

CURSO:
"DISEÑO DE FOCOS DE LEDs EFICIENTES"

CONTENIDOS:

- Módulo I: Comparación de Tecnologías de Iluminación
- Módulo II: Iluminación Basada en LEDs
- Módulo III: Optimización de Circuitos de LEDs
- Módulo IV: Estándares de Diseño de ENERGY MARKET



(Proyecto: "Iluminando Comunidades con Tecnología LED y Eficiencia Energética")

Auspiciadores:

**UNIVERSIDAD
DE LAS AMERICAS**
Laureate International Universities®

CASA KEIM
ELECTRÓNICA

Interface **FLOR™**
COMMERCIAL

**CURSO:
"DISEÑO DE FOCOS DE LEDS EFICIENTES"**

**MÓDULO I:
COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
ILUMINACIÓN**

(Proyecto: "Iluminando Comunidades con Tecnología LED y Eficiencia Energética")

Auspiciadores:

**UNIVERSIDAD
DE LAS AMERICAS**
Laureate International Universities®

CASA KEIM
ELECTRÓNICA

Interface **FLOR™**
COMMERCIAL

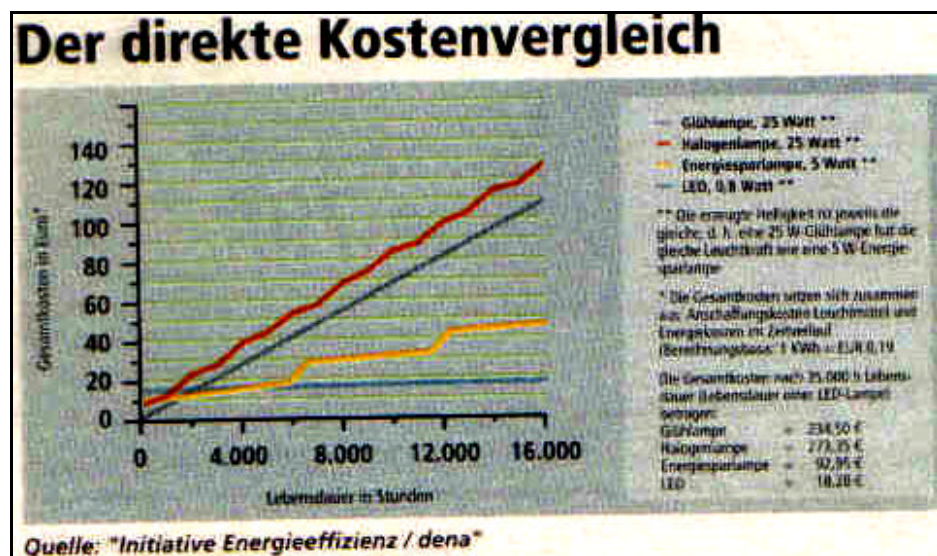
INTRODUCCIÓN

La tecnología LED está irrumpiendo en el mercado de la iluminación residencial, industrial y pública.

Este cambio de paradigma se explica por las características de ahorro, durabilidad y mayor flexibilidad para diseñar iluminación ajustada a necesidades particulares de los clientes.

En Europa se ha comprobado ya por varios años los beneficios que esta tecnología entrega. En las siguientes páginas se revisan estadísticas de Alemania, así como datos de campo obtenidos de la experiencia nacional:

1. COMPARACIÓN DE GASTOS EN TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN



Fuente: "iniciativa de eficiencia energética / dena"

Base del cálculo

(La iluminación producida es siempre la misma)

Ampolleta incandescente	25 Watts
Ampolleta halógena	25 Watts
Ampolleta para ahorrar energía	5 Watts
LED	0.8 Watts

Los gastos totales se suman al precio de compra, de reposición y los costos de la energía en el tiempo de comparación.

Los gastos totales después de 35.000 horas de vida útil (vida útil de una lámpara con LED) son:

Ampolleta incandescente	\$ 122.500
Ampolleta halógena	\$ 141.250

ENERGY MARKET

Ampolleta para ahorrar energía	\$ 40.750
LED	\$ 11.640

(traducido del alemán por Uwe Schnabl, Edición: Hernán Moraga)

Las bases del cálculo para Chile son:

Vida útil incandescente	1.000 h, precio	\$ 250
halógena	2.000 h, precio	\$ 1.000
de ahorro	6.000 h. Precio	\$ 3.000
LED	35.000 h, precio	\$ 8.000 con fuente
Costo del KW/h actual		\$ 130

(valores del mercado chileno VII Región, por Uwe Schnabl)

2. INCENTIVO PARA USAR LEDS CON PANELES FOTOVOLTAICOS

“El LED o diodo emisor de luz consume 20mA y genera 2-8 candelas de luminosidad en un ángulo de 15-130° de apertura al excitar un gas noble. Sin filamento que calentar logra alta eficiencia energética y más de 60.000 horas de duración, superando ampliamente a los bulbos incandescentes. El siguiente cuadro muestra una comparación entre las tecnologías Incandescente, Fluorescente y de LED:

COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN			
	Foco LED	Fluorescente	Incandescente
Energía necesaria para lograr iluminación comparable en cono de 60°	5W	32W	100W
Energía en forma de luz	95%	80%-90%	5%
Vida útil del foco	3 años+	1 año+	6 meses+
Apertura del flujo luminoso	120°	360°	360°
Costo del Foco	\$17.900	\$9.000	\$500
Consumo al mes (12hrs/día, \$120 KWh)	\$216	\$1.382	\$4.320
Ahorro comparativo del FOCO LED		\$1.166/mes	\$4.104/mes
Meses para pagar mayor costo del Foco LED		8 meses	5 meses
INVERSIÓN EN TECNOLOGÍA SOLAR PARA ILUMINAR DURANTE TODA LA NOCHE COMO UNA AMPOLLETA INCANDESCENTE DE 100W			
Panel solar requerido	20W \$120.000	85W \$405.000	2x130W \$1.238.000
Batería recargable de plomo-ácido	12V @ 7Ah \$15.000	12V@ 100 Ah \$100.000	2x12V@100Ah \$200.000
Controlador de Carga	1 Amp \$10.000	10 Amp \$60.000	20 Amp \$90.000
Inversor	No necesita	100W \$30.000	300W \$40.000
Sensor de luz (encendido automático)	\$6.000	\$6.000	\$6.000
INVERSIÓN FOCO AUTÓNOMO:	\$168.900	\$610.000	\$1.574.500

Fuente: ENERGY MARKET, 2008

Los focos LED más eficientes de ENERGY MARKET se pagan desde el mes 5 con los ahorros que generan. En el comercio se encuentran generalmente disponibles para 220V CA pero es posible fabricarlos también para 6V, 12V y 24V CC e incluso se puede solicitar versiones a medida según las necesidades específicas de cada cliente.

ENERGY MARKET

* * * * *

Para más información, consultoría o desarrollo de su proyecto de iluminación, recurra a los Diseñadores Certificados de Focos Eficientes Basados en LED de la red de ENERGY MARKET, disponible en www.e-market.cl -> CAPACITACIÓN.

**CURSO:
"DISEÑO DE FOCOS DE LEDs EFICIENTES"**

**MÓDULO II:
ILUMINACIÓN BASADA EN LEDs**

(Proyecto: "Iluminando Comunidades con Tecnología LED y Eficiencia Energética")

Auspiciadores:

**UNIVERSIDAD
DE LAS AMERICAS**
Laureate International Universities®

CASA KEIM
ELECTRONICA

Interface **FLOR™**
COMMERCIAL

INTRODUCCIÓN

Los diodos de luz (LED o Light Emitting Diode) son semiconductores que transforman corriente eléctrica directamente en luz visible. Sus ventajas frente a los medios de iluminación convencionales son:

- * Un grado muy alto en eficiencia,
- * Vida útil extremadamente larga,
- * Liviano,
- * Resistente a golpes.

1. HISTORIA DEL LED

El primer LED comercialmente utilizable fue desarrollado en el año 1962, combinando Galio, Arsénico y Fósforo (GaAsP) con lo cual se consiguió un LED rojo con una frecuencia de emisión de unos 650 nm con una intensidad relativamente baja, aproximadamente 10 mcd @ 20mA, (mcd = milicandela, posteriormente se explicará las unidades fotométricas utilizadas para determinar la intensidad lumínica de los LEDs). El siguiente desarrollo se basó en el uso del Galio en combinación con el Fósforo (GaP) con lo cual se consiguió una frecuencia de emisión del orden de los 700 nm. A pesar de que se conseguía una eficiencia de conversión electrón-fotón o corriente-luz más elevada que con el GaAsP, esta se producía a relativamente bajas corrientes, un incremento en la corriente no generaba un aumento lineal en la luz emitida, sumado a esto se tenía que la frecuencia de emisión estaba muy cerca del infrarrojo una zona en la cual el ojo no es muy sensible por lo que el LED parecía tener bajo brillo a pesar de su superior desempeño de conversión.

Los siguientes desarrollos, ya entrada la década del 70, introdujeron nuevos colores al espectro. Distinta proporción de materiales produjo distintos colores. Así se consiguieron colores verde y rojo utilizando GaP y ámbar, naranja y rojo de 630nm (el cual es muy visible) utilizando GaAsP. También se desarrollaron LEDs infrarrojos, los cuales se hicieron rápidamente populares en los controles remotos de los televisores y otros artefactos del hogar.

