

## **IALA Guideline No. 1043**

### **On Light Sources used in Visual Aids to Navigation**

### **Sobre FUENTES DE LUZ UTILIZADAS EN LAS AYUDAS A LA NAVEGACIÓN**

**EDICIÓN 1  
Diciembre 2004**

**(Sustituye a las directrices de la AISM sobre nuevas  
fuentes de luz y sus sistemas de alimentación, diciembre  
2001)**



**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](mailto:iala-aism@wanadoo.fr) Internet - <http://iala-aism.org>

# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>2. ÁMBITO</b>	<b>3</b>
<b>3. FUENTES DE LUZ</b>	<b>3</b>
<b>3.1 BREVE HISTORIA</b>	<b>3</b>
<b>3.2 CATEGORÍAS DE FUENTES DE LUZ</b>	<b>5</b>
3.2.1 LÁMPARAS INCANDESCENTES	5
3.2.2 LÁMPARAS DE FILAMENTO DE TUNGSTENO	6
3.2.3 LÁMPARAS HALÓGENAS DE TUNGSTENO	7
<b>3.3 LÁMPARAS DE DESCARGA</b>	<b>10</b>
3.3.1 TUBO FLUORESCENTE	11
3.3.2 VAPOR DE MERCURIO, SODIO DE ALTA/BAJA PRESIÓN	11
3.3.3 HALOGENUROS METÁLICOS	11
3.3.4 LÁMPARA DE XENÓN	12
<b>3.4 FUENTES DE LUZ DE ESTADO SÓLIDO</b>	<b>13</b>
3.4.1 LA LUZ LED	13
3.4.2 LÁSER	15
<b>4. RESUMEN Y COMPARACIÓN DE FUENTES DE LUZ</b>	<b>18</b>
<b>5. DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE FUENTES DE LUZ</b>	<b>20</b>
<b>6. REFERENCIAS</b>	<b>21</b>

## 1. Introducción

Gracias al trabajo de los comités de la AISM y de varios seminarios, la AISM ha ido proporcionando oportunamente una información precisa a todos los miembros sobre el desarrollo de fuentes de luz. Con la intención de que los miembros se beneficien aún más, se han desarrollado las presentes directrices para proporcionarles información en un solo documento tanto sobre las fuentes de luz actuales como sobre las que se están desarrollando.

## 2. Ámbito

Con estas directrices se pretende ofrecer información tanto sobre las fuentes de luz existentes como sobre las que se están desarrollando para su utilización en sistemas de ayuda a la navegación. Proporcionan asimismo información sobre consideraciones operativas complementarias, tales como la vida útil de las lámparas, la fiabilidad, los costes operativos y el consumo energético.

El presente documento describe las fuentes de luz que están actualmente en uso en el entorno marítimo junto con sus ventajas, inconvenientes, y los temas operativos, medioambientales y económicos asociados. Se ocupa de las propias fuentes de luz, pero no de los componentes asociados al sistema óptico.

## 3. Fuentes de Luz

### 3.1 Breve historia

Hasta que se aplicó por primera vez la electricidad para la iluminación a finales del siglo XIX, toda la luz artificial se generaba mediante el fuego. Los iluminantes evolucionaron desde las piras de madera (utilizadas hasta el siglo XVIII) a las lámparas de mechas de aceite, quemadores de vapor de aceite, de arco eléctrico y lámparas de filamento de tungsteno. Los sistemas ópticos han ido evolucionando a la par, primero con la aplicación de los sistemas de reflectores y más tarde con las lentes.

Es interesante observar que durante muchos años una de las mayores preocupaciones de la investigación científica fue la de esforzarse por comprender la percepción humana de la luz y mejorar la eficacia y eficiencia de los iluminantes de las ayudas a la navegación y de los dispositivos ópticos.

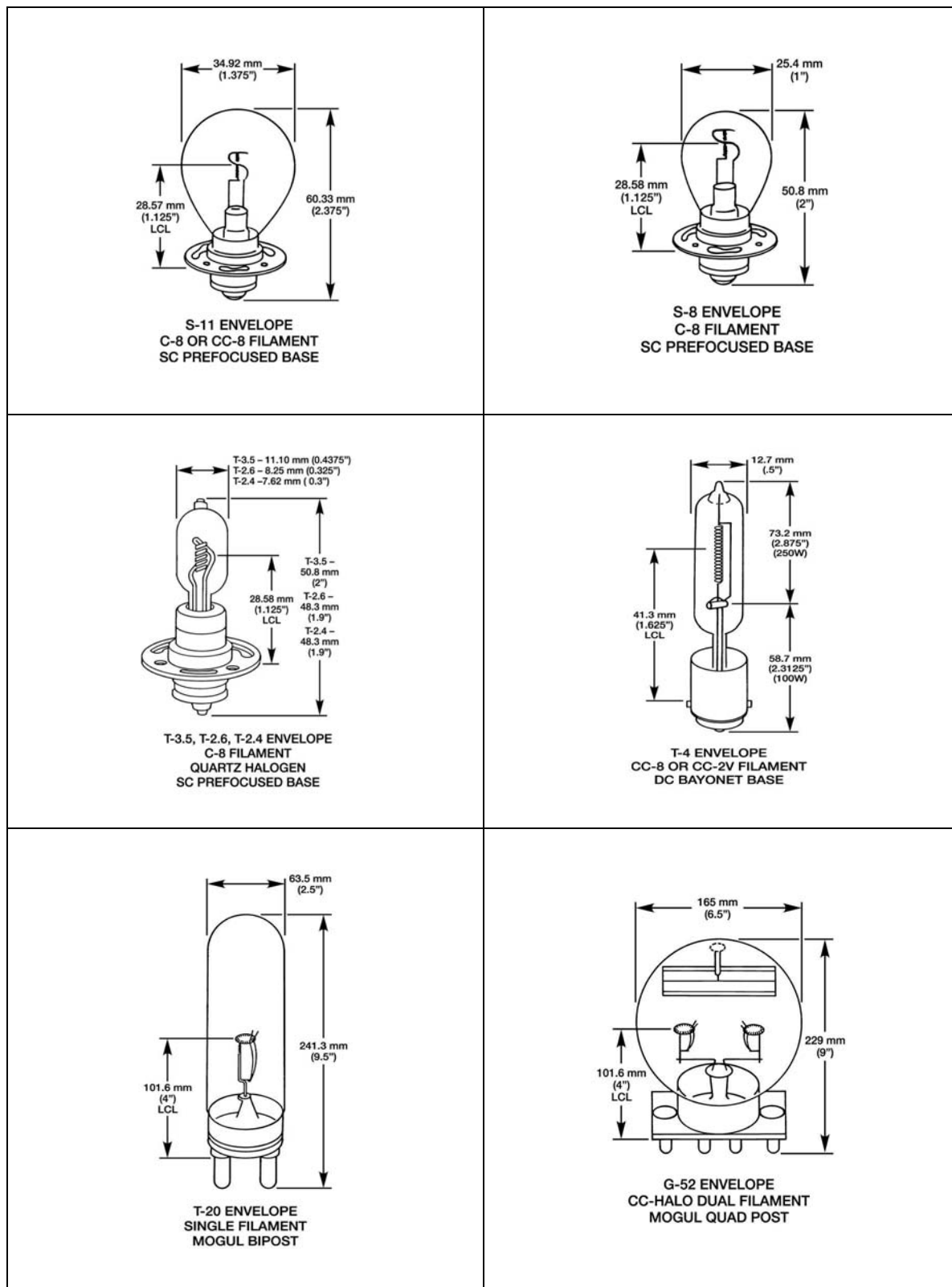
La lente que Fresnel diseñó por primera vez en torno a 1760 sigue siendo un elemento fundamental del sistema actual de las ayudas a la navegación. Sin embargo, hoy en día las lentes suelen ser de plástico y no de vidrio.

