

# IALA Recommendation E200-5

On

## Marine Signal Lights Part 5 - Estimation of the Performance of Optical Apparatus

Sobre

## Señales Luminosas Marítimas Parte 5 – La Estimación del Rendimiento de Elementos Ópticos

1ª Edición

Diciembre 2008

Traducción elaborada por



Puertos del Estado  
Avda. del Partenón, 10  
28042 Madrid, Spain

Tel: +34 91 524 55 26 (AtoN)  
E-mail: [AtoN@puertos.es](mailto:AtoN@puertos.es)  
Internet: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)



10 rue des Gaudines

Saint Germain en Laye, France

Telephone: +33 1 34 51 70 01    Telefax: +33 1 34 51 82 05

E-mail: [xxx@iala-aism.org](mailto:xxx@iala-aism.org)    Internet: [www.iala-aism.org](http://www.iala-aism.org)

## Revisiones del Documento

Las revisiones realizadas al Documento de IALA se anotarán en la tabla antes de la emisión de un documento revisado.

| Fecha | Página / Sección Revisada | Necesidad de Revisión |
|-------|---------------------------|-----------------------|
|       |                           |                       |
|       |                           |                       |
|       |                           |                       |
|       |                           |                       |
|       |                           |                       |
|       |                           |                       |

**Coordinador de la edición en español y edición final:**

**José Carlos Díez (Puertos del Estado)**

**Agradecemos la colaboración en la revisión de los borradores a:**

- **Dirección General del Territorio Marítimo y de M.M. (DIRECTEMAR) Chile.**
- **La Maquinista Valenciana (IALA-IM)**
- **Mediterráneo Señales Marítimas (IALA-IM)**

NOTA: Puertos del Estado no se responsabiliza de los errores de interpretación que puedan producirse por terceros en el uso del contenido de este documento, que corresponde a una traducción del documento original de la Asociación Internacional de Ayudas a la Navegación Marítima y Autoridades de Faros (IALA) denominado según aparece en la carátula.

## **Recomendación relativa a las Señales Luminosas Marítimas – Estimación del Rendimiento de Elementos Ópticos**

**(Recomendación E-200 Parte 5)**

### **EL CONSEJO:**

**RECORDANDO** la función de la IALA con respecto a la Seguridad de la Navegación, la eficiencia del transporte marítimo y la protección del medio ambiente;

**RECONOCIENDO** la necesidad de proporcionar asistencia sobre la evaluación del rendimiento de las señales luminosas de ayuda a la navegación marítima;

**RECONOCIENDO ASIMISMO**, que no siempre es posible evaluar el rendimiento de señales luminosas de ayuda a navegación mediante la medición directa;

**RECONOCIENDO ADEMÁS**, que es posible estimar, por medio del cálculo, el rendimiento de las señales luminosas de ayuda a la navegación;

**TENIENDO EN CUENTA** que las normas definidas para la determinación del rendimiento de las luces de destellos se deberán emplear a escala mundial para asegurar la calidad de las señales luminosas para los marineros;

**TENIENDO EN CUENTA ASIMISMO**, que este documento sólo será de aplicación a las señales luminosas de ayuda a la navegación marítima instaladas tras la fecha de publicación de este documento;

**CONSIDERANDO** las propuestas del Comité EEP, de sus expertos de luces y del grupo de trabajo IALABATT / IALALITE.

**ADOPTA** la Recomendación relativa a las Señales Luminosas de las Ayudas a Navegación Marítima en los anexos de esta recomendación; y,

**RECOMIENDA** que los Miembros Nacionales de la IALA y otras Autoridades competentes que proporcionan servicios de ayuda a la navegación marítima adopten los métodos de acuerdo con esta recomendación relativa a la estimación del rendimiento de elementos ópticos.

## Índice de Contenidos

### REVISIONES DEL DOCUMENTO

¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

### RECOMENDACIÓN RELATIVA A LAS SEÑALES LUMINOSAS MARÍTIMAS – ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ELEMENTOS ÓPTICOS 1

### ÍNDICE DE CONTENIDOS 4

#### 1 INTRODUCCIÓN 6

#### 2 ÁMBITO DE APLICACIÓN / OBJETO 6

#### 3 DEFINICIONES 6

### SECCIÓN A 7

### MÉTODOS PARA EL CÁLCULO APROXIMADO DE LA INTENSIDAD LUMINOSA DE PICO DEL HAZ PROVENIENTE DE UNA LUZ DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN 7

#### 1 OBJETIVO 7

#### 2 TIPOS DE APARATOS DE PROYECCIÓN DE HACES DE LUZ 7

#### 3 TIPOS DE FUENTE LUMINOSA 7

#### 4 LUMINANCIA DE FUENTES LUMINOSAS 8

#### 5 FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE PICO DE HACES DE LUZ 9

##### 5.1 Aparatos de proyección de un haz en abanico (generado en torno a un eje vertical) 9

###### 5.1.1 Catóptricos 9

###### 5.1.2 Dióptricos y catadióptricos 11

##### 5.2 Aparatos de proyección de haces de luz concentrados 13

###### 5.2.1 Catóptricos 13

###### 5.2.2 Dióptricos y catadióptricos 13

##### 5.3 Espejos de refuerzo 15

###### 5.3.1 Espejos de refuerzo centrados 15

###### 5.3.2 Espejos de refuerzo descentrados 16

#### 6 DURACIÓN DE LUCES DE HACES RÍTMICOS 16

##### 6.1 Aparatos giratorios 16

##### 6.2 Sistemas de supresión 17

##### 6.3 Sistemas de extinción 17

###### 6.3.1 Llamas de acetileno y otras llamas de gas, y lámparas de descarga 17

###### 6.3.2 Lámparas incandescentes y quemadores de capillo 17

#### 7 UTILIZACIÓN DE FILTROS DE COLOR 19

### 8 MÉTODOS PARA DEDUCIR LA TRANSMISIÓN ATMOSFÉRICA A PARTIR DE OBSERVACIONES DE FAROS 19

### 9 EFECTO DEL ACRISTALAMIENTO DE LA LINTERNA Y FACTOR DE CONDICIONES DE SERVICIO 21

### 10 LIMITACIONES DE LOS CÁLCULOS 21

## **SECCIÓN B 27**

### **LA ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD DE HACES MEDIANTE TÉCNICAS DE «RATIO-ING» 27**

#### **1 OBJETIVO 27**

#### **2 EJEMPLOS DE LA ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD LUMINOSA 27**

##### **2.1 Lentes fijas 27**

2.1.1 Cambio de fuente 27

2.1.2 Cambio del tamaño de la lente fija 27

##### **2.2 Paneles ópticos 28**

2.2.1 Cambio de fuente 28

2.2.2 Cambio del tamaño del panel óptico 29

#### **3 EJEMPLOS DE LA ESTIMACIÓN DE LA DIVERGENCIA DEL HAZ 30**

##### **3.1 Escalado de la duración del destello 30**

#### **4 CONCLUSIONES 31**

#### **5 REFERENCIAS 31**

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Factor de corrección  $k_1$  10

Figura 2 Factores de corrección  $k_2$  11

Figura 3 Factores de corrección  $k_3$  y  $k_4$  12

Figura 4 Factor de corrección  $c_2$  14

Figura 5 Gráfico de correcciones para los tiempos de incandescencia y oscurecimiento 18

Figura 6 Curva de distribución de transmisión atmosférica 21

Figura 7 Dibujo de un elemento óptico giratorio de 2º orden 22

Figura 8 Dibujo de un elemento óptico de 4º orden 25

**Anexo**  
**Recomendación E-200-5 de la IALA**  
**Señales Luminosas Marítimas**

**Parte 5 - La Estimación del Rendimiento de Elementos Ópticos**

## **1 INTRODUCCIÓN**

Esta recomendación se divide en dos Secciones, A y B.

La manera recomendada de determinar el rendimiento de los elementos ópticos es mediante la medición directa, véase la referencia [5]. Sin embargo, cuando la medición directa no sea posible, el rendimiento se podrá estimar de las siguientes maneras:

Sección A proporciona detalles sobre un método para realizar el cálculo aproximado de la intensidad luminosa de pico del haz de luz proveniente de una señal luminosa de ayuda a la navegación, o sea, la intensidad en su valor máximo de su distribución espacial, normalmente en la dirección del eje óptico del sistema de proyección de haces de luz.

Este tipo de cálculo se ha diseñado para su utilización cuando la medición fotométrica directa no es posible y cuando los datos necesarios para los métodos que figuran en la Sección B no estuvieran disponibles.

Sección B describe métodos por medio de los cuales es posible obtener mejores estimaciones de la intensidad luminosa de una determinada combinación de fuente luminosa y óptica con respecto a las que se pueden obtener mediante los métodos de la Sección A, siempre y cuando tengamos disponibles los datos de medición de una óptica idéntica con diferente fuente o de una fuente idéntica con otra óptica.

Cuando sea posible, se dará preferencia a este tipo de cálculo sobre los de la Sección A.

## **2 ÁMBITO DE APLICACIÓN / OBJETO**

El objeto de esta recomendación es describir cómo determinar o estimar uno o más valores de la intensidad luminosa y proporcionar los parámetros más significativos del rendimiento de una señal luminosa de ayuda a la navegación cuando se utilice en una instalación. Sólo en muy contadas ocasiones será posible realizar mediciones *in situ* de una luz instalada; pero, para la mayoría de luces, debería ser posible medir la distribución espacial de la intensidad luminosa del haz o los haces de luz emitidas, p. ej. por una lente fija o por un cierto número de paneles de lentes prismáticas, bien de los equipos realmente instalados o bien de un equipo exactamente igual. Normalmente, tales mediciones se realizarán en un emplazamiento utilizado para ensayos fotométricos. En tanto que sea posible, el equipo medido en el emplazamiento deberá ser idéntico en todas sus particularidades al de la instalación, incluyendo tanto los filtros de color como el acristalamiento de la linterna, si tiene. En los casos en que éstos elementos no se puedan incluir en la configuración a medir, se les aplicará las correcciones por reducción de transmisión para los filtros de color a partir de mediciones realizadas por separado y por las pérdidas causadas por el acristalamiento de la linterna.

## **3 DEFINICIONES**

Las definiciones se referencian al diccionario de la IALA.

