

IALA Recommendation E200-4

On

Marine Signal Lights Part 4 - Determination and Calculation of Effective Intensity

Sobre

Señales Luminosas Marítimas Parte 4 – La Determinación y el Cálculo de la Intensidad Eficaz

1ª Edición

Diciembre 2008

Traducción elaborada por



Puertos del Estado Tel: +34 91 524 55 26 (AtoN)
Avda. del Partenón, 10 E-mail: AtoN@puertos.es
28042 Madrid, Spain Internet: 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 Internet: 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 – La determinación y el cálculo de la intensidad eficaz (Recomendación E-200 Parte 4)

EL CONSEJO:

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

RECONOCIENDO que, para el rendimiento adecuado de las señales luminosas marítimas, el rendimiento de luces de destellos ha de ser determinado;

RECONOCIENDO ASIMISMO, que existen varios métodos para determinar el rendimiento de las luces de destellos en el umbral de la percepción visual;

RECONOCIENDO ADEMÁS, que no existen métodos adecuados para determinar el rendimiento de las luces de destellos a niveles del observador por encima del umbral de iluminancia;

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 de 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 determinación y el cálculo de la intensidad eficaz de una luz rítmica.

Índice de Contenidos

REVISIONES DEL DOCUMENTO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
RECOMENDACIÓN RELATIVA A LAS SEÑALES LUMINOSAS MARÍTIMAS – LA DETERMINACIÓN Y EL CÁLCULO DE LA INTENSIDAD EFICAZ	1
ÍNDICE DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ANEXO	6
1 PRÓLOGO	6
1.1 Aplicación de los modelos del umbral a niveles de iluminancia que superan el umbral	6
1.2 Lo que no es la intensidad eficaz	6
1.3 Intensidad aparente	7
1.4 Un ejemplo	7
1.5 El camino a seguir	7
2 INTRODUCCIÓN	8
3 ÁMBITO DE APLICACIÓN / OBJETO	8
4 DEFINICIONES	9
5 DESCRIPCIÓN DE LA INTENSIDAD EFICAZ DE UNA LUZ RÍTMICA	9
6 EVALUACIÓN DE LA INTENSIDAD EFICAZ	11
6.1 Método I — El Método de Schmidt Clausen (también denominado el método del «factor de forma»)	11
6.2 El problema de los grupos de destellos	13
6.3 Ley de Talbot-Plateau para grupos de destellos que se repiten con gran rapidez	13
6.4 Método II — El método de Allard	14
6.5 Método III. — El método de Blondel-Rey-Douglas	15
6.6 Método IV — El método modificado de Allard	16
7 CONCLUSIONES	19
8 RESUMEN	19
9 REFERENCIAS	20
APÉNDICE 1 SÍMBOLOS	22
APÉNDICE 2 EXPLICACIÓN ADICIONAL DEL MÉTODO MODIFICADO DE ALLARD	23

Índice de Figuras

Figura 1	Gráfico del perfil de un destello y el rectángulo en torno al perfil (método del factor de forma)	12
Figura 2	Un perfil del destello y la $i(t)$ que resulta empleando la fórmula de Allard.	15
Figura 3	Un perfil de destello mostrando el concepto de Blondel-Rey, tal y como lo sugiere Douglas	16
Figura 4	Curva de respuesta visual de los métodos Allard y Allard modificado	17
Figura 5	Perfil del destello con la convolución que resulta empleando el método modificado de Allard	18
Figura 6	Trazado de la intensidad con respecto al tiempo $I(t)$ y la curva de respuesta visual $q(t)$	23
Figura 7	Histogramas del perfil del destello $I(t)$ y de curva de respuesta visual $q(t)$	23
Figura 8	Convolución en $t=0$	24
Figura 9	Convolución en $t=1$	24
Figura 10	Convolución en $t=2$	25
Figura 11	Convolución en $t=3$	25
Figura 12	Convolución en $t=9$ mostrando un máximo convolucionado en $t=7$	26
Figura 13	Gráfico continuo del perfil del destello $I(t)$ y la convolución	26

Anexo
Recomendación E-200-4 de IALA
Señales Luminosas Marítimas
Parte 4 - La Determinación y el Cálculo de la Intensidad Eficaz

1 PRÓLOGO

Se suele malinterpretar lo que es la intensidad eficaz. La comprensión de la intensidad eficaz debe comenzar con repaso cuidadoso de su definición:

Intensidad eficaz: Es la intensidad luminosa de una luz fija, de la misma distribución espectral relativa que la de una luz de destellos, y con el mismo alcance luminoso que la luz de destellos bajo idénticas condiciones de observación.

Lo primero que se debe notar es que dos luces con la misma intensidad eficaz tendrán el mismo alcance luminoso. Lo segundo, es que el alcance luminoso de una luz es la mayor distancia desde la cual se puede detectar la luz. La intensidad eficaz es un concepto que sólo cobra sentido a niveles de iluminancia asociados con el umbral de detección. En el umbral de detección, una fuente luminosa es apenas detectable; no se puede discernir ni el color del destello ni su duración, y la probabilidad de detección es muy grande, pero no muy fiable.

1.1 Aplicación de los modelos del umbral a niveles de iluminancia que superan el umbral

Una señal luminosa de ayuda a la navegación, cuando se percibe en el umbral de detección, es de poco interés para el marino. La probabilidad de detección no es muy alta y, si se detecta la luz, no se pueden discernir ni el color ni la duración del destello.

Por estos motivos, se acordó en 1933 en la Conferencia Técnica Internacional de Organismos Responsables de la Señalización Marítima, un «umbral práctico» de 0,2 microlux. En términos de la iluminancia, este umbral realmente tiene un valor práctico a la hora de ver durante la noche señales luminosas de ayuda a la navegación contra un fondo oscuro. A 0,2 microlux, se puede detectar, de manera fiable, una luz y son discernibles tanto el color de la luz como la duración del destello. Sin embargo, 0,2 microlux no es el nivel de iluminancia en el umbral de detección; es un nivel superior al nivel del umbral. Ello conduce a un problema: la intensidad eficaz es un concepto asociado al umbral, pero como el nivel de 0,2 microlux está bastante por encima del umbral, los modelos de intensidad eficaz no deberían aplicarse a 0,2 microlux. No obstante, esto es precisamente lo que se lleva haciendo durante décadas. Más adelante se expondrá una solución.

1.2 Lo que no es la intensidad eficaz

Como se ha explicado con anterioridad, por definición, dos luces con la misma intensidad eficaz tienen el mismo alcance luminoso en el umbral de detección. Muchos usuarios erróneamente creen que dos luces con la misma intensidad eficaz aparentemente tendrán el mismo brillo. Sin embargo, no hay nada en la definición de la intensidad eficaz que implique algo con respecto a tener un brillo equivalente.