Aunque varios países siguen utilizando lámparas de gas que queman acetileno o propano, la mayor parte de las luces de las ayudas a la navegación utilizan lámparas eléctricas de distintos tipos. Cada vez es más corriente que la energía de dichas lámparas proceda de fuentes renovables como la energía solar, la eólica o la maremotriz. Véanse las *IALA Guidelines on Power Sources and Energy Storage* (Diciembre 2004).

Los equipos ópticos para faros y balizas suelen ser productos con marca registrada, aunque en algunas ocasiones las autoridades desarrollan sus propios equipos.

Se han diseñado lámparas eléctricas específicamente destinadas a las aplicaciones de las ayudas a la navegación, sobre todo para las balizas más pequeñas que se utilizan en grandes cantidades. No obstante, también se utilizan otras lámparas procedentes de una amplísima gama de productos comerciales para las ayudas a la navegación.

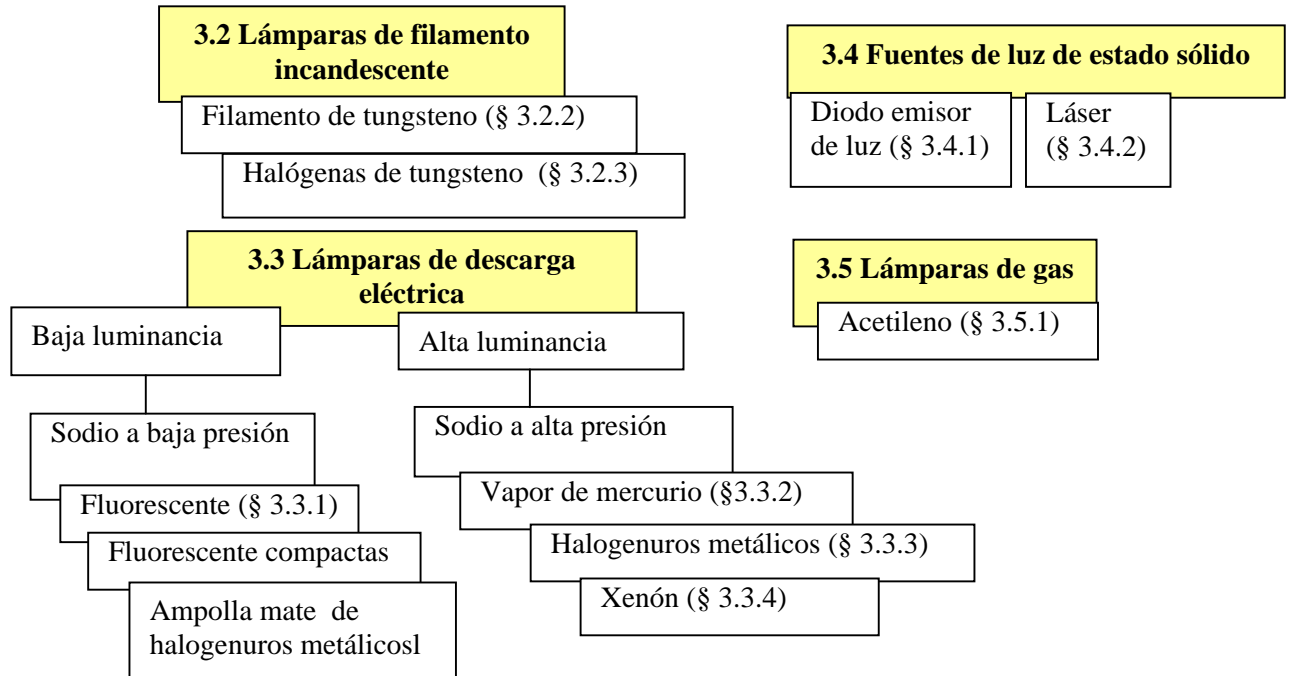
La tecnología de los diodos emisores de luz (LED) está desarrollándose con rapidez como fuente alternativa de luz. En la figura 1 se muestran algunos de los tipos más comunes de fuentes de luz.



**Figura 1** Una selección de lámparas fabricadas para su aplicación en las ayudas a la navegación (cortesía del Tideland Signal Corporation, USA).

## 3.2 Categorías de fuentes de luz

En la figura .2 se muestran las categorías de las distintas fuentes de luz que se suelen utilizar en las ayudas a la navegación. Las fuentes de luz descritas en estas directrices se identifican mediante una referencia a los sub-apartados en los que aparece la información.



**Figura 2** – Categorías de fuentes de luz

### 3.2.1 Lámparas incandescentes

Las lámparas incandescentes son radiadores térmicos y generan luz al calentar un cuerpo sólido hasta que llegue a una alta temperatura. Cuanto mayor sea la temperatura, mas “brillante” será la luz. En el caso de las lámparas incandescentes eléctricas, el cuerpo sólido debe ser además un conductor de la electricidad.

Para ser útil como fuente de luz, el material incandescente debe cumplir dos requisitos:

- Punto de fusión alto.
- Baja tasa de vaporización.

Las primeras lámparas eléctricas utilizaban carbón como filamento incandescente. Cuando se llega a temperaturas muy superiores a los 2.500°C el carbón se vaporiza con relativa rapidez y por lo tanto el resultado es una lámpara de vida corta.

### 3.2.2 Lámparas de filamento de tungsteno

Aunque no sea tan buen radiador térmico como el carbón, el tungsteno resultó ser un material más adecuado como filamento por su baja tasa de vaporización a temperaturas altas que se acercan al punto de fusión<sup>1</sup>.

La fabricación de los filamentos de tungsteno presentó varios problemas debido a que el tungsteno puro es quebradizo y resulta difícil crear hilos finos. Hoy en día se utilizan aleaciones de tungsteno que permiten controlar estas propiedades dentro de unos límites adecuados.

La emisión o la radiación de una fuente caliente de tungsteno tiene una distribución espectral que abarca el ultravioleta, el visible y el infrarrojo (calor). A las temperaturas más altas posibles, los picos de distribución de la radiación están en unos 850 nanómetros. En este caso, el balance energético suele ser:

- Luz visible 5%.
- Pérdidas de calor 12%.
- Radiación infrarroja 83%.

Durante la vida operativa de la lámpara se va depositando material vaporizado del filamento en la pared interior del bulbo de cristal y éste se va ennegreciendo, lo cual reduce la cantidad de luz emitida por la lámpara. Una forma de dispersar más la distribución de los depósitos de tungsteno es aumentar el tamaño de la ampolla. Como ejemplo, se puede citar la lámpara P30 de 3.0 amperios y filamento CC8 disponible en una ampolla S8 o S11. La ampolla S8 tiene inicialmente más lúmenes que la S11, pero se degrada más rápidamente por oscurecimiento<sup>2</sup>.