## SECCIÓN A

### MÉTODOS PARA EL CÁLCULO APROXIMADO DE LA INTENSIDAD LUMINOSA DE PICO DEL HAZ PROVENIENTE DE UNA LUZ DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN

#### 1 OBJETIVO

Como ya se ha expresado en la Introducción, las fórmulas proporcionadas en esta Sección sólo se emplearán para realizar la estimación aproximada en la dirección del eje de la intensidad luminosa cuando la realización de mediciones fotométricas no sea posible. Es probable que el nivel de precisión no supere  $\pm$  el 20% para las fuentes que se aproximan a esferas de luminancia homogénea y, normalmente, será bastante menor para las lámparas de filamento y las de fuente compacta de descarga en arco.

Las fórmulas también se podrán emplear en la fase de diseño de una nueva luz de ayuda, en que pueden ser muy útiles como una guía para el tamaño del panel, la luminancia de la fuente, etc., necesarios para cumplir con una necesidad operativa determinada.

#### 2 TIPOS DE APARATOS DE PROYECCIÓN DE HACES DE LUZ

Las fórmulas que figuran en esta Sección son aplicables a los siguientes tipos de aparatos de proyección de haces de luz.

- 1 Sistemas catóptricos, incluyendo reflectores paraboloides y cilindro parabólicos;
- 2 Sistemas de lentes prismáticas (con elementos dióptricos y/o catadióptricos);
- 3 Sistemas auxiliares:
  - a Prismas de desviación;
  - b Espejos de refuerzo, p. ej. reflectores esféricos de tipo catóptrico o catadióptrico.

Los cálculos se han realizado para sistemas con un perfil tipo Fresnel. Se puede mostrar que los resultados no dependen mucho de las formas de los prismas, y los cálculos se podrán aplicar a otros perfiles con una grado razonable de precisión, p. ej. perfiles equiangulares. Cuando los perfiles de tipo Fresnel incluyan elementos catadióptricos, éstos se podrán disponer de manera que se alejen en ángulos retrasados o que permanezcan en el plano. En este último caso, habrá espacios oscuros entre los prismas. Se proporcionan dos conjuntos de fórmulas, que se podrán aplicar, respectivamente, a paneles ópticos y a lentes de tambor.

#### 3 TIPOS DE FUENTE LUMINOSA

Las fórmulas tan sólo son aplicables a fuentes en forma de esfera con una luminancia homogénea. Son, por lo tanto, capaces de proporcionar resultados de un grado razonable de precisión para fuentes que se aproximan a dicha forma, tales como quemadores de capillo con un único capillo incandescente de gran tamaño.

Unos factores de corrección adicionales se proporcionan en una tabla para permitir la realización de cálculos aproximados para los siguientes tipos de filamentos incandescentes de lámparas eléctricas:

- 1 De rejilla o parrilla;
- 2 Cilíndricos;
- 3 Cruciformes;

#### 4 Filamentos compactos en doble espiral.

La aplicación de las fórmulas a otras formas de filamentos y a otras fuentes luminosas, como quemadores de llama desnuda, lámparas de arco de carbón y lámparas de descarga en arco a alta presión, está sujeta a grandes reservas en cuanto a la precisión.

### 4 LUMINANCIA DE FUENTES LUMINOSAS

Para asegurar la precisión en el uso de las fórmulas, la fuente luminosa deberá ser una esfera de luminosidad homogénea. También se puede esperar que las fuentes luminosas de gran tamaño de otras formas con una luminancia de superficie casi homogénea proporcionen una intensidad del haz de luz bastante cercana a los valores calculados.

En un sistema óptico de dirección fija, la luminancia (L), que se introduce en las fórmulas de la SECCIÓN A5, es la luminancia media en el sentido del eje del sistema óptico. En el caso de paneles ópticos giratorios, el eje gira en torno al plano horizontal, mientras que, en caso de lentes de tambor, no existe un eje definido en el plano horizontal. En tales casos, es necesario considerar las posibles variaciones de intensidad con respecto a la dirección o tomar una media de la luminancia eficaz de la fuente en varias direcciones.

La luminancia en una dirección determinada se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L = \frac{I}{S}$$

(ecuación 1)

Donde:

L = la luminancia media de la fuente, en cd/m<sup>2</sup>

I = la intensidad luminosa de la fuente luminosa, en una dirección determinada, en candelas

S = el área proyectada de la fuente luminosa, en m<sup>2</sup>, sobre una superficie plana normal a una dirección determinada. (Esta dirección suele ser la del eje óptico.)

En cuanto a las estructuras complejas de filamento, tales como las de descargas en arco de una luminancia no homogénea, etc., lo mejor que se puede hacer, en términos generales, es tomar S como el área completo dentro del contorno convexo más reducido que circunscribe el elemento luminoso, incluso cuando tal área pueda contener espacios oscuros.

El método anterior obtiene la luminancia media, que se utilizará con las fórmulas de la SECCIÓN A5, a partir de una medición de la intensidad luminosa de la fuente. Tal medición se sujetará a los requisitos generales para las mediciones fotométricas de corta distancia descritos en la referencia [5], esto es posible, incluso cuando no se pueda realizar la medición del sistema óptico completo. En el caso de las fuentes luminosas no homogéneas, podría ser preferible colocar la fuente en el foco de una lente de calidad fotográfica y realizar un cierto número de mediciones en el haz en varias direcciones cercanas al eje óptico para determinar el valor medio de la intensidad de pico del haz de luz. Entonces, se podrán utilizar las fórmulas de la SECCIÓN A5 para calcular la luminancia media L. Este método consiste básicamente en una aplicación de las técnicas de «ratio-ing» descritas en la Sección B.

Si se emplea este método, será necesario asegurar que la abertura de la lente esté plena y razonablemente iluminada de forma homogénea. Si las dimensiones de la fuente luminosa son mucho menores a la vigésima parte (1/20) de la distancia focal de la lente, podría resultar imposible y



puede que sea preferible obtener la luminancia media solamente a partir de las mediciones de la fuente.

Cuando los elementos luminosos son de reducidas dimensiones y se encuentran encerrados dentro de una ampolla de vidrio o cuarzo de gran tamaño, podría resultar difícil determinar el área proyectada  $S$ . En algunos casos, las dimensiones lineales se podrán medir con precisión mediante el uso de un microscopio móvil con un objetivo de una distancia del objeto lo suficientemente grande como para permitir que se enfoque el elemento luminoso cuando el objetivo se encuentre fuera de la ampolla. En el caso de las lámparas de descarga en arco, los fabricantes suelen proporcionar un diagrama del contorno típico de la luminancia dentro del tubo de descarga. Una inspección de tal diagrama y de las regiones con una disminución rápida de la luminancia respecto a la posición, podría facilitar la obtención de un valor razonable de  $S$  en la descarga. Cuando no estuviera disponible este tipo de información, un método adecuado para la estimación de  $S$  podría consistir en la utilización de una lente de proyección de calidad fotográfica para proyectar una imagen enfocada del elemento luminoso sobre una pantalla a una distancia finita adecuada. De las dimensiones obtenidas de la imagen luminosa se podrán deducir a las dimensiones correspondientes del elemento luminoso mediante la multiplicación por el ratio entre la distancia del objeto y la distancia que separa la imagen de la lente. Mediante la aplicación a la imagen de un fotómetro de iluminación, también se podrá recopilar información acerca de la distribución no homogénea de la luminancia del elemento luminoso. En particular, una descarga o un filamento podrá mostrar una longitud útil (caracterizada por un alto nivel de luminancia) algo inferior a su longitud real obtenida mediante mediciones directas.

## 5 FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE PICO DE HACES DE LUZ

La intensidad luminosa ( $I_0$ ) en el pico del haz proveniente de un aparato de proyección de haces de luz que exhibe una luz blanca fija se puede calcular a partir de las siguientes fórmulas, en las cuales:

- 1 El término «neto» se entenderá que incluye tan sólo aquella porción (de la altura o del área) de los aparatos de proyección que se encuentre realmente iluminada en su cara emergente (salvo las bases de los prismas, que se incluirán, aunque generalmente se encuentren débilmente iluminadas). Excluirá las porciones no iluminadas por la intervención de marcos u otros tipos de obstrucciones entre la fuente luminosa y la óptica, o entre la óptica y el observador. También excluirá los espacios o áreas oscuros debidos a las aperturas en un catóptrico o a la separación de los prismas en los aparatos catadióptricos.
- 2 El término «superficie vertical» se entenderá como una superficie normal al eje óptico a través del punto focal del aparato de proyección de haces de luz. En general, los haces de luz de faros se inclinan a un ángulo muy reducido hacia el horizonte, pero esta diferencia es insuficiente para necesitar otra terminología.

### 5.1 Aparatos de proyección de haces en abanico (generados en torno a un eje vertical)

#### 5.1.1 Catóptricos

$$I_0 = h_1 \cdot d \cdot L \cdot k_1 \cdot c_1$$

(ecuación 2)

Donde:

$h_1$  = la altura neta de los reflectores, en m, proyectada sobre una superficie vertical, menos la altura, asimismo proyectada, de cualquier obstrucción que no sea la fuente luminosa en sí, salvo que también se encuentre oscurecida.

$d$  = el ancho horizontal de la fuente luminosa, en m

$L$  = la luminancia de la fuente luminosa, en  $\text{cd/m}^2$

$k_1$  = el factor de corrección, que depende de los ángulos subtendidos verticales  $\theta_1$  y  $\theta_2$  del espejo, tomado de la Figura 1. Cuando no exista ninguna obstrucción del haz de luz, tal como una bombilla de lámpara eléctrica o un quemador,  $\theta_1$  será equivalente a cero.

$c_1$  = factor de reflexión eficaz, que, a efectos de esta fórmula, se considerará como:

- 0,9 para plata o aluminio vaporizado;
- 0,8 para espejos de vidrio plateado;
- 0,75 para espejos metálicos lacados con plata y espejos pulidos de aluminio anodizado electrolíticamente
- 0,7 para espejos de superficie plateada con estaño, cromo y rodio;
- 0,6 para espejos de superficie plateada con níquel.