1.3 Intensidad aparente

A niveles superiores al umbral (por ejemplo, a 0,2 microlux), la intensidad eficaz pierde todo sentido. No obstante, es lícito comparar el brillo aparente de dos luces a cualquier nivel que supere el umbral. A continuación, figura una definición de la intensidad aparente de una luz de destellos:

Intensidad aparente: La intensidad luminosa de una luz fija (continua) que corresponde, en términos de brillo, con un destello de luz espectralmente similar.

Sólo existen un número limitado de estudios que han examinado la intensidad aparente de algunas formas sencillas de destellos. Uno de los hallazgos es que la intensidad aparente va en función del nivel de iluminancia de la luz.

1.4 Un ejemplo

Comparemos dos luces, una de ellas con un destello de onda cuadrada, de tres segundos y de 100 cd, y la otra con una luz fija de 100 cd. Todos nuestros modelos de eficacia arrojan una cifra de 60 cd para la intensidad eficaz de la luz de destellos.

Ahora, imaginemos estas 2 luces, la una al lado de la otra. A medida que un marinero se aproxima paulatinamente a estas luces desde la distancia, esto es lo que nuestro navegante verá:

- 1 El primer evento será la detección de la luz estacionaria de 100 cd.
- 2 El siguiente hecho será la detección de la luz de destellos de 60 cd (eficaces).
- 3 A medida que el navegante siga aproximándose, comenzará a discernir los colores de las luces, la duración del destello de la luz de destellos y el carácter estacionario de la luz continua.
- 4 Entonces, el navegante llegará al punto donde la iluminancia de las luces equivale a 0,2 microlux. Suponiendo una visibilidad meteorológica de 10 millas náuticas, esto ocurrirá a una distancia equivalente al «alcance nominal», que se publica en el Libro de Faros (note que la detección ocurrió a una distancia mayor). A este punto, el color y la duración del destello son fáciles de discernir. Además, basándonos en los datos de investigaciones previas, el brillo de la luz de destellos de 60 cd (eficaces) se aproximará estrechamente al brillo de la luz estacionaria de 100 cd.
- 5 A medida que el marinero se acerca aún más a las luces, el brillo aparente de la luz de destellos excederá el de la luz estacionaria. ¡La luz de destellos (con una intensidad eficaz de 60 cd) tendrá una apariencia más luminosa que la luz estacionaria de 100 cd! Está claro, por lo tanto, que la intensidad eficaz de la luz no es un indicador de cómo se verá a niveles de iluminancia que superan el umbral.

1.5 El camino a seguir

- Se ha reconocido que el punto del umbral de detección real no es de ningún interés práctico para el marinero;
- Ya que la intensidad eficaz es un concepto que sólo cobra sentido en el umbral de detección real, y porque el umbral de detección no es de ningún interés práctico, IALA está investigando la posibilidad de eventualmente eliminar la utilización de la intensidad eficaz;
- IALA mantendrá el nivel de 0,2 microlux como el nivel del umbral de iluminancia para usos prácticos (reconociendo que es un umbral práctico y no un umbral de detección real);

- A niveles que superan el umbral, el objetivo de IALA es desarrollar y utilizar los modelos de la intensidad aparente para comparar el brillo de luces con diferentes pautas de destello. Tales modelos de intensidad aparente reemplazarían los modelos actuales de intensidad eficaz;
- Hasta que se puedan desarrollar modelos de calidad superior de intensidad aparente, IALA continuará a recomendar la utilización de los modelos de intensidad eficaz a niveles de iluminancia que superan el umbral. A pesar de que sea inconsistente, en términos conceptuales, el uso de los modelos de intensidad eficaz a valores de iluminancia que superan el umbral, IALA mantendrá la situación actual hasta que se puedan desarrollar robustos modelos de calidad superior de intensidad aparente;
- IALA recuerda a los usuarios que los modelos de intensidad eficaz subestiman el rendimiento (el brillo relativo) de las luces con duraciones cortas del destello con respecto a las luces con destellos más largos bajo las mismas condiciones prácticas de observación.

2 INTRODUCCIÓN

La manera recomendada de determinar la intensidad de un haz de luz consiste en realizar la medición fotométrica en un campo de medición adecuado, tal y como se establece en la Recomendación de IALA E200-3 relativa a las Señales Luminosas Marítimas Parte 3 – La medición (E200-3) [19]. En el caso de una luz fija, los resultados de la medición [19] pueden proporcionar toda la información necesaria para pronosticar su rendimiento. Sin embargo, si la fuente luminosa es de destellos o de ocultaciones, o si el aparato de proyección de haces de luz concentrados es giratorio, habrá una variación de la intensidad luminosa entre un instante de tiempo y otro, para un observador, en un lugar determinado. Normalmente, esta variación va desde cero o casi cero pasando por una serie de valores finitos para después caer, otra vez, a cero. Existe, pues, una «aparición de luz» de una duración que se puede definir aproximadamente. Si la duración total de la luz es claramente inferior a las duraciones colindantes de oscuridad, hablamos de un «destello». Si la duración total no excede los aproximadamente **0,3** segundos, el ojo humano responde a la totalidad de las experiencias visuales dentro del destello; el efecto total, expresado en términos de la luminosidad aparente del destello cuando este se ve con facilidad, o de la intensidad del destello cuando apenas se ve, depende de las intensidades instantáneas dentro del destello. Si apenas se percibe un destello en cuando una luz estacionaria de intensidad I_e también apenas se percibe a la misma distancia y bajo las mismas condiciones atmosféricas, se considera que el destello tiene una intensidad eficaz I_e . Ésta es la intensidad eficaz que se debe utilizar cuando se realiza el cálculo del alcance luminoso de una luz para cualquier condición atmosférica presente.

Cuando la medición directa no es posible, o cuando los elementos ópticos se encuentran en el proceso de diseño o no se han construido aún, los valores de la intensidad y la duración del destello se podrán calcular mediante los métodos descritos en la Recomendación de IALA E-200-5 relativa a la Señales Luminosas Marítimas Parte 5 - La estimación del rendimiento de los elementos ópticos (E200-5) [20]. Se deberá recordar, sin embargo, que las incertidumbres de los valores que resulten de tal cálculo son mucho mayores que las de los valores obtenidos mediante la medición directa.

3 ÁMBITO DE APLICACIÓN / OBJETO

El ámbito de aplicación de este documento incluye todas las señales luminosas de ayuda a la navegación marítima de destellos con una duración del destello de cinco segundos o menos. Las luces con una duración del destello por encima de los cinco segundos se podrán considerar como continuas o fijas.