En la década del 80 un nuevo material entró en escena el GaAlAs Galio, Aluminio y Arsénico. Con la introducción de este material el mercado de los LEDs empezó a despegar ya que proveía una mayor performance sobre los LEDs desarrollados previamente. Su brillo era aproximadamente 10 veces superior y además se podía utilizar a elevadas corrientes lo que permitía utilizarlas en circuitos multiplexados con lo que se los podía utilizar en display y letreros de mensaje variable. Sin embargo este material se caracteriza por tener un par de limitaciones, la primera y más evidente es que se conseguían solamente frecuencias del orden de los 660nm (rojo) y segundo que se degradan más rápidamente en el tiempo que los otros materiales, efecto que se hace más notorio ante elevadas temperaturas y humedades. Hay que hacer notar que la calidad del encapsulado es un factor fundamental en la ecuación temporal. Los primeros desarrollos de resinas epoxi para el encapsulado poseían una no muy buena impermeabilidad ante la humedad, además los primeros LEDs se fabricaban manualmente, el

posicionamiento del sustrato y vertido de la resina era realizado por operarios y no por máquinas automáticas como hoy en día, por lo que la calidad del LED era bastante variable y la vida útil mucho menor que la esperada. Hoy en día esos problemas fueron superados y cada vez son más las fábricas que certifican la norma ISO 9000 de calidad de proceso. Además últimamente es más común que las resinas posean inhibidores de rayos UVA y UVB, especialmente en aquellos LEDs destinados al uso en el exterior.

En los 90 se apareció en el mercado tal vez el más exitoso material para producir LEDs hasta la fecha, el AlInGaP Aluminio, Indio, Galio y Fósforo. Las principales virtudes de este tetra compuesto son que se puede conseguir una gama de colores desde el rojo al amarillo cambiando la proporción de los materiales que lo componen y segundo, su vida útil es sensiblemente mayor, a la de sus predecesores, mientras que los primeros LEDs tenían una vida promedio efectiva de 40.000 horas los LEDs de AlInGaP podían durar más de 100.000 horas aun en ambientes de elevada temperatura y humedad.

Es de notar que muy difícilmente un LED se queme, si puede ocurrir que se ponga en cortocircuito o que se abra como un fusible e incluso que explote si se le hace circular una elevada corriente, pero en condiciones normales de uso un LED se degrada o sea que pierde luminosidad a una tasa del 5% anual. Cuando el LED ha perdido el 50% de su brillo inicial, se dice que ha llegado al fin de su vida útil y eso es lo que queremos decir cuando hablamos de vida de un LED. Un rápido cálculo nos da que en un año hay 8760 horas por lo que podemos considerar que un LED de AlInGaP tiene una vida útil de más de 10 años.

Uno de factores fundamentales que atentan contra este número es la temperatura, tanto la temperatura ambiente como la interna generada en el chip, por lo tanto luego nos referiremos a técnicas de diseño de circuito impreso para bajar la temperatura.

Cuando se fabrica el LED, se lo hace depositando por capas a modo de vapores, los distintos materiales que componen el LED, estos materiales se depositan sobre una base o sustrato que influye en la dispersión de la luz. Los primeros LEDs de AlInGaP se depositaban sobre sustratos de GaAs el cual absorbe la luz innecesariamente. Un adelanto en este campo fue reemplazar en un segundo paso el sustrato de GaAs por uno de GaP el cual es transparente, ayudando de esta forma a que más luz sea emitida fuera del encapsulado. Por lo tanto este nuevo proceso dio origen al TS AlInGaP (Transparent Substrate) y los AlInGaP originales pasaron a denominarse AS AlInGaP (Absorbent Substrate). Luego este mismo proceso se utilizó para los LED de GaAlAs dando origen al TS GaAlAs y al AS GaAlAs. En ambos casos la eficiencia luminosa se incrementaba típicamente en un factor de 2 pudiendo llegar en algunos casos a incrementarse en un factor de 10. Como efecto secundario de reemplazar el AS por el TS se nota un pequeño viro al rojo en la frecuencia de emisión, generalmente menor a los 10nm. Al final de los 90 se cerró el círculo sobre los colores del arco iris, cuando gracias a las tareas de investigación de **Shuji Nakamura**, investigador de Nichia, una pequeña empresa fabricante de LEDs de origen japonés, se llegó al desarrollo del LED azul. Este LED siempre había sido difícil de conseguir debido a su elevada

energía de funcionamiento y relativamente baja sensibilidad del ojo a esa frecuencia (del orden de los 460 nm). Hoy en día coexisten varias técnicas diferentes para producir luz azul, una basada en el SiC Silicio – Carbono otra basada en el GaN Galio – Nitrógeno, otra basada en InGaN Indio-Galio-Nitrógeno sobre sustrato de Zafiro y otra GaN sobre sustrato SiC. El compuesto GaN, inventado por Nakamura, es actualmente el más utilizado. Otras técnicas como la de ZnSe Zinc – Selenio ha sido dejadas de lado y al parecer el SiC seguirá el mismo camino debido a su bajo rendimiento de conversión y elevada degradación con la temperatura.