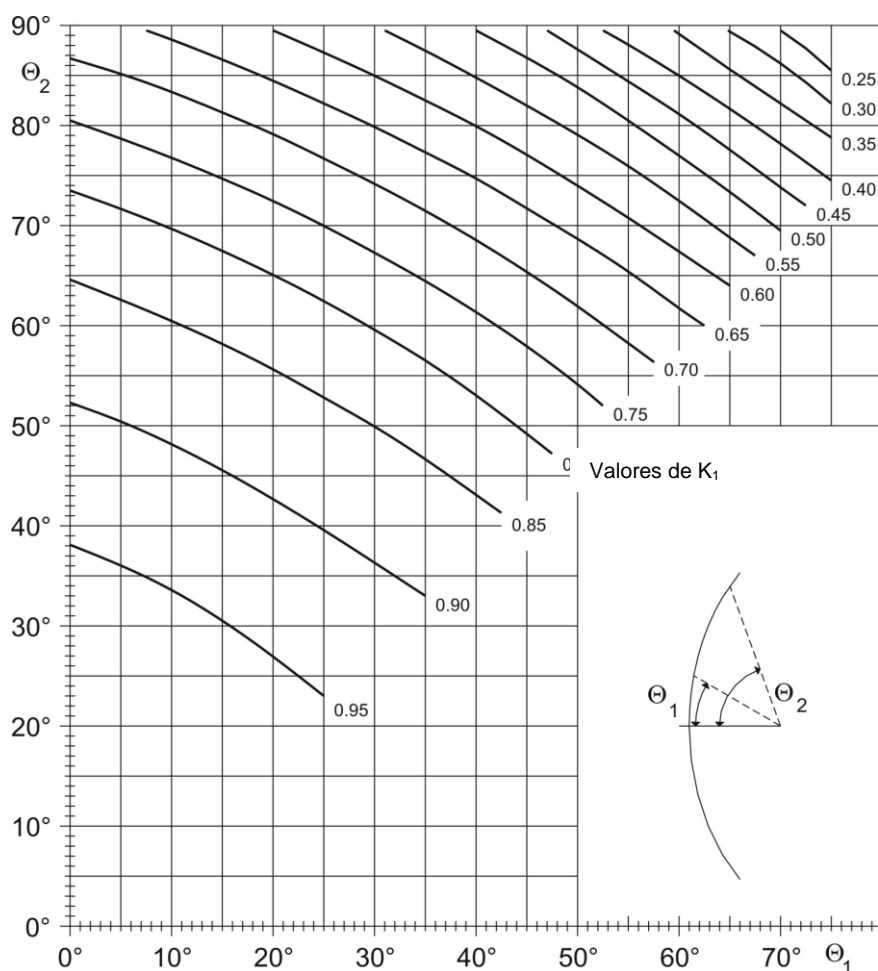


Figura 1 Factor de corrección  $k_1$

### 5.1.2 Dióptricos y catadióptricos

$$I_0 = h_2 \cdot d \cdot L \cdot k_2 + h_3 \cdot d \cdot L \cdot k_3 + h_4 \cdot d \cdot L \cdot k_4$$

(ecuación 3)

Donde:

- $h_2$  = la altura neta del vidrio de los refractores, en m, proyectada sobre una superficie vertical;
- $h_3$  = la altura neta del vidrio de los reflectores superiores, en m, proyectada sobre una superficie vertical;
- $h_4$  = la altura neta del vidrio de los reflectores inferiores, en m, proyectada sobre una superficie vertical;
- $d$  = el ancho horizontal de la fuente luminosa, en m;
- $L$  = la luminancia de la fuente luminosa, en  $\text{cd/m}^2$ ;
- $k_2$  = el factor de corrección tomado de la Figura 2, que depende del ángulo subtendido de los refractores;
- $k_3$  = el factor de corrección medio calculado a partir de la Figura 3, que depende de los límites angulares adecuados  $\theta_1$  y  $\theta_2$  de los reflectores superiores;
- $k_4$  = el factor de corrección medio calculado a partir de la Figura 3, que depende de los límites angulares adecuados  $\theta_3$  y  $\theta_4$  de los reflectores inferiores.

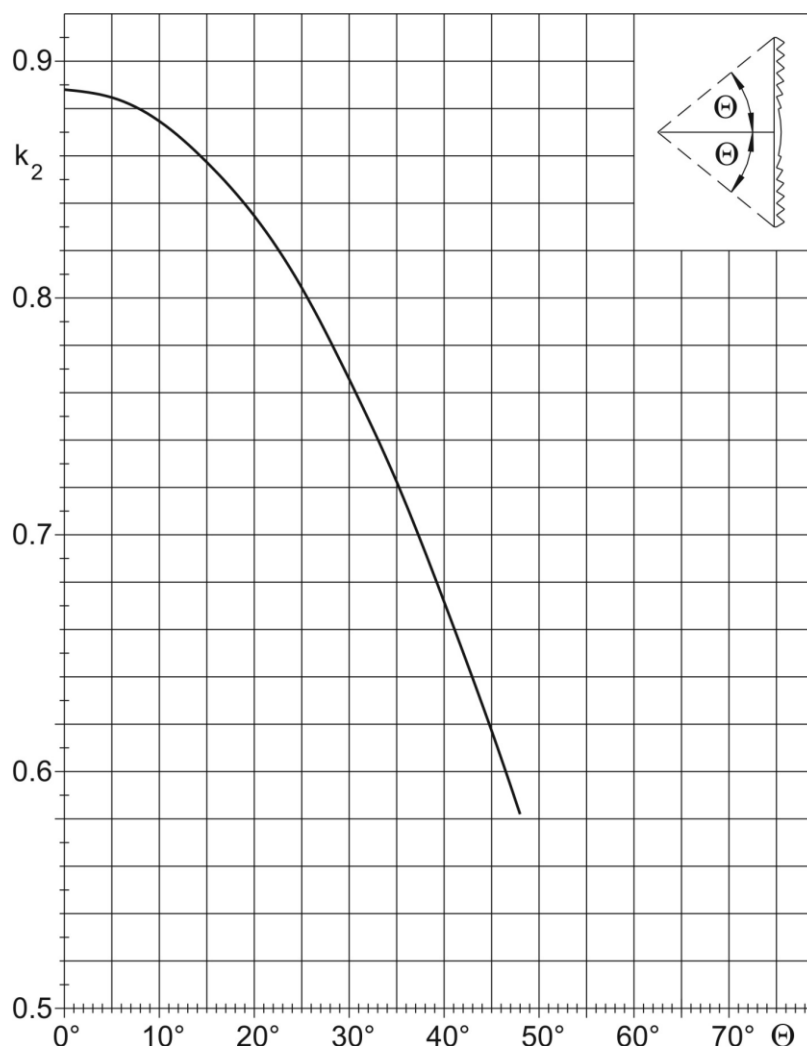


Figura 2 Factores de corrección  $k_2$

Nota (1): En los factores de corrección  $k_1$  a  $k_4$  inclusive, las variaciones del ancho de las áreas destelleadas debido al cambio de la distancia focal a lo largo del aparato se han tenido en cuenta.

Nota (2): La fórmula anterior se utilizará para lentes de tambor con anillos catadióptricos que se alejan. Para las lentes de tambor con un perfil en que las secciones catadióptricas inferiores se disponen de manera vertical, la una sobre la otra, el valor de  $k_4$  se reducirá en un 20%

Nota (3): Para las lentes de tambor de menor tamaño (sólo dióptricas, y con una distancia focal de 250 mm o menos), se utilizarán los siguientes valores de  $k_2$ :

- 0,45 lente de tambor de vidrio prensado
- 0,55 lente de tambor de vidrio tallado
- 0,60 acrílico moldeado

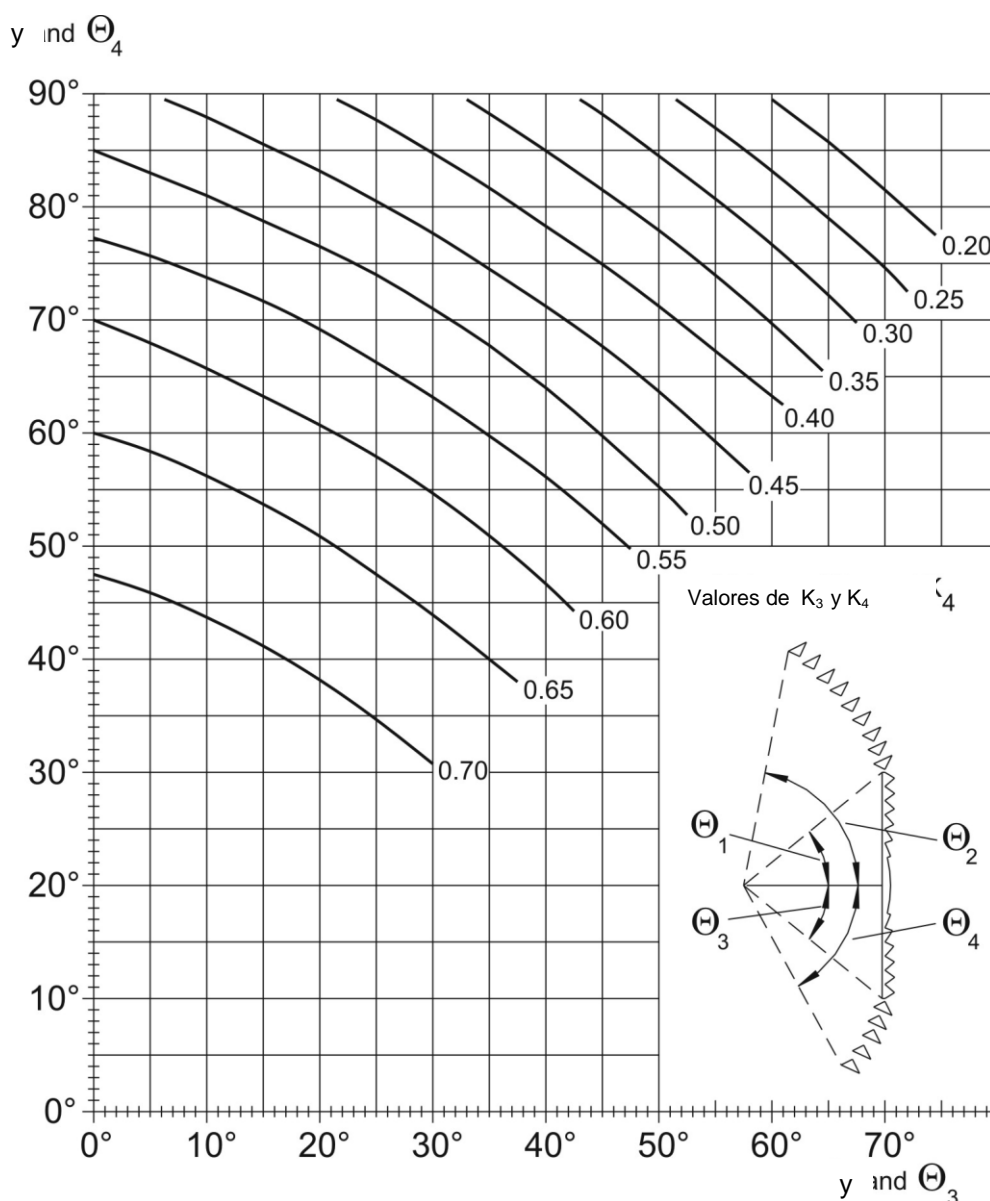


Figura 3 Factores de corrección  $k_3$  y  $k_4$

## 5.2 Aparatos de proyección de haces de luz concentrados

### 5.2.1 Catóptricos

$$I_0 = a_1 \cdot L \cdot c_1$$

(ecuación 4)

