

IALA Guideline No. 1048

On

LED Technologies and their use in Signal Lights

Tecnología LED y su uso en luces de señalización

Edición 1

Diciembre 2005



Traducida por el Grupo de Ayudas a la Navegación de
Puertos del Estado (ESPAÑA)



20ter, rue Schnapper, 78100

Saint Germain en Laye, France

Telephone +33 1 34 51 70 0 Telefax +33 1 34 51 82 05

E-mail - iala-aism@wanadoo.fr

Internet - www.iala-aism.org

INDICE

1 INTRODUCCIÓN	4
1.1 Objetivo.....	4
2 DEFINICIONES	4
3 LUZ LED	5
3.1 Descripción del funcionamiento	5
3.2 Ventajas y Desventajas en comparación con las lámparas de filamento	6
3.2.1 Ventajas.....	6
3.2.2 Desventajas	6
3.3 Cuestiones operativas, medioambientales y económicas.....	7
3.3.1 Operativas	7
3.3.2 Medioambientales	7
3.3.3 Económicas	8
4 TIPOS DE LED.....	8
4.1 LEDs de baja intensidad	8
4.1.1 T-1 3/4 ó LED de 5 mm.....	8
4.1.2 LEDs de alto brillo (Superflux)	9
4.2 LEDs de alta intensidad	9
4.3 Color	10
4.3.1 AlInGaP	10
4.3.2 InGaN.....	10
4.3.3 Fuentes de LEDs blancos.....	10
4.4 Eficiencia Luminosa	11
4.4.1 Disipación de calor	11
4.4.2 Eficiencia luminosa.....	11
4.5 Vida útil y degradación luminosa	13
4.5.1 Degradación luminosa en LEDs de baja intensidad (5mm).....	14
4.5.2 Degradación luminosa en LEDs de alta intensidad	16
4.6 Compensación de temperatura	17
4.7 Factores importantes a considerar cuando se evalúa una luz de LEDs.....	17
4.8 Precauciones oculares	18
5 APLICACIONES ACTUALES Y FUTURAS EN AYUDAS A LA NAVEGACIÓN.....	18
5.1 Luces de sectores	18
5.2 Ópticas Tradicionales.....	22
6 INTENSIDAD	22
7 CONCLUSIONES	22
8 BIBLIOGRAFÍA	23

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. T-1 3/4 ó LED de 5 mm (Fuente: LumiLeds)	9
Figura 2. LED de alto brillo (Superflux)	9
Figura 3. LED de alta intensidad (Fuente: LumiLeds)	10
Figura 4. Estructura típica de un chip semiconductor de AlInGaP.....	12
Figura 5. Proceso de extracción	13
Figura 6 .Pirámide truncada invertida (TIP) de un semiconductor de AlInGaP/GaP (Fuente : LumiLeds)	13
Figura 7. Reducción del alcance con respecto al inicial, en millas náuticas.....	14
Figura 8. Degradación luminosa en los LEDs de 5mm rojos, verdes, azules y blancos	15
Figura 9. Degradación de los LEDs de 5mm con diferentes corrientes de trabajo.(Data based on Literature of Lighting Research Center).....	15
Figura 10. Degradación prevista a largo plazo del nivel de salida de luz, debida a corriente pulsante, con LED en ciclo de trabajo ajustado a una intensidad media de corriente de 30mA,,(Fuente: Agilent Application Brief I-024)	16
Figura 11. Datos de las pruebas del RPI Lighting Research Center – Troy, NY	16
Figura 12. Datos de las pruebas del RPI Lighting Research Center –Troy, NY	17
Figura 13. Principio general de un proyector.....	19
Figura 14.Haz compuesto por 3 proyectores	19
Figura 15. Adición de colores.....	20
Figura 16. Diagrama de colores	20
Figura 17. Haz formado por 2 proyectores	21
Figura 18. Haz Formado por 1 proyector.....	21

Directriz sobre Tecnología LED y su uso en luces de señalización

1 Introducción

Durante los últimos 10 años, los avances en conseguidos en la tecnología LED (Diodo Emisor de Luz) de alta intensidad, han hecho preferible su uso al de las lámparas de incandescencia para muchas aplicaciones de señalización. Entre las principales ventajas en comparación con las lámparas de incandescencia, están:

- Mayor vida útil
- Mayor eficiencia electro-óptica, particularmente para luz de color.
- Mejora de la pureza del color
- Resistencia a impactos y la vibraciones
- Disminución de los costes de mantenimiento

A medida que ha aumentado la utilización de las luces LED, los usuarios están reclamando un mayor conocimiento acerca de su rendimiento, expectativas de vida útil y unos sistemas de normalización para medir sus prestaciones.

1.1 Objetivo

El propósito de este documento es proporcionar a las personas interesadas en este tema, una visión técnica de las propiedades ópticas, térmicas y eléctricas de los LEDs y de la luz que generan.

La intención es proporcionar una visión general de la tecnología LED actual y de las cuestiones específicas relativas al diseño, características y uso de los LEDs de alta intensidad en las luces de balizamiento.

2 Definiciones

CCT

Correlación Color-Temperatura: Se utiliza para definir la temperatura a la cual la radiación de un cuerpo negro de Plank y la de una fuente luminosa se igualan. Normalmente se expresa grados Kelvin (K)

OMVPE

Epitaxia órgano-metálica en fase de vapor: es una técnica de crecimiento de un cristal que permite la formación de una capa cristalina encima de otro sustrato cristalino.

Temperatura de color

La temperatura de color de una fuente luminosa es la temperatura absoluta a la que la radiación de un cuerpo negro tiene una cromaticidad similar a la de la fuente luminosa.

Pureza de color

La pureza de color de una luz es la relación $L1/L2$, donde $L1$ es la luminancia del componente de frecuencia simple que se debe mezclar con un estándar de referencia para que aparezca el color de la luz y $L2$ es la luminancia de la luz.

Interpretación del color

Expresión general del efecto de una fuente luminosa sobre la apariencia de color de los objetos en comparación con su apariencia de color bajo una fuente luminosa de referencia. (Manual IES)

Die

Chip, corazón del LED

3 Luz LED

3.1 Descripción del funcionamiento

Los LEDs son dispositivos electrónicos semiconductores que producen una luz casi monocromática. La unión semiconductor generalmente se encapsula con un material plástico transparente que habitualmente incorpora una lente. Se pueden agrupar en conjuntos para proporcionar una fuente luminosa del tamaño y la intensidad que se requiera para reemplazar una lámpara o un sistema de lámpara y lente. Los nuevos LEDs de alta intensidad permiten la realización de linternas de corto alcance usando un solo LED.

Los LEDs trabajan con corriente continua de baja tensión. Su correcto funcionamiento depende de la precisión con que se controle la corriente de alimentación.

Un LED no es una lámpara, sino una fuente luminosa de estado sólido que, cuando es atravesada por una corriente, emite radiación monocromática en el infrarrojo, cerca del ultravioleta o en el espectro visible. La distribución espectral es estrecha, en torno a los 50 nanómetros, excepto para el blanco. Para este color, hay dos tipos principales: los que con una combinación de LEDs de diferente color (típicamente rojos, verdes y azules) se genera el blanco cuando se ven juntos, y los que consisten en un LED azul o ultravioleta que activa una capa de fósforo –también llamados LEDs de fósforo-conversión ó pcLEDs (ver 4.3).