Normalmente, las lámparas que han sido diseñadas específicamente para las ayudas a la navegación comprenden:

- Un filamento de tungsteno en espiral o en doble espiral.
- Una ampolla de cristal de precisión
  - rellena de un gas inerte como el nitrógeno o el argón, o
  - al vacío (menos común).
- Con un casquillo prefocus, como por ejemplo:
  - P30s-10.3 (tal y como se utilizan en los cambiadores de lámparas de cuatro o seis posiciones)
  - BA22d-3 (lámparas de doble filamento)
  - Casquillo de bayoneta de 3 pines (lámparas de doble filamento).

#### **Ventajas**

- Bajo coste de inversión.
- Fiable.
- Disponibilidad para lámparas de pequeño tamaño.
- Tecnología de funcionamiento comprobado.
- Disponibilidad de doble filamento en pequeño tamaño.
- Se pueden apagar y encender para conseguir la característica deseada con un diseño apropiado de la fuente de alimentación y ritmo.

---

<sup>1</sup> El tungsteno tiene un punto de fusión de 3656°Kelvin (≅ 3383°C).

<sup>2</sup> Cuando el filamento se ubica en la parte superior de la ampolla, es mayor el deterioro de la salida de luz por estar el filamento más cerca de la zona que se oscurece en primer lugar.

## **Inconvenientes**

- Costes operativos altos.
- Vida útil relativamente corta.
- Temperatura de color relativamente baja.
- Envejecimiento durante el almacenaje.
- Sensible a los golpes y a las vibraciones.
- Durante la vida útil la intensidad se reduce debido al oscurecimiento.
- Disponibilidad limitada de lámparas de alta potencia.

## **Aspectos operativos, medioambientales y económicos**

- Voltaje: de 6 a 240 voltios.
- Corriente: de 0,125 a 15 amperios.
- Intervalo de temperatura de color de 2.200 a 3.000 °K.
- Rendimiento hasta 15-20 lúmenes/vatio.
- Vida útil de la lámpara de 500 a 1.500 horas.
- Material de la ampolla.
- Temperatura de la ampolla.
- Problemas con el destello en las lámparas por encima de los 100W (calentamiento lento).
- Se deben tener en cuenta las tolerancias de la posición del filamento cuando se cambia la lámpara.
- Para asegurar una larga vida útil, el control del voltaje debe ser suficientemente preciso.
- En las lámparas más grandes, el filamento puede afectar a la forma del haz de luz.
- Protección contra el goteo por condensación en las linternas grandes (faros).
- La ampolla, el diseño del filamento y la tolerancia pueden afectar a la distribución de la luz emitida.
- Hay que adoptar las precauciones normales en la manipulación del vidrio.
- Exige contar con un cambiador mecánico de lámparas como sistema redundante y aumentar los intervalos de mantenimiento.

## **Ámbito de aplicación**

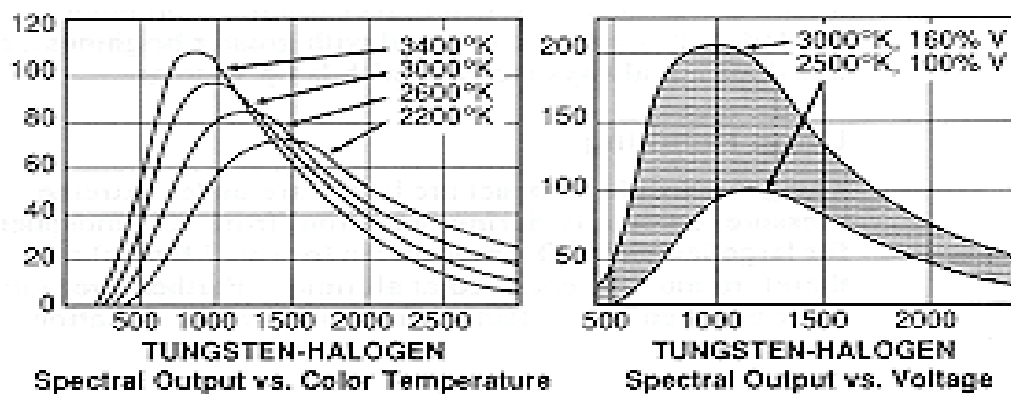
Se aplican en todas las ayudas a la navegación (desde las boyas hasta las ópticas de gran tamaño) aunque actualmente están en declive por su alto coste operativo, a pesar de la baja inversión inicial.

### **3.2.3 Lámparas halógenas de tungsteno**

Las lámparas halógenas de tungsteno tienen un filamento helicoidal montado en una ampolla de cristal de cuarzo relleno con un gas inerte (normalmente criptón o xenón) mezclado con trazas de un elemento halógeno (normalmente bromo o yodo).

Cuando la lámpara funciona en condiciones normales, se generan corrientes de convección entre el filamento caliente y las paredes de la lámpara que están a una temperatura más baja. Esta mezcla de gas circulante provoca el "**ciclo de halógeno**" en el que las moléculas de tungsteno vaporizadas del hilo incandescente son absorbidas por el gas halógeno y circulan a través del filamento. El calor del filamento hace que se separen el tungsteno y el halógeno y que el tungsteno vuelva a depositarse en el filamento (en general en las partes menos calientes). Por lo tanto, la ampolla de vidrio se mantiene relativamente limpia.

Si se utilizan ampollas pequeñas se puede usar un cristal más caro, como el de cuarzo, y la combinación del cristal de cuarzo y una ampolla más pequeña permite una mayor presión del gas y un uso eficiente de las mezclas de gases más caras (como el criptón y el xenón). Una presión más alta (hasta 20 bares) ayuda a suprimir el grado de vaporización del filamento incandescente. Gracias a la tasa reducida de vaporización del filamento incandescente se puede aumentar la vida de la lámpara o la temperatura del filamento.



**Figura 3** El espectro visible está entre 380 y 780 nanómetros.

Los gráficos muestran cómo la eficiencia luminosa disminuye a medida que se reduce el voltaje de la lámpara / la temperatura de color.

Cuando la lámpara halógena de tungsteno está en funcionamiento, la temperatura de la superficie de la ampolla puede superar los 600°C. No obstante, las temperaturas de los casquillos se suelen mantener en torno a 250°C para prevenir tanto la oxidación de los conductores como los fallos prematuros de la lámpara.

Si las lámparas halógenas de tungsteno se utilizan muy por debajo de su tensión nominal la temperatura puede bajar hasta inhibir el ciclo de halógeno y la ampolla puede oscurecerse, reduciéndose la vida útil.

Los usuarios deben estar informados de los aspectos de seguridad relacionados con las lámparas halógenas de tungsteno, como por ejemplo:

- Las temperaturas de funcionamiento son muy altas y hay que esperar el tiempo suficiente para que las lámparas se enfríen una vez apagadas.
- Existe riesgo de que se produzcan daños oculares por deslumbramiento o emisiones ultravioletas:
  - Los elevados valores medios de luminancia (hasta 3,000 cd/cm<sup>2</sup> en el filamento) pueden provocar problemas de deslumbramiento. Asimismo, no se deben exponer los ojos al portalámparas sin protección.
  - Según el voltaje aplicado y la temperatura de color, una lámpara halógena de tungsteno con ampolla de cristal de cuarzo emitirá aproximadamente de 0,2 % a 0,3% de la potencia eléctrica en forma de radiación ultravioleta (es decir, por debajo de los 380 nanómetros).
  - En la medida de lo posible, la lámpara halógena de tungsteno sólo se debe sujetar por la base. Las huellas dactilares en el cristal de cuarzo se queman cuando se pone en funcionamiento la lámpara, causando una recristalización del vidrio. Ello puede hacer que se vuelva opaco, reduciendo la consistencia del vidrio y aumentando el riesgo de ruptura de la ampolla.

