

1.2. Definiciones básicas de los LED

(Extracto de la "Guía sobre Tecnología Led en el alumbrado) Madrid 2015

1.2.1. Prestaciones de los LED

Las prestaciones de los LED, como las de cualquier fuente luminosa, se pueden dividir en cuatro grupos: fotométricas, colorimétricas, eléctricas y de duración o vida.

En las características fotométricas se incluye el flujo luminoso (lm), la intensidad luminosa (cd) y su distribución espacial, así como la eficacia luminosa (lm/W), que desde el inicio de la tecnología de los LED ha ido aumentando y mejorando sustancialmente.

Se debe contemplar que el flujo luminoso emitido por un LED depende de la gestión correcta de cuatro parámetros:

1. La calidad de las sustancias añadidas al silicio con la finalidad de aumentar la generación de fotones. De dicha calidad también va a depender el color de la luz emitida.
2. La intensidad de la corriente eléctrica que atraviesa el LED, que cuanto mayor sea, más elevado será el flujo emitido, aun cuando no es conveniente alimentarlos a más de 700 mA, porque se reduce mucho la vida y la eficacia luminosa (lm/W) baja.
3. La capacidad de disipación del calor, directamente ligada a la intensidad de corriente.
4. El rendimiento del sistema óptico.

Ò Medición de color de los LED

Los LED y las lámparas de descarga emiten una radiación térmica insignificante, así que no siguen la forma de un tradicional espacio planckiano. Sin embargo, al igual que sucede con cualquier color puede representarse utilizando el diagrama de cromaticidad CIE 1931, de modo que cada color queda definido por un punto (X , Y) de éste espacio.

Los puntos de color de los radiadores térmicos están situados en la curva de este espacio a que se ha hecho referencia anteriormente. Los puntos de color de los LED y de las lámparas de descarga están situados en el exterior, pero cerca de la denominada línea curva de Planck.

A pesar de que una temperatura de color (T_c) tan sólo se puede atribuir a puntos situados en la curva planckiana, a los LED y lámparas de descarga también se les asigna una temperatura de color correlacionada (T_{cp}).

Por tanto T_{cp} es la temperatura de color de un radiador planckiano que, según la percepción humana del color, más se corresponde a la luz de la fuente, es decir, con el punto de lugar planckiano que se encuentra más cercano al punto de color de la fuente.

Ò Uniformidad de color

Lo esencial para iluminar con LED, está asegurado cuando durante su vida útil todos los LED funcionan dentro de una tolerancia aceptable en cuanto a desviación de color.

Para definir la "tolerancia aceptable", los fabricantes de LED han adoptado el sistema de medición de uniformidad de color mediante las elipses de MacAdam y los pasos de SDCM (*Standard Deviation of Colour*

Matching) o lo que es lo mismo, Desviación Estandar de Correspondencia de Colores.

Las diferencias de color se perciben de manera distinta por los humanos. Por ejemplo, las diferencias entre LED azules se perciben mucho mejor que las diferencias entre LED verdes.

Las elipses de MacAdam resaltan las zonas del diagrama de cromaticidad del espacio de color CIE 1931, en el que el ojo humano es incapaz de percibir ninguna diferencia en el color. Según el área de color, las elipses tienen tamaños distintos, de acuerdo con la sensibilidad al color del ojo humano en ese rango específico de colores.

Así, una elipse de MacAdam pequeña indica que en esa área de color los humanos tienen una alta sensibilidad. Cuando se seleccionan LED en esos colores, los LED tienen que encajar exactamente, pues las diferencias de color se perciben con mayor facilidad.

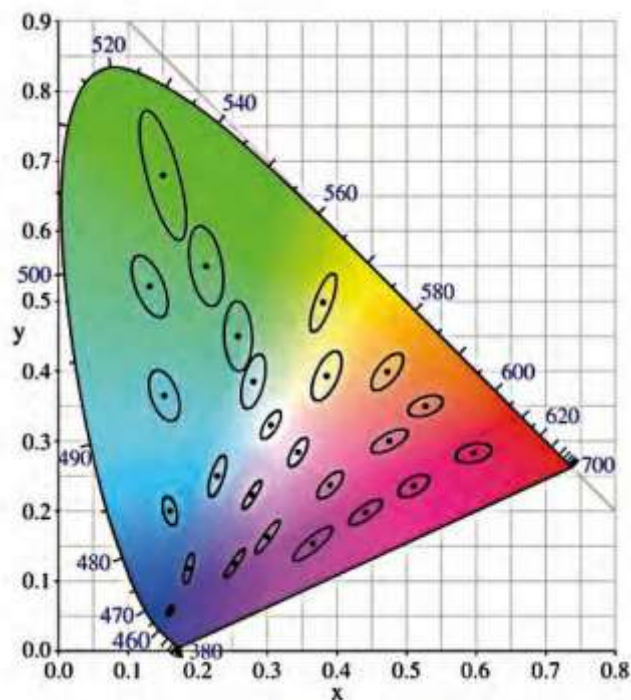


Figura 14. Elipses MacAdam.

Las elipses de MacAdam constituyen un sistema de medición del color, ya que cuantifican el nivel de variación de color posible en estos ejes antes de que el ojo humano pueda detectar algún cambio de color.

Por tanto, se pueden trazar una serie de elipses alrededor de cualquier punto deseado, y cuanto más cerca del objetivo se encuentre un LED, menos desviación de color se notará cuando dichos LED se coloquen unos al lado de los otros en una instalación de iluminación.

La distancia desde el punto deseado en cada elipse se mide en SDCM de manera, por ejemplo, que una SDCM de 1 paso significa que no existen diferencias de color entre LED, mientras que 2 ó 3 pasos implican que apenas existe alguna diferencia visible de color.

Aun cuando en el mercado se acepta hasta una uniformidad de color de 7 SDCM, se recomienda que el número de pasos de SDCM sea como máximo 5, como límite deseable de uniformidad de color.

1.2.2. Generación de luz blanca

Por luz blanca se entiende todas aquellas fuentes emisoras que se sitúan en una zona determinada dentro del diagrama cromático (CIE 1931).

No existe material de LED que pueda generar luz blanca directamente, la luz blanca se consigue mezclando varios colores únicos, existen dos formas de conseguir esta luz blanca.

Ø Primer sistema

Utilizando a la vez diferentes tipos de LED monocromáticos y mezclando la luz emitida por un chip rojo, otro chip verde y finalmente un chip azul, cuya suma resultante es una emisión de luz blanca.