Cuando se compara con la tecnología de incandescencia, los LEDs de color rojo y verde son mucho más eficientes que las luces de incandescencia dotadas de filtros, y, en menor medida, para el amarillo y el blanco.

Necesitan un sistema integral de control de temperatura y de corriente para que su rendimiento sea óptimo. Dentro del LED, alrededor del 15% de la energía se emite

como luz y el 85% restante en forma de calor. A diferencia de las fuentes luminosas convencionales, las cuales disipan calor por radiación, convección y conducción, todo el calor generado en el LED debe disiparse a través de su estructura.

Normalmente cada LED tiene una lente integrada, aunque también pueden instalarse lentes secundarias para producir el haz de luz deseado.

3.2 Ventajas y Desventajas en comparación con las lámparas de filamento

Hay ventajas y desventajas específicas cuando se comparan con las lámparas de filamento.

3.2.1 Ventajas

- Eficiencia energética, robustos, resistentes a impactos, sin partes mecánicas móviles.
- Larga vida útil, aunque dependiente de las técnicas de control de corriente y temperatura, condiciones ambientales, ciclos de trabajo y tipo de LED (ver 4.5 Vida útil y degradación luminosa). Raramente sufren el fallo total, pero su degradación luminosa es continua. Hace innecesarios los cambiadores de lámparas.
- Trabajando en grupos, reducen considerablemente la probabilidad de un fallo total en la iluminación.
- Generan la luz monocromática que necesita la AtoN, y por tanto no se necesitan filtros de color. Mantienen el color a lo largo de toda su vida útil.
- El proceso de encendido- apagado es instantáneo.
- Es capaz de mostrar una luz mucho más conspicua que otros sistemas debido a la pureza del color (estrecha distribución espectral), y conseguir unos perfiles de destello de onda cuadrada.
- No tiene una alta demanda de corriente.
- No genera sombras al carecer de soportes de filamentos.
- Las linternas de LED no requieren un mantenimiento complicado.
- Su tecnología está avanzando rápidamente.

3.2.2 Desventajas

- Generalmente son difíciles de adaptar a ópticas ya existentes.
- Los colores de los LED son ligeramente distintos y podrían estar fuera de las nuevas regiones de color CIE (2001) que tendrían que ser modificadas.
- El color se modifica a medida que aumenta la temperatura de trabajo (cerca de 2 nanómetros por grado centígrado para el rojo y el amarillo).
- Los pcLEDs blancos son muy poco eficientes con los filtros rojos y verdes utilizados con las lámparas de incandescencia existentes y, si es posible, será mejor sustituir la lámpara y el filtro por LEDs del color correspondiente.

- Dependiendo de los sistemas de control, la potencia de la luz emitida puede variar con la temperatura ambiente, pero esta variación puede ser compensada controlando la corriente de alimentación.
- Un LED puede tener una potencia luminosa de salida distinta de otro, lo cual puede producir una variación en la distribución horizontal del haz luminoso.
- La experiencia con este tipo de linternas a largo plazo es aún limitada.
- La cantidad de luz emitida disminuye a lo largo de su vida operativa.
- Necesitan un complejo control electrónico para conseguir una vida larga y un funcionamiento estable.
- Su desarrollo tecnológico todavía no los hace apropiados para luces de largo alcance.
- Existe un cierto retraso en la evolución de las tecnologías de dopaje con fósforo y nitrógeno en la región del amarillo, y por tanto algunos tonos de este color no están disponibles.

3.3 Cuestiones operativas, medioambientales y económicas

3.3.1 Operativas

- Las linternas de LEDs pueden considerarse libres de mantenimiento por los mínimos cuidados que necesitan.
- Complejidad de mantenimiento reducida y, por tanto, se requiere escasa competencia técnica.
- Puede ser necesario comprobar el rendimiento fotométrico pero su cuantificación es complicada.
- La eficacia (lúmenes/vatio) se mejora constantemente, con lo cual las linternas LED continuarán aumentando su rendimiento.
- En la actualidad hay en funcionamiento del orden de cientos de miles de linternas con luces LED.
- Requieren etiquetado de seguridad para cada región específica.

3.3.2 Medioambientales

- No presentan más problemas medioambientales que cualquier otro tipo de linternas.
- Las linternas de LEDs compactas que incluyen batería puede presentar problemas al desecharlas. Se recomienda que sean devueltas al fabricante para su reciclaje.
- El menor consumo de energía conduce a baterías de menor capacidad, paneles fotovoltaicos de menor potencia, menor gasto de combustible etc. posiblemente da como resultado boyas y trenes de fondeo más pequeños. Estos factores reducen el impacto medioambiental de las ayudas a la navegación equipadas con LEDs.

- La menor frecuencia de las visitas reduce el impacto ambiental de las embarcaciones, aviones, etc..
- El LED, en si mismo, es mejor que una lámpara en términos de materiales peligrosos. La diminuta cantidad de electrónica semiconductor empleada está encapsulada en epoxy o silicona y no hay lámparas desechadas durante la vida útil de la linterna.

3.3.3 Económicas

- Su larga vida útil y su bajo consumo, pueden reducir los gastos de mantenimiento.
- Los LEDs permiten la fabricación de pequeñas linternas compactas autónomas.
- El precio depende del alcance y las características. Hay en el mercado linternas baratas para cortos alcances, encareciéndose para intensidades mayores, donde el coste inicial puede ser más grande que el de una linterna con lámparas de incandescencia.
-

4 TIPOS DE LED

Existen muchos tipos de LEDs que difieren en los métodos de encapsulado pero comparten la misma tecnología básica. Pueden dividirse en dos grupos en función de su potencia: de baja intensidad y de alta intensidad.

4.1 LEDs de baja intensidad

Este tipo de LEDs (a veces llamados LEDs indicadores) suelen usarse como pilotos o dispositivos indicadores en aparatos y en señales luminosas. Los más populares son los de 5mm de rendimiento óptico de precisión y los LED de alto brillo (Superflux).

4.1.1 T-1 3/4 ó LED de 5 mm

El encapsulado de 5mm es una de las dos configuraciones originales designadas T-1 y T-1 3/4, denominación adoptada de los fabricantes de lámparas de incandescencia. (El número indica el diámetro de la lámpara en octavos de pulgada. Así, el T-1 3/4 tiene un diámetro de aproximadamente 5mm),

Se pueden apreciar sus características en la Figura 1. El cátodo de plomo lleva montado en su extremo un pequeño reflector parabólico que contiene el chip semiconductor, y se usa a la vez como conductor eléctrico y como disipador de calor. La superficie superior funciona como una lente, proyectando la luz hacia delante. Este encapsulado es muy popular por su bajo coste y su fácil incorporación en cuadros de señalización u otras aplicaciones similares.