El objeto de este documento es describir cómo realizar el cálculo de la intensidad eficaz de un destello determinado cuando se percibe en el umbral acromático de iluminancia. La intensidad aparente de las luces de destellos percibidas cuando el nivel de iluminancia en el ojo del observador es mayor que el umbral acromático (también llamado 'supra-threshold' o por encima del umbral) no se trata en este documento (véase el Prólogo).

Ante la ausencia de algún método adecuado que se pueda utilizar a los niveles de iluminancia descritos en la Recomendación de IALA E-200 relativa a las Señales Luminosas Marítimas Parte 2 - El cálculo, la definición y la notación del alcance luminoso (E200-2) [18], la intensidad eficaz, calculada mediante los métodos proporcionados en este documento, se podrá utilizar para determinar el alcance luminoso de una señal luminosa de destellos.

4 DEFINICIONES

Umbral acromático	El nivel de iluminancia en el ojo del observador en el cual, una fuente luminosa es apenas detectable; no existe discernimiento del color, ni de la duración del destello y la probabilidad de detección es muy grande, pero no muy fiable.
Iluminancia del observador	La iluminancia en lúmenes por metro cuadrado (lux) o en millas marinas-candelas producida por la luz que incide en el ojo de un observador cuando esté orientado en la dirección de la luz.
Luz fija (continua)	Una fuente luminosa continua y de una intensidad luminosa constante.
Luz de destellos	Una luz con una característica rítmica y repetida cuyo tiempo de «encendido» dentro del periodo de la característica es menor que el tiempo de «apagado».
Luz de ocultaciones	Una luz con un carácter rítmico y repetido cuyo tiempo de «encendido» dentro del periodo de tal carácter es mayor que el tiempo de «apagado».
Intensidad eficaz	La intensidad luminosa de una luz fija (continua), de la misma distribución espectral relativa que la de una luz de destellos, que tiene el mismo alcance luminoso que la luz de destellos bajo idénticas condiciones de observación.
Intensidad aparente	La intensidad luminosa de una luz fija (continua) que corresponde, en términos de brillo, con un destello de luz espectralmente similar.

5 DESCRIPCIÓN DE LA INTENSIDAD EFICAZ DE UNA LUZ RÍTMICA

El alcance en que un observador apenas verá un destello de luz podrá describirse en términos de un único parámetro, que se denomina la «intensidad eficaz» del destello. El ojo no analiza las variaciones del flujo luminoso que inciden en el mismo durante el breve curso del destello, pero, sin embargo, reacciona a la impresión visual total del destello de luz. En particular, cuando el destello apenas se percibe, es posible obtener una medición cuantitativa de la eficacia de su luz, comparándola con una luz estacionaria, que asimismo apenas se percibe bajo las mismas condiciones, en el mismo alcance y por parte del mismo observador. En tales observaciones, se obtiene la suficiente consistencia para permitir la evaluación tanto de la intensidad eficaz del destello como de la intensidad de la luz fija, que es su equivalente en términos de detección en el umbral de la percepción visual (el umbral acromático). En este documento, se considerarán los métodos para evaluar la intensidad eficaz de varias formas de destello (distribuciones de la intensidad luminosa con respecto al tiempo). La intensidad eficaz

se define por la equivalencia de luces fijas y de destellos a los niveles del umbral, y los niveles que superan el umbral no se consideran. Salvo que hubiera alguna indicación al contrario, las evaluaciones son para destellos aislados, o sea, se asume que el intervalo entre los destellos sucesivos es, como mínimo, de unos segundos.

Para permitir la utilización de métodos de evaluación que sean sencillos, universalmente aplicables y de suficiente precisión para los efectos prácticos de la provisión de ayudas a la navegación, las condiciones de observación se han limitado a unos ciertos valores normalizados de referencia, que se han elegido para representar las típicas condiciones medias de la observación marítima de luces:

- 1 Observador joven con visión normal.
- 2 La luz se percibe con visión foveal y en el umbral acromático.
- 3 El ángulo subtendido de la fuente luminosa desde el ojo del observador $\leq 1'$.
- 4 Color de la luz: Blanco.

En cuanto a la observación nocturna, se asume que el nivel de la luminancia de fondo no excede los 10^{-2} cd/m². En cuanto a la observación diurna, el nivel de la luminancia de fondo depende de las condiciones meteorológicas diurnas y estacionales. Para ver el efecto de tales variaciones sobre el umbral de iluminancia en la percepción de luces continuas, véase [18].

Aunque sean diferentes los valores del umbral de iluminancia en el ojo del observador para el umbral acromático y los niveles de iluminancia expresados en [18], la intensidad eficaz calculada mediante los métodos proporcionados en este documento se podrá utilizar para determinar el alcance luminoso de una luz, empleando los métodos establecidos en [18], y se podrá utilizar para determinar el alcance nominal de una luz para su publicación en los Listados de Luces (Libro de Faros).

Los métodos de evaluación proporcionados hacen uso de las constantes de tiempo del sistema visual, indicadas con «C» en el método de Schmidt-Clausen y con «A» o con «a» en todos los otros métodos. (Se tomará en consideración que, en el Método I, la constante de tiempo es en realidad C/F, donde «F» es un «factor de forma», menor que la unidad para todos los destellos que no sean rectangulares, y que la constante de tiempo tan sólo es equivalente a «C» en el caso de los destellos rectangulares). Estas constantes se relacionan estrechamente con la constante de tiempo «a» más conocida de la expresión Blondel-Rey de la intensidad eficaz I_e de destellos de forma rectangular, a saber:

$$\frac{I_e}{I_o} = \frac{t}{a+t}$$

ecuación 1

Donde:

I_o es la intensidad del destello en su valor máximo

t es la duración del destello.

En general, estas constantes de tiempo dependen del color de la luz exhibida, así como del nivel de luminancia de fondo contra la cual se percibe dicha luz y de la amplitud angular de la fuente luminosa vista desde el ojo del observador. *Bajo las condiciones de referencia mencionadas con anterioridad, para la observación nocturna, se recomienda que los valores de «C», «A» y «a» se tomen como equivalentes a 0,2 segundo y, a efectos del cálculo de la intensidad eficaz para aplicaciones marítimas prácticas, no se considera necesario tomar en consideración las diferencias en el valor de la constante de tiempo para los diferentes colores de luz. Para la observación diurna y a todos los niveles de luminancia de fondo de 100 cd/m² o más, se recomienda que los valores de «C», «A» y «a» se tomen como equivalentes a 0,1 segundo.*

6 EVALUACIÓN DE LA INTENSIDAD EFICAZ

La determinación de la intensidad eficaz de cualquier destello deriva del conocimiento sobre la variación de la intensidad luminosa instantánea con respecto al tiempo. Suele ser de utilidad determinar la forma de esta variación y escalar la curva para que las ordenadas indiquen los valores de la intensidad luminosa en cada instante. Las mediciones fotométricas de la intensidad luminosa y de la distribución de intensidad luminosa se describen en [19], y las dificultades y limitaciones inherentes a las mismas se analizan en el mismo documento.