### Ventajas

- Se puede reducir el tamaño de la ampolla de la lámpara.
- Menor degradación de la luz generada por la lámpara durante su vida útil
- Si el tungsteno tiene una temperatura más alta no sólo lo será también la temperatura de color (la luz será más "blanca"), sino que también aumentará la eficacia, medida en lúmenes por vatio.
- Las lámparas funcionan en cualquier posición.
- Mayor vida útil que las lámparas de filamento de tungsteno.
- Mayor vida de almacenamiento que las lámparas de filamento de tungsteno.
- Mayor eficiencia que las lámparas de filamento de tungsteno.



- Más resistentes que las lámparas de filamento de tungsteno.
- Se pueden apagar y encender para producir la característica deseada con un diseño apropiado de la fuente de alimentación y del ritmo.
- Compatibilidad física y eléctrica con los equipos existentes de lámparas de filamento de tungsteno.
- Funcionamiento relativamente sencillo (comparado con las lámparas de halogenuros metálicos y LED).
- Luz más blanca que la de las lámparas de filamento de tungsteno ~ 3000°K de temperatura de color correlacionada.

### ***Inconvenientes***

- Se debe evitar utilizar la lámpara por debajo de la temperatura necesaria para mantener el ciclo de halógeno.
- Se deben evitar los arranques en frío constantes de la lámpara. Esto puede conseguirse utilizando limitadores de corriente para el “encendido suave” o manteniendo una corriente “residual” durante los tiempos de oscuridad de aproximadamente un 10-20% de la corriente principal que circula por la lámpara.
- Los filamentos suelen ser compactos, lo cual puede suponer un tamaño demasiado pequeño para algunas aplicaciones, sobre todo en lo que respecta a la divergencia vertical..
- Más sensibles a las variaciones de alimentación que las lámparas de filamento de tungsteno (fundido del filamento y ciclo halógeno).
- Posible limitación de la duración del destello debido al ciclo halógeno.
- Las altas temperaturas pueden causar problemas con los contactos del portalámparas.
- La ampolla, el diseño del filamento y la tolerancia pueden influir en la forma del haz de luz generado.
- La poca tolerancia de fabricación puede hacer necesaria una selección o una adaptación a las aplicaciones de las ayudas a la navegación marítima para que el rendimiento sea constante.
- No resulta fácil fabricar lámparas especiales para uso marítimo.
- Al seleccionar las lámparas industriales se debe tener en cuenta que la geometría de los filamentos, la vida útil de la lámpara, etc. sean adecuados para el uso requerido.
- Se deben tomar más precauciones al manipularlas que en el caso de las lámparas de filamento de tungsteno.
- Puede requerirse entrenamiento para su manipulación.

### ***Aspectos operativos, medioambientales y económicos***

- Voltaje: de 6 a 240 voltios.
- Corriente: de 0,5 a 15 amperios.
- Rango de temperatura de color de 2.900 a 3.400 °K (región preferida por la AISM).
- Eficacia lumínica de aproximadamente 25 lúmenes por vatio.
- Vida útil de la lámpara de hasta 3.000 horas.
- Las baterías suelen tener una resistencia interna baja y las lámparas frías experimentan un flujo de corriente alto que supone una fortísima carga en el filamento y en los estañados de cables, soldaduras y placas de conexión.
- Cuando una batería está cargada completamente o se está recargando, el voltaje final puede superar al voltaje tolerado por la lámpara en una cantidad que haga que el filamento emisor se acerque al punto de fusión, causando un fallo prematuro de la lámpara.
- Se debe evitar utilizar la lámpara por debajo de la temperatura necesaria para mantener el ciclo de halógeno<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Según la publicación de Osram “Tungsten Halogen Low Voltage Lamps – Photo Optics”, no suelen presentarse problemas cuando se reduce en un 5 o un 10% el voltaje establecido y se puede bajar la intensidad de algunas lámparas halógenas de tungsteno modernas.

- Se deben evitar los arranques en frío constantes de la lámpara. Esto puede conseguirse utilizando limitadores de corriente para el “encendido suave” o manteniendo una corriente “residual” durante los tiempos de oscuridad de aproximadamente un 10-20% de la corriente principal que circula por la lámpara.
- Si falla el ciclo de halógeno se produce un oscurecimiento de la lámpara
- Material de la ampolla.
- Temperatura de la ampolla.
- Filamento pequeño y compacto.
- Pueden presentarse problemas con el destello en las lámparas de mayor tamaño de más de 100W (ciclo de halógeno).
- La transmisión del rojo con filtros de colores es menor que con las lámparas de filamento de tungsteno.
- Es necesario que el control del voltaje de la alimentación sea lo suficientemente preciso para garantizar una larga vida útil.
- Se requiere seguridad en la manipulación, dado que el contacto de las huellas dactilares con la ampolla puede reducir la vida útil.
- Puede haber un problema de compatibilidad con los equipos existentes porque la forma o el tamaño de la ampolla y/o la forma y tamaño del filamento pueden no coincidir con la óptica.
- Las lámparas bi-pin de alto consumo pueden acusar problemas en los contactos.
- En las lámparas de mayor tamaño, el filamento puede afectar la forma del haz.
- Las lámparas halógenas de tungsteno suelen durar más que las de filamento de tungsteno equivalentes gracias a su filamento resistente y a su ampolla compacta.
- Se deben definir las medidas de seguridad como el uso de guantes, gafas protectoras y las recomendaciones sobre el deslumbramiento. Los guantes también pueden ayudar a proteger la ampolla al reducir al mínimo el contacto de las huellas dactilares.
- Puede resultar aconsejable aplicar alguna medida de protección en torno a la lámpara.
- Es necesario enseñar el manejo, aunque esto es así para todas las lámparas de alto rendimiento.
- Se debe tener cuidado al desechar las lámparas debido a la alta presión en la ampolla.
- Se deben tomar las precauciones generales a la hora de manipular vidrios.
- Se debe tener precaución con las radiaciones ultravioleta.
- Suelen requerir menos energía que las lámparas convencionales de filamento, lo que es un efecto positivo para el medio ambiente.
- Una vida útil más larga implica menos desechos.
- Las lámparas de menor tamaño implican menos desechos.
- La vida útil es más larga que la de las lámparas de filamento convencionales, lo que reduce el número de visitas de mantenimiento.
- La eficiencia es mayor, lo que reduce los requisitos (de diseño).
- Las lámparas suelen ser más caras que las equivalentes de filamento de tungsteno, pero ello se compensa con creces por su mayor vida útil.
- El coste de formación del personal puede ser algo mayor.
- Exige contar con un cambiador mecánico de lámparas como sistema redundante y ampliar los intervalos de mantenimiento.
- La vida útil es más larga, lo que reduce las existencias almacenadas.

### ***Aplicaciones típicas***

Se aplican en todas las ayudas a la navegación (desde las boyas hasta las ópticas de gran tamaño). Se siguen utilizando en luces de destellos de largo alcance.