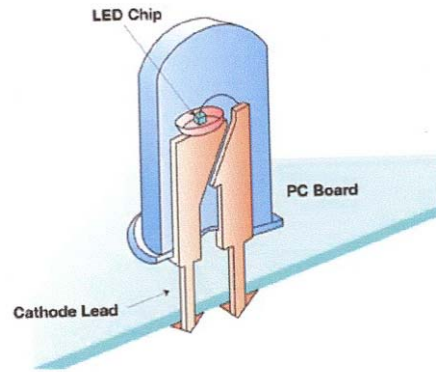


Figura 1. T-1 3/4 ó LED de 5 mm (Fuente: LumiLeds)

4.1.2 LEDs de alto brillo (Superflux)

Este tipo de LEDs se encapsula en una estructura de terminales de plomo dobles para reducir la resistencia térmica y aumentar su robustez. La mejora en la disipación de calor, junto con una mayor superficie del chip semiconductor, permite obtener una intensidad doble que la del LED convencional de 5mm. La luz se proyecta a través de una lente convexa de 3mm de diámetro situada sobre la superficie superior del encapsulado.

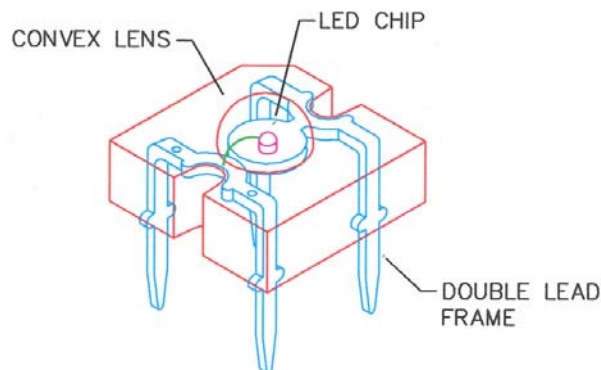


Figura 2. LED de alto brillo (Superflux)

4.2 LEDs de alta intensidad

Se utilizan para iluminar objetos ó, debido a su elevada intensidad luminosa, como fuentes de luz concentrada.

Estos LEDs, Figura 3, emplean una amplia base de metal para disipar el calor, con los terminales eléctricos aislados térmicamente. Esta estructura mejora drásticamente la disipación de calor, permitiendo un chip de mayor tamaño y una corriente de trabajo mas elevada.

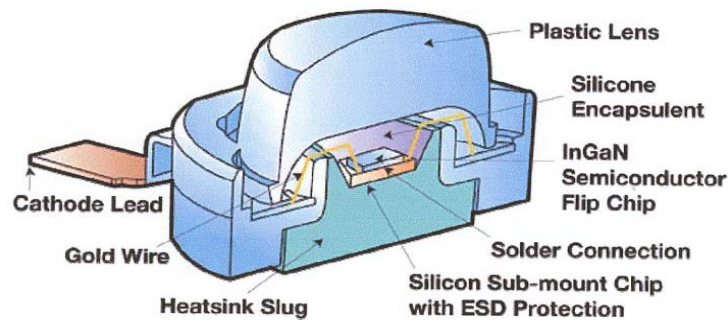


Figura 3. LED de alta intensidad (Fuente: LumiLeds)

Otras mejoras incluyen el uso de encapsulados de silicona resistente a los rayos ultravioleta y un acople óptico intermedio entre el chip y el recubrimiento exterior de epoxy transparente, que atenúa mucho la tendencia al amarilleamiento. Además, el material de silicona, por su flexibilidad, permite una reducción de las tensiones mecánicas y térmicas que actúan sobre la estructura del chip y de los conductores eléctricos. La mejora en la aplicación de la capa de fósforo, consigue mayor uniformidad en la correlación de la temperatura de color (CCT) para los de luz blanca. Estos avances han eliminado virtualmente la severa degradación luminosa y la variación de color que eran notorias en los LEDs de 5mm.

4.3 Color

La composición del material determina el color de la luz emitida. Variando el dopaje se modifican los saltos en las bandas de energía, y en consecuencia, emisiones de luz de colores diferentes. Actualmente se emplean dos clases de materiales en la mayoría de los LEDs de alta intensidad:

4.3.1 AlInGaP

El **rojo, naranja y amarillo** se generan con un dopaje de cuatro elementos: aluminio, indio, galio y fósforo (AlInGaP).

Hewlett-Packard, después de una década de investigación, dominó la técnica del complicado proceso de crecimiento OMVPE (ver definiciones) que permite el crecimiento del dopaje con esos cuatro elementos sobre un sustrato de Arseniuro de Galio (GaAs), liderando la comercialización de LEDs de alto brillo rojos y amarillos en 1990.

4.3.2 InGaN

El **azul, verde y blanco** se producen con un dopaje de Indio y nitrito de Galio (InGaN). Desarrollados por Nichia Chemical y la Universidad de Nagoya perfeccionaron el proceso de crecimiento de esta mezcla sobre un sustrato de zafiro, completando la totalidad de la gama de colores de los LEDs.

4.3.3 Fuentes de LEDs blancos

Actualmente se emplean dos métodos para producir con LEDs una luz de color blanco. El primero consiste en mezclar los rayos de color rojo, verde y azul

procedentes de un grupo de respectivos LEDs. Esta compleja técnica requiere de un control muy preciso del proceso, incluyendo un sistema de realimentación para asegurar la integridad del color. Este método se usa habitualmente en la iluminación de fondo en televisores. Una segunda técnica más sencilla usa el fósforo depositado sobre un de LED azul como sustrato, logrando una aceptable reproducción del color.

En los primeros procesos de fabricación de los LEDs de 5mm de luz blanca, durante el proceso de encapsulado se depositaba una cantidad precisa de fósforo disuelto en resina epoxy en el reflector de un chip de luz azul. Esta técnica generaba variaciones tan amplias como 700°K en la temperatura de color en función del ángulo con el que se observase. (El ojo humano puede detectar un cambio del orden de 50-100°K)

La variación de la temperatura de color dependiendo del ángulo de visión junto con la variación de color debido a la temperatura de la unión y el envejecimiento, se traducen en pequeñas variaciones en la cromaticidad.

4.4 Eficiencia Luminosa

Con el objetivo de producir una fuente luminosa viable de alta intensidad, los fabricantes han centrado sus investigaciones sobre:

- Disipación de calor
- Eficiencia luminosa
- Eficiencia del recubrimiento electro-óptico
- Coste

4.4.1 Disipación de calor

La relación entre generación y disipación de calor es una limitación clave en la capacidad de producir energía. Los fabricantes especifican una temperatura máxima de trabajo del chip para obtener una vida útil aceptable. La resistencia térmica, expresada en °C/W, determina la relación entre la temperatura del LED y la potencia disipada en los contactos o en la superficie. El mantenimiento de una temperatura aceptable es un proceso de equilibrio que depende de:

- Condiciones ambientales (temperatura alcanzada al exponerse directamente al sol, tamaño de la linterna en relación con su potencia, etc).
- Control de la intensidad de corriente.
- Diseño del disipador de calor

Las últimas tecnologías inciden en el estrecho contacto térmico entre el corazón del LED y la estructura externa. La resistencia térmica se ha reducido alrededor de 10-15° °C/W en los LEDs de alta intensidad en comparación con los 100-150 °C/W para los de baja intensidad.

4.4.2 Eficiencia luminosa

A todos los efectos, la eficiencia luminosa viene determinada por la relación entre la eficiencia cuántica interna y la eficiencia de extracción.

4.4.2.1 Eficiencia cuántica interna

Depende de varios factores, tales como el material de dopaje, la optimización de las capas de cristal, la técnica de crecimiento del cristal, etc.