El trabajo clásico acerca de la evaluación de la intensidad eficaz fue el de Blondel y Rey, publicado en 1911. La fórmula basada en sus observaciones experimentales se limitaba, en cuanto a su aplicación, a los destellos de forma rectangular o casi rectangular. Indicaron una posible fórmula, que posiblemente sería de aplicación a los destellos de forma no rectangular, y ésta fue elaborada posteriormente por Douglas, con el Método III descrito a continuación. La fórmula de Blondel-Rey-Douglas se ha empleado extensamente y ha reportado unos resultados satisfactorios en la práctica.

Se sabe que los resultados obtenidos mediante los varios métodos proporcionados a continuación difieren en cierta medida, pero los efectos de tales diferencias en el alcance luminoso derivado de los mismos, no son significativos para la mayoría de las aplicaciones prácticas. Tales diferencias podrían llegar a ser más significativas cuando el reglamento exija que una luz proporcione un alcance luminoso específico, ya que los valores de la intensidad luminosa calculados para cumplir con tal requisito pueden variar de manera considerable en función del método de cálculo seleccionado. *Se recomienda, por lo tanto, que se exprese con claridad el método aplicado.*

El Método I también se puede aplicar cuando se miden destellos muy breves mediante la comparación con las normas de intensidad integrada, empleando fotómetros de integración temporal. No es necesario realizar la medición de la forma completa del destello, pero sí es necesario hallar la intensidad instantánea máxima durante el curso del destello (o sea, la «intensidad de pico» I_o).

El Método IV es adecuado para su aplicación a cualquier forma de destello de cualquier duración, incluso cuando el fotómetro de medida no es lo suficientemente rápido como para registrar, de manera fiel, todos los transitorios rápidos.

6.1 Método I — El Método de Schmidt Clausen (también denominado el método del «factor de forma»)

La variación de la intensidad luminosa instantánea I con respecto al tiempo t durante un destello se describe mediante la función $I(t)$. Tiene un valor máximo I_o , que es la intensidad de pico del destello. La intensidad integrada del destello, a saber, la integral de la intensidad instantánea con respecto al tiempo calculada a lo largo del destello, se denota por:

$$J = \int I dt$$

ecuación 2

Según Schmidt-Clausen, la intensidad eficaz I_e del destello es proporcionada por:

$$I_e = \frac{J}{C + \frac{J}{I_o}}$$

ecuación 3

Donde:

C es la constante de tiempo de respuesta de la visión, que se tomará como 0,2 segundo para la observación nocturna y 0,1 segundo para la observación diurna.

En cuanto a los destellos de mayor duración, tales como los producidos por haces giratorios, podría resultar más conveniente expresar la intensidad eficaz de la siguiente manera:

$$I_e = \frac{I_0 t}{\frac{C}{F} + t}$$

ecuación 4

Donde:

t = la duración del destello

F = el factor de forma de Schmidt-Clausen definido por:

$$F = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I(t) \cdot dt}{I_0(t_2 - t_1)}$$

ecuación 5

Donde:

t₁ = el tiempo de inicio del destello

t₂ = el tiempo de cese del destello

Si se elabora un gráfico de la forma del destello, y si se dibuja un rectángulo en torno al mismo, para que el rectángulo tuviera la longitud t₂ - t₁ y una altura equivalente a la intensidad máxima del destello, entonces el factor de forma sería el ratio del área debajo de la curva y el área del rectángulo (Figura 2).

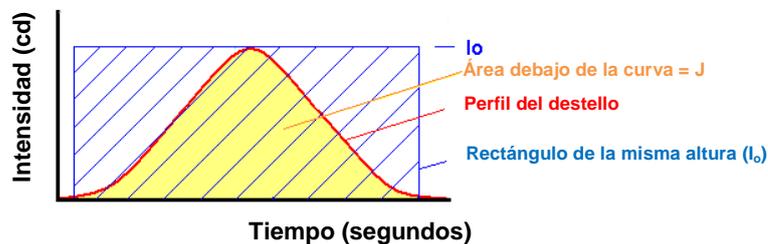


Figura 1 Gráfico del perfil de un destello y el rectángulo en torno al perfil (método del factor de forma)

La elección precisa de los límites t₁ y t₂ carece de importancia, siempre que éstos correspondan a instantes de intensidad cero antes o después del destello, respectivamente. Cuando no existen tales instantes, como podría ser el caso de los destellos producidos por haces giratorios, cuya intensidad pueda que no descienda completamente a cero, normalmente será suficiente elegir instantes en que la intensidad instantánea se encuentre en un valor I₀ suficientemente bajo (por ejemplo, el 5% de la intensidad luminosa máxima del destello). Esto es equivalente a realizar el cálculo de la intensidad eficaz del destello, que se considera como si estuviera superpuesta sobre una intensidad luminosa estacionaria equivalente a la de los instantes elegidos t₁ y t₂.

En cuanto a los destellos de extrema brevedad, t llega a ser insignificante con respecto a C/F y la ecuación (1) se convierte en:

$$I_e = \frac{J}{C}$$

ecuación 6

Tomando C = 0,2, esta ecuación se podrá utilizar para destellos de duración inferior a 0,05 s. Para tales destellos, la intensidad eficaz es cinco veces la intensidad integrada (cuando la unidad de tiempo es el segundo).

6.2 El problema de los grupos de destellos

Los métodos de Schmidt-Clausen y de Blondel-Rey tan sólo se pueden aplicar a los destellos aislados. En 1957, Douglas [9] propuso una ampliación del método de Blondel-Rey-Douglas para calcular la intensidad eficaz de grupos de destellos, pero su propuesta no se considera en general válida y se evitará. Los grupos de destellos que se repiten con rapidez producen una intensidad eficaz mayor que la producida por un destello aislado del mismo tipo [12].