### ***3.3 Lámparas de descarga***

Las lámparas de descarga de alta intensidad se han desarrollado para las aplicaciones de iluminación de calles e iluminación con proyectores. Esta gama comprende la lámpara de mercurio o la de sodio a alta presión, ambas inadecuadas para las ayudas a la navegación, y las lámparas de halogenuros metálicos.

### 3.3.1 Tubo fluorescente

Los tubos de luz fluorescente se utilizan a veces para señalar los morros de diques y para proporcionar enfilaciones. Esta solución de bajo coste puede ser adecuada para satisfacer las necesidades de las embarcaciones de recreo y de pesca. Los colores que suelen utilizarse son el rojo, el verde, el blanco y el azul, aunque pueden no cumplir las recomendaciones de la AISM para los colores de las luces en las ayudas a la navegación.

Otros ámbitos de aplicación son la iluminación de señales y las flechas de dirección.

### 3.3.2 Vapor de mercurio, sodio de alta/baja presión

La distribución del espectro de las lámparas de mercurio y de sodio de alta/baja presión no se ajusta bien al uso en las ayudas a la navegación. Pueden presentarse problemas de eliminación por el contenido en mercurio. Estas lámparas no se suelen utilizar en las aplicaciones típicas de ayudas marítimas.

### 3.3.3 Halogenuros metálicos

Las lámparas de halogenuros metálicos se fabrican con dos ampollas. La interior, que contiene varios haluros de metal y argón, es donde se produce el arco. En general, éstas lámparas requieren un circuito autotransformador de balasto para regular la tensión durante el arranque y para compensar las variaciones en el voltaje de la alimentación.

Cuando la lámpara está en funcionamiento, los haluros de metal se vaporizan y se disocian en el interior del arco entre el haluro y el metal; este último irradia el espectro apropiado.

Cuando se enciende una lámpara, tarda varios minutos en llegar a sus condiciones normales de funcionamiento (entre otras, la presión de vapor). De manera análoga, si se interrumpe el voltaje de alimentación hasta que se extingue el arco, la lámpara no volverá a emitir luz hasta que se enfríe y se reduzca la presión de vapor en el tubo del arco hasta un nivel que permita que éste vuelva a encenderse. Esto puede tardar hasta quince minutos. La lámpara de halogenuros metálicos no puede emitir destellos en las ayudas a la navegación y sólo se utiliza en las ópticas giratorias y en las ópticas de pantallas giratorias.

#### ***Ventajas***

- Alta eficiencia (hasta 120 lm/vatio).
- Larga vida útil (de 6.000 a 20.000 horas).
- Construcción resistente.
- Temperatura de funcionamiento relativamente más baja.

#### ***Inconvenientes***

- La gama es menor que la de otros tipos de lámparas.
- No se puede encender y apagar para crear una característica.
- Algunas lámparas tienen posiciones de encendido limitadas
- Requiere un periodo de calentamiento
- Demora en el encendido tras una interrupción de la alimentación.
- La iluminación se reduce de forma significativa con el tiempo
- La alimentación necesaria es compleja.
- La interferencia de radiofrecuencia (RFI) puede suponer un problema.

## **Aspectos operativos, medioambientales y económicos**

- Hay que cuidar la proximidad entre el balasto, el cebador y la lámpara debido a la capacidad del cable.
- Si la temperatura ambiente es baja, el funcionamiento del balasto puede verse afectado.
- Los sistemas de control son más complejos.
- Hay que seleccionar una temperatura de color de la lámpara en consonancia con los requisitos de la ayuda a la navegación. Suele ser el blanco.
- Hay que seleccionar una lámpara con baja generación de UV por motivos medioambientales.
- Es importante programar los cambios de lámpara porque el color y la generación de luz varían con el tiempo.
- La forma del arco puede asemejarse a una lágrima y hay tener en cuenta el enfoque para lograr una máxima generación de luz.
- Existe una gama más amplia de soportes.
- Riesgo de alto voltaje de cebado.
- Puede resultar difícil eliminar el contenido de mercurio.
- Son necesarias prendas protectoras como guantes, gafas, etc., por el peligro de explosión del tubo del arco y la alta temperatura de funcionamiento.
- La alta eficiencia ahorra energía.
- Menos eliminación de residuos debido a la larga vida útil.
- Menores costes de mantenimiento debido a la larga vida útil.
- El coste de la lámpara es mayor que el de las lámparas equivalentes de haluro de tungsteno o de filamento de tungsteno.
- Costes iniciales de instalación más elevados.
- Requiere formación del personal.

## **Aplicaciones típicas**

Balizas de largo alcance, faros y mejora de las fuentes de luz mediante las ópticas giratorias existentes (modernización y/o aumento de su alcance). También se utiliza a veces para iluminación con proyectores.

### **3.3.4 Lámpara de xenón**

Las lámparas de arco de xenón tienen un arco corto y proporcionan una fuente de luz compacta. Suelen alcanzar el 80% de su generación de luz total inmediatamente después del encendido.

Se ha planteado el uso de una lámpara de xenón de 150 vatios desarrollada para faros de automóviles como fuente de luz para una óptica giratoria de reflectores<sup>4</sup> en faros marítimos. La lámpara funciona con un voltaje de entre 16 y 20 voltios dc, suministrados mediante una alimentación de 12 voltios dc. Se ha señalado que su salida espectral es relativamente plana por la banda visible de longitud de onda que permite una proyección de colores excelente tanto en rojo como en verde, además de proporcionar una luz blanca de 6000 °K de color "luz natural".

### **Ventajas**

- Gran eficiencia energética.

### **Inconvenientes**

En este estadio de su desarrollo, los inconvenientes del xenón son:

- El ritmo de destellos de la lámpara no es el adecuado para las aplicaciones de las ayudas a la navegación.

---

<sup>4</sup> Conferencia de la AISM de 1994 "New Visual Signals" USCG – referencia a Vega Industries XAB 17.

- Su vida útil es relativamente corta.  
El circuito de seguimiento/control de la alimentación es complejo, lo cual hace que sea además poco práctico utilizar un cambiador de lámparas.
- La vida útil de funcionamiento es muy dependiente del número de encendidos.
- La disponibilidad es limitada.

### **3.4 Fuentes de luz de estado sólido**

#### **3.4.1 La luz LED**

Un LED no es una lámpara, sino una fuente de luz de estado sólido que emite una radiación monocromática dentro del espectro visible o de infrarrojos cuando pasa una corriente. El ancho del espectro es pequeño, en torno a 50 nm. excepto para el blanco,

La química varía y tiene distintas propiedades, como por ejemplo la susceptibilidad a la descarga electrostática, el rendimiento según la temperatura, y la eficiencia medida en lúmenes por vatio.

Cuando se compara con la tecnología incandescente, los LED rojos y verdes son mucho más eficientes que las luces incandescentes con filtros, y los amarillos y blancos son ahora algo más eficientes.

En la actualidad existen dos tipos de LED. El primero es de baja potencia (<150 milivatios) y el segundo de alta potencia (0,5 – 5 vatios).

Según los requisitos de alcance y geometría, los LED de baja potencia se suelen situar en grupos o conjuntos. Los LED de alta potencia pueden disponerse solos o en grupo. Cuando se utilizan en grupos o conjuntos, la disposición del cableado puede variar considerablemente, y esto puede afectar al número de LED que se pierden si falla uno sólo.