Donde:

$a_1$  = el área neta del espejo, en  $m^2$ , proyectada sobre un plano normal al sentido de concentración, menos el área, asimismo proyectada, de cualquier obstrucción que no sea la fuente luminosa en sí, salvo que también se encuentre oscurecida;

$L$  = la luminancia de la fuente luminosa, en  $cd/m^2$ ;

$c_1$  = el factor de reflexión eficaz, para el cual, a efectos de esta fórmula, será el que se proporciona en la Sección A5.1.1

### 5.2.2 Dióptricos y catadióptricos

$$I_0 = a_2 \cdot L \cdot c_2 + a_3 \cdot L \cdot c_3$$

(ecuación 5)

Donde:

$a_2$  = el área neta del vidrio de los refractores, en  $m^2$ , proyectada sobre un plano normal al sentido de la concentración.

$a_3$  = el área neta del vidrio de los reflectores, en  $m^2$ , proyectada sobre un plano normal al sentido de la concentración.

$L$  = la luminancia de la fuente luminosa, en  $cd/m^2$

$c_2$  = el factor de corrección tomado de la Figura 4, que depende del ángulo subtendido de los refractores.

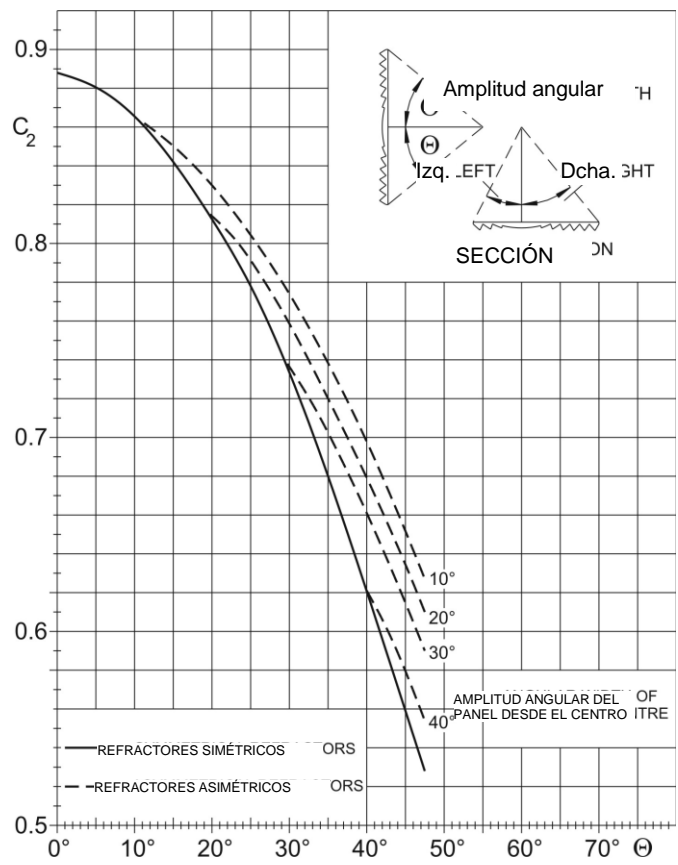


Figura 4 Factor de corrección  $c_2$

Donde:

$$c_3 = \begin{cases} 0,85 & \text{para elementos catadióptricos retrasados} \\ 0,70 & \text{para elementos catadióptricos dispuestos verticalmente} \end{cases}$$

Cuando el panel es asimétrico, las porciones derecha e izquierda de los refractores se considerarán por separado y el área de cada porción se multiplicará por el valor adecuado de  $c_2$ . La suma de estas dos cantidades, cuando se multiplica por L, corresponde al primer término en la parte derecha de la ecuación.

Nota: Las fórmulas anteriores son aplicables, con un grado razonable de precisión, a fuentes luminosas esféricas y homogéneas y, asimismo, a quemadores de capillo de gran tamaño. Los factores de corrección que figuran a continuación se emplearán para ciertos tipos de lámparas de filamento utilizadas habitualmente en aparatos de faro. Tales factores son multiplicadores de aquella parte de la intensidad proporcionada por los elementos catadióptricos, y toman en consideración la reducción de la intensidad luminosa de la fuente en el sentido de los dichos elementos.

La fórmula se convierte en:

(ecuación 6)

$$I_0 = a_2 \cdot L \cdot c_2 + a_3 \cdot p_f \cdot L \cdot c_3$$

Donde:

$$p_f = \begin{cases} 0,9 & \text{para filamentos compactos en doble espiral} \\ 0,8 & \text{para filamentos de rejilla o parilla planas} \\ 0,7 & \text{para filamentos cilíndricos, en grupo y cruciformes} \end{cases}$$

$$c_3 = \begin{cases} 0,85 & \text{para elementos catadióptricos retrasados} \\ 0,70 & \text{para elementos catadióptricos dispuestos verticalmente} \end{cases}$$

Para todas las otras fuentes, incluyendo los filamentos lineales en doble espiral, las estructuras de filamento de mayor complejidad y todas las lámparas de descarga, se asumirá un valor  $p_f = 0,5$ , a no ser que se emplee una ampolla revestida; en cuyo caso, se empleará el valor  $p_f = 0,8$ .

Nota: «Filamento compacto en doble espiral» se entenderá como una estructura de filamento compuesta de una rosca estrechamente enrollada que, a su vez, se enrosca en una espiral de radio reducido, presentando así una estructura compacta de una forma que es aproximadamente cilíndrica.

### Haces de luz auxiliares

La intensidad luminosa de un haz de luz convergente (o divergente) se puede obtener a partir de la intensidad luminosa del haz inicial mediante la multiplicación de dos factores.

El primer factor consiste en el cociente del ángulo de divergencia del haz antes de la convergencia (o divergencia) y del haz convergente (o divergente); el segundo, en el caso de sistemas ópticos auxiliares de vidrio, se puede tomar como 0,9 o, en el caso de los de plástico, como 0,92, para tomar en consideración las pérdidas de reflexión y transmisión.

La intensidad luminosa de un haz de luz desviado, cuya dirección se cambia sin cambiar el ángulo de divergencia, se obtiene a partir de la intensidad luminosa del haz inicial mediante la multiplicación por  $(0,9)^n$  para los sistemas de vidrio, o por  $(0,92)^n$  para los de plástico, donde  $n$  es equivalente al número de prismas de desviación atravesados.

## 5.3 Espejos de refuerzo

### 5.3.1 Espejos de refuerzo centrados

Cuando se emplea un espejo de refuerzo junto con cualquiera de los aparatos de proyección de haces de luz anteriores, la intensidad del haz de luz proveniente de la porción reforzada del aparato se incrementa y la intensidad obtenida previamente se multiplicará por el factor adecuado del Cuadro 1:

Cuadro 1 Factores de corrección para espejos de refuerzo

| Tipo de espejo |   | Factor |
|----------------|---|--------|
| Catóptricos    | De plata vaporizada, de vidrio plateado, de superficie lacada con plata o aluminio, y de aluminio anodizado | 1,4    |
|                | De superficie plateada con rodio o estaño   | 1,3    |
|                | De superficie plateada con cromo o níquel   | 1,2    |
| Catadióptricos |   | 1,2    |

### 5.3.2 Espejos de refuerzo descentrados

Mediante el empleo de espejos de refuerzo descentrados con un haz de luz en abanico, es posible aumentar el ancho eficaz de la fuente luminosa en un arco determinado, formando una imagen o unas imágenes a un lado del mismo y así incrementando la intensidad a lo largo de dicho arco. La intensidad incrementada se obtiene mediante la multiplicación de la intensidad fija, tal y como se había calculado según la SECCIÓN A5.1.1, por:

$$factor = 1.0 + 0.7 \cdot m \cdot c_1$$

(ecuación 7)

Donde:

m = el número de imágenes adicionales (número espejos auxiliares descentrados)

c<sub>1</sub> = el factor de reflexión en la SECCIÓN A5.1.1.

## 6 DURACIÓN DE LUCES DE HACES RÍTMICOS

### 6.1 Aparatos giratorios

Cuando el aparato de proyección de haces de luz gira, la duración de cada aparición de luz depende del ángulo de divergencia del haz y de la velocidad de rotación del aparato. Si fuera imposible realizar una medición directa de la divergencia del haz, su valor aproximado se podrá calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{d}{f} [\text{radianes}] = \frac{180}{\pi} \frac{d}{f} [\text{grados}]$$

(ecuación 8)

Donde:

$\alpha$  = el ángulo de divergencia

d = el ancho de la fuente luminosa, en el caso de divergencia horizontal, o la altura de la fuente luminosa, en el caso de divergencia vertical.

f = la distancia focal del sistema

Se utilizarán unidades de longitud consistentes.



El ancho de la fuente luminosa se podrá determinar tal y como se describe en la SECCIÓN A4. En el caso de una fuente luminosa con bordes difusos (p. ej. una lámpara esmerilada o de descarga), el ancho se tomará entre los puntos en que la intensidad cae por debajo del 50% de su valor máximo. Si, por razones tradicionales, se utilizara algún otro porcentaje, éste se expresará con claridad.

La duración de la aparición de luz se obtiene mediante:

$$t = \frac{\alpha}{2 \cdot \pi \cdot N} = \frac{d}{2 \cdot \pi \cdot N \cdot f}$$

(ecuación 9)

Donde:

t = la duración de la aparición de la luz.