Este método se ha descartado no sólo por su coste sino también porque el rendimiento de color Ra obtenido es muy pobre.



Figura 15. Sistemas para conseguir luz blanca.

Ø Segundo sistema

Otro método consiste en utilizar un chip azul con una capa de fósforo amarillo, exactamente como se hace con la fluorescencia, es decir, se aplica el mismo principio. Y en función de la mezcla de los fósforos se obtienen LED con diferentes temperaturas de color.

En este segundo sistema se utiliza un solo chip azul con un recubrimiento individual por cada chip de fósforo, en este proceso de fabricación se tiene que ser muy meticuloso en la uniformidad del recubrimiento del chip azul, para evitar acumulaciones, que origine una distribución poco homogénea.

Si se emplea LED de color azul con fósforos amarillos, se obtendrá un LED blanco frío, con relativamente

buena reproducción cromática con un rendimiento de color Ra en torno a 70.

En el caso de usar fósforos rojos y verdes junto al chip azul se puede obtener un LED blanco cálido de mejor reproducción cromática $R_a > 80$, pero en cambio se logrará algo menos de flujo luminoso.

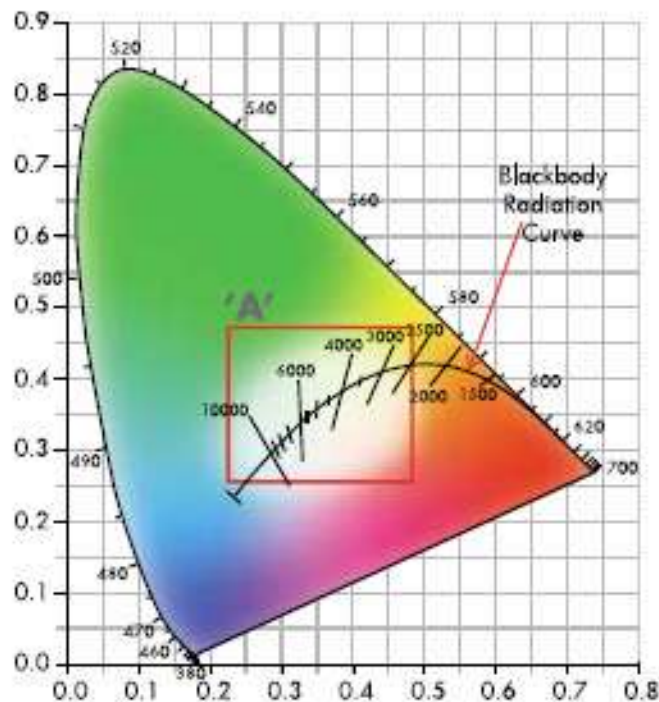
Durante el proceso de fabricación resulta de especial importancia la precisión con la que se distribuye la capa de fósforos, para que el haz luminoso que produce el LED tenga una adecuada consistencia de color.

Proceso binning

En la producción de los LED el número de parámetros del proceso es muy elevado y difícil de controlar, lo que supone que las propiedades de los LED pueden variar significativamente.

Por tanto, debido a la variación del tono de luz o temperatura de color, flujo luminoso, rango y nivel de tensión de los LED, los fabricantes se ven obligados a efectuar una selección mediante un triaje selectivo denominado *binning* en diferentes *bin*, lotes o categorías, que consiste en líneas generales en rechazar los LED cuya tensión, flujo luminoso y las características de temperatura de color no ofrecen una garantía de fiabilidad, calidad de luz.

El *binning* selección por el cual distintos tipos y lotes, variaciones entre los categoría.



constituye un proceso de se clasifican los LED en de forma que no existan LED de un mismo *bin* o

Figura 16. Clasificación mediante *binning*.

En lo que respecta a la tonalidad del color los distintos *bin* o lotes se pueden establecer para diferentes temperaturas de color, mediante elipse de MacAdam con diferentes pasos, generalmente 3 SDMC ó desviación estándar 3, resultan- do recomendable que el número de pasos máximos SDMC sea como mucho 5, como se ha señalado anteriormente.

Se puede decir que cada *bin* lote o categoría obtenido de la producción de un concreto tipo de LED, es el color que se puede alcanzar en una carta "RAL" en pintura o "PANTONE" en tintas.

La utilización en una instalación de iluminación mediante LED de un único *bin* o lote, asegura que la uniformidad en cuanto al color de una concreta aplicación será prácticamente la misma a lo largo del tiempo.

Al día de la fecha la norma ANSI C78.377-2008 especifica las coordenadas cromáticas de los LED para iluminación interior, así como el tamaño aceptable de lotes de *binning* para los LED blancos.

En lo que incumbe al color la clasificación que se establezca, por ejemplo, en Bin 1, Bin 2, Bin 3, indica lo lejos que se encuentra respecto al parámetro a definir, cuanto menor sea el número de bin menos disperso está respecto al color.

Para diferentes tipos de blanco se dispone de un número diferente de *binning*.

- Blanco frío 10.000 K – 5.000 K = 13 *binnings*.
- Blanco cálido 4.000 K – 2.500 K = 12 *binnings*.



Figura 17. Ejemplo de problemas de color de LED.

1.2.3. Colores de los LED

La apariencia o tono de color hace referencia a la luz emitida por la fuente según se encuentre su espectro dentro del diagrama cromático del CIE (Comisión Internacional de Iluminación), y se conoce habitualmente como temperatura de color, que se ha definido anteriormente.

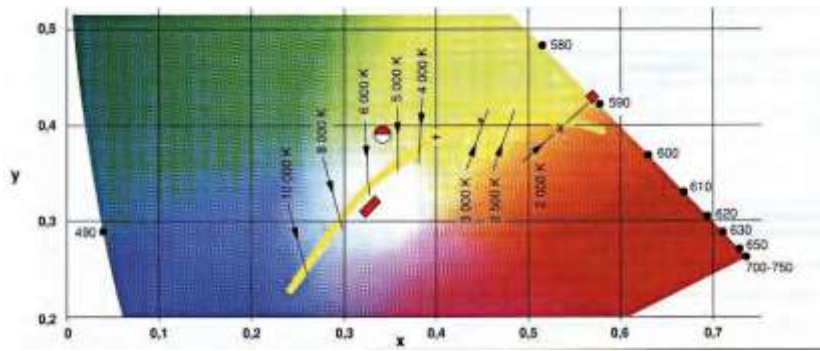


Figura 18. Temperaturas de color.