Los LED requieren una gestión térmica integrada y unos circuitos de excitación cuya eficiencia puede variar. Dentro de un LED, aproximadamente el 15% de la energía se emite como luz y el 85% restante es calor. A diferencia de las fuentes de luz convencionales que disipan el calor por radiación, convección y conducción, en el caso de los LED es la luminaria la que tiene que conducir el calor hacia fuera.

Cada LED tiene una lente integrada. Pueden utilizarse lentes secundarias para producir el rayo de luz deseado.

#### **Ventajas**

- Eficientes desde el punto de vista energético.
- Consistentes, resistentes y resistentes a los golpes.
- Larga vida útil.
- Encendido y apagado instantáneo.
- Actualmente demuestran una visibilidad mejorada con la misma posibilidad de generación de luz debido al color (distribución espectral estrecha) y al destello con perfil de onda cuadrada.
- No tienen corriente de entrada alta.
- No tienen soportes de filamentos que creen sombras.
- No requieren un mantenimiento complejo.
- Con los grupos o conjuntos de LED se puede reducir sustancialmente la probabilidad de que la lámpara falle completamente.
- No tiene piezas mecánicas móviles.

#### **Inconvenientes**

- Dependiendo de los circuitos de excitación, la generación de luz puede variar con la temperatura ambiente.
- Cada LED puede generar una cantidad de luz muy diferente, lo que afecta el patrón del rayo.

- La tecnología LED cambia y avanza rápidamente, por lo que la experiencia a largo plazo con este tipo de dispositivo es limitada.
- La emisión de luz se degrada a lo largo del tiempo de funcionamiento.
- Se requiere un control electrónico complejo para lograr una larga vida útil y un alto rendimiento.

## **Aspectos operativos, medioambientales y económicos**

### **Operativos**

- La vida útil es muy larga y las necesidades energéticas son muy bajas, lo que puede reducir los requisitos para buques y helicópteros.
- Las directrices necesarias para las linternas LED son mínimas dado que casi no necesitan mantenimiento.
- Se reduce la complejidad del mantenimiento y, consecuentemente, la competencia técnica necesaria.
- Puede ser necesario verificar el rendimiento fotométrico.
- La relación lúmenes/vatios mejora constantemente, por lo que la eficiencia de las linternas LED seguirá mejorando.
- En estos momentos se están utilizando cientos de miles de luces LED.
- Los requisitos de especificaciones de seguridad son distintos según la región.

### **Medioambiental**

- Las linternas LED no plantean más problemas medioambientales que otras lámparas.
- Las linternas LED autónomas que contienen baterías pueden presentar problemas de eliminación. Se recomienda su devolución al fabricante para el reciclaje.
- El menor consumo de energía se traduce en menos baterías, paneles solares, necesidades de combustible, etc. De este modo, las boyas y los amarres pueden ser más pequeños. Estos factores reducen el impacto medioambiental de las ayudas a la navegación en las que se colocan las lámparas LED.
- El mantenimiento es menos frecuente, lo que reduce el impacto medioambiental de los buques, aviones, etc.
- El LED en sí es mejor que una lámpara en cuanto a los materiales tóxicos. La cantidad minúscula de semiconductores electrónicos de estado sólido está recubierta epoxi, y no hay que desechar lámparas durante la vida útil de la linterna.
- Gracias a los LED se pueden fabricar linternas pequeñas y autónomas.
- El coste de adquisición varía según la gama y las prestaciones. Hay luces de baja intensidad a bajo coste y luces de intensidad alta, cuyo coste de compra inicial puede ser mayor que el de las lámparas incandescentes.

## **Aspectos a considerar al adquirir una luz LED**

- Puede resultar difícil seleccionar las linternas LED más indicadas para cada uso, ya que hay diferencias complejas entre los circuitos de excitación, las disposiciones de las series LED, etc.
- Se deben especificar las candelas de salida para la escala de temperaturas de funcionamiento.
- Se debe especificar la uniformidad horizontal de la intensidad.
- El ángulo de divergencia vertical es necesario.
- La vida útil del LED depende de su correcta alimentación y de la temperatura de unión.
- La eficiencia de la baliza es proporcional al flujo luminoso total (candela máxima x divergencia vertical) con respecto a los vatios consumidos.
- Las horas necesarias de funcionamiento de la lámpara.
- Los requisitos de alimentación, incluyendo el consumo de energía con la luz encendida y apagada.
- El efecto funcional de la reducción de la intensidad con el paso del tiempo.

- El efecto de la temperatura en la intensidad máxima.
- El efecto del voltaje en la intensidad.
- El efecto de la pérdida de uno o varios LED.
- El método de control, es decir, control de la corriente, del voltaje o de la alimentación.
- El cumplimiento del LED de lo especificado en la publicación sobre cromaticidad de la AISM para luces de señalización (1977).
- La norma de la CE sobre la interferencia/inmunidad y la compatibilidad electromagnética y otras normas nacionales.
- Puede resultar necesario una protección con pararrayos complementaria si no está incluida.
- Los requisitos sobre la vibración mecánica y los golpes

### **Aplicaciones típicas**

Los LED se están utilizando en casi todo tipo de equipamiento de las ayudas a la navegación, entre ellos las linternas para boyas, las balizas pequeñas, las luces de enfilación y las “marcas diurnas” iluminadas que pueden encerrarse en unidades selladas. El alcance nominal típico para balizas omnidireccionales LED es de entre 1 y 12 millas náuticas, y en el caso de las linternas direccionales se están empezando a lograr alcances mayores.

### **3.4.2 Láser**

Un láser es un dispositivo que produce un rayo coherente y colimado de luz monocromática. Existen varios tipos de láser en el mercado, aunque en el caso de las aplicaciones marinas se debe tener en cuenta preferentemente el láser verde de estado sólido y los láser semiconductores rojos por su gran eficiencia energética y su resistencia. Sólo debe plantearse el uso del láser cuando se requieran rayos estrechos de alta intensidad.

#### **3.4.2.1 Enfoque orientativo**

- Los láser pensados expresamente para navegantes requieren poca energía y funcionan en casi todas las condiciones meteorológicas.
- Los láser que utilizan la difusión atmosférica requieren mucha energía y funcionan sólo durante la noche y si hay partículas dispersas suficientes en la atmósfera.
- Se puede proyectar un rayo de luz estrecho y concentrado de alta potencia con una fuente de luz muy direccional.
- Ángulo del rayo de aproximadamente 0,1 grados con un diámetro de la óptica de 25 mm.
- Se comportan como una fuente puntual (fuente del orden de micrómetros).
- Monocromáticas (ancho de banda de la longitud de onda muy estrecho) .
- Potencia del láser de 20-300 milivatios (el puntero láser para pizarra utiliza de 1 a 5 milivatios).

#### **3.4.2.2 Tipos**

- Los láser están disponibles en varios colores.
- Se recomienda el uso de dispositivos semiconductores rojos cuya vida útil es de aproximadamente 10.000 horas.
- Se recomienda el uso de láser verde de estado sólido cuya vida útil es de aproximadamente 30.000 horas.
- Los láser de gas, disponibles en una amplia gama de colores, son menos eficientes y resistentes y tienen una vida útil de al menos 2.000 horas.

### **Ventajas**

- Buena fuente para rayos estrechos y precisos de alta intensidad.
- Se logran fácilmente alcances largos durante el día.