$\alpha$  = el ángulo de divergencia en el plano horizontal, en radianes.

N = la velocidad de rotación (número de revoluciones por segundo) del aparato.

f = la distancia focal del sistema.

d = el ancho de la fuente luminosa.

## 6.2 Sistemas de supresión

En el caso de una luz de destellos producida por la supresión de la fuente luminosa mediante una caperuza de ocultación, un obturador, una pantalla giratoria u otro dispositivo mecánico, la duración del destello se tomará como el intervalo de tiempo entre el paso de la pantalla o del obturador por su posición media cuando exhibe y eclipsa la luz, respectivamente. Si se puede realizar una medición de la variación temporal de la intensidad, el intervalo de tiempo se tomará entre los instantes en que la intensidad se encuentre al 50% de la intensidad de pico.

## 6.3 Sistemas de extinción

### 6.3.1 Llamas de acetileno y de otros gases, y lámparas de descarga

Cuando el haz se eclipsa mediante un destellador o mecanismo de codificación que interrumpe el suministro de gas o electricidad, la duración de cada aparición de luz será aproximadamente la duración del tiempo de «encendido» del suministro. Cuando es posible realizar una medición de la variación temporal de la intensidad luminosa, la duración de la aparición de luz se tomará como el intervalo entre los instantes en que la intensidad se encuentre al 50% de la intensidad de pico.

### 6.3.2 Lámparas incandescentes y quemadores de capillo

Debido a la respuesta térmica relativamente lenta del filamento o capillo, existe un retraso en el curso del tiempo de luminancia del elemento luminoso con respecto a los tiempos de «encendido» o de «apagado» del destellador o mecanismo de codificación.

La Figura 5 muestra, para el caso de un filamento incandescente, la diferencia entre el tiempo de incandescencia y el tiempo de oscurecimiento en función de la corriente estacionaria del filamento. Se proporcionan dos curvas, respectivamente definidas para los niveles del 90% y del 50% de intensidad luminosa fija.

El tiempo durante el cual la intensidad luminosa del filamento excede, respectivamente, el 90% y el 50% de la intensidad luminosa se obtiene del tiempo de cierre del contacto (o sea, el tiempo durante el cual esté encendida la corriente del suministro) menos el tiempo de la curva correspondiente de la Figura 5. Si el tiempo de cierre del contacto fuese menor que el tiempo correspondiente de la Figura 5 para el nivel del 90%, no se podrá obtener ninguna orientación de la figura, y se recomienda que no se utilicen tales tiempos de cierre. Si el tiempo de cierre del contacto fuese mayor que el tiempo

de la Figura 5 para el nivel del 90%, la duración del destello se podrá tomar como el tiempo de cierre del contacto menos el tiempo de la Figura 5 para el nivel del 50%. Esta duración se podrá utilizar en el cálculo aproximado de la intensidad eficaz, tal como se describe en la referencia [6].

Nota: La Figura 5 corresponde al comportamiento de lámparas que operan a su tensión nominal y con una resistencia del circuito que es efectivamente cero.

Operando la lámpara por debajo de su tensión nominal incrementa tanto el tiempo de incandescencia como el de oscurecimiento de la lámpara, pero el efecto neto en la corrección que aparece en la Figura 5 es de aumentarla. Si la reducción es tan sólo de unos pocos puntos porcentuales, entonces, en general, el efecto en la corrección carecerá de importancia. La utilización de la Figura 5 se podrá ampliar para incluir las lámparas halógenas de tungsteno que operan a temperaturas de filamento por encima de los 3.000 K. La diferencia entre los tiempos de incandescencia y oscurecimiento de estas lámparas frente a las de filamento ordinario, es poco probable que sean significativamente grandes, por lo que estos valores pueden aplicarse de una lámpara a otra. La utilización de una resistencia en serie en el circuito externo aumentará el tiempo de incandescencia (tal y como se muestra en la Figura 11 de B.S. 942: 1949 [29]). Por lo tanto, la corrección en la Figura 5 también se incrementará. La utilización de una resistencia en derivación o «*shunt*» en el conmutador del circuito, para producir una corriente de deriva, reducirá el tiempo de incandescencia e incrementará el tiempo de oscurecimiento. Por lo tanto, la corrección en la Figura 5 también se reducirá. Para una corriente de entretenimiento de no más del 25% de la corriente nominal, la corrección no se reducirá, en términos generales, más del 20%. En el caso de que existiera alguna duda con respecto a la magnitud de la corrección, se recomienda medir la variación de intensidad de la fuente luminosa en la conmutación; no será necesario utilizar el sistema óptico. De la curva medida, la duración del periodo de luz se tomará entre los instantes en que la intensidad se encuentre al 50% de la intensidad de pico. Si, por razones tradicionales, se utilizara algún otro porcentaje, éste se expresará con claridad.

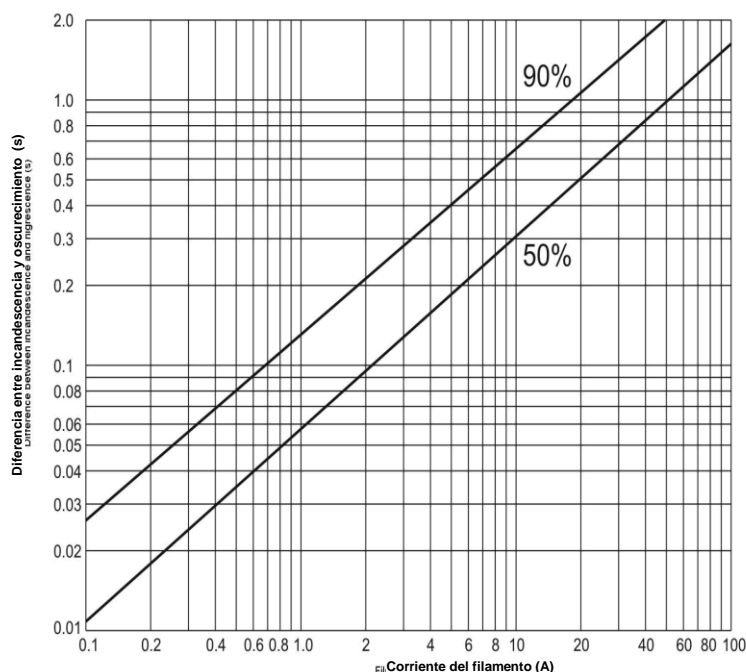


Figura 5 Gráfico de correcciones para los tiempos de incandescencia y oscurecimiento

## 7 UTILIZACIÓN DE FILTROS DE COLOR

La intensidad luminosa de una luz de color obtenida mediante la utilización de un filtro de color se podrá calcular, de manera aproximada, aplicando los métodos anteriores para obtener la intensidad luminosa de la luz blanca con el sistema óptico sin filtro, y después, aplicar el factor de transmisión del filtro correspondiente, que se podrá medir por separado. Si no se dispone de las mediciones del factor de transmisión del filtro que se utilizará en la luz a instalar, se podrá obtener la intensidad luminosa aproximada mediante la utilización de un valor de los que figuran a continuación, la tabla muestra los valores medios porcentuales, típicos del factor de transmisión de filtros fabricados de vidrio o de plásticos teñidos.

*Factores de transmisión medios de filtros de color*

| Fuente luminosa                     | Temperatura de color o temperatura de color correlacionada | Color del filtro (vidrio y plásticos) |       |          |      |
|-------------------------------------|--|---------------------------------------|-------|----------|------|
|                                     |  | Rojo                                  | Verde | Amarillo | Azul |
|                                     |  | Transmitancia (%)                     |       |          |      |
| Gas de acetileno (llama desnuda)    | ≈ 2500 K   | 25                                    | 35    | 75       | -    |
| Incandescente de tungsteno          | ≈ 2750 K   | 22                                    | 32    | 70       | -    |
| Halógeno incandescente de tungsteno | ≈ 3000 K   | 20                                    | 35    | 65       | -    |
| De descarga de mercurio             | ≈ 3900 K   | 12                                    | 35    | 65       | -    |
| De descarga de xenón                | ≈ 6000 K   | 13                                    | 18    | -        | 3    |
| LED blanco de capa de fósforo       | ≈ 8300K  | 6                                     | 13    | -        | 6    |

Se tomará nota de que para algunos filtros de color, particularmente aquellos que proporcionan mayor seguridad de reconocimiento del color, los factores de transmisión podrían ser considerablemente más bajos que los que figuran en el cuadro. Por consiguiente, siempre que sea posible, se recomienda, que se mida el valor del factor de transmisión de los filtros de color. Asimismo, es importante determinar el color que resulte de la combinación de la fuente luminosa y el filtro para asegurar que se encuentre dentro de los límites recomendados (véase la referencia [3]). Ello se realizará, cuando sea posible, por medio de la medición del color (véase la referencia [5]).

## 8 MÉTODOS PARA DEDUCIR LA TRANSMISIÓN ATMOSFÉRICA A PARTIR DE OBSERVACIONES DE FAROS

La norma B.S. 942 (1941) proporciona detalles sobre cómo determinar las condiciones atmosféricas locales. En el pasado, era habitual observar faros cercanos y registrar el número de noches en que se podía ver la luz. A modo de ejemplo, se ha realizado la observación de un faro con una luz de una intensidad aparente de 960.000 candelas, con los siguientes resultados:

*Frecuencia porcentual de observaciones realizadas desde faros cercanos*

| Desde                                   | Posición |    |    |    |    |    |
|---|----------|----|----|----|----|----|
|   | 1        | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
| Distancia en millas náuticas            | 7        | 10 | 13 | 16 | 21 | 21 |
| Frecuencia porcentual de observaciones: |          |    |    |    |    |    |
| 1937                                    | 85       | 82 | 80 | 65 | 58 | 51 |
| 1938                                    | 94       | 84 | 84 | 72 | 65 | 55 |

De la fórmula:

$$I = \frac{E \cdot x^2}{T^x}$$

(ecuación 10)

Tomando los logaritmos, se podrá mostrar que:

$$-\log T = \frac{\log I - \log(E \cdot x^2)}{x}$$

(ecuación 11)

y los diferentes factores de transmisión atmosférica calculados para condiciones en que la luz apenas se percibe son:

\*0,230 0,385 0,500 0,583 0,681 0,681

Se podrá trazar una curva con los factores de transmisión como las abscisas y las frecuencias porcentuales como las ordenadas (véase la Figura 6) y, de ahí, se puede deducir el valor de T correspondiente a cualquier frecuencia. La dispersión de los resultados suele ser muy alta y se realizarán tantas mediciones como sea posible.