El color de los LED proviene del material que compone cada chip y cada uno de ellos se encuentra en un punto del espectro.

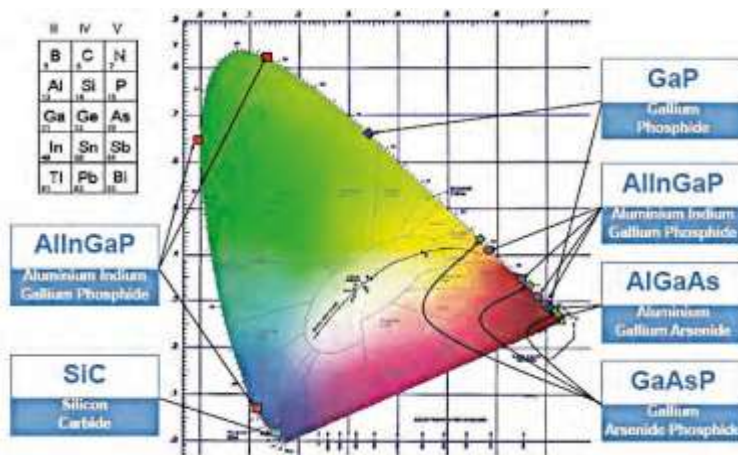


Figura 19. Color del LED en función del material que compone cada chip.

Otra característica importante es que los colores resultantes son muy saturados. En las gráficas se puede ver y compararlo con el color generado por lámparas halógenas.

1.2.4. Vida de las fuentes de luz

Existen diferentes parámetros que definen la vida de una lámpara. El primero de ellos es la **vida individual**, lo que nos indica el número de horas de encendido de una lámpara. No es el índice usado habitualmente.

El siguiente parámetro es el de **vida media**, y es el resultado de un estudio estadístico de una determinada población o muestra, y nos indica el tiempo transcurrido hasta que falla el 50% de la muestra o población utilizada para el ensayo.

Existe un parámetro vinculado a estos ensayos que es el número de ciclos de encendido y apagado alternando horas encendidas y horas apagadas. La duración del mismo varía en función de la tecnología de la lámpara.

Para lámparas fluorescentes, se suelen utilizar ciclos de conmutación de 3 horas y 11 horas para las lámparas de descarga de alta intensidad. Estos ciclos intentan simular los periodos reales de encendido a los que se

someten las lámparas en su aplicación final, por ello se facilita información para lámparas fluorescentes para ciclos de encendido de 8 y 11 horas.

Finalmente, también se utiliza el término **vida útil**, y este es el que más ayuda a obtener un mantenimiento óptimo de una instalación, ya que tiene en cuenta dos parámetros importantes de una lámpara, la curva del flujo luminoso y la curva de supervivencia. También considerar las pérdidas de ambas curvas entre el 20% y el 30%.

En este caso la normativa exige que la vida que se facilite de los LED sea L70/ F50, que significa que ha de ser vida nominal media del 50% o bien el mantenimiento del 70% del flujo luminoso, aplicando aquello que acontezca antes.

1.2.4.1. Diferentes disposiciones de LED

Son dos las técnicas principales para montar LED en la superficie de una placa de circuito impreso (pcb):

- Tecnología Chip on Board (COB): Los diferentes componentes del LED (chip, hilo de unión, convertidor etc.) se montan sobre la placa de circuito impreso.
- Tecnología de montaje en superficie (SMD): Los diferentes componentes del LED son premontados en cápsulas. La unidad se suelda a la placa de circuito impreso como una única pieza.

La decisión de cuál de las dos tecnologías debe utilizarse depende principalmente de la aplicación propuesta. Típicamente la tecnología SMD se usa más para módulos de superficie, mientras que la tecnología COB se aplica para módulos compactos.



Figura 25. Módulo SMD.



Figura 26. Módulo COB.

1.2.5. Regulación de los LED

Los LED pueden ser fácilmente regulables reduciendo la corriente eléctrica que fluye a través del LED.

Para alcanzar esta regulación se aplican dos técnicas diferentes.

- Regulación Analógica.
- Modulación de anchura de impulso (PWM).

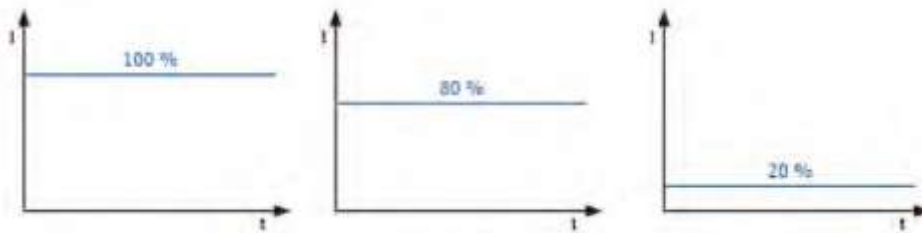


Figura 27. Regulación analógica con diferentes niveles de regulación.

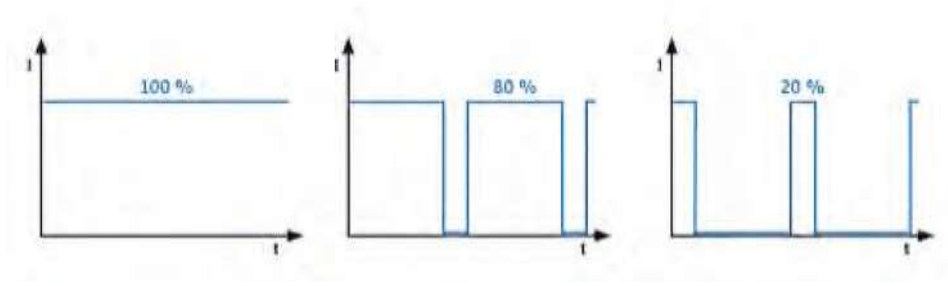


Figura 28. Regulación con PWM.

La regulación analógica significa que la amplitud de la Intensidad de paso es reducida. Cuando se emplea la técnica PWM, la amplitud se mantiene constante, pero el flujo de intensidad es interrumpido según una determinada frecuencia PWM. Cuanto mayor sean estas interrupciones, menor será la Intensidad media efectiva a través del LED y, por tanto, también se reducirá la luminosidad percibida. El ojo humano en general no puede percibir el parpadeo, aunque la iluminación esté de hecho siendo modulada.