En las «Recomendaciones sobre los caracteres rítmicos de las luces en ayudas a la navegación marítima», de mayo de 1979 [17], IALA recomienda una velocidad máxima de 300 destellos por minuto para las luces centelleantes ultra rápidas. Por consiguiente, pues, los caracteres con velocidades por encima de los 300 destellos por minuto no son recomendados. Para las velocidades del destello por encima de los 60 destellos por minuto y menores o equivalentes a los 300 destellos por minuto, la intensidad eficaz obtenida empleando los métodos para destellos aislados (métodos de Schmidt-Clausen, Blondel-Rey o Blondel-Rey-Douglas) daría una inaceptable subestimación de la intensidad eficaz. La intensidad eficaz de los grupos de destellos que se repiten con rapidez (por encima de los 60 destellos/minuto y por debajo de o equivalente a los 300 destellos/minutos) se calculará empleando el método modificado de Allard (Método IV), tomando en consideración 10 destellos como mínimo.

Se reconoce, no obstante, que las luces estacionarias o con destellos discernibles se pueden simular con grupos de destellos que se repiten con gran rapidez a velocidades por encima de la frecuencia crítica de fusión. En tales casos, los intervalos de oscuridad entre los destellos no se perciben y la Ley de Talbot-Plateau (véase a continuación) se emplea para modelar los efectos de los grupos de destellos que se repiten con gran rapidez.

6.3 Ley de Talbot-Plateau para grupos de destellos que se repiten con gran rapidez

El efecto de un grupo de destellos idénticos de cualquier forma que se repiten a una velocidad por encima de la frecuencia crítica de fusión (~60Hz) es el mismo que el efecto de una luz estacionaria con una intensidad equivalente intensidad media de una la luz de destellos repetidos muy rapidos. Esto sólo es de aplicación sobre el periodo de los destellos repetidos muy rapidos.

Sobre tal periodo, la intensidad integrada es:

$$J = \int_{\text{destello}} I \cdot dt$$

ecuación 7

La intensidad de la luz con el mismo efecto es, por lo tanto:

$$I_{\text{media}} = J / T$$

ecuación 8

Donde:

T corresponde al periodo de integración en la ecuación 7.

Para una serie infinita de destellos repetidos muy rapidos, la intensidad eficaz sería igual a I_{media} . Si los destellos que se repiten muy rapidos componen, a su vez y de manera colectiva, un destello discernible (grupo de destellos muy rapidos), entonces la intensidad eficaz de la luz se calcula empleando un proceso de dos pasos:

Paso 1: Utilice la ley de Talbot-Plateau para obtener I_{media} durante el destello discernible.

Paso 2: Utilice I_{media} y uno de los 4 Métodos que figuran en esta Recomendación para calcular la intensidad eficaz.

Es probable que sea necesaria una velocidad de destello por encima de los 1200 destellos por minuto para realizar una simulación satisfactoria de una luz continua. La duración del destello sería, por lo tanto, algo menos que 0,05 segundo, y no debería haber ninguna dificultad para realizar la medición directa de J. Se podrá utilizar, un circuito eléctrico de integración junto con el fotómetro de la medición, para modelar la Ley de Talbot-Plateau en cuanto al hardware. Asimismo, la integración digital se podrá emplear en el software para las mediciones en tiempo real o para el tratamiento posterior de los resultados de la medición. Cualquiera que sea el método de integración empleado, se tendrá cuidado en cuanto a la calibración de la medición.

6.4 Método II — El método de Allard

Este método también procede de la variación de la intensidad luminosa instantánea I con respecto al tiempo t, descrita por la función I(t). La intensidad eficaz instantánea correspondiente se define mediante la función i(t).

Según la teoría de Allard, estas curvas están relacionadas por la ecuación diferencial:

$$\frac{di}{dt} = \frac{I(t) - i(t)}{A}$$

ecuación 9

Donde:

A es la constante de tiempo para la respuesta visual.

En este caso, A se asocia con el tiempo que el ojo necesita para responder a un estímulo de luz y es una medida de lo que se conoce como la «inercia de la visión».

Para los cálculos prácticos bajo las condiciones de referencia de observaciones nocturnas, A se tomará como de 0,2 segundo.

Las soluciones de la ecuación 9 proporcionan valores de i(t) en cada instante durante y después del curso de un destello (véase la Figura 2). Si se asume que la impresión visual es proporcional al estímulo de luz, y, en particular, se hace la suposición de que el ojo del observador permanece en un estado constante de adaptación durante las variaciones de intensidad dentro del destello, entonces la ecuación 9 relaciona la intensidad instantánea I(t) durante el destello con la intensidad luminosa i(t) de una luz fija, que daría lugar a una respuesta visual como la que se está produciendo en el ojo en ese instante. La suposición de constante adaptación es razonable bajo las condiciones de observación en que las luces se perciben a los niveles del umbral por el observador.

La intensidad eficaz $I_{(e)}$ es el valor máximo de i(t) durante la duración del destello.

Una solución explícita de la ecuación 9 se puede obtener de forma integral. De ello, se puede constatar que, para destellos de muy breve duración, la intensidad eficaz se convierte en:

$$I_e = \frac{J}{A}$$

ecuación 10

Donde:

J = la intensidad integrada.

Si la constante visual A se toma como idéntica a la C del Método I, se puede ver que los dos métodos dan un resultado idéntico para la intensidad eficaz de destellos muy breves.

Suele ser más cómodo obtener las soluciones de la ecuación 9 directamente por ordenador en vez de utilizar la solución explícita. La ecuación es idéntica a la de un circuito eléctrico

compuesto de un condensador cargado mediante una resistencia desde una fuente de tensión que varía con respecto al tiempo.

La solución explícita de la ecuación 9 es la siguiente:

$$i(t) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{I(u)}{A} e^{-\left(\frac{t-u}{A}\right)} du$$

ecuación 11

Donde:

t_1 es el tiempo antes del cual no se exhibe la luz.

En cuanto a los sistemas ópticos giratorios y otros aparatos que producen destellos cuya intensidad luminosa no cae a un valor cero de intensidad luminosa, el tiempo inicial t_1 se tomará como el nivel de intensidad luminosa que no supere el 5% del valor máximo de la intensidad luminosa de pico del destello.

Se podrá utilizar cualquier programa de ordenador normal capaz de solucionar ecuaciones diferenciales lineales de primer orden para aplicar la ecuación de Allard a los resultados de la medición. En general, los métodos ordinarios de diferencias finitas son suficientes para ello. La intensidad eficaz I_e es el valor máximo de la solución $i(t)$.

El método de Allard también se puede aplicar fácilmente a grupos de destellos rectangulares. En cuanto a los grupos de destellos que se repiten con gran rapidez, los resultados coinciden estrechamente con los obtenidos mediante la ley de Talbot. Sin embargo, en cuanto a los destellos de más larga duración, los resultados obtenidos mediante el método de Allard no coinciden con los que se obtienen con los métodos de Schmidt-Clausen, Blondel-Rey y Blondel-Rey Douglas.