- El AlInGaP (rojo, naranja y amarillo) es el material mejor conocido., Tiene una eficiencia cuántica interna próxima al 100%, lo cual quiere decir que todos los pares electrón-hueco crean un fotón.
- InGaN (verde, azul y blanco) es menos conocido actualmente. La eficiencia cuántica interna típica del dispositivo verde es del 20 al 40%, y el azul del 40 al 60%.

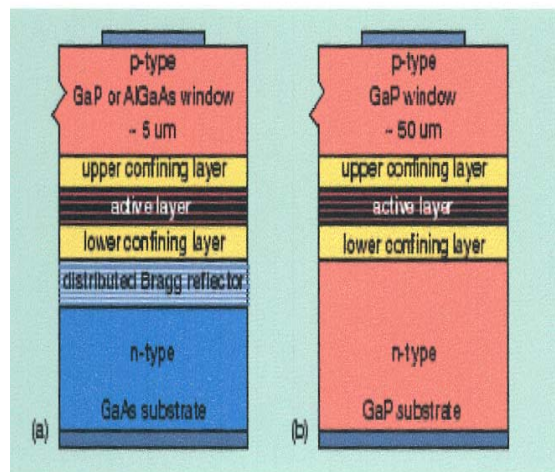


Figura 4. Estructura típica de un chip semiconductor de AlInGaP

(Fuente: Compoundsemiconductor Magazine –“ AlGaInP LEDs break performance barriers” by Mari Holcomb, Pat Grillot, Gloria Hfler, M. Krames, Steve Stockman - April 2001)

4.4.2.2 Eficiencia de extracción

Una vez se han creado los fotones, es necesario transportarlos al exterior del corazón del semiconductor, proceso al cual se le denomina “extracción de la luz”. Su eficiencia dependerá del nivel de absorción interna del material del sustrato, de la geometría del chip y de los índices de refracción del propio chip, del acoplamiento óptico y del nivel de transparencia del encapsulado.

- Reflexiones en las superficies de separación. El índice de refracción del material del corazón del LED es extremadamente grande en relación al del exterior, y esta gran discontinuidad produce fuertes reflexiones que acaban por atrapar la luz en el interior del chip. Se puede mejorar la eficiencia de la extracción utilizando un encapsulado con un índice de refracción intermedio que actúe como puente entre el corazón del LED y el medio externo.

El proceso de extracción en un chip prismático con encapsulado epoxi se muestra en la figura 5. Los fotones generados en el interior se propagan en todas direcciones y solo una pequeña parte de ellos, situados en el cono, consigue atravesar la superficie, siendo reflejados los restantes hacia el interior. Los fotones situados fuera del ángulo crítico del cono experimentan una reflexión interna total y no contribuyen a la generación útil de luz.

- Absorción por el material del sustrato (absorción interna). Los fotones generados dentro del corazón del LED, deben propagarse dentro de él hasta

alcanzar la pared frontera. El material del sustrato debe elegirse cuidadosamente para minimizar la absorción en esa dirección

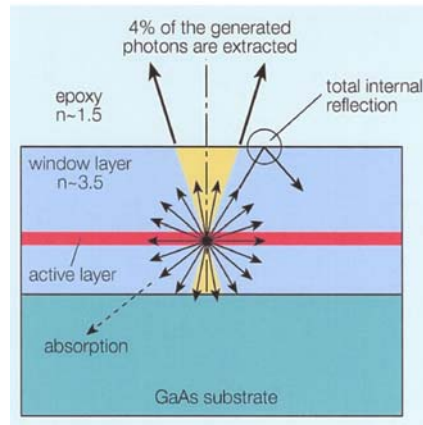


Figura 5. Proceso de extracción

(Fuente: Compound Semiconductor: Artículo “Buried Micro-reflectors Boost Performance of AlGaInP LEDs by Stefan Illek.)

- La geometría del chip tiene una gran importancia en el proceso de la extracción, y hasta la fecha, la más eficiente para minimizar las reflexiones internas es la pirámide truncada invertida (figura 6). Actualmente la mayor eficiencia de extracción se sitúa en un 55% a 650nm.

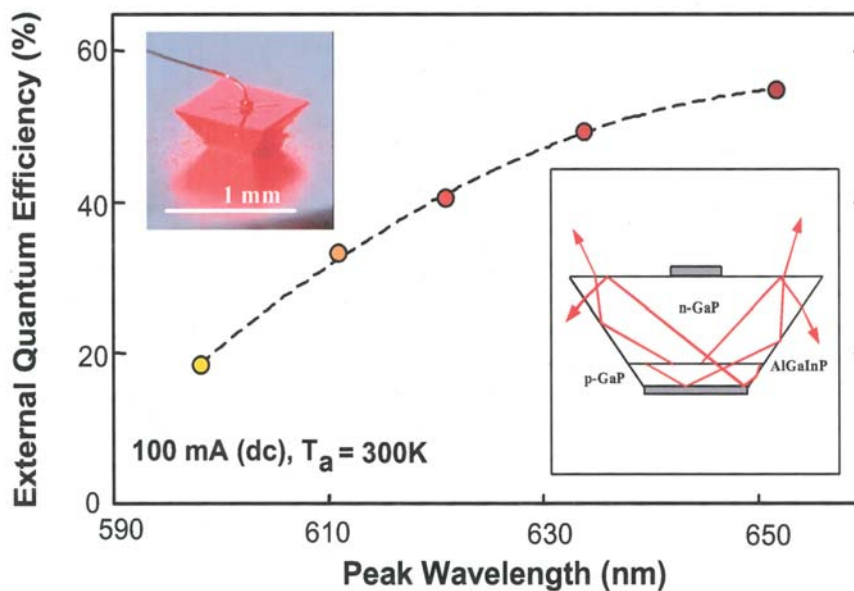


Figura 6. Pirámide truncada invertida (TIP) de un semiconductor de AlInGaP/GaP (Fuente : LumiLeds)

4.5 Vida útil y degradación luminosa

Se reclama a los fabricantes que la expectativa de vida de los LEDs se deja de lado. Las fuentes tradicionales de luz, como las lámparas de incandescencia, tienen una

vida útil definida como el tiempo transcurrido hasta que el 50% de los elementos testados han dejado de funcionar. Actualmente no existe una normalización en el cálculo de vida útil de los LEDs. Análogamente a una lámpara de descarga, el LED raramente tiene un fallo total, aunque sí sufre un lento proceso de pérdida en su rendimiento denominado *degradación luminosa*.

Generalmente, un ligero nivel de reducción de luz en un corto espacio de tiempo no es excesivamente importante mientras no llegue al 80% de su valor inicial (Kryszczuk y Boyce.). La figura 7 muestra la reducción de alcance en millas náuticas en relación al tanto por ciento de degradación de la intensidad luminosa de la fuente.

La IALA actualmente no ha publicado ninguna recomendación acerca de la conveniencia de sustitución de una luz en función de su nivel de degradación luminosa, aunque algunas administraciones consideran que se deben sustituir si alcanzan un nivel del 20%, mientras que IALA, en su “Recomendación para el cálculo de la intensidad luminosa en ayudas a la navegación marítima” establece unas condiciones aceptables de servicio con el 75% de la intensidad nominal.