Especialmente a valores de luminosidad bajos, la regulación analógica tiene sus limitaciones.

En algunos casos pueden aparecer diferencias entre LED en la emisión de luz o desviaciones en cuanto a la cromaticidad establecida. La regulación PWM en cambio no tiene estas limitaciones.

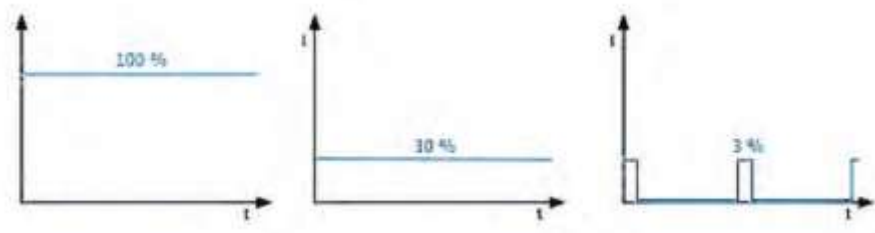


Figura 29. Regulación combinada analógica y PWM.

Para alcanzar un comportamiento optimizado de regulación ambos métodos de regulación pueden ser combinados. Por ejemplo, la regulación analógica puede ser utilizada para niveles de regulación de entre 100 y 30%. Para niveles inferiores al 30% se puede cambiar a regulación PWM sin ningún efecto. Con esta combinación los problemas de regulación analógica se evitan.

1.3. Características de los LED

Gracias a sus numerosas ventajas, la tecnología LED se está imponiendo como la mejor alternativa a la hora de elegir un sistema de iluminación eficiente y flexible. La continua innovación, la falta de visibilidad sobre los estándares y la llegada de nuevos fabricantes con ofertas muy diferentes, pueden convertir la elección en una tarea difícil. Los puntos a tener en cuenta para elegir el sistema de alumbrado adecuado son los siguientes:

La iluminación LED es una iluminación basada en un elemento electrónico muy común: el chip. Trabajar este chip requiere muchos conocimientos tanto de electrónica como en iluminación.

Tres elementos clave definen la calidad y la durabilidad de un producto de LED:

- **La calidad del chip de LED.** El proceso de fabricación de un chip de LED para la iluminación es muy delicado. Cualquier alteración en este proceso puede modificar uno de los parámetros esenciales del

chip. Puede tener consecuencias sobre el flujo luminoso, la consistencia del color o la vida útil del chip. Los grandes fabricantes seleccionan sus chips para garantizar unos productos homogéneos que se comporten de la misma manera a lo largo de su vida útil. Así se evitan las variaciones de intensidad y/o de temperatura de color o los fallos prematuros de algunos productos en la misma instalación.

- **La gestión del calor.** El peor enemigo del chip de LED es el calor. Se debe tener en cuenta que el propio chip también produce calor al generar luz, dirigido hacia los equipos electrónicos que también hay que proteger para garantizar su buen funcionamiento.

Composición de un sistema de iluminación LED básico tal y como es una lámpara:



Figura 30. Disipador de calor.

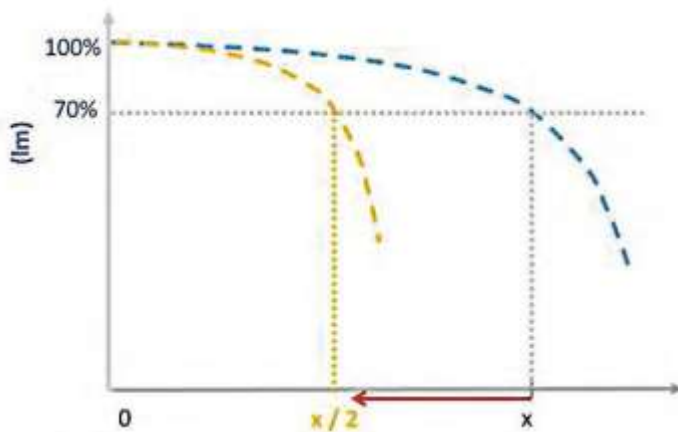


Figura 31. Ejemplo del impacto de un sistema de gestión malo sobre sobre la duración del LED.

- **La distribución luminosa.** La luz producida por un chip de LED es muy intensa y directa. Para proponer productos con una luz homogénea y una correcta distribución de la luz, en función de la aplicación para la cual el producto de LED está diseñado, los grandes fabricantes trabajan intensamente en las ópticas primarias y secundarias del producto, al objeto de cumplir con las especificaciones y garantizar

el confort de los usuarios. Una mala iluminación pueden tener un impacto sobre las personas que utilizan la instalación. Por ejemplo, en una oficina puede afectar la productividad de los trabajadores causando fatiga, falta de concentración, etc.

1.3.1. Diferencia entre chip de LED y sistema de iluminación

En el apartado anterior se ha hablado del chip de LED, demostrando que su utilización en un sistema de iluminación LED requiere un diseño específico de los puntos más delicados de la tecnología LED e implica añadir varios elementos: driver, disipador, ópticas, etc.

En la siguiente figura se puede ver la diferencia entre la eficiencia inicial o eficacia luminosa del chip de LED y la del sistema de iluminación. La eficacia se mide en lm/W.

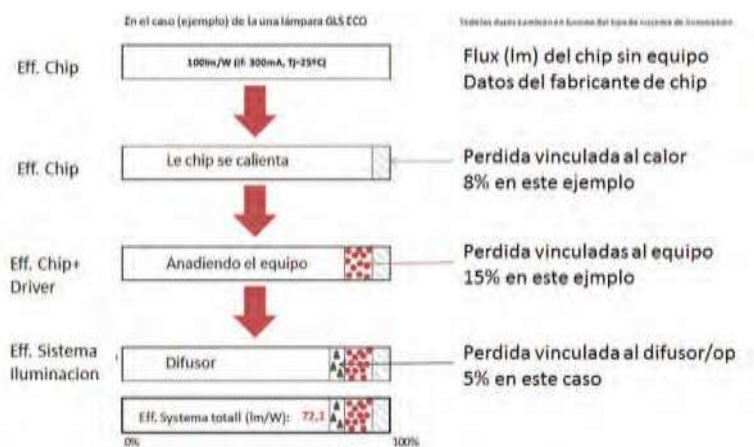


Figura 32. Eficacia real de la lámpara.