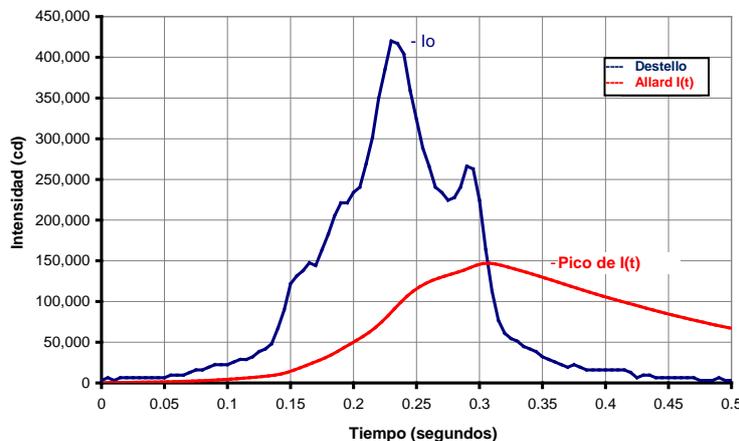


Figura 2 Un perfil del destello y la $i(t)$ que resulta empleando la fórmula de Allard.

6.5 Método III. — El método de Blondel-Rey-Douglas

Blondel y Rey indicaron que, en cuanto a destellos de forma no rectangular, la probable ampliación de su sencilla ley, tomaría la siguiente forma:

$$I_e = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I(t).dt}{a + t_2 - t_1}$$

ecuación 12

Donde:

$I(t)$ describe la variación de la intensidad luminosa instantánea I con respecto al tiempo t ;

a es la constante visual de tiempo de Blondel-Rey;

t_1 y t_2 representan los instantes del tiempo inicial y final, cuya determinación permaneció ambigua.

Douglas [9] sugirió que los límites t_1 y t_2 se deberían elegir de tal manera que maximicen la intensidad eficaz resultante. Mostró que tal máximo se daba cuando $I(t_1) = I(t_2) = I_e$. Para un destello aislado, la ecuación (6) se podría reformular de la siguiente manera:

$$a I_e = \int_{t_1}^{t_2} [I(t) - I_e].dt$$

ecuación 13

Donde:

t_1 y t_2 se toman, respectivamente, como aquellos instantes en que la intensidad instantánea sube por encima y cae por debajo de la intensidad eficaz I_e .

Ya que t_1 y t_2 son, por lo tanto, funciones de I_e , y, en la ecuación 13, I_e es una función de t_1 y t_2 , para determinar I_e , normalmente se tienen que emplear métodos de solución iterativos. La Figura 3 demuestra una representación gráfica de la ecuación 13, tal y como se aplica a una forma determinada de destello. La columna sombreada es de un ancho a , e I_e se tiene que determinar para que las dos áreas sombreadas tuvieran áreas equivalentes. Ello se puede realizar probando una sucesión de valores de I_e y determinando las áreas mediante el recuento de cuadrados o utilizando un planímetro. Generalmente, un resultado con un grado aceptable de precisión se puede obtener después de dos o tres ensayos. También es posible programar un ordenador digital para que efectúe las integraciones necesarias y para ajustar el valor de ensayo de I_e hasta que se establezca la igualdad de la ecuación 13.

La ampliación del método, tal y como la ha sugerido Douglas, para cubrir grupos de destellos no se considera generalmente válida y se evitará.

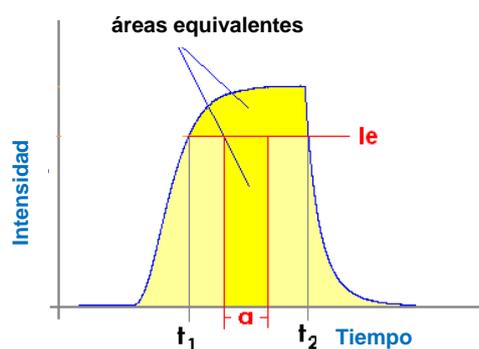


Figura 3 Un perfil de destello mostrando el concepto de Blondel-Rey, tal y como lo sugiere Douglas

6.6 Método IV — El método modificado de Allard

Debido a las carencias de los métodos anteriores, la CIE tomó la decisión de trabajar para conseguir un modelo mejorado de la intensidad eficaz basado en los siguientes criterios:

- La fórmula debería estar de acuerdo con la de Blondel-Rey (y el método del factor de forma) para los destellos rectangulares.

- La fórmula debería estar de acuerdo con los datos publicados sobre grupos de destellos.
- No debería ser posible engañar la fórmula, de manera demostrable, con formas complejas de destellos potenciales.
- La fórmula debería permitir el uso de técnicas sencillas de medición.
- La fórmula debería estar de acuerdo con los datos de observación visual publicados acerca de las formas de destello no rectangulares.

El comité técnico CIE TC2-49 de la CIE estudió los trabajos realizados a lo largo de muchas décadas y tomó nota del trabajo realizado por Luizov y Bulanova, que se presentó en 1960 ante una conferencia internacional celebrada en Washington. Dicho trabajo recomendó modificar la ecuación original de Allard para que estuviera de acuerdo con la fórmula Blondel Rey para los destellos rectangulares. Además, el comité CIE TC2-49 validó el método utilizando unos datos recopilados originalmente por Schmidt-Clausen. Finalmente, se estudió el trabajo sobre grupos de destellos realizado por Mandler y Thacker en 1986 y el método modificado de Allard obtuvo una buena correlación con sus resultados.

En el método modificado de Allard, dado que $I(t)$ es la intensidad luminosa instantánea de un destello, la intensidad eficaz se determina por el valor máximo de la siguiente convolución:

$$i(t) = I(t) \otimes q(t) \tag{ecuación 14}$$

Donde:

$$q(t) = a/(a+t)^2$$

a es 0,2 para el uso nocturno.

El destello comienza en $t = 0$. La intensidad eficaz I_e se da como el valor máximo de $i(t)$, de tal manera que:

$$I_e = \max_{t_0 \leq t \leq t_1} \{i(t)\} \tag{ecuación 15}$$

El término $q(t)$, $a/(a+t)^2$ mostrado en la Figura 4, es la curva de respuesta visual del método modificado de Allard trazada con la curva original de Allard $\frac{e^{-t/a}}{a}$.