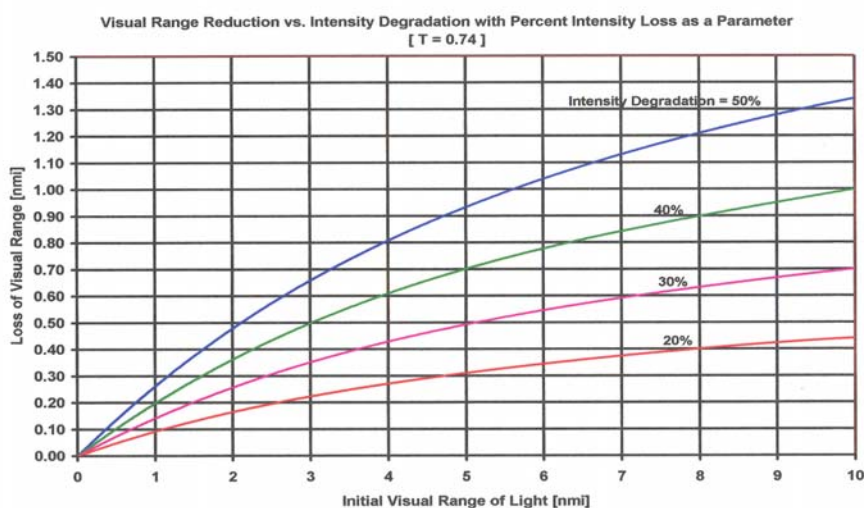


Figura 7. Reducción del alcance con respecto al inicial, en millas náuticas.

La degradación luminosa depende de los siguientes factores:

- encapsulado (comentado anteriormente)
- temperatura de funcionamiento del chip semiconductor
- intensidad de trabajo
- color

4.5.1 Degradación luminosa en LEDs de baja intensidad (5mm)

Debido a los métodos de encapsulado comentados en la sección 4.1.1, la degradación luminosa en los LED de 5mm es mayor que en los de alta intensidad, principalmente a causa de la mala transmisión calorífica y a la tendencia al amarilleo del epoxi del encapsulado.

Los diferentes colores de LEDs no tienen los mismos niveles de degradación, al estar fabricados con diferentes materiales semiconductores que con diferentes propiedades de degradación. La figura 8 muestra los diferentes niveles de degradación de los Leds

del tipo indicador de color rojo, verde, azul y blanco, trabajando con una corriente nominal de 20mA.

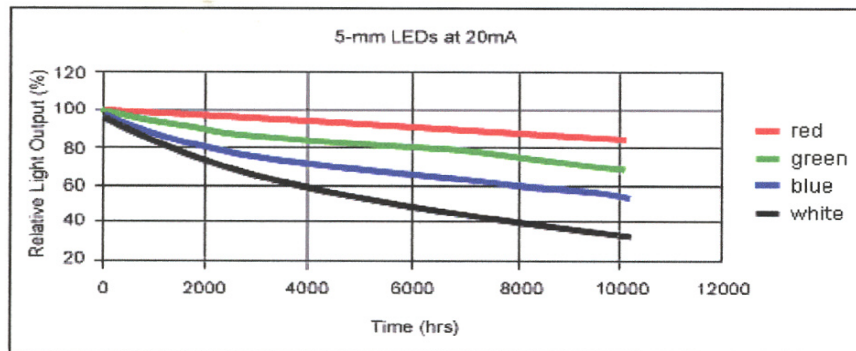


Figura 8. Degradación luminosa en los LEDs de 5mm rojos, verdes, azules y blancos

(Base de datos del Lighting Research Center)

4.4.1.1 Degradación en los LEDs de luz blanca tipo indicador (5mm)

La causa principal de degradación en este tipo de LEDs es la tendencia a amarillear del epoxi del encapsulado, ocasionado por dos factores principales:

- Excesiva temperatura en la unión
- Fotodegradación del material epoxi expuesto a radiaciones de onda corta

En la figura 9 se muestra el nivel de degradación luminoso de los LEDs de luz blanca de 5 mm en función de diferentes corrientes de trabajo.

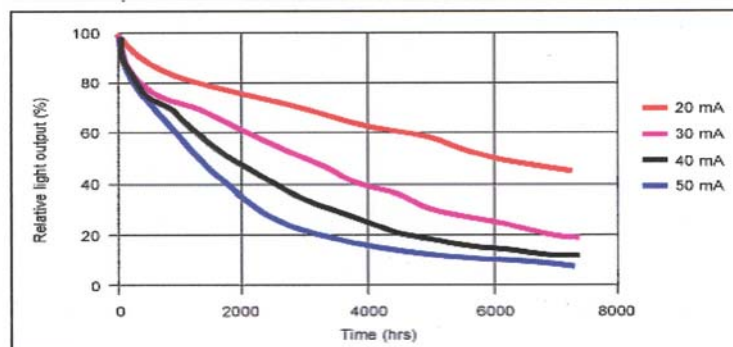


Figura 9. Degradación de los LEDs de 5mm con diferentes corrientes de trabajo. (Data based on Literature of Lighting Research Center)

Como se aprecia en la figura anterior, el LED blanco de 5mm alcanza el 75% de su luminosidad nominal a las 2000 horas de funcionamiento con una corriente de trabajo de 20mA. Este efecto se detalla en un trabajo de pruebas efectuadas, titulado “Luz de estado sólido: análisis de fallos producidos en LEDs de luz blanca” por N. Narendran del Lighting Research Center, Troy, NY.

4.5.1.2 Degradación luminosa debida a corriente pulsante

Es habitual en algunos fabricantes la utilización de la técnica de corriente pulsante de alimentación en un esfuerzo por conseguir una mayor emisión de luz. Sin embargo, a causa de la disminución de la eficiencia electro-óptica cuando se incrementa el nivel

de corriente, la media obtenida en la potencia de salida es menor que si se alimentara con una corriente continua de potencia equivalente. Además, los picos de corriente aceleran el proceso de degradación luminosa como se puede observar en la siguiente figura.

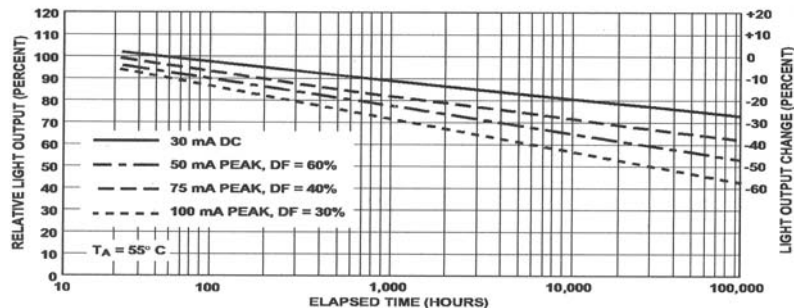


Figura 10. Degradación prevista a largo plazo del nivel de salida de luz, debida a corriente pulsada, con LED en ciclo de trabajo ajustado a una intensidad media de corriente de 30mA.,(Fuente: Agilent Application Brief I-024)

4.5.2 Degradación luminosa en LEDs de alta intensidad

Debido a las mejoras del encapsulado ya comentadas, los fabricantes de LEDs de alta intensidad consideran que es posible mantener un nivel medio de luminosidad del 70% después de 50.000 horas de funcionamiento.