Dado que el azul es un color primario, junto con el verde y el rojo, existe hoy en día la posibilidad de formar el blanco con la combinación de los tres y toda la gama de colores del espectro. Esto permite que los display gigantes y carteles de mensajes variables full color se hagan cada día más habituales en la vida cotidiana. Es también posible lograr otros colores con el mismo material GaN, como por ejemplo el verde azulado o turquesa, de una frecuencia del orden de los 505 nm. Este color es importante ya que es el utilizado para los semáforos y entra dentro de la norma VTCSH parte 2 americana y otras. Su tono azulado lo hace visible para las personas daltónicas. El daltonismo es una enfermedad congénita que hace a quien lo padece ser parcialmente ciego a determinadas frecuencias de color, generalmente dentro de ellas está la correspondiente al verde puro que tiene una frecuencia del orden de los 525 nm.

Otros colores también son posibles de conseguir como por ejemplo el púrpura, violeta o ultravioleta. Este último es muy importante para la creación de una forma más eficiente de producir luz blanca que la mera combinación de los colores primarios, ya que añadiendo fósforo blanco dentro del encapsulado, este absorbe la radiación ultravioleta y emite frecuencia dentro de todo el espectro visible, logrando luz blanca en un proceso similar al que se produce en el interior de los tubos fluorescentes. A veces el fósforo posee una leve tonalidad amarillenta para contrarrestar el tono azulado de la luz del semiconductor. Los datos técnicos fueron obtenidos de distintos fabricantes. Es de notar que la resolución del ojo es del orden de los 3 a 5 nm según el color de que se trate. (fuente: <http://infoleds.wordpress.com/historia-de-los-leds/>, 2008).

2. ANATOMÍA DE UN LED

Los diodos LED existen en varias presentaciones. En este curso se trabajará con la presentación más común del LED, el LED encapsulado:



Imagen: "Estructura de un LED", Fuente: Imágenes GOOGLE, 2008

3. FUNCIONAMIENTO

El LED o Diodo Emisor de Luz es un componente electrónico que pertenece a la familia de los diodos pero que tiene la propiedad de emitir luz cuando se hace circular una corriente eléctrica por él. Los diodos son semiconductores de estado sólido construidos bajo el modelo de capas conductoras y no conductoras, las que al aplicarse una corriente eléctrica cambian sus propiedades conductivas, dependiendo de la polaridad aplicada, es decir, en un sentido conducen la corriente eléctrica y en el otro no la conducen.

El LED es un diodo que agrega una diminuta cámara gaseosa que separa el Ánodo del Cátodo, los que al aplicárseles una corriente eléctrica, excitan el gas produciendo un efecto similar a un arco voltaico. Dependiendo de la composición del gas y los otros elementos sólidos depositados entre ambos electrodos (depósito denominado "chip" por los fabricantes) el gas al excitarse producirá luz de un determinado color e intensidad.

4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL LED

Distintos parámetros físicos determinan un LED, todos los que generalmente se detallan en la "ficha técnica" del LED provista por el fabricante. Entre ellos, los más utilizados por los Diseñadores de focos basados en LED son:

Forward Voltaje (VF)	: 3.2 – 3.4V	(valores típico y máximo)
Forward Current (IF)	: 20 mA	(valor máximo)
Power Dissipation (PD)	: 70 mW	(valor máximo)
Operation Temperature (T Opr)	: -25°C/80°C	(rango de operación)
Luminnus Intensity (IV)	: 2.500 – 3.000 mcd	(para voltajes especificados)
Color Temperature	: 5000-6000°K	(color de la luz)
Viewing Angle	: 80°	(ángulo de apertura)

5. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE ILUMINACIÓN

5.1. La Luz

Luz es la radiación electromagnética visible que se emite en forma de ondas desde una fuente de luz.

Unidades de fotometría del SI

Magnitud	Símbolo	Unidad del SI	Abrev.	Notas
Energía luminosa	Qv	lumen segundo	lm·s	A veces se usa la denominación talbot, ajena al SI
Flujo luminoso	F	lumen (= cd·sr)	lm	Medida de la potencia luminosa percibida
Intensidad luminosa	Iv	candela (= lm/sr)	cd	Una Unidad básica del SI
Luminancia	Lv	candela por metro cuadrado	cd/m ²	A veces se usa la denominación nit, ajena al SI
Iluminancia	Ev	lux (= lm/m ²)	lx	Usado para medir la incidencia de la luz sobre una superficie
Emisión luminosa	Mv	lux (= lm/m ²)	lx	Usado para medir la luz emitida por una superficie
Eficiencia luminosa		lumen por vatio	lm·W ⁻¹	razón de flujo luminoso entre flujo radiante; el máximo posible es 683,002