1.3.2. Estándares de los sistemas de iluminación LED

A) La vida útil de un producto de iluminación LED

La vida útil de un producto de iluminación LED se define como el tiempo que dura el producto hasta que el flujo inicial del sistema se haya degradado un 30%. Cuando se llega a este punto de degradación se considera que el producto ha llegado al final de su vida útil. Se representa mediante L70. En la siguiente figura se muestra una curva de mantenimiento de flujo a lo largo de la vida útil del producto.

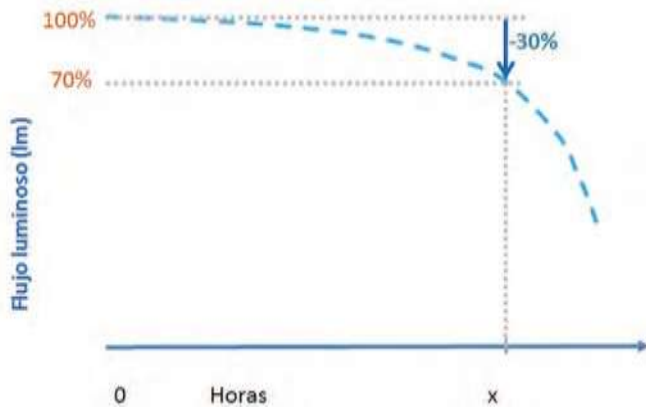


Figura 33. Disminución del flujo luminoso en función del tiempo.

B) La eficiencia energética del sistema LED

Desde septiembre de 2013 para las lámparas, y pronto para las luminarias, todos los equipos de LED deberán tener una etiqueta energética que permita conocer directamente la eficiencia energética del producto.

Siendo A++ el mejor nivel de eficiencia energética aceptado para los LED.

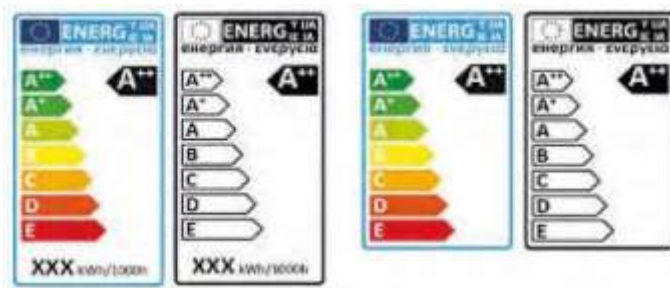


Figura 34. Ejemplo de etiqueta energética.

C) Los ciclos de encendido y apagado y la consistencia de los colores a lo largo de su vida útil

También desde septiembre de 2013, los fabricantes a través de la misma normativa europea el Reglamento (UE) n° 1194/2012, tienen que comunicar claramente o por lo menos en su página web:

- Los ciclos de encendido de las lámparas (o por lo menos la mitad de la vida útil del producto).
- La consistencia de los colores con el índice de elipses Macadam (δ MCD, siendo el máximo permitido).
- Las curvas de longitud de onda para las lámparas reflectoras.

Teniendo estos datos, se puede asegurar la calidad de una lámpara LED.

1.3.3. Ventajas de la tecnología LED

A) Una tecnología segura y resistente

- Las lámparas LED funcionan muy bien hasta cuando hay vibraciones.
- También funcionan bien en ambiente muy fríos.
- No contienen mercurio.

B) Son ahorros garantizados

- En cuanto a energía, consumen hasta un 90% menos que los sistemas basados en la incandescencia y hasta un 60% menos que los sistemas de fluorescencia.
- Son mucho más eficientes.
- Permiten ahorrar en gastos de mantenimiento gracias a su larga vida.

C) Es una tecnología mucho más flexible

- Es fácilmente regulable y de muchas maneras diferentes: control de fase, 1–10 V, DALI, protocolos sin cable, etc.
- Tiene un tamaño compacto y permite diseños innovadores y atractivos.
- Se enciende de manera instantánea al 100% del flujo.

1.4. Ventajas de la tecnología LED

1.4.1. Introducción

Las posibilidades de nuevos diseños que aporta la iluminación con LED abren toda una gama de opciones eficientes en el desarrollo de nuevos proyectos y las ventajas que ofrecen en cuanto a consumo, prestaciones, mantenimiento y larga vida útil dejan bien claro el camino hacia este tipo de iluminación en el alumbrado general interior y exterior, posible ya en este momento en muchas situaciones y con claro potencial de mejora en un futuro muy próximo.

Quando se habla de eficiencia energética en iluminación, se deben contemplar todos los aspectos que afectan a las prestaciones y a la calidad del sistema en cuestión, sin olvidar el objetivo del proyecto, que es proporcionar una adecuada iluminación, en cantidad y calidad, a los usuarios.

Una primera consideración consiste en comparar la eficiencia energética del sistema como tal, en términos estrictos de consumo. Pero si se desea que la comparación sea correcta, se tendrán que enfrentar prestaciones, así como tener en cuenta la adaptación del sistema al uso del espacio a iluminar y, por último reparar en las mejoras en el mantenimiento, dentro del conjunto de un Proyecto de Iluminación.

1.4.2. Eficiencia de una luminaria

Eficiencia (lm/W): es la relación entre el flujo luminoso de salida (lúmenes) y la potencia que entra al sistema (vatios).

Es un concepto simple que, sin embargo, hay que contemplar teniendo en cuenta ciertas consideraciones:

Una fuente de luz (halógena, fluorescente, LED, etc.) tiene una eficiencia o eficacia luminosa inicial, es decir, una relación entre el flujo que proporcionan y la potencia necesaria para generar ese flujo.

No obstante, en muchos casos, esa fuente de luz no puede funcionar por sí misma, sino que debe incorporar algún equipo que le proporcione las condiciones adecuadas para su arranque y correcto funcionamiento. Estos equipos tienen, a su vez, una determinada eficiencia energética, puesto que presentan siempre algún tipo de pérdida durante el proceso de adaptación de la corriente eléctrica a las condiciones que la fuente de luz necesita.

Por último, en las luminarias se integran distintos sistemas ópticos (reflectores, difusores, aletas antideslumbrantes, etc.) cuya finalidad es obtener una distribución luminosa de la luz adecuada al uso que se quiera dar a la luminaria.

Existen multitud de estos elementos y cada uno de ellos tiene su propio *rendimiento*, es decir, la cantidad de flujo que es capaz de extraer de la fuente de luz.