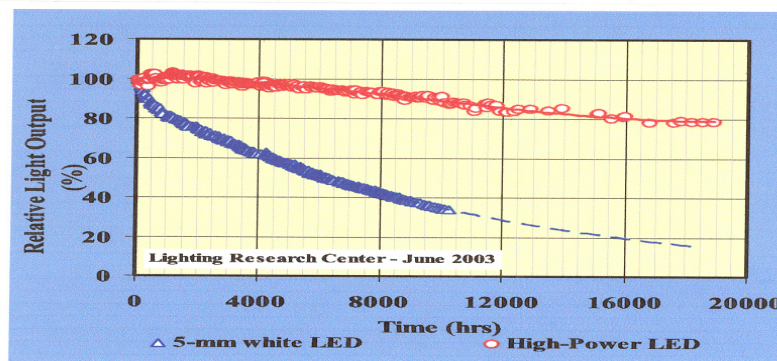


Figura 11. Datos de las pruebas del RPI Lighting Research Center – Troy, NY

4.5.2.1 Degradación luminosa en LEDs de luz blanca de alta intensidad

La utilización de silicona como material de unión, junto con la mejora de la técnica para depositar las capas de fósforo, permiten que los LEDs blancos de alta intensidad mantengan unos bajos niveles de degradación, como muestra la figura 12.

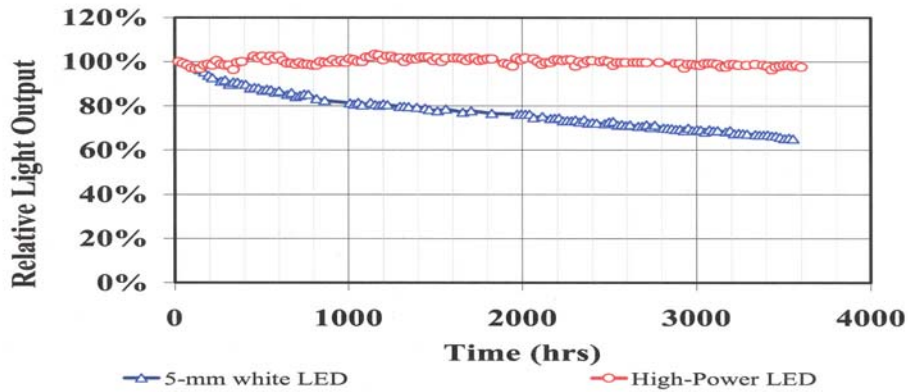


Figura 12. Datos de las pruebas del RPI Lighting Research Center –Troy, NY

4.6 Compensación de temperatura

La eficacia electro-óptica de los LEDs depende de la temperatura de trabajo. Por regla general, el flujo de salida disminuye con el incremento de temperatura en condiciones de corriente constante. Este efecto es más pronunciado en la serie AlInGaP (rojo, naranja y amarillo), aunque todos los colores lo experimentan en cierta medida.

Así, para mantener un rendimiento luminoso constante en el rango establecido de temperaturas de trabajo, es necesario ajustar cuidadosamente la corriente de alimentación, teniendo la precaución de evitar el embalamiento térmico. Además, la relación corriente de alimentación / temperatura se debe diseñar de tal manera que la temperatura máxima en la unión a la máxima corriente de trabajo, no exceda la mayor temperatura ambiente en las condiciones de funcionamiento más exigentes.

4.7 Factores importantes a considerar cuando se evalúa una luz de LEDs

Teniendo en cuenta la información arriba descrita, tanto los suministradores de LEDs como los usuarios deberían considerar los siguientes aspectos:

- se debería especificar la intensidad luminosa para el rango de temperatura de funcionamiento
- la uniformidad horizontal de la intensidad debe especificarse, teniendo en cuenta la recomendación E-122 de la IALA, que aconseja un margen de desviación no mayor de un 10% de la intensidad horizontal nominal
- el ángulo de divergencia vertical y la localización del haz, teniendo en cuenta que la recomendación E-122 de la IALA establece que la divergencia vertical debe encontrarse en el 50% de la intensidad máxima
- la expectativa de vida útil dependerá de la correcta alimentación del LED y de la temperatura.
- la eficiencia de la baliza será la relación entre el flujo luminoso total y el consumo de energía
- horas de trabajo requeridas para la luz

- necesidades de alimentación, incluyendo los consumos de energía cuando la luz se enciende y se apaga
- reducción de la intensidad con el tiempo de funcionamiento
- efecto de la temperatura sobre la intensidad de pico y compensación de la temperatura para mantener una salida luminosa constante
- influencia del voltaje sobre la intensidad, ya sea pulsante o continua
- efecto de la pérdida de un LED, o un grupo de ellos
- métodos de control sobre la corriente, voltaje o alimentación, serie o paralelo
- conformidad del LED con los colores de la IALA para luces de balizamiento, considerando que los colores pueden cambiar con la característica exhibida
- conformidad CE con las normalizaciones de Interferencias Electromagnéticas, Inmunidad y Compatibilidad electromagnética, u otras normativas nacionales
- puede solicitarse protección adicional contra rayos, si no está incluida
- requisitos contra vibraciones mecánicas y golpes
- ¿qué sucede al final de la vida útil?
 - ¿Sustitución de un modulo de LEDs o del conjunto?
 - ¿desechar y reemplazar con una nueva luz?
 - ¿se han cumplido las especificaciones de rendimiento de color y vida útil?
 -

4.8 Precauciones oculares

Los problemas oculares debidos a la visión directa de los LEDs, se ha discutido en publicaciones y en informaciones facilitadas por los fabricantes. También se pueden encontrar referencias en documentos del IEC (IEC-825-1). Debido a la intensidad, concentrada en un punto, hace recomendable evitar mirar directamente al LED a corta distancia cuando sea posible.

5 APLICACIONES ACTUALES Y FUTURAS EN AYUDAS A LA NAVEGACIÓN

Los LEDs se están empezando a utilizar en casi todos los equipos de AtoN, como linternas para boyas, pequeñas balizas, luces direccionales y marcas diurnas iluminadas que pueden ser unidades encapsuladas y selladas. El alcance nominal para balizas de LEDs omnidireccionales varía entre 1 y 15 millas náuticas, aunque se puede disponer de mayores alcances para linternas direccionales.

5.1 Luces de sectores

Actualmente los LEDs han revolucionado la señalización luminosa en todas las áreas del tráfico. Para muchas aplicaciones (semáforos, luces de freno, linternas marinas) ya

hay soluciones que se están abordando con tecnología LED y que se están utilizando en la práctica.

Las luces de sectores que usan el principio de proyección, representan un tipo de señalización luminosa que se usa exclusivamente en AtoN. La evolución de los LEDs de alta potencia (1 vatio contra 0,1 de los normales) puede ser muy útil en el desarrollo de proyectores de LEDs.

En principio, la lámpara de un proyector podría reemplazarse por LEDs (figura 13). Sin embargo, el uso de filtros rojos y verdes junto con una fuente luminosa de LEDs reduciría drásticamente la intensidad de los sectores rojo y verde.