FUENTE: Wikipedia (<http://es.wikipedia.org/wiki/Candela>)

5.2. Flujo Luminoso

Su unidad es lumen (LM). Bajo este nombre se entiende toda la luz emitida desde su fuente en todas las direcciones del espacio. La relación entre LUMENES y CANDELAS puede obtenerse a partir de la siguiente relación:

$$1 \text{ lumen} = 1 \text{ candela} * \text{ estereorradián}$$

Recurriendo a una fórmula equivalente para un estereorradián, se obtiene una aproximación más práctica:

ENERGY MARKET

$$[LM] = 2 * \pi * (1 - \cos(\text{Alfa}/2)) [CD]$$

o equivalentemente:

$$[LM] = 6,283 * (1 - \cos(\text{Alfa}/2)) [CD]$$

Donde Alfa es ángulo de apertura del LED.

FUENTE: <http://led.linear1.org/lumen.wiz> y Wikipedia
(http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulo_s%C3%B3lido)

5.3. La Intensidad de la Luz

Su unidad es la Candela (CD) y equivale a la radiación de un cuerpo negro a la temperatura de solidificación del platino (2046° K, fuente: Wikipedia, <http://es.wikipedia.org/wiki/Candela>)

5.4. Luminancia o nivel de iluminación

Su unidad es Lux (LX).

Un Lux equivale a un lumen / m². Se usa en fotometría como medida de la intensidad luminosa, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad, un modelo estándar de la sensibilidad a la luz del ojo humano.

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2 = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr} / \text{m}^2$$

El lux es una unidad derivada, basada en el lumen, que a su vez es una unidad derivada basada en la candela.

Un lux equivale a un lumen por metro cuadrado, mientras que un lumen equivale a una candela por estereorradián. El flujo luminoso total de una fuente de una candela equivale a 4 pi lúmenes (puesto que una esfera comprende 4 pi estereorradianes).

Ejemplo	Iluminancia
Noche con estrellas	0,001 Lx
Luna Llena	0,25 Lx
Vela a 1 metro	1 Lx
Iluminación de la calle	10 Lx
Iluminación de un pasillo	80-100 Lx
Salida o puesta de sol en un día despejado	400 Lx
Iluminación de una oficina	400-500 Lx
Estudio de Televisión	1.000 Lx
Invierno nublado	3.200 Lx
Pabellón de Operación	10.000 Lx
Luz solar en un día medio (mín).	32.000 Lx
Luz solar en un día medio (máx).	100.000 Lx
Luz solar en Desierto de Atacama (máx).	129.000 Lx

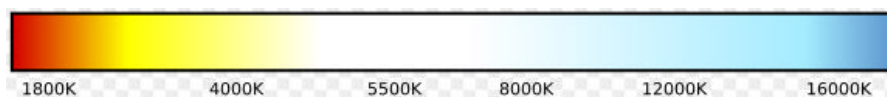
FUENTE: Wikipedia (<http://es.wikipedia.org/wiki/Lux>)
Aportes de Tabla de Iluminancia por Uwe Schnabl, 2008

5.5. Densidad de la Luz

Su unidad es Candela por metro cuadrado (CD/m²). Es la medida para la claridad percibida. La densidad de luz es el flujo por superficie y ángulo del espacio. La vista humana percibe diferencias en densidad de luz como diferencias en claridad.

5.6. Temperatura del color

La Temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un Cuerpo Negro calentado a una temperatura determinada. Por este motivo esta temperatura de color generalmente se expresa en kelvin, a pesar de no reflejar expresamente una medida de temperatura.



FUENTE: Wikipedia (http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Color_temperature.svg)

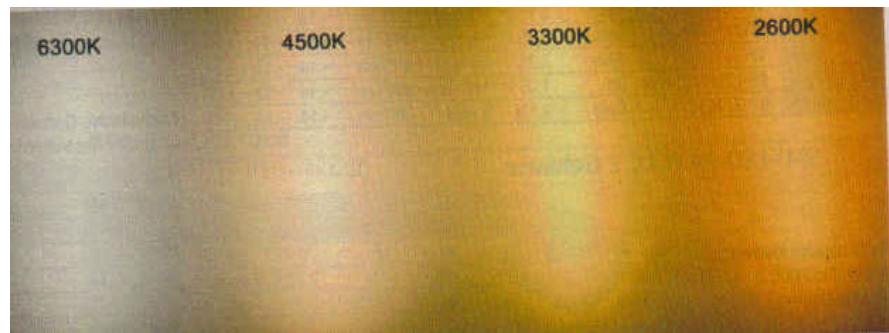


Imagen: Comparación de Temperatura de Color, Fuente: ENERGY MARKET, 2008

Algunos ejemplos aproximados de temperatura de color

- * 1700 K: Luz de una cerilla
- * 1850K : Luz de vela
- * 2800 K: Luz incandescente o de tungsteno (iluminación doméstica convencional)
- * 5500 K: Luz de día, flash electrónico (aproximado)
- * 5770 K: Temperatura de color de la luz del sol pura
- * 6420 K: Lámpara de Xenon
- * 9300 K: Pantalla de televisión convencional
- * 28000 - 30000 K: Relámpago.