De esta forma, tradicionalmente se expresa la eficiencia de una luminaria mediante tres parámetros que el diseñador debe considerar:

- Flujo luminoso de las fuentes de luz (lámparas y LED).
- Potencia del sistema (lámpara o LED + equipo o driver).
- Rendimiento (en %) del sistema óptico: η .

El flujo final de salida de la luminaria se calcula como el flujo de la lámpara o LED, multiplicado por el rendimiento de la luminaria. La potencia a considerar es la que demandan la lámpara o LED y el equipo o driver en conjunto.



Figura 35. Características lámpara tradicional.

Al incorporarse las luminarias LED al mercado, surgen distintas formas de expresar sus características. Es posible encontrar datos fotométricos para luminarias LED en la forma tradicional descrita anteriormente. Sin embargo, es muy habitual medir en laboratorio el flujo luminoso de la salida de luz del conjunto y el consumo global del

sistema, en unas condiciones determinadas.

Los datos fotométricos que proporciona el fabricante en este caso vienen expresados en flujo final, o en flujo con rendimiento al 100%.

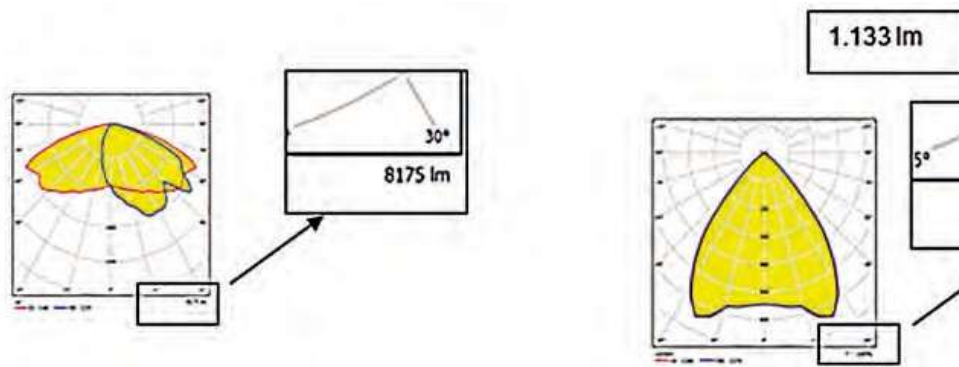


Figura 36. Datos fotométricos.

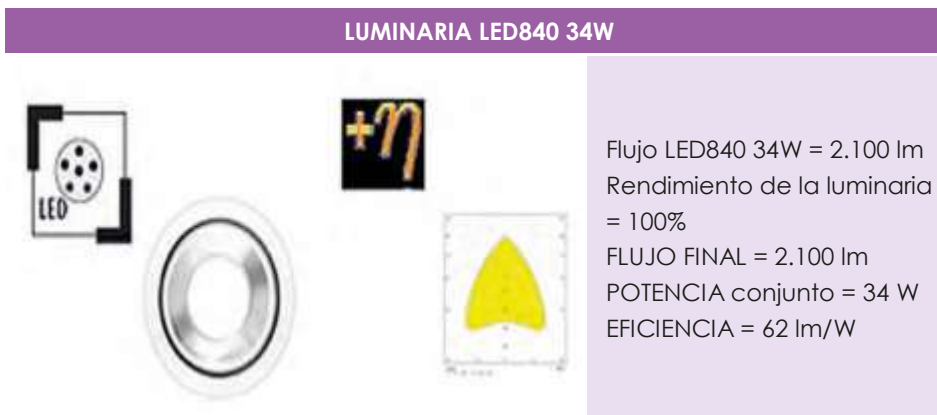


Figura 37. Características lámparas LED.

1.4.3. Eficiencia del LED

Para evaluar correctamente la eficiencia energética de los LED es necesario comprender algunos aspectos relativos al funcionamiento de los mismos.

En primer lugar se deben considerar los factores que condicionan la eficiencia del diodo o del módulo LED y luego, cómo dependen del funcionamiento del conjunto.

Hay muchos factores que intervienen en la eficiencia del LED, pero los más notables para prescriptores y consumidores son tres:

- Método de obtención de la luz blanca.
- Atributos de la calidad del color.
- Intensidad/densidad de corriente.

1.4.3.1. Método de obtención de la luz blanca

Como se ha visto en capítulos anteriores, la luz procedente del LED no es originalmente blanca. El método utilizado para convertir la luz procedente del diodo en luz blanca determina la eficacia de este proceso.

El primer método es el de la *mezcla aditiva de colores*. En este caso, la luz blanca se produce mezclando diferentes LED que producen luz roja, verde y azul (RGB).

El segundo método es la conversión mediante el método de *fotoluminiscencia*, con una fina capa de fósforo aplicada sobre uno o varios LED.

Existen también otros métodos mixtos que buscan una mejor calidad de la luz, como la incorporación de LED rojos a los módulos con capa de fósforo.

Actualmente, la forma más eficaz y extendida es el de conversión mediante capa de fósforo. No obstante, existen investigaciones que inciden en que las expectativas de mejorar la eficacia en el futuro son mejores en los sistemas de transformación mediante la mezcla aditiva de colores, por lo que se prevé un desarrollo hacia estos sistemas o hacia sistemas híbridos.

1.4.3.2. Variaciones de eficiencia con la temperatura y rendimiento de color

Se puede observar en los productos actualmente en el mercado que los flujos, para un mismo consumo, varían al elegir distintos tonos de blanco (más cálido o más frío) o una capacidad de reproducción cromática mayor.

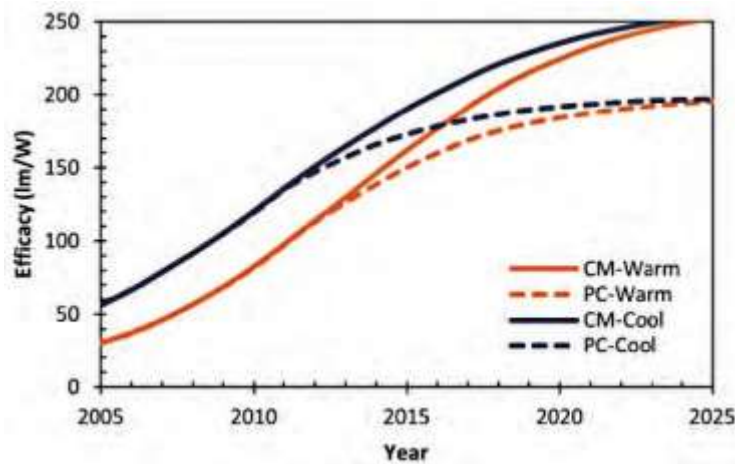


Figura 38. Evolución de la eficacia con el transcurso de los años.