- Los sistemas de corto alcance son de fácil instalación.
- Se precisa solamente una torre para las aplicaciones de luces de enfilación y las aplicaciones en luces de sectores de precisión.
- Gran eficiencia energética. Incluso para los alcances largos durante el día se requiere poca energía, que puede ser solar.
- No se necesita una óptica de gran tamaño; bastan 25 mm para los ángulos mayores de 0,1 grados.
- Poco mantenimiento dado que el láser sólo tiene que cambiarse una vez cada 3 años.
- No hay cambios de color con la propagación atmosférica.
- Se puede lograr que aumente su eficiencia energética.
- Máxima eficiencia eléctrica para los rayos estrechos de alta intensidad.
- Es una buena fuente para los sistemas compactos.
- Se pueden limitar con precisión los sectores, lo que permite una demarcación exacta de los peligros.

### ***Inconvenientes***

- Aún no se ha desarrollado plenamente para todos los usos.
- Los sistemas con más de 3 sectores codificados son difíciles de construir.
- La sustitución de un láser es más cara que la de una fuente de luz estándar.
- No es rentable para las aplicaciones de corto alcance y gran ángulo.
- El ancho máximo del rayo, que es de por sí muy estrecho, limita el uso de las lámparas láser a los canales estrechos.
- Es difícil disponer de colores que no sean el verde y el rojo cuando haya que tener en cuenta la eficiencia y la resistencia. Si no es así, se puede contar con todos los colores.
- A temperaturas ambiente altas, de 40° C o más, disminuye la eficiencia del sistema debido al consumo de su dispositivo de enfriamiento.
- La torre ha de ser muy estable.
- Se precisa formación por motivos de seguridad.
- Es necesario disponer de protección ocular especial a corta distancia.

### ***Aspectos operativos, medioambientales y económicos***

#### **Operativos**

- Se precisa sólo una torre para el proyector de luz láser.
- Fácil de instalar.
- Se precisa una pantalla de cañón para la alineación.
- Una sola persona puede instalar un sistema de corto alcance.
- Bajo consumo de energía.
- Un sistema diseñado para un alcance en torno a los 3 kilómetros y con una divergencia de 4,3 grados cuando funciona a unos 15°C tiene un consumo de energía de 5 vatios. A bajas temperaturas (aproximadamente -20°C) el consumo es de 18 vatios.
- Un sistema diseñado para alcances mayores (30 kilómetros) tendría un consumo de energía en torno a 100 vatios.

#### **Medioambientales**

- No hay requisitos especiales para la eliminación; basta el procedimiento de eliminación de componentes electrónicos.
- Se pueden sustituir los componentes in situ.
- Es fácil diseñar el sistema para que resulte seguro realizar una simple inspección ocular o con prismáticos en el alcance funcional.
- El sistema no daña el medio ambiente, ya que tiene unas necesidades energéticas muy bajas.

#### **Económicos**

- La fabricación en grandes cantidades y la tan esperada llegada de láser nuevos y más baratos debería reducir el precio.



- Los costes de instalación son muy bajos.
- El sistema puede utilizar fuentes de alimentación pequeñas y rentables, a menudo de energía solar.

## Ejemplos de una aplicación de luz LÁSER

### Láser bicolor del río Hay.

En el canal de entrada del río Hay se diseñó e instaló una enfilación láser bicolor (láseres rojos y verdes de 20 milivatios) con un alcance de 3 kilómetros. Un equipamiento de energía solar proporciona la alimentación a las lámparas láser. La generación de energía es menor durante la noche que durante el día.

El equipamiento es de fácil instalación y mantenimiento. Durante su instalación fue alineado con una pantalla de cañón y los láseres tienen una vida útil estimada en unas 10.000 horas.

La torre delantera de las luces de enfilación existentes se ha utilizado para instalar la enfilación láser. Por motivos de seguridad, el sistema láser se utiliza junto con el sistema existente hasta que se compruebe su fiabilidad. El sistema láser no afecta a los ojos de los navegantes. El objetivo del ensayo es evaluar la posibilidad de sustituir los sistemas de enfilación existentes.

La enfilación láser se instaló en junio de 2000 y su rendimiento ha respondido a las expectativas. El desarrollo del sistema costó unos 60.000 dólares estadounidenses, cifrándose la estimación del coste de duplicación del sistema en unos 30.000 dólares estadounidenses.

El cuadro 4 muestra el código láser utilizado en el proyecto del río Hay.

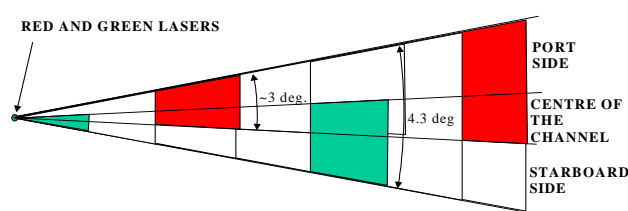


Figure 4 – Code for the Hay River laser range

## 3.5 Lámparas de Gas

### 3.5.1 Acetileno

La luz de acetileno ocupa un lugar especial en la historia de las ayudas a la navegación, principalmente porque fue la primera forma fiable de automatizar faros, boyas y balizas a principios del siglo XX. Los sistemas predominantes de luz de acetileno llevan la marca AGA<sup>5</sup> y su origen son los inventos de Gustaf Dalen<sup>6</sup>. Los inventos claves fueron:

- Métodos de producción para generar, purificar y secar grandes cantidades de acetileno.
- El diseño de un cilindro transportable para almacenar el gas acetileno bajo presión<sup>7</sup>.
- El desarrollo de un sistema de quemador de llama abierta (y de quemador piloto de bajo consumo de gas) que podría generar un ritmo regular de destellos.

<sup>5</sup> La compañía sueca de acumuladores de gas AB.

<sup>6</sup> Gustaf Dalen fue galardonado en 1912 con el Premio Nóbel de Física como reconocimiento por estos inventos.

<sup>7</sup> Normalmente, un cilindro de acero relleno con una masa porosa que contiene una cantidad de acetona que absorbe muchas veces su propio volumen de acetileno en suspensión a una presión baja de 20 bares.

- El desarrollo de una válvula solar<sup>8</sup> para ahorrar en el consumo de gas<sup>9</sup> limitando la luz de funcionamiento a condiciones nocturnas.

La tecnología de luces de acetileno se mejoró aún más con el desarrollo del “mezclador” de Dalen con el que se pasa el gas y el aire a una cámara y luego se consume en un capillo incandescente para producir una fuente de luz más brillante que la de llama abierta. El capillo incandescente se podría utilizar como una fuente de destello dentro de una lente fija o como una fuente continua dentro de una lente giratoria. Entre otros desarrollos relacionados se encuentra un mecanismo impulsado por gas para lentes giratorias y un dispositivo para cambiar capillos impulsado por un mecanismo de relojería.

### 3.5.2 Propano y butano

Los gases propano y butano se han utilizado como combustibles alternativos al acetileno. El equipo de iluminación tiene que emplear un quemador de capillo que es similar al diseño Dalen.

#### ***Ventajas***

- Tecnología de funcionamiento comprobada.
- Es menos probable que el equipamiento de gas sufra robos o vandalismo que en el caso de otras fuentes de luz.
- Los componentes mecánicos tienen una larga vida útil.