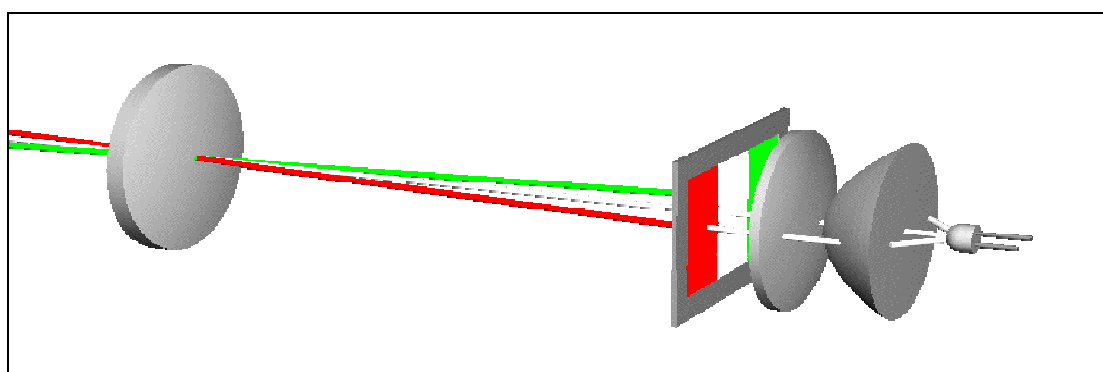


Figura 13. Principio general de un proyector

La eficacia luminosa (flujo luminoso emitido por potencia eléctrica) de diodos de luz blanca es comparable con algunas lámparas de incandescencia. El proyector de la figura 13 correspondería a una luz de sectores con una lámpara de incandescencia de 1 vatio. Sería una luz débil e inadecuada para la mayoría de aplicaciones.

Es posible una mejora usando un proyector distinto para cada sector (Figura 14). La intensidad luminosa de los sectores coloreados puede elevarse claramente al eliminar el proceso de filtrado.

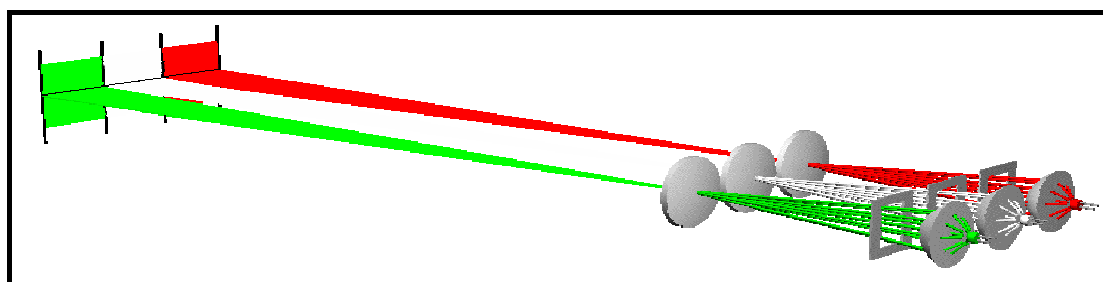


Figura 14. Haz compuesto por 3 proyectores

Sin embargo esta disposición tiene dos desventajas:

El ajuste de los límites de los sectores es complejo y difícil. Realizarlo sobre el terreno es casi imposible. Dado que, para la misma potencia eléctrica, el LED blanco genera una intensidad más baja en comparación con los de color, la potencia de cada diodo coloreado debe reducirse o admitir que el sector blanco presente una intensidad luminosa menor.

Para minimizar esta desventaja, el sector blanco puede generarse por la mezcla de los colores verde y rojo (Figura 15). Para producir el color blanco por este sistema, llamado mezcla aditiva de colores, es necesario mezclar tres colores, rojo, verde y azul.

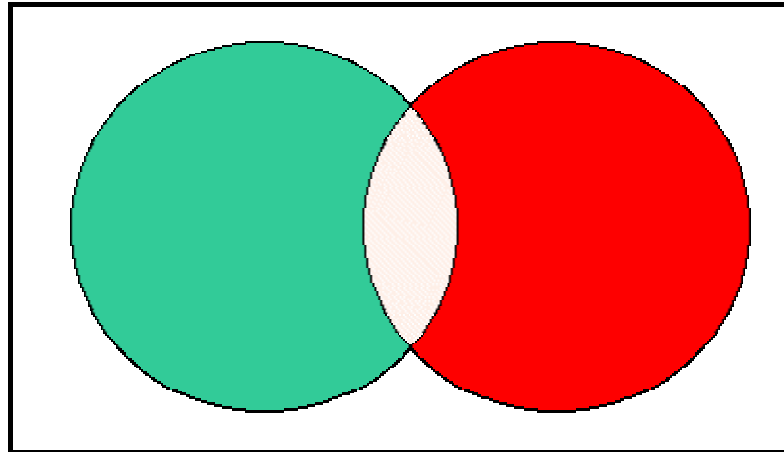


Figura 15. Adición de colores.

El color verde que se usa en las señales de tráfico tiene un cierto componente azulado, por compartir algo de la región del azul. Por lo tanto, con la adecuada elección de la intensidad luminosa de rojo y este tipo de verde, aparece un blanco cálido que satisface los requisitos para las señales de luz blanca (figura 16).

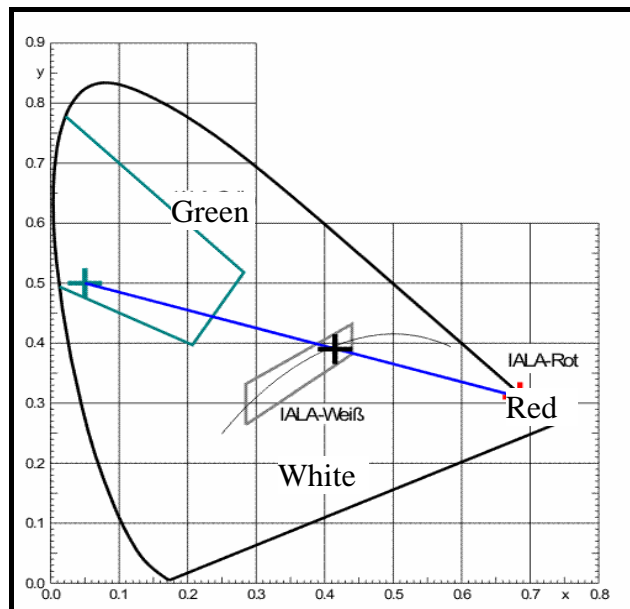


Figura 16. Diagrama de colores

Para crear el sector blanco, se superponen los dos sectores coloreados. Esto se puede conseguir usando dos proyectores (Figura 17).

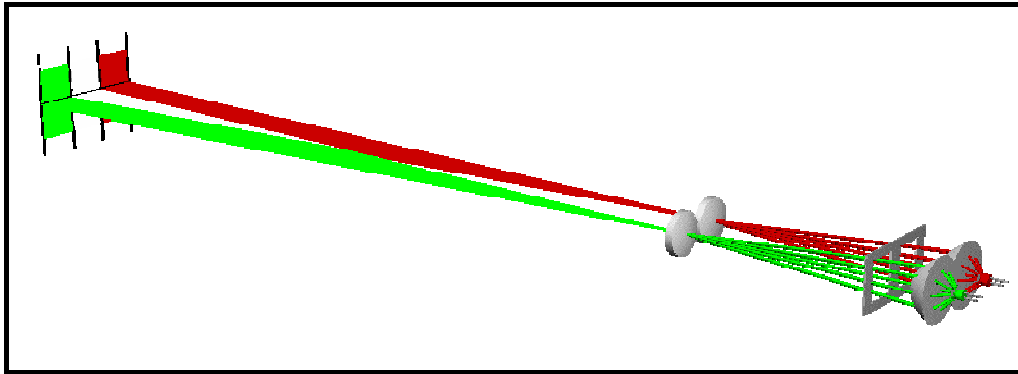


Figura 17. Haz formado por 2 proyectores

En algunos casos (por ejemplo en distancias no muy grandes o si la proyección de la lente es muy lejana) es conveniente mezclar la luz ya en el proyector. Para esto se puede utilizar un generador de color.