Debido a las variaciones de la transmisión atmosférica, el alcance luminoso de una luz está sujeta a considerables variaciones y, a la hora de elegir el valor de T para cualquier emplazamiento, se evaluarán las condiciones atmosféricas medias de dicho emplazamiento, tomando en consideración la existencia de brumas locales persistentes, vientos cargados de humos provenientes de zonas industriales, variaciones mensuales y otras circunstancias similares.

Cuando haya luces cercanas a la costa (luz de fondo), puede ser necesario un nivel de iluminancia mayor que 0,2  $\mu$ Lux , en tales casos, se debería elegir un valor adecuado de E (véase la referencia [4]).

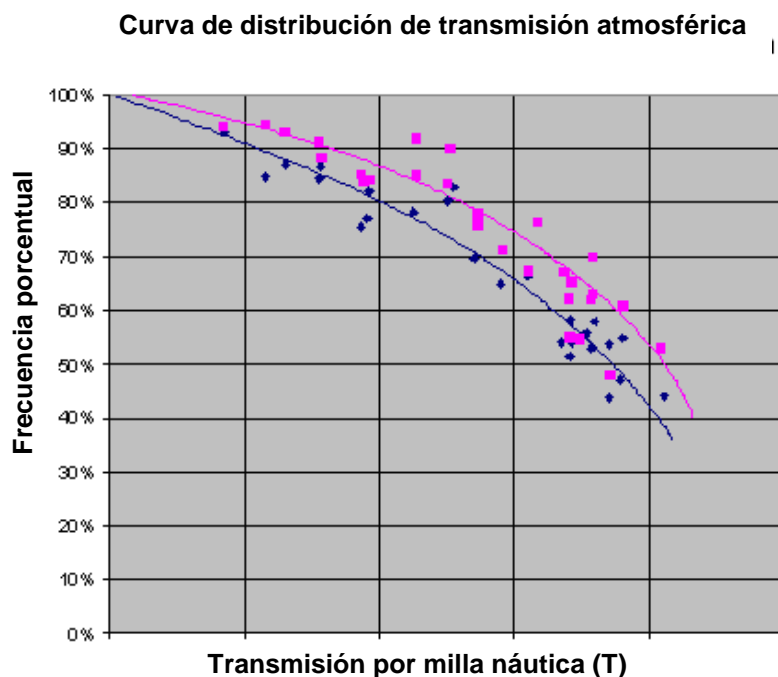


Figura 6 Curva de distribución de transmisión atmosférica

\*Esto significa, por ejemplo, que el factor de transmisión atmosférica en la posición 1 fue de 0,23 por milla náutica, o mayor que el 85 por ciento de las ocasiones en 1937, o el 94 por ciento de las ocasiones en 1938.

## 9 EFECTO DEL ACRISTALAMIENTO DE LA LINTERNA Y FACTOR DE CONDICIONES DE SERVICIO

Las fórmulas anteriores proporcionan la intensidad luminosa aproximada del haz en la salida de los aparatos de proyección. Cuando tales aparatos se alojan dentro de una linterna, a las intensidades calculadas se deberá aplicar un factor de reducción. Se recomienda tomar el factor de 0,85 (15%) para un sistema en estado limpio. Un factor que también se podrá aplicar será el de las condiciones prácticas de servicio. Se recomienda tomar este factor como el 0,75 (25%), y se expresará claramente en cualquier cálculo realizado (véase también la referencia [4]).

## 10 LIMITACIONES DE LOS CÁLCULOS

La precisión de los resultados obtenidos mediante los cálculos anteriores es muy limitada, siendo del orden de  $\pm$  el 20% para una fuente luminosa esférica (similar a un quemador de capillo). En cuanto a las fuentes luminosas de otras formas, particularmente filamentos planos y lámparas de descarga, el nivel de precisión se reduce mucho más y de una manera impredecible. Estos cálculos se han previsto para que se utilicen solamente cuando no dispongamos de otro método para realizar la estimación de la intensidad del haz.

Cuando sea necesario estimar la intensidad que proporciona el haz de una combinación determinada de fuente y óptica sobre la cual no se pueda realizar mediciones directas, es posible que dispongamos de datos de medidas de la misma óptica con otras fuentes, o de la misma fuente con otras ópticas. En tales casos, se puede obtener una mejor estimación de la intensidad del haz mediante los métodos descritos en la Sección B.

**EJEMPLO 1** - A continuación, figura un ejemplo de cómo calcular la intensidad de pico, la intensidad eficaz, la duración del destello y el carácter, utilizando los métodos descritos, de una lente giratoria (a 3 RPM) de segundo orden (distancia focal de 0.7m) con una lámpara de halogenuros metálicos de 400 W en un ampolla transparente (amablemente proporcionado por Trinity House).

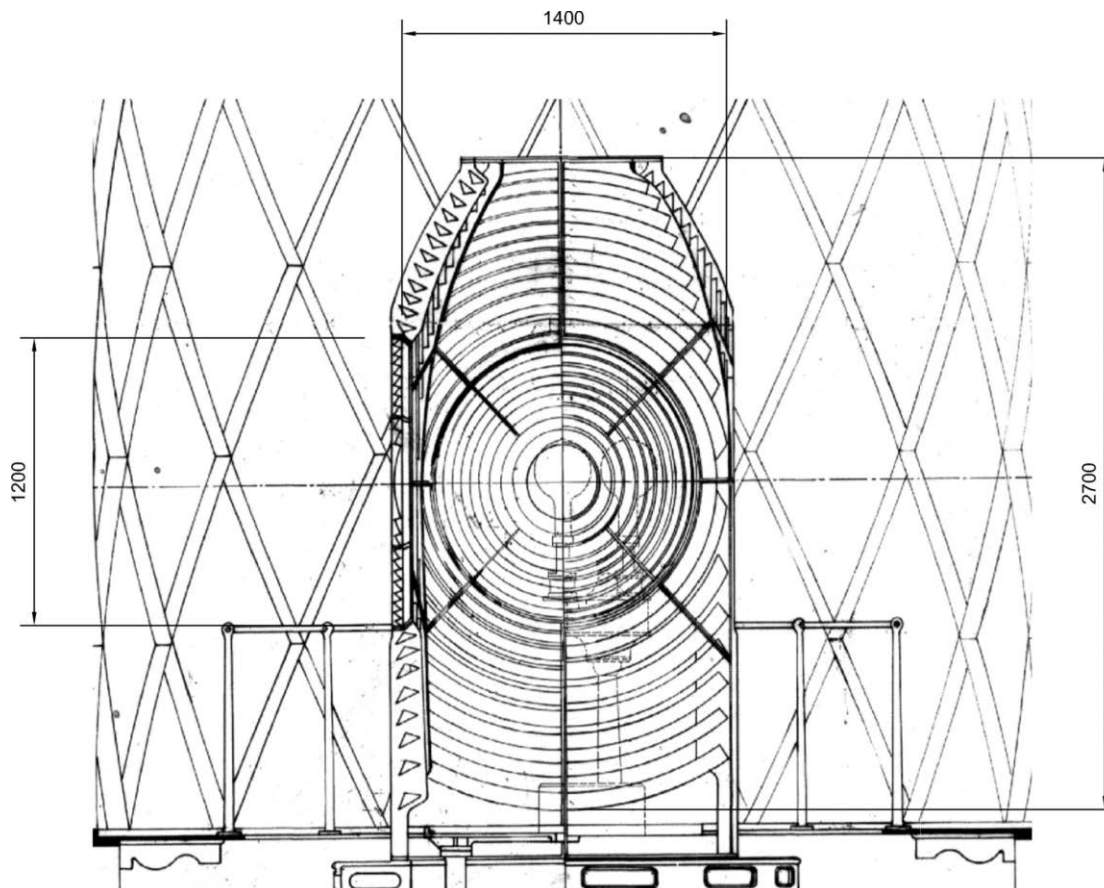


Figura 7 Ejemplo 1 – Dibujo de un elemento óptico giratorio de 2º orden

Utilizando la (ecuación 1) de la SECCIÓN A4

$$L = \frac{I}{S}$$

Donde:

L = la luminancia media de la fuente, en cd/m<sup>2</sup>

I = la intensidad luminosa de la fuente luminosa, en una dirección determinada, en candelas

S = el área proyectada de la fuente luminosa, en m<sup>2</sup>, sobre una superficie plana normal a la dirección determinada. (Ésta dirección suele ser el del eje óptico.)

De la fórmula:

$$I = \frac{\phi}{4 \cdot \pi}$$

(ecuación 12)

Donde:

I = la intensidad luminosa de la fuente luminosa, en una dirección determinada, en candelas

Φ = la salida luminosa total de una fuente luminosa, en lúmenes

De la hoja de datos del fabricante: se indica que la lámpara tiene una salida luminosa de 32.000 lúmenes y unas dimensiones iluminadas de 40 mm (altura) por 10 mm (ancho), dándonos un área iluminado (S) de 0,0004 m<sup>2</sup>.

$$I = \frac{32.000}{12,57} cd = 2.546 cd$$

Por lo tanto:

$$L = \frac{2.546}{0,0004} cd/m^2 = 6.365.000$$

A partir del diagrama anterior, las áreas de los refractores y reflectores se podrán calcular de la siguiente manera:

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Área total de los refractores      | = 1,2 m x 1,4 m = 1,68 m <sup>2</sup>                             |
| Área de los reflectores superiores | = 0,78 m <sup>2</sup> (Calculada a partir del dibujo electrónico) |
| Área de los reflectores inferiores | = 1,02 m <sup>2</sup> (Calculada a partir del dibujo electrónico) |
| Área total de la lente             | = 1,68 + 0,78 + 1,02 = 3,48 m <sup>2</sup>                        |