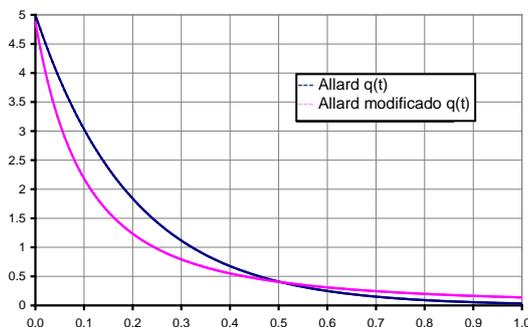


Figura 4 Curva de respuesta visual de los métodos Allard y Allard modificado

La convolución se puede obtener mediante el cálculo de la suma de productos de las dos curvas, $I(t)$ y $q(t)$, a medida que la curva inversa $q(t)$ es desplazada relativa a $I(t)$. Este método

es adecuado para conjuntos de datos discretos, como los que se obtienen mediante las mediciones digitalizadas de valores instantáneos de destellos y da lugar a la ecuación discreta:

$$i(t_j) = \sum_{k=0}^N I(t_k) \cdot q(t_j - t_k)$$

ecuación 16

Donde:

$I(t)$ se muestra en $t_0, t_1, t_2, \dots, t_N$ a lo largo de toda la duración del destello.

La función «SUMAPRODUCTO» de una hoja de cálculo informática se puede utilizar para convolucionar las curvas $I(t)$ y $q(t)$ inversa a fin de determinar la intensidad eficaz de un perfil de destello medido. Las escalas temporales de ambas curvas deberán ser iguales.

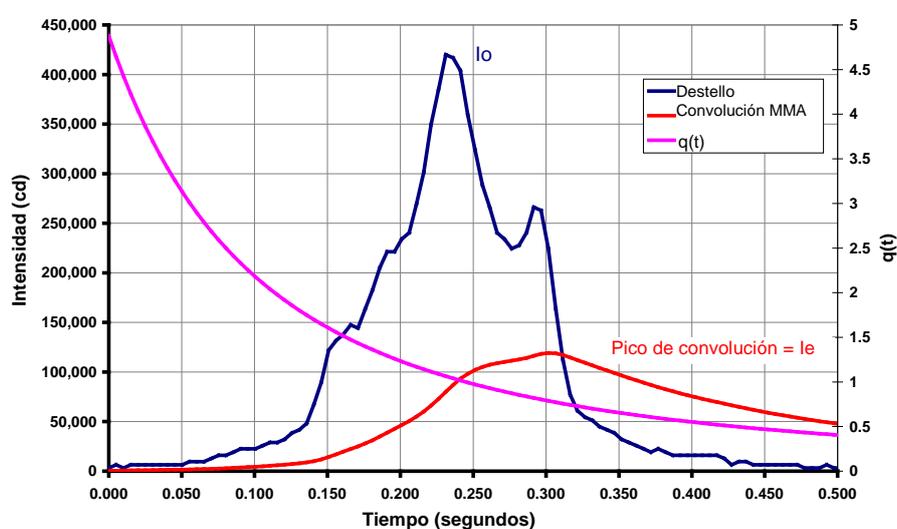


Figura 5 Perfil del destello con la convulsión que resulta empleando el método modificado de Allard

El valor de la intensidad eficaz es el valor máximo de la convulsión, de tal manera que:

$$I_e = \max_{t_0 \leq t_j \leq t_N} \{i(t_j)\}$$

ecuación 17

Las ventajas del método modificado de Allard son las siguientes:

- En términos matemáticos, es equivalente a la ecuación de Blondel-Rey (y al método del factor de forma) para los destellos rectangulares;
- Es adecuado para un grupo de destellos, ya que ha sido validado, tanto por los datos visuales experimentales [12] así como por el análisis computacional;
- No se conoce ninguna forma de destello de cualquier duración para la cual el método produce resultados anómalos;
- El método se puede realizar mediante un circuito analógico de lectura única, sin necesitar la grabación ni el cálculo de las formas de onda por ordenador.

7 CONCLUSIONES

- La intensidad eficaz no es un método ideal para determinar el rendimiento de una señal luminosa de ayuda a la navegación de destellos, pero, ante la ausencia de otros métodos adecuados, se podrá emplear para calcular el alcance luminoso de tales luces hasta que se impongan métodos mejorados;
- El método modificado de Allard (véase el apartado 6.6) es el método recomendado para la determinación de la intensidad eficaz de una señal luminosa de ayuda a la navegación marítima de **cualquier** perfil de destello o múltiples perfiles de destello a cualquier velocidad de repetición;
- Los métodos de Schmidt-Clausen y de Blondel-Rey-Douglas (véanse los apartados 6.1 y 6.5) se podrán emplear para determinar la intensidad eficaz de **un destello aislado** de una señal luminosa de ayuda a la navegación marítima, siempre y cuando el perfil del destello sea rectangular, neo rectangular, trapezoidal o *gaussiano*. No se deberán utilizar cuando el perfil del destello fluctúa con rapidez, ni para grupos de destellos que destellean a una velocidad por encima de los 60 destellos por minuto;
- El método de Blondel-Rey (véase el apartado 6.5) se podrá emplear para determinar la intensidad eficaz de **un destello aislado** de una señal luminosa de ayuda a la navegación marítima, **siempre y cuando** el perfil del destello sea rectangular. No se deberá utilizar para grupos de destellos que destellean a una velocidad por encima de los 60 destellos por minuto;
- Cuando una luz destellea de manera continua a gran velocidad, por encima de la frecuencia crítica de fusión (~60Hz), se empleará la Ley de Talbot-Plateau (véase el apartado 6.3) para modelar el efecto de los destellos repetidos a gran velocidad;
- Tan sólo cuando sea imposible realizar la medición de la variación de intensidad instantánea con respecto al tiempo, se podrá realizar un cálculo de la estimación de intensidad eficaz con la fórmula de Blondel-Rey, $I_e = \frac{I_0 \times t}{a + t}$, utilizando los valores de I_0 y t calculados según los métodos descritos en [20].