#### ***Inconvenientes***

- Altos costes de servicio y mantenimiento.
- Pocos suministradores/caro.
- Baja intensidad de luz.

#### ***Aplicaciones típicas***

- Luz de boya.

## **4. Resumen y comparación de fuentes de luz**

En el cuadro 1 se muestra un resumen de las fuentes de luz descritas en este apartado de las directrices junto con una comparación de sus propiedades.

---

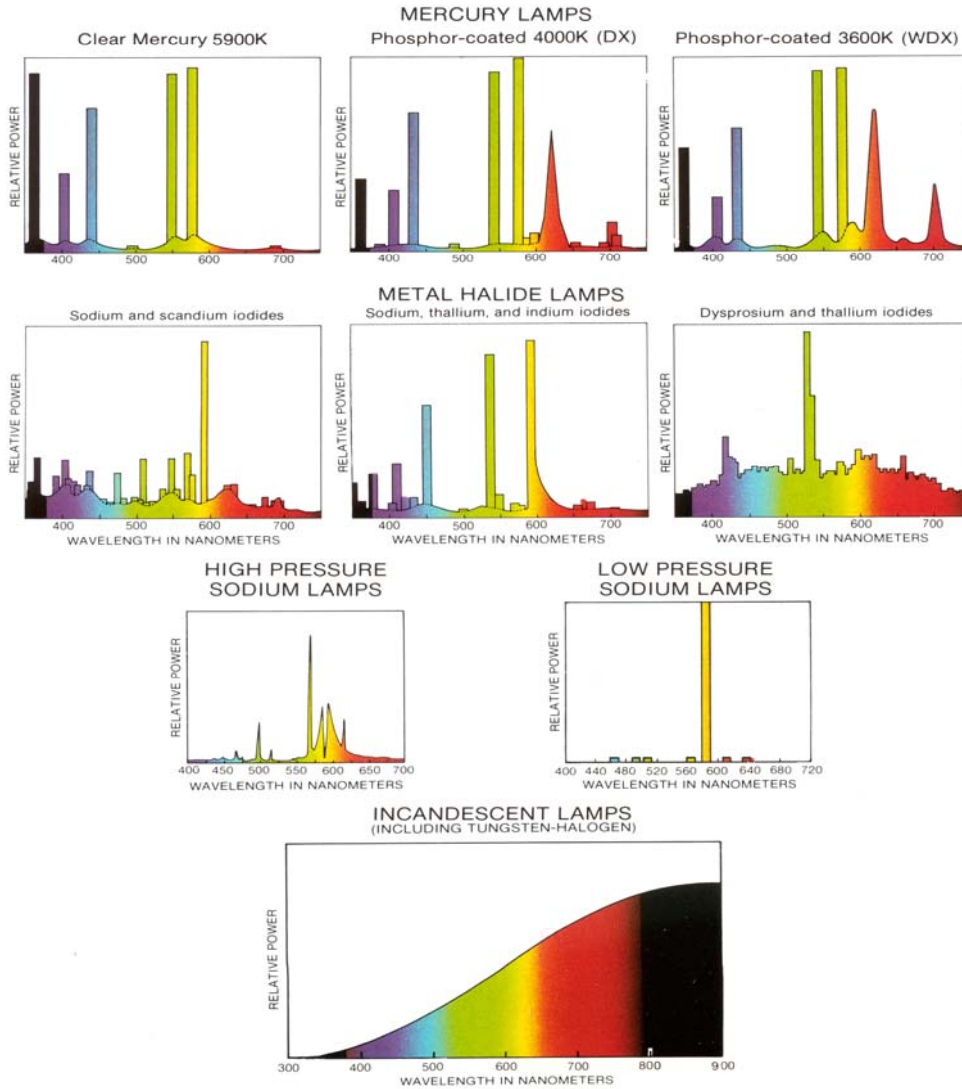
<sup>8</sup> El principio de la válvula solar utiliza el diferencial de expansión entre dos cuerpos metálicos, uno pulido y el otro oscurecido, para cerrar una válvula de gas cuando se expone a la luz solar.

<sup>10</sup> La combinación de sustituir una llama continua por una característica de destello y la válvula solar logró unos ahorros de gas que solían ser de aproximadamente un 80%.

**TABLA 1 - RESUMEN Y COMPARACIÓN DE FUENTES DE LUZ**

	Uso normal en las ayudas a la navegación	Coste de la fuente de luz (dólares USA)	Vida útil (años)	Vida en almacenamiento (años)	Resistencia	Potencia de entrada máxima (vatios)	Lúmenes por vatio	Geometría de emisión	Espectro de colores	Destellos	Seguridad y otros aspectos
<b>Lámpara de filamento</b>	Todo horizonte	5-20	300-2.000	>10	Baja	3.000	15-20	Esférica	Banda ancha	SÍ	El vidrio se puede romper.
<b>Lámpara de filamento de tungsteno</b>	Todo horizonte	10-20	hasta 3.000	>10	Media	3.000	hasta 75	Esférica	Banda ancha	SÍ	El vidrio se puede romper. Ampolla muy caliente. Las huellas dactilares en la ampolla pueden provocar fallos.
<b>Lámpara de Haluro Metal</b>	Óptica giratoria y luces de enfilación de alcance medio	30-100	6000-20.000	>10	Media	10.000	hasta 120	Esférica	Líneas espectrales fuertes y UV	NO	Ampolla muy caliente. Puede explotar.
<b>Láser</b>	Luces de enfilación	1.000	10.000	Infinita	Media	20	??	Rayo estrecho	Monocromático	SÍ	Puede provocar daños en los ojos.
<b>LED de baja potencia</b>	Todo horizonte salvo luces de enfilación	0,25-1 (se necesitan muchas 4-600)	>100.000 Blanca <10.000	Infinita	Alta	150mW	25 - 40	Rayo medio a ancho	Ancho de banda muy estrecho (50nm)	SÍ	Puede provocar daños en los ojos.
<b>LED de alta potencia</b>	Todo horizonte salvo luces de enfilación	8 - 15	>100.000 Blanca >50.000	Infinita	Alta	5	25 - 60	Rayo medio a ancho	Ancho de banda muy estrecho (50nm)	SÍ	Puede provocar daños en los ojos..

## 5. Distribución espectral de fuentes de luz



**Figura 5** Extracto del IESNA Lighting Handbook Reference Volume 1981 que muestra las distribuciones del espectro que cabría esperar de distintos tipos de lámparas.

## 6. Referencias

- Recommendation for the notation of luminous intensity and range of light. 16 de noviembre de 1966.
- Recommendation for a definition of the nominal daytime range of maritime signal lights intended for the guidance of shipping by day. Abril de 1974.
- Recommendation for the colours of light signals on Aids to Navigation. Diciembre de 1977.
- Recommendation on the determination of the luminous intensity of a marine Aid to Navigation light. Diciembre de 1977.
- Recommendation for the calculation of the effective intensity of a rhythmic light. Noviembre de 1980.
- Recommendation E-110, for the rhythmic characters of lights on Aids to Navigation. Mayo de 1998.
- Recommendation E-112, for leading lights. Mayo de 1998.
- Recommendation E-122, on the Photometry of Marine Aids to Navigation Signal Lights. Junio de 2001.
- Guidelines for the protection of lighthouses and Aids to Navigation against damage from lightning. Diciembre de 2000.