6. DURABILIDAD Y CUIDADOS

Los LEDs pueden llegar a durar hasta 100.000 horas en condiciones ideales. Lo que acorta la vida útil del LED es el exceso de corriente, exceso de temperatura, y la humedad. Por ello, en condiciones reales de operación, los LEDs reducen su vida útil considerablemente (30.000 horas en un buen diseño). Proveer un entorno que asegure que la corriente eléctrica no superará el valor máximo de 20mA y baja Temperatura y poca humedad es la primera meta del Diseñador de Focos basados en LEDs.

(preparado por Uwe Schnabl / Hernán Moraga, ENERGY MARKET, 2008)

* * * * *

Para más información, consultoría o desarrollo de su proyecto de iluminación, recurra a los Diseñadores Certificados de Focos Eficientes Basados en LED de la red de ENERGY MARKET, disponible en www.e-market.cl -> CAPACITACIÓN.

**CURSO:
"DISEÑO DE FOCOS DE LEDS EFICIENTES"**

**MÓDULO III:
CIRCUITOS ADECUADOS PARA LEDS**

(Proyecto: "Iluminando Comunidades con Tecnología LED y Eficiencia Energética")

Auspiciadores:

**UNIVERSIDAD
DE LAS AMERICAS**
Laureate International Universities®

CASA KEIM
ELECTRÓNICA

Interface **FLOR**
COMMERCIAL

INTRODUCCIÓN

Un aspecto clave del diseño de focos eficientes basados en LED es el correcto diseño del circuito de alimentación del cluster o arreglo de LEDs.

Generalmente el inexperto cometerá errores que redundarán en una corta vida útil de los LEDs y/o iluminación dispareja.

A continuación se compara un circuito no adecuado que cualquier inexperto usaría con uno al que se le ha adecuado la alimentación de acuerdo a la Ley de Ohm para adaptarlo al uso con LEDs.

1. CIRCUITO NO ADECUADO

Bajo la lógica común de la mayoría de las personas, la forma obvia de conectar más de un diodo LED a una fuente de alimentación determinada, consiste en conectar en paralelo todos los LEDs con una "Acometida" (forma de alimentar el circuito, puntos A y B del diagrama) en el primer LED del arreglo cuya Corriente de alimentación es I_1 , tal como se muestra en la figura:

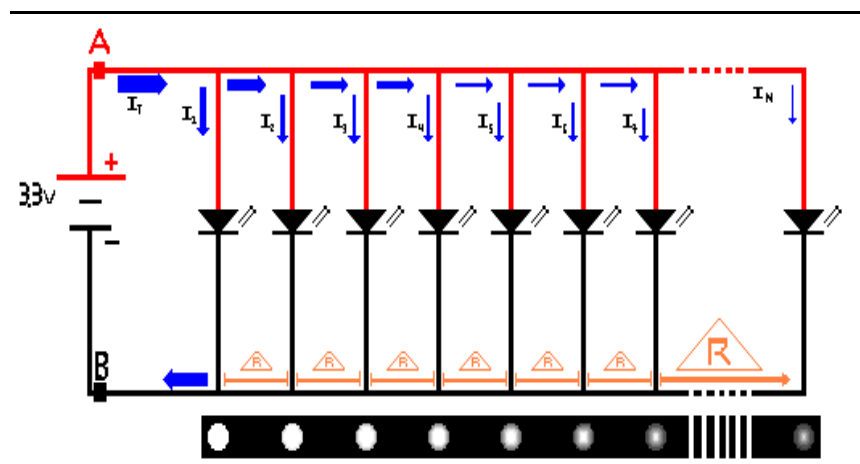


Figura: Circuito no optimizado (Fuente: Jorge Osorio, 2008)

En este circuito, si bien se supondría un Voltaje y Corriente constantes a cada LED conectado, la realidad sugiere que la Corriente disminuye a medida que el LED se aleja de la Fuente, lo que se representa con la barra negra con puntos blancos que representan la luminosidad de cada LED. Esto se produce debido a la Resistencia que posee todo conductor eléctrico, en particular el cable de conexión que se encuentra entre la fuente y los puntos A y B, y también el conductor que se encuentra entre cada diodo LED. Dependiendo del material del conductor, ya sea cobre, aluminio u otra aleación, sus efectos de Resistencia serán diferentes. Esta característica se conoce como el **coeficiente de resistividad eléctrica** y se mide en Ohms [Ω].