Utilizando la 0 de la SECCIÓN A5.2.2:

$$I_0 = a_2 \cdot L \cdot c_2 + a_3 \cdot p_f \cdot L \cdot c_3$$

Donde:

|                |  |
|----------------|--|
| a <sub>2</sub> | = 1,68 m <sup>2</sup>                                    |
| L              | = 6.365.000 cd/m <sup>2</sup>                            |
| C <sub>2</sub> | = 0,62 (400)   |
| a <sub>3</sub> | = 1,8 m <sup>2</sup>                                     |
| p <sub>f</sub> | = 0,5 (para una lámpara de descarga)                     |
| L              | = 6.365.000 cd/m <sup>2</sup>                            |
| C <sub>3</sub> | = 0,8 (ya que sólo los reflectores superiores se alejan) |

$$I_0 = (1,68 \cdot 6.365.000 \cdot 0,62) cd + (1,8 \cdot 0,5 \cdot 6.365.000 \cdot 0,8) cd = 1.1211.456$$

Utilizando la (ecuación 9) de la Sección 6.1, la duración del destello se podrá calcular de la siguiente manera:

$$t = \frac{\alpha}{2 \cdot \pi \cdot N} = \frac{d}{2 \cdot \pi \cdot N \cdot f}$$

Donde:

|   |   |
|---|---|
| t | = la duración de aparición de la luz  |
| α | = el ángulo de divergencia en el plano horizontal, en radianes  |
| N | = la velocidad de rotación (número de revoluciones por segundo) del aparato   |
| d | = el ancho de la fuente luminosa, en el caso de divergencia horizontal, o la altura de la fuente luminosa, en el caso de divergencia vertical |
| f | = la distancia focal del sistema  |

$$t = \frac{0,01}{2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{3}{60}\right) \cdot 0,7} s = 0,05s$$

La intensidad eficaz se podrá calcular mediante la siguiente fórmula. Para más información sobre la intensidad eficaz, véase la referencia [6].

$$I_e = \frac{I_0 \cdot t}{0,2 L^2 c}$$

$$I_e = \frac{1.1211.456 \cdot 0,05}{(0,2 + 0,05)} cd = 2.242.291 cd$$

Tomando en cuenta un factor de condiciones de servicio del 0,75 y, además, un factor adicional del 0,85 para las pérdidas a causa del acristalamiento nos da:

$$I_e = 1.429.460 cd$$

Todo ello nos proporciona un alcance nominal de **27 M**.

La intensidad medida de la configuración anterior varió, según el panel, de 1.100.000 cd a 1.200.000 cd. Comparando el cálculo con respecto a los datos medidos, podemos ver que el cálculo sobreestimó el resultado del orden de aproximadamente el 20%.



**EJEMPLO 2** - A continuación, figura un ejemplo de cómo calcular la intensidad de pico, la intensidad eficaz, la duración del destello y el carácter, utilizando los métodos descritos, de una óptica de cuarto orden con cuatro lentes asimétricas y giratorias (a 1,5 RPM) y equipada con una lámpara de 100 V y 1,000 W como la fuente luminosa (amablemente proporcionado por la Northern Lighthouse Board).

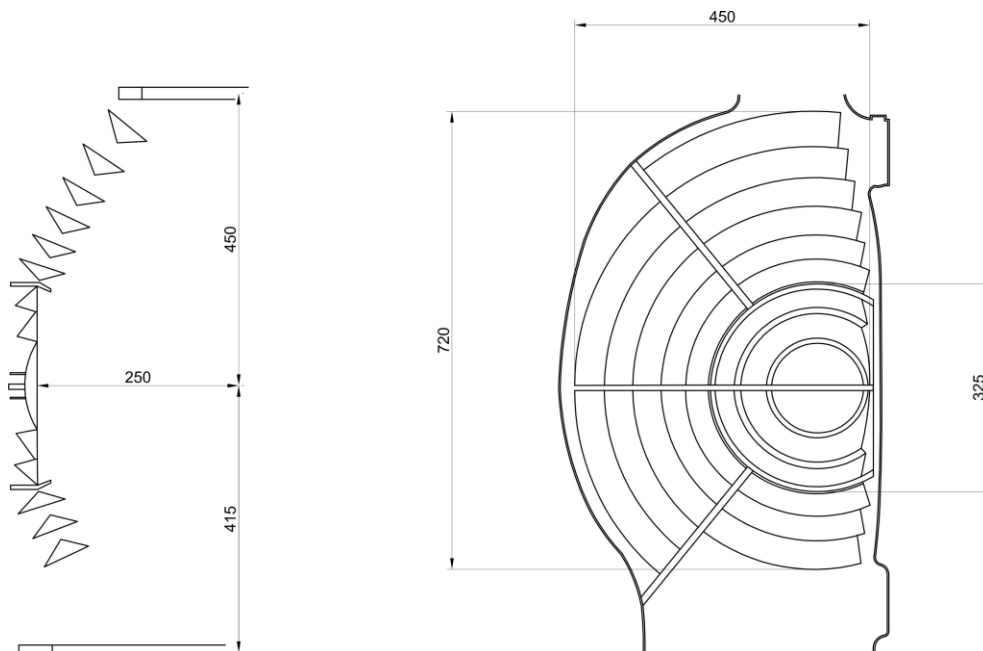


Figura 8 Dibujo de una óptica de 4<sup>o</sup> orden

La «Especificación para lámparas eléctricas de faros» de la hoja de datos de la norma BS: 1546 indica que la lámpara tiene una media de luminancia de 6.000.000 cd/m<sup>2</sup>

Por lo tanto:

$$L = 6.000.000 \text{ cd/m}^2$$

A partir del diagrama anterior, las áreas de los refractores y reflectores se podrán calcular de la siguiente manera:

- Área total de los refractores = 0,065 m<sup>2</sup> (Calculada a partir del dibujo electrónico)
- Área de los reflectores superiores = 0,121 m<sup>2</sup> (Calculada a partir del dibujo electrónico)
- Área de los reflectores inferiores = 0,077 m<sup>2</sup> (Calculada a partir del dibujo electrónico)
- Área total de la lente = 0,263 m<sup>2</sup>

Utilizando la 0 de la SECCIÓN A5.2.2

$$I_0 = a_2 \cdot L \cdot c_2 + a_3 \cdot p_f \cdot L \cdot c_3$$

Donde:

- a<sub>2</sub> = 0,065 m<sup>2</sup>
- L = 6.000.000 cd/m<sup>2</sup>
- c<sub>2</sub> = 0,7 (33<sup>o</sup>)
- a<sub>3</sub> = 0,198 m<sup>2</sup>
- p<sub>f</sub> = 0,5 (para una lámpara de descarga)
- L = 6.000.000 cd/m<sup>2</sup>
- c<sub>3</sub> = 0,85 (como los catadióptrios son retrasados)

$$I_0 = (0,065 \cdot 6.000.000 \cdot 0,7) \text{ cd} + (0,198 \cdot 0,5 \cdot 6.000.000 \cdot 0,85) \text{ cd} = 777.900 \text{ cd}$$

Utilizando la (ecuación 9) en la Sección A6.1, la duración del destello se podrá calcular de la siguiente manera:

$$t = \frac{\alpha}{2 \cdot \pi \cdot N} = \frac{d}{2 \cdot \pi \cdot N \cdot f}$$

Donde:

- t = la duración de la aparición de luz;
- $\alpha$  = el ángulo de divergencia en el plano horizontal, en radianes;
- N = la velocidad de rotación (número de revoluciones por segundo) del aparato;
- d = el ancho de la fuente luminosa en el caso de una divergencia horizontal, o la altura de la fuente luminosa en el caso de divergencia vertical;
- f = la distancia focal del sistema.

$$t = \frac{0,02}{2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{1,5}{60}\right) \cdot 0,25} \text{ s} = 0,5 \text{ s}$$

$$I_e = \frac{I_0 \cdot t}{(0,2 \text{ s} + t)}$$

$$I_e = \frac{777.900 \cdot 0,5}{(0,2 + 0,5)} \text{ cd} = 558.555 \text{ cd}$$

Tomando en cuenta un factor de condiciones de servicio del 0,75 y, además, un factor del 0,85 para las pérdidas a causa del acristalamiento nos da:

$$\Rightarrow I_e \quad 356.079 \text{ cd}$$

Todo ello nos proporciona un alcance nominal de **23 M**.

La intensidad medida de la configuración anterior para el panel con el valor más reducido fue de 319.000 cd. Comparando el cálculo con respecto a los datos medidos, podemos ver que el cálculo sobreestimó el resultado del orden de aproximadamente el 10%.

## SECCIÓN B

### LA ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD DE HACES MEDIANTE TÉCNICAS DE «RATIO-ING»

#### 1 OBJETIVO

Esta sección se ha diseñado como una guía para la estimación de la intensidad luminosa y el ángulo de divergencia de los haces de varios tipos de aparatos de proyección de luz cuando se pueden obtener datos por medición directa de similares, pero no idénticas, combinaciones de fuente luminosa y sistema óptico. Se refiere a tales métodos como técnicas de comparación o de «ratio-ing».

La precisión de los resultados obtenidos mediante el uso de técnicas de «ratio-ing» es sólo tan buena como las relaciones geométricas de primer orden que representan. La precisión de los resultados se ve limitada por inexactitudes en las suposiciones que se asumen. No obstante, la técnica de «ratio-ing» es preferible a la de cálculo directo, del tipo descrito en la SECCIÓN A. Existen menos probabilidades de error en la estimación del rendimiento óptico basado en comparaciones entre combinaciones de fuente/óptica de diseño similar, cuando las mediciones para tal diseño estén disponibles, que una estimación del rendimiento para una nueva combinación.

Los sistemas ópticos similares se pueden escalar, dentro de unos límites razonables, para predecir su rendimiento con más confianza de la que se puede dar al uso de las fórmulas proporcionadas en la SECCIÓN A.

#### 2 EJEMPLOS DE LA ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD LUMINOSA

##### 2.1 Lentes fijas

###### 2.1.1 Cambio de fuente

Es necesario obtener la intensidad luminosa del haz en abanico producido por una lente fija cuando se emplea con una fuente luminosa de luminancia  $L$  y ancho  $d$ . Se asume que ya se ha realizado la medición de la intensidad luminosa para una lente fija idéntica con una fuente luminosa de luminancia  $L'$  y ancho  $d'$ , que ha dado el resultado  $I'$ .