Conseguir un determinado tono de blanco (Temperatura de color correlacionada T_{cp}), o un rendimiento de color (R_a) más elevado, requiere cambios en la distribución espectral de la fuente de luz. Cada color particular de la luz tiene un espectro de emisión propio y cada espectro libera un nivel de energía diferente.

Los rendimientos de color (R_a) más elevados precisan, en general, de un espectro de radiación más amplio. En

consecuencia, dentro de una misma familia de productos, aquellos con mayor Ra suelen consumir más energía.

Esto significa que la eficiencia luminosa de la radiación emitida variará y, por lo tanto, es de esperar que los LED con distintas temperaturas de color, o con diversos rendimientos de color (Ra) tengan también diferentes eficiencias o eficacias luminosas.

Las investigaciones en la mejora de la eficiencia relacionada con estos dos conceptos apuntan a que, en el futuro, estas diferencias sean cada vez menores.

1.4.3.3. Intensidad eléctrica de alimentación

Como regla general, la alimentación de los LED con intensidades de corriente altas, produce flujos luminosos de salida mayores, pero a costa de una eficiencia energética menor. Este descenso de eficiencia está siendo investigado por los fabricantes con el objetivo de reducir las pérdidas.

La elección de LED de una determinada intensidad de alimentación para su instalación en una lámpara o en una luminaria LED, dependerá de la finalidad perseguida por el fabricante, en función del uso al que esté destinada.

Para iluminación general, los fabricantes utilizan LED de media o de alta potencia. Los primeros se alimentan con intensidades de corriente habitualmente inferiores a 100 mA, mientras que los segundos lo hacen con intensidades típicas de 350 mA, 500 mA, 700 mA e incluso 1.000 mA.

1.4.4. Lámparas tradicionales en relación con los LED

- **Lámparas incandescentes y halógenas:** su eficiencia o eficacia luminosa típica está entre 10 lm/W y 26 lm/W. Existen disponibles en el mercado nuevas lámparas halógenas con la eficiencia mejorada y algunas investigaciones apuntan a que pueden alcanzarse los 45 lm/W en laboratorio, pero el dato no ha sido verificado aún de forma independiente.
- **Lámparas fluorescentes:** su eficiencia varía mucho dependiendo del tipo de lámpara, de la longitud, de la potencia o de la calidad de la luz y la temperatura de color. Las eficiencias o eficacias luminosas varían desde 25 lm/W hasta 118 lm/W, sin tener en cuenta las pérdidas de los balastos.

En los últimos años la eficiencia y calidad de las lámparas fluorescentes ha mejorado considerablemente mediante distintas tecnologías. Pero, fundamentalmente, lo que ha hecho incrementar la eficiencia del sistema balasto + lámpara ha sido la incorporación de balastos electrónicos, llegándose a valores de eficiencia en torno a 110 lm/W para el conjunto balasto electrónico-lámpara fluorescente.

- **Lámparas de descarga de alta intensidad HID** (exceptuando las de vapor de mercurio): son las lámparas más eficientes presentes hoy en día en el mercado, con eficacias luminosas que alcanzan los 115 lm/W, incluyendo el equipo para halogenuros metálicos y hasta 140 lm/W para vapor de sodio. Sin embargo, estas altas eficiencias se consiguen a menudo a expensas de la calidad de la luz
- **Las lámparas de vapor de sodio de alta intensidad** son la que ofrecen eficiencias más elevadas, pero la calidad de la luz que proporcionan en cuanto a temperatura de color o tono de luz y reproducción cromática, solo las hace aptas para determinadas aplicaciones
- **Las lámparas de halogenuros metálicos** con tecnología cerámica ofrecen una buena calidad en la

reproducción cromática de los colores que, en algunos casos, es comparable a la de las fluorescentes. La investigación continúa para mejorar la eficacia luminosa y la calidad de estas lámparas.

La dificultad para la regulación de este tipo de lámpara hace que pierdan posiciones en Proyectos de Iluminación en los que la eficiencia sea prioritaria.

Algunos fabricantes de LED han alcanzado ya los 200 lm/W de emisión y se esperan mejoras en los próximos años. En su incorporación a sistemas utilizables por el consumidor (lámparas LED y luminarias LED) existen ya eficacias luminosas cercanas a los 120 lm/W, dependiendo de la temperatura de color elegida y de su rendimiento de color.

Las fuentes de luz tradicionales se basan en tecnologías maduras que han evolucionado mucho desde sus comienzos para poder ofrecer sus cualidades actuales. La investigación en la mejora de estas fuentes continúa activa, de tal forma que los fabricantes podrán ofrecer mejores prestaciones y mayores eficacias luminosas en el futuro, pero el potencial de mejora que presentan no es tan alto como en los LED, tecnología muy joven, susceptible, por lo tanto, de evolucionar mucho en los próximos años.

2.1. Tipos de LED

2.1.1. Sistemas de alumbrado LED

Los sistemas de alumbrado LED están constituidos por distintos dispositivos (luminarias, LED, drivers y sus correspondientes circuitos), que componen el producto final a instalar y que, por consiguiente, son los que demuestran las ventajas que ofrece la tecnología LED, en relación a otras técnicas convencionales de iluminación.

De hecho, un sistema de alumbrado LED mal diseñado en alguno de sus componentes o dispositivos, puede fomentar la idea de que la tecnología LED todavía no está preparada para sustituir a las técnicas tradicionales, lo cual no se ajusta a la realidad.

Antes de proseguir, se considera conveniente aclarar el concepto de sistema de alumbrado LED, que puede definirse como aquel que incorpora la tecnología LED necesaria para obtener una luminaria, que integre una fuente de luz LED con todos los dispositivos precisos para el funcionamiento y protección de los distintos componentes y, que además, disponga de todos los circuitos auxiliares indispensables, así como de una correcta conexión con la red de alimentación eléctrica.

Un sistema de alumbrado LED está compuesto por varios dispositivos como luminaria, fuente de luz (lámparas, tiras o módulos LED), equipo de alimentación (driver), que deben ajustarse a las especificaciones establecidas en la normativa vigente.