El coeficiente de resistividad eléctrica, está relacionado con las características electronegativas que poseen todos los elementos que se encuentran en la naturaleza. De hecho todo elemento conocido posee cierta capacidad de conducir o oponerse al paso de electrones por si mismo. Mientras más electronegativo sea dicho elemento mejor conductor eléctrico será.

2. LEY DE OHM

Según la Ley de Ohm, si se mantiene la fuente de alimentación constante (Voltaje) se observa que al aumentar la Resistencia, la Intensidad (corriente) disminuirá en relación inversa:

$$\begin{aligned} \mathbf{V} &= \mathbf{I} * \mathbf{R} && \text{(Voltaje = Intensidad * Resistencia)} \\ [\mathbf{V}] &= [\mathbf{A}] * [\mathbf{\Omega}] && \text{(unidades: Volt, Ampere, Ohm)} \end{aligned}$$

En el caso puntual del circuito bajo análisis se observa que a medida que aumenta la cantidad de LEDs, la longitud de cable de alimentación al último LED aumenta y por ende el factor de resistividad también aumenta, creando una resistencia invisible que se opone al paso de la corriente. Además si se agrega otros factores tales como la utilización de cable muy delgado, esta resistividad aumenta aún más, haciendo que la corriente que llega a los LEDs más alejados de la fuente de voltaje disminuya en forma significativa. Esto provoca como consecuencia una menor Intensidad de corriente, y por ende menor luz generada en los LEDs más lejanos.

Además, como el diodo LED trabaja dentro de un rango de voltaje de funcionamiento determinado, se crea el problema de que al intentar aumentar el Voltaje de alimentación para el LED más lejano, se causará que el LED más cercano a la fuente se queme por recibir más Voltaje del que por diseño es capaz de soportar. Al quemarse el primer LED de un circuito en equilibrio, el Voltaje (y la Intensidad) del mismo tenderá a subir marginalmente (este fenómeno es similar a cuando se está regando el jardín y simultáneamente alguien está con otra llave abierta en la casa; al cerrar una de las llaves, la presión de la corriente de agua aumenta marginalmente en la llave que queda abierta). Este aumento marginal de Voltaje y Corriente que recibirá cada LED hará que el LED ahora más próximo a la fuente sufra la mayor corriente del circuito y también se queme, lo que se repetirá en cascada hasta terminar dañando todos los LEDs del circuito.

Es útil recordar que existe otra relación de la Ley de Ohm que nos permite calcular la Potencia o Consumo de un componente o circuito eléctrico:

$$\begin{aligned} \mathbf{P} &= \mathbf{V} * \mathbf{I} && \text{(Potencia = Voltaje * Intensidad)} \\ [\mathbf{W}] &= [\mathbf{V}] * [\mathbf{A}] && \text{(unidades: Watt o VA, Volt, Ampere)} \end{aligned}$$

En resumen, la Ley de Ohm nos servirá para Diseñar conceptualmente un circuito adecuado como aquel en que todos los LEDs tienen un circuito de alimentación con idéntica resistencia, es decir, que el conductor sea de un diámetro constante y que el recorrido por dicho conductor entre la Fuente y cada LED sea del mismo largo.

3. CIRCUITO ADECUADO

Aplicando la Ley de Ohm ingeniosamente se obtiene el siguiente circuito adecuado para que cada LED reciba el mismo Voltaje e Intensidad de Corriente:

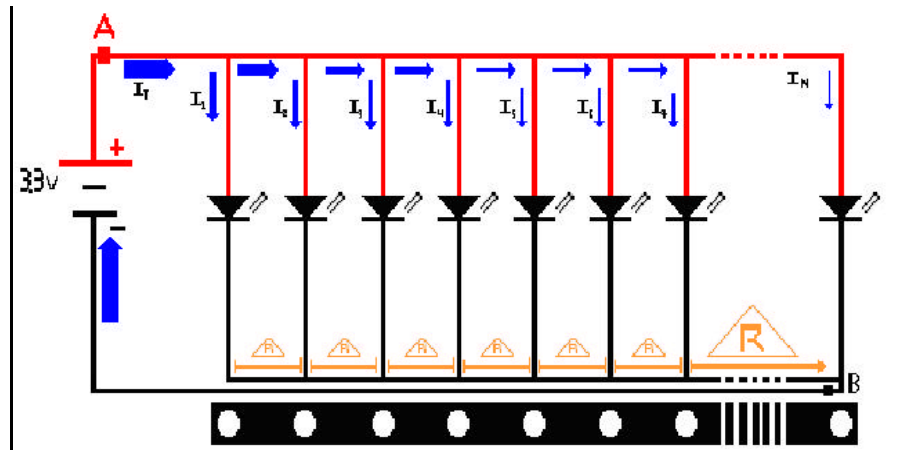


Figura: Circuito optimizado (Fuente: Jorge Osorio, 2008)