Según la (ecuación 3) en la Sección A5.1.2

$$I' = h_2 \cdot d' \cdot L' \cdot k_2 + h_3 \cdot d' \cdot L' \cdot k_3 + h_4 \cdot d' \cdot L' \cdot k_4$$

y la intensidad necesaria sería:

$$I = h_2 \cdot d \cdot L \cdot k_2 + h_3 \cdot d \cdot L \cdot k_3 + h_4 \cdot d \cdot L \cdot k_4$$

Por lo tanto:

$$\frac{I}{I'} = \frac{d \cdot L}{d' \cdot L'}$$

###### 2.1.2 Cambio del tamaño de la lente fija

En este caso se asume que ya se ha medido la intensidad de una fuente luminosa idéntica en una lente fija con una distancia focal y dimensiones diferentes, pero con las mismas, o casi las mismas, áreas relativas y ángulos subtendidos del dióptrico y de las porciones catadióptricas superior e inferior. Por lo tanto, los coeficientes  $k_2$ ,  $k_3$ , y  $k_4$  permanecen virtualmente sin alteraciones, y las alturas de las diferentes porciones del sistema desconocido se podrán tomar como una constante (digamos,  $p$ ) multiplicada por las alturas correspondientes del sistema medido.

Según la Sección A 5.1.2

$$\frac{I}{I'} = \frac{h_2 \cdot d \cdot L \cdot k_2 + h_3 \cdot d \cdot L \cdot k_3 + h_4 \cdot d \cdot L \cdot k_4}{h_2 \cdot d' \cdot L' \cdot k_2 + h_3 \cdot d' \cdot L' \cdot k_3 + h_4 \cdot d' \cdot L' \cdot k_4}$$

(ecuación 13)

de tal manera que la intensidad se escala directamente como las dimensiones lineales de la lente fija.

## 2.2 Paneles ópticos

### 2.2.1 Cambio de fuente

En este caso, utilizando la (ecuación 5) de la SECCIÓN A5.2.2

$$I' = a_2 L' c_2 + a_3$$

y la intensidad necesaria sería:

$$I = a_2 L c_2 + a_3 L c_3$$

de tal forma que

$$\frac{I}{I'} = \frac{L}{L'}$$

(ecuación 14)

y la intensidad se escala directamente como la luminancia de la fuente.

**EJEMPLO B1** – A partir del ejemplo A1. Se ha reemplazado la lámpara de 400 W por una similar de halogenuros metálicos de 400 W, de la siguiente manera:

$$\frac{I}{I'} = \frac{L}{L'}$$

Donde:

I = la intensidad medida (cd)

I' = la intensidad «*ratio-ed*» (cd)

L = la luminancia calculada de la lámpara original de 400 W

L' = la luminancia calculada de la lámpara de sustitución de 400 W

A partir de los datos del fabricante, se calculó que la luminancia de la lámpara de sustitución es de:

$$2864/0,0007 \text{ cd/m}^2 = 4.091.374 \text{ cd/m}^2$$

La intensidad medida de la óptica en el ejemplo 1 fue de 2.171.000 cd.

Por lo tanto:

$$\frac{2.171.000}{I'} = \frac{6.365.000}{4.091.374}$$

$$I' = \frac{2.171.000}{1,56} cd = 3.377.111 cd$$

La intensidad medida de la lámpara de sustitución de halogenuros metálicos de 400 W fue de 3.045.000 cd. Comparando el cálculo con respecto a los datos medidos, podemos ver que el cálculo subestimó el resultado del orden de aproximadamente el 10%.

**EJEMPLO B2** – A partir del ejemplo A2. Se ha reemplazado la lámpara de 1000 W por una de haluro metálico de 250 W, de la siguiente manera:

$$\frac{I}{I'} = \frac{L}{L'}$$

Donde:

I = la intensidad medida (cd)

I' = la intensidad «ratio-ed» (cd)

L = la luminancia calculada de la lámpara de 1000 W

L' = la luminancia calculada de la lámpara de 250 W

Por lo tanto:

$$\frac{I}{I'} = \frac{6.000.000}{5.507.246}$$

y, como la intensidad medida de la óptica fue de 319.000 cd:

$$\frac{319.000}{I'} = \frac{6.000.000}{5.507.246}$$

$$I' = \frac{319.000}{1,09} cd = 292.800 cd$$

La intensidad medida de la lámpara de haluro metálico de 250 W fue de 364.000 cd. Comparando el cálculo con respecto a los datos medidos, podemos ver que el cálculo subestimó el resultado del orden de aproximadamente el 20%. Esto es típico para las lámparas de haluro metálico, ya que el tubo de arco emite una luminancia no homogénea.

## 2.2.2 Cambio del tamaño del panel óptico

En este caso, se asume que las mediciones de intensidad se han realizado sobre una combinación compuesta de una fuente idéntica con un panel óptico de diferentes dimensiones, pero con aproximadamente las mismas áreas relativas y ángulos subtendidos de las diferentes porciones dióptricas y catadióptricas. (Esto sólo será de aplicación a paneles de diferentes distancias focales con todas las dimensiones escaladas de forma proporcional, o a los paneles de secciones similares pero que se extienden sobre unas gamas diferentes de ángulo acimutal.)

Por lo tanto, los coeficientes  $c_2$  y  $c_3$  permanecen virtualmente sin alteraciones, y las áreas de las varias porciones del panel desconocido se podrán tomar como una constante (digamos,  $q$ ) multiplicada por las áreas correspondientes del panel medido.

Según la (ecuación 5) en la SECCIÓN A5.2.2

$$\frac{I}{I'} = \frac{a_2 \cdot L_{c_2} + a_3 \cdot L_{c_3}}{a'_2 \cdot L_{c_2} \cdot a'_3 \cdot L_{c_3}} = q$$

de tal manera que la intensidad se escale directamente como el área del panel óptico.

*Nota 1.* Las intensidades de haces de luz referidas en los cálculos anteriores son *intensidades de haces de luz sin corrección* correspondientes a las intensidades de una luz estacionaria medida solamente para la combinación de fuente y óptica a la tensión nominal de la lámpara. No toman en consideración las pérdidas a causa del acristalamiento, los efectos de la variación en el suministro de tensión o los efectos visuales de las luces de destellos.

*Nota 2:* La aplicación de la técnica de «ratio-ing» a sistemas ópticos de forma algo diferente, de manera que las constantes k y c no permanezcan sin cambios, es posible dentro de ciertos límites, siempre y cuando se cuide de evitar aproximaciones a *grosso modo*.

### 3 EJEMPLOS DE LA ESTIMACIÓN DE LA DIVERGENCIA DEL HAZ

Según la (ecuación 8) en la SECCIÓN A.6.1, la divergencia del haz, en radianes, se podrá calcular de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{d}{f}$$

Las incertidumbres en la estimación del valor correcto de la dimensión d de la fuente hacen que la técnica de «ratio-ing» sea el método preferente para la estimación de la divergencia cuando tenemos disponibles datos fotométricos de una fuente luminosa idéntica en un sistema óptico similar con una distancia focal diferente.

Si, para a este segundo sistema, la divergencia resulta ser  $\alpha'$ , y la distancia focal del sistema es  $f'$ , entonces según la (ecuación 8):

$$\alpha' = \frac{d}{f'}$$

La divergencia necesaria, por lo tanto, se podrá obtener de:

$$\frac{\alpha}{\alpha'} = \frac{f'}{f}$$

La utilización de esta técnica suele proporcionar resultados significativamente mejores que los valores obtenidos con el método de cálculo directo.

#### 3.1 Escalado de la duración del destello

Empleando la (ecuación 9) de la Sección 6.1 para una óptica giratoria con una velocidad de rotación de N rev/s, la divergencia  $\alpha$  se relaciona con la duración del destello t mediante:

$$t = \frac{\alpha}{2 \cdot \pi \cdot N}$$

Supongamos que es necesario obtener la duración del destello de una óptica de distancia focal f con una velocidad de rotación N y se ha comprobado que una óptica similar de distancia focal  $f'$  y velocidad de rotación  $N'$  tiene una duración del destello  $t'$ . Entonces, la duración necesaria del destello t se obtiene a partir de:

$$t = \frac{\alpha' \cdot N'}{\alpha \cdot N} \cdot t'$$

(ecuación 15)

En cuanto a los sistemas ópticos con fuentes luminosas bastante grandes que dan lugar a una distribución homogénea de la intensidad, los cambios de la velocidad de rotación o de la distancia focal resultan en cambios de la duración del destello sin cambios en la forma del destello. Mediante la utilización de la expresión anterior, los datos medidos de uno de estos sistemas se podrán escalar para proporcionar las duraciones de destello para una amplia gama de sistemas ópticos similares con diferentes distancias focales y/o velocidades de rotación. Mediante la aplicación de los métodos de la Sección C, se podrán deducir cuadros o gráficos del ratio de la intensidad eficaz y la intensidad de pico para toda la gama.

#### 4 CONCLUSIONES

En el mejor de los casos, la estimación de las intensidades y divergencias de haces de luz son una aproximación a *grosso modo* del rendimiento y sólo se utilizarán cuando sea imposible realizar una medición directa. Las estimaciones descritas en esta recomendación se confirmarán, cuando sea posible, mediante la medición directa (véase la referencia [5]). No obstante, la estimación por medio de los métodos descritos en este documento constituye una herramienta útil a la hora de diseñar y modificar señales luminosas de ayuda a la navegación marítima, particularmente para las obsoletas, proveyéndolas de mejores fuentes luminosas, disponibles hoy en día en el mercado.

Los métodos descritos en la SECCIÓN B se utilizarán, cuando sea posible, con preferencia sobre aquellos descritos en la SECCIÓN A, visto que ofrecen mayores niveles de precisión.

#### 5 REFERENCIAS

- [1] IALA, Recomendación relativa a la determinación de la intensidad luminosa de una luz de ayuda a la navegación, diciembre de 1977.
- [2] British Standard BS942, 1949.
- [3] IALA, Recomendación E-200-1 – relativa a las Señales Luminosas Marítimas Parte 1 – Los colores (E200-1)
- [4] IALA, Recomendación E-200-2 relativa a las Señales Luminosas Marítimas Parte 2 - El cálculo, la definición y la notación del alcance luminoso (E200-2).
- [5] IALA, Recomendación E-200-3 – relativa a las Señales Luminosas Marítimas Parte 3 – La Medición (E200-3)
- [6] IALA, Recomendación E-200-4 relativas a las Señales Luminosas Marítimas Parte 4 - La Determinación y el Cálculo de la intensidad eficaz (E200-4)