Un generador de color consiste en un espejo semipermeable el cual refleja la luz o la atraviesa en función de su color. El utilizado aquí está diseñado con un ángulo de 45° para reflejar la luz roja y permitir el paso de la verde-azulada. Este espejo se sitúa entre el marco que delimita el sector y la óptica del proyector. Las dos fuentes luminosas se sitúan en el generador de color para que ambos rayos coincidan de nuevo en el objetivo de proyección (Figura 18).

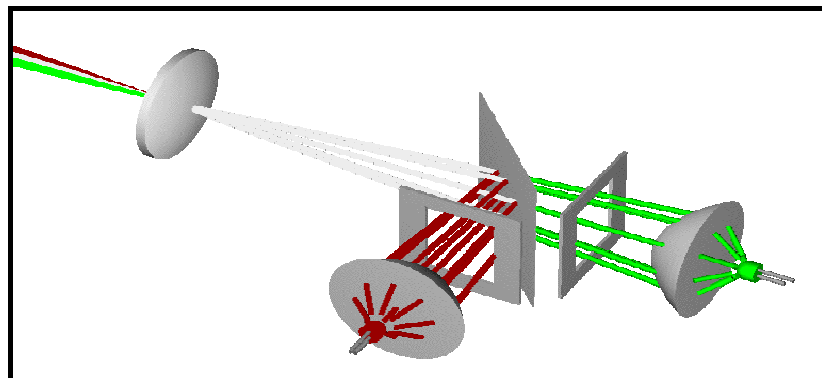


Figura 18. Haz Formado por 1 proyector.

La siguiente comparación de medidas está realizada entre una luz de sectores comercial con tecnología de lámparas de incandescencia y otra fabricada de acuerdo con el sistema experimental anteriormente descrito.

Parámetro	Lámpara de incandescencia	Tecnología LED
Potencia eléctrica	5 vatios	2 vatios
Intensidad Luminosa (blanco)	1500 cd	1300 cd
Intensidad Luminosa (rojo)	300 cd	650 cd
Intensidad Luminosa (Verde)	300 cd	650 cd

Para conseguir una eficacia visual como la de los sistemas de LEDs, sería necesario que la intensidad luminosa de los sistemas de incandescencia aumentase alrededor de 10 veces (con el consiguiente incremento del consumo de energía). Por lo tanto, sería posible reemplazar las luces de sectores hasta de 50 vatios por sistemas de LEDs con la mitad de consumo de energía.

5.2 Ópticas Tradicionales

La Guía de la IALA sobre la “Utilización de las modernas fuentes de luz en ópticas tradicionales de Faros” aporta más información sobre LEDs en luces de AtoN.

6 INTENSIDAD

En ocasiones se ha observado que las linternas marinas de LEDs tienen una intensidad de color y un alcance superior al que se obtendría con el actual método de cálculo sugerido por la IALA. Actualmente la IALA está desarrollando trabajos de investigación sobre ello.

7 CONCLUSIONES

Recientemente, varias instituciones independientes han desarrollado programas dedicados a la investigación, pruebas y evaluación de LEDs. La información aportada por los fabricantes y por fuentes independientes, permite a los ingenieros y a los usuarios adquirir una mejor comprensión del diseño y de los requisitos de trabajo.

Los fabricantes han hecho grandes progresos en la mejora de la eficiencia y las posibilidades de las nuevas generaciones de LEDs de alta intensidad. Estas mejoras representan grandes oportunidades de diseño para nuevas balizas de AtoN. Muchos LEDs de alta intensidad dotados de lentes especiales, ofrecen una gran flexibilidad para diseñar fuentes luminosas para utilizarlas en las ópticas marinas existentes, lo que supone un considerable ahorro para los organismos responsables de los servicios de ayudas a la navegación y usuarios finales.

Se debería profundizar más en investigación y desarrollo de aspectos tales como la divergencia vertical, uniformidad de la intensidad horizontal, características espectrales o medidas de intensidad luminosa.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Optoelectronics/Fiber-Optics Applications Manual, Second Edition – Hewlett-Packard Optoelectronics Division.
- [2] Bierman, A. 1998. LEDs: From indicators to illumination?
- [3] Kryszczuk, K. M. and P. R. Boyce. 2002. Detection of low light level reduction. Journal of the Illuminating Engineering Society
- [4] Lighting Research Center. Solid-State Lighting. Accessed on 28 May 2003 at <http://www.Irc.rpi.edu/programs/solidstate/>
- [5] N. Narendan, Y. Gu, J.p. Freyssonier, H. Yu, L. Deng – Solid-state lighting : Failure Analysis of white LEDs. 2004
- [6] G. Craftford, P. Martin (LUMILEDS) – various LEDs technical presentations (2003 – 2004).
- [7] D. Steigerwald, et al . Illumination With Solid State Lighting Technology. IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 8, No. 2, March/April. 2002
- [8] Lumileds : Application Brief AB-12. Custom Luxeon Design Guide.
- [9] Agilent : Application Brief I-024. Pulse Operating Ranges for AlInGaP LEDs vs. Projected Long Term Light Output Performance
- [10] Agilent : Application Note 1109. LED Eye Safety
- [11] IES Lighting Handbook – Reference Volume
- [12] Mari Holcomb, Pat Grillot, Gloria Hfler, M. Krames, Steve Stockman – AlGaInP LEDs break performance barriers (Cover Story) – Compoundsemiconductor Magazine, April 2001.
- [13] Traffic Technologies Centre in Koblenz/Germany (http://www.wsv.de/fvt/lichtte1/led_sektorenleitfeuer/led_sektorenleitfeuer_02.html).
- [14] IALA Recomendaciones sobre fotometría (Recomendación E122 de IALA)
- [15] IALA Guía sobre fuentes luminosas (Guía 1043 de IALA)
- [16] IALA Guía sobre luces de sectores (Guía 1041 de IALA)
- [17] IALA Conferencia 2002: “Relación equilibrada entre la intensidad luminosa horizontal y la divergencia vertical en linternas para boyas / criterios para la elección de la intensidad luminosa” German Federal Waterways Administration, Traffic Technologies Centre Koblenz, Otto Schellhase/ Frank Hermann.
- [18] IALA Conferencia de Hawaii: Documento sobre divergencia en boyas luminosas
- [19] Research on white LED aging, Lighting Research, New York
- [20] Application notes from LumiLED, Agilent
- [21] IALA Inputpaper [EEP6/6i/4] Overview of Current of LED Technologies, P.C. To
- [22] IALA NavGuide Ed. 5