Como los sistemas de alumbrado LED no facilitan las mismas prestaciones que los propios diodos LED de forma individual o independiente, el fabricante debe suministrar datos concretos, precisos y fiables sobre las características luminotécnicas, térmicas, eléctricas y de seguridad, con la finalidad de que su producto quede totalmente caracterizado.

En este apartado se expone lo referente a los tipos de LED, mientras que en el siguiente se desarrolla lo relativo a las luminarias, y en el 2.3 se contemplan los *drivers* y el control y regulación de la luz, para finalizar con el 2.4 que se refiere a las aplicaciones de los sistemas de alumbrado LED.

2.1.2. Tipos de LED

En el campo de la iluminación se disponen de diferentes tecnologías para conseguir una fuente de luz, tradicionalmente se clasificaban por lámparas incandescentes y lámparas de descarga, que agrupaban el mayor porcentaje de las fuentes de luz, aun cuando, con un nicho más reducido, también se encuentran las lámparas de inducción.


Con los LED aparece un nuevo principio de generación de luz producida desde dispositivos en estado sólido, del acrónimo en inglés SSL (*Solid State Lighting*). Irrumpe una nueva tecnología para la generación de luz, que está avanzando de forma exponencial y, aunque aún todavía no cubre la sustitución de todas las tecnologías y fuentes de luz, sí que apunta a sustituir la gran mayoría de ellas a medio y largo plazo, ya sea a través de lámparas de sustitución directa, conocidas como lámparas retrofit, hasta la reposición completa de luminaria y punto de luz en un solo elemento.

Básicamente existen tres tipos de LED, para aplicaciones específicas y con características particulares para cada una de ellas.

Tabla 1. Tipos de LED.

LED de 3 mm y 5 mm	
	Señales publicitarias, indicadores, retroiluminación, (frigorífico, TV, etc.)
	Voltaje constante (conexión en paralelo)
LED SMD (Surface mount LED)	
	Zona inferior de armarios, pasos de peatones, luz decorativa.
	Voltaje constante 12 V/ 24 V (conexión en paralelo).
	Temperatura baja (sin reductor de calor).


Tabla 1. Tipos de LED. (Continuación)

LED de alta potencia (LED >1 W):	
	Efectos de iluminación con lente, idóneos para una variedad de aplicaciones.
	Voltaje constante 350 mA/ 700 mA (conexión en serie).
	Última tecnología disponible en el mercado.

2.1.3. LED: concepto y producto final

Sobre los tres tipos anteriores de LED se construye una arquitectura más compleja que proporciona soluciones cada vez con mayor flujo luminoso. Y que dota al diodo inicial de todos los elementos necesarios para poder iluminar.

Tabla 2. Proceso de configuración del LED.

Nivel	Nombre	Descripción	Imagen
Nivel 0	LED die	LED diodo semiconductor original	

Nivel 1	LED die in package	LED diodo encapsulado	
Nivel 2	LED Board	LED en circuito impreso	
Nivel 3	LED Module	LED en circuito impreso con interface. Puede incluir elementos adicionales, ópticas, disipador o controlador.	
Nivel 4	LED Lamp	LED en módulo incluido en lámpara bajo estándar IEC	

En una lámpara convencional, generalmente el filamento o el tubo de arco, son los factores determinantes de las prestaciones y calidad de la misma.

Pero en una lámpara de LED, un buen LED no garantiza las buenas prestaciones de la lámpara. Un LED de alta potencia moderno no puede funcionar por sí mismo. Siempre es necesario un disipador de calor, además de un controlador electrónico y lentes.

Son estos tres elementos en su conjunto los que determinan la prestación final de la lámpara, casi independientemente de qué tipo de emisor del LED se utiliza en el interior.

2.1.4. La elección del LED óptimo

El mejor LED no sólo se puede elegir en función de sus especificaciones de la hoja de datos técnicos.

Existe un gran salto cualitativo como se ha comentado anteriormente, entre las especificaciones del LED emisor y el producto acabado.

Entre otros motivos, debido a que las características que aparecen en la hoja de datos técnicos se han obtenido con un parámetro de temperatura de 25 °C, pero en ocasiones alcanzan temperaturas superiores a 100 °C.

Otra razón también a considerar, es que el rendimiento depende en gran medida de otros componentes de la lámpara como el disipador y las lentes.

Si se considera un caso concreto, para la lámpara de referencia LED ES50 Superia 345 lm:

- LED emisor de la marca A ofrece un 20% de flujo y se muestra más eficaz que el LED marca B en el laboratorio.
- Sin embargo, en una aplicación real, el LED B ofrece un 5% más de flujo y eficacia que el LED A.

Para cada construcción individual de una lámpara se tiene que elegir el mejor LED. Y esto no puede hacerse en base a las especificaciones primarias del LED, sino a su combinación con el resto de elementos constituyentes de la lámpara.

2.1.4.1. Eficacia del LED emisor respecto a la eficiencia del sistema

En 2012 la eficiencia de los LED emisores puestos en el mercado era de 100–140 lm/W. Pero la eficiencia de los conjuntos vendidos, lámparas y luminarias fue únicamente de 40–80 lm/W.

Tabla 3. Dónde han ido a parar los lúmenes del LED primario.

	Pérdida	Eficiencia final
LED Hoja técnica Eficiencia	–	100%
Depreciación Térmica	10 – 40%	60 – 90%
Pérdidas a causa de la	5 – 15%	51 – 86%
Pérdidas a causa del driver	10 – 30%	36 – 77%

Los LED primarios de diferentes fabricantes varían sólo ligeramente unos de otros.

Conclusión: El diseño del sistema de iluminación afecta al rendimiento final mucho más que la elección de los emisores LED que se utilizan en el interior de la luminaria.

2.1.5. Fabricantes de LED

El LED es un producto que requiere elevadas inversiones y tiempo en procesos de investigación y desarrollo. Y no es posible para los fabricantes de forma individual abarcar todos los tipos de LED encapsulado (*LED die in package*), por ello cada uno de ellos se ha especializado en un tipo. Es un sector que además evoluciona rápidamente.

2.1.6. OLED

Siendo un tipo de LED cabe mencionar en capítulo aparte el OLED (*Organic Light Emitting Diode*). Compuesto por un diodo que se fundamenta sobre una capa electroluminiscente, esta capa está constituida por una película de componentes orgánicos que, al recibir una estimulación eléctrica, reaccionan y emiten luz.