De la figura se observa que la acometida de alimentación ahora es Simétrica (por extremos opuestos, señalada con las letras A y B en el circuito). La Acometida Simétrica garantiza que cada LED tenga el mismo recorrido de alimentación o la misma Resistencia y con ello se hace idéntica la Intensidad de cada LED del circuito por la Ley de Ohm ($V = I * R$). Comparando el circuito total de alimentación para encender el LED Nro. 1 con la Corriente I_1 con el circuito total de alimentación para encender el LED Nro. 2 con la Corriente I_2 , se observa que el mayor tramo de circuito de la acometida positiva es compensado con el menor tramo de circuito de la acometida negativa, en un segmento idéntico. Esto hace que todos los LEDs tengan un recorrido de alimentación idéntico o Resistencia idéntica y por ende, la Intensidad de Corriente a la que estarán expuestos también es la misma.

4. OPTIMIZACIÓN DEL CIRCUITO

Lo único que ahora debe preocupar al Diseñador, es proteger al Circuito cuando un o más LEDs se queman, de modo que no se produzca la quemazón en cascada por mayor flujo de Corriente que el que puedan tolerar. Ello se logra mediante: (1) la instalación de un **Conductor Protector Divisor de Voltaje** cuando las series son de dos o más LEDs, y (2) diseñando el circuito con un **consumo máximo de 16 mA** en lugar de 20 mA por LED (margen de seguridad del 20%), lo que se explica en detalle en el módulo de **NORMAS DE DISEÑO DE ENERGY MARKET**.

* * * * *

Para más información, consultoría o desarrollo de su proyecto de iluminación, recurra a los Diseñadores Certificados de Focos Eficientes Basados en LED de la red de ENERGY MARKET, disponible en www.e-market.cl -> CAPACITACIÓN.

**CURSO:
"DISEÑO DE FOCOS DE LEDS EFICIENTES"**

**MÓDULO IV:
ESTÁNDARES DE DISEÑO DE
ENERGY MARKET**

(Proyecto: "Iluminando Comunidades con Tecnología LED y Eficiencia Energética")

Auspiciadores:

**UNIVERSIDAD
DE LAS AMERICAS**
Laureate International Universities®

CASA KEIM
ELECTRÓNICA

Interface **FLOR**
COMMERCIAL

INTRODUCCIÓN

Las siguientes normas de diseño tienen por objetivo crear un modelo de fabricación y servicio técnico común compartido entre los diferentes fabricantes certificados de la red de ENERGY MARKET. Esto permite mejorar significativamente las probabilidades de cierre de negocios, al ofrecer a potenciales clientes una red de servicio post-venta, mejorando la percepción comercial del oferente ante el mandante.

Otro beneficio de adherir al estándar viene con el aumento de la capacidad de producción de cada fabricante, el que puede recurrir a contratar la capacidad que requiere a otros nodos de la red que adhieren al estándar, pudiendo atender pedidos mayores cuando su capacidad de producción esté copada.

Las cuatro normas de diseño propuestas en este módulo obedecen cada una a un imperativo de producción o serviciabilidad, compatible con una conciencia medioambiental. Estas son: Durabilidad, Eficiencia, Simetría y Etiquetado profesional del Foco de LEDs. A continuación se enumeran los cinco estándares de Diseño que utiliza ENERGY MARKET para la fabricación de focos eficientes basados en LEDs:

1. DURABILIDAD: "Extender vida útil de los LEDs"

1.1 Limitar corriente del foco al 80% del máximo teórico

1.2. Protección de LEDs con conductor de aislación

2. EFICIENCIA: "Hacer un uso eficiente de los recursos"

2.1. Mínima resistencia disipadora

2.2. Mínimo desperdicio de materiales

3. SIMETRÍA: "Distribución homogénea de corrientes a series de LEDs"

4. CONTROL DE LA TEMPERATURA

5. ETIQUETADO: "Etiquetar con toda la información del foco y del fabricante"

* * * * *

Para más información, consultoría o desarrollo de su proyecto de iluminación, recurra a los Diseñadores Certificados de Focos Eficientes Basados en LED de la red de ENERGY MARKET, disponible en www.e-market.cl -> CAPACITACIÓN.

Créditos:

Sr. Hernán Moraga, Fundador de ENERGY MARKET.
Sr. Uwe Schabl, Diseñador Certificado de Focos LEDs de ENERGY MARKET.Sr.
Jorge Osorio, Diseñador Certificado de Focos LEDs de ENERGY MARKET.
Roberto Negroni Certificado de Focos LEDs de ENERGY MARKET.

2008, Patrimonio de la Humanidad.