numbers game. October 16:2
- LEDs Magazine (2007b) DRLs help LEDs move forward in vehicle applications <http://www.ledsmagazine.com/news/4/12/23> Última visita 4 de enero 2008.
- LEDs Magazine (2007c) Lumecon, Relume to supply 1000 LED street lights to Ann Arbor <http://www.ledsmagazine.com/news/4/12/26> Última visita 4 de enero 2008.
- LEDs Magazine (2008) UK invests GBP10 million in advanced lighting 07 Jan 2008 Available from <http://www.ledsmagazine.com/news/5/1/2> Último acceso 8 de enero 2008
- Lighting for Tomorrow (2007) Lighting for Tomorrow 2007 competition. www.lightingfortomorrow.com/2007/index.shtml Última visita 4 de enero 2008.
- Merrell, C. (2007) A "Real Real" LED Light for General Illumination. DOE Solid-State Lighting Workshop, January 31, 2007. http://www.netl.doe.gov/ssl/materials_2007.html Last Última visita 4 de enero 2008.
- Mills, E. (2005) The Sceptre of Fuel-Based Lighting. *Science* 308: 1263-1264
- Philips (2007) Understanding Lab Claims about Efficacy. Document number NA02 http://www.lumileds.com/pdfs/NA_02.pdf Última visita 4 de enero 2008.
- Schubert, E.F. & Kim, J.K. (2005) Solid state light sources getting smart. *Science* 308:1274-1278
- Semenza, P. (2007) Can anything catch TFT LCDs? *Nature Photonics* 1:267-268
- Semiconductor International (2007) Study Shows Sapphire Substrates Dominate GaN Market <http://www.semiconductor.net/article/CA6493719.html?industryid=47575> Última visita 4 de enero 2008.
- Shenai-Khatkhate, D.V., Goyette, R.J., DiCarlo Jr, R.L. & Dripps, G. (2004) Environment, health and safety issues for sources used in MOVPE growth of compound semiconductors, *Journal of Crystal Growth*.272 (1-4): 816-821.
- Steele, R.V. (2007) The story of a new light source. *Nature Photonics* 1 (1):25-26
- U.S Department of Energy (2007) Multi-Year Program Plan FY'08-FY'13 Solid-State Lighting Research and Development. Prepared by: Navigant Consulting, Inc. and Radcliffe Advisors
- Walko, J. (2007) Bright future beckons for solid-state lighting. *EE Times Europe* <http://eetimes.eu/showArticle.jhtml?articleID=200900064> Última visita 8 de enero 2008.



Walters, A., Santillo, D., Labunska, I. & Brigden, K. (2006) Background documents on three key elements of the electronics manufacturing sector: semiconductors, printed wiring (circuit) boards and TFT-LCD screens. Greenpeace Research Laboratories Technical Note 08/2006, October 2006: 34 pp. Disponible en www.greenpeace.to

Whitaker, T. (2007a) LED headlamps illuminating the way forward. LEDs Magazine 17:18-19

Whitaker, T. (2007b) LEDdynamics creates direct LED replacements for fluorescent tubes. LEDs Magazine 15:26

Williams, E.D., Ayres, R.U. & Heller, M. (2002) The 1.7 kilogram microchip: energy and material use in the production of semiconductor devices Environmental Science and Technology 36 (24):5504-5510



Campaña contra el Cambio Climático
Greenpeace Argentina
(011) 4551-8811
Zabala 3873 (1427)
C.A. de Buenos Aires
clima@ar.greenpeace.org
www.greenpeace.org.ar