8 RESUMEN

Ante la ausencia de un método adecuado para cuantificar el rendimiento visual de una señal luminosa de ayuda a la navegación marítima, los Miembros Nacionales y otras Autoridades competentes que proporcionan servicios de ayuda a la navegación marítima podrán utilizar la **intensidad eficaz** de una luz rítmica para calcular el rendimiento de la siguiente forma:

- 1 En cuanto a una luz rítmica de cualquier perfil de destello y de cualquier velocidad de repetición del destello, la intensidad eficaz de un destello o de los destellos se calculará empleando el método modificado de Allard.
- 2 En cuanto al **destello aislado** de una luz rítmica que tiene un perfil de destello trapezoidal, neo-rectangular o *gaussiano*, y que los destellos se generan a una velocidad de hasta los 60 destellos por minuto, la intensidad eficaz se podrá calcular empleando los métodos de Blondel-Rey-Douglas o de Schmidt-Clausen.
- 3 En cuanto al **destello aislado** de una luz rítmica que tiene un perfil de destello rectangular, y que los destellos se generan a una velocidad de hasta los 60 destellos por minuto, la intensidad eficaz se podrá calcular empleando el método de Blondel-Rey.
- 4 Cuando el carácter de la luz rítmica incluya diferentes destellos o apariciones de luz, la intensidad eficaz se tomará como la menor de las obtenidas para los diferentes destellos.

- 5 Tan sólo cuando sea imposible realizar la medición de la variación de intensidad instantánea con respecto al tiempo, se calculará la intensidad eficaz empleando la fórmula de Blondel-Rey:

$$I_e = \frac{I_0 \times t}{a + t}$$

Donde:

I_0 es la intensidad instantánea de pico durante el destello, calculado tal y como se ha descrito en [20]

t es la duración del destello, calculado tal y como se ha descrito en [20]

a es 0,2 para el alcance nocturno y 0,1 para el alcance diurno

- 6 En cuanto a los destellos repetidos a una velocidad por encima de la frecuencia crítica de fusión (~60Hz), diseñados para simular una luz continua, el efecto de los destellos repetidos a gran velocidad se modelará mediante la aplicación de la ley de Talbot.
- 7 Se expresará con claridad el método aplicado para obtener la intensidad eficaz.
- 8 [18] se podrá utilizar para determinar el alcance luminoso de las intensidades calculadas que así resulten.

Cuando se haya calculado la intensidad sin haberla obtenido mediante la medición, la cifra de la intensidad no se publicará, pero se aplicará al Cuadro 1 de [18]. El valor redondeado más cercano del «alcance nominal» correspondiente al valor introducido se publicará como el alcance nominal nocturno de la luz. Si el alcance nominal diurno también fuese necesario, el Cuadro 2 de [18] se podrá utilizar de manera similar.

9 REFERENCIAS

- [1] International Association of Lighthouse Authorities (I.A.L.A.), «Recomendación sobre la notación de la intensidad luminoso y el alcance de las luces», 16 de noviembre de 1966.
- [2] International Association of Lighthouse Authorities (I.A.L.A.), «Recomendación sobre la definición del alcance nominal diurno de señales luminosas marítimas diseñadas para guiar la navegación marítima de día», abril de 1974.
- [3] IALA, «Recomendaciones relativas a la determinación de la intensidad luminosa de una luz de ayuda a la navegación marítima», (1977).
- [4] Y. Ohno y D. Couzin, Modified Allard Method for Effective Intensity of Flashing Lights, Actas de Simposio '02 de la CIE, Veszprem, Hungría, CIE x025:2003, 23-28 (2003).
- [5] Blondel A., «Théorie photométrique des projecteurs», *L'Industrie Electrique*, n° 46, 25 de noviembre de 1893, págs. 517-520 y el n° 47, 10 de diciembre 1893, págs. 541-546.
- [6] Comisión Internacional de Iluminación (C.I.E.), «International Lighting Vocabulary», Publicación n.º 17 (E.1.1.), 3ª Edición 1970.
- [7] Douglas C. A., «Photometer for the measurement of effective intensity of condenser – discharge lights», *Illuminating Engineering*, Nueva York, Vol. LIII, n.º 4, abril de 1958, págs. 205-208.
- [8] Blondel A. y Rey J., «Sur la perception des lumières brèves à la limite de leur portée» *Journal de Physique*, julio y agosto de 1911. Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris, vol. CLIII, 3 de julio de 1911, pág. 54.

- [9] Douglas C. A., «Computation of the effective intensity of flashing lights». *Illuminating Engineering*, Nueva York, Vol. LII, n.º 12, diciembre de 1957, págs. 641-646.
- [10] Allard E., «Mémoire sur l'intensité et la portée des phares», 62-73, Imprimerie Nationale, Paris (1876).
- [11] IALA, «Recomendación sobre el cálculo de la intensidad eficaz de una luz rítmica», Boletín IALA, 1981/2, 27 (1981).
- [12] M. B. Mandler y J. R. Thacker, «A Method of Calculating The Effective Intensity of Multiple-Flick Flashtube Signals», U.S. Coast Guard Publication CG-D-13-86 (1986).
- [13] H.J. Schmidt-Clausen, «The influence of the angular size, adaptation luminance, pulse shape, and light colour on the Blondel-Rey constant a», The Perception and Application of Flashing Lights, Actas del Simposio Internacional celebrado en Imperial College, Londres, abril de 1971, Adam Hilger Ltd., Londres (1971).
- [14] Informe Técnico CIE TC2-49 versión 4.1 de la CIE, «Measurement of Effective Intensity of Flashing Lights», 22 de julio de 2008.
- [15] A.V. Luizov y K.N. Bulanova, «Vision inertia as applied to the observation of navigation lights», Washington D.C., 1960.
- [16] A.K. Toulmin-Smith y H.N. Green, «The fixed light equivalent of flashing lights». *Illuminating Engineer*, diciembre de 1933.
- [17] International Association of Lighthouse Authorities (I.A.L.A.), «Recomendaciones sobre los caracteres rítmicos de las luces en ayudas a la navegación marítima», mayo de 1979.
- [18] 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).
- [19] IALA, Recomendación E-200-3 – relativa a las Señales Luminosas Marítimas Parte 3 – La Medición (E200-3).
- [20] IALA, Recomendación E-200-5 relativa a las Señales Luminosas Marítimas Parte 5 - La estimación del rendimiento de elementos ópticos (E200-5).

APÉNDICE 1 SÍMBOLOS

<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>	<i>Unidad</i>
A	La constante de tiempo en la fórmula de Allard para la intensidad eficaz	s
a	La constante de tiempo en la fórmula de Blondel-Ray para la intensidad eficaz	s
C	La constante de tiempo en el método del factor de forma para la intensidad eficaz	s
E	La iluminancia en el ojo del observador	lx
i	La intensidad instantánea	cd
I	La intensidad luminosa	cd
I_0	El valor máximo de la intensidad luminosa de un haz de luz o dentro de un destello	cd
I_e	La intensidad eficaz de un destello	cd
J	La intensidad integrada de un destello	cd.s
t	La duración del destello	s

APÉNDICE 2 EXPLICACIÓN ADICIONAL DEL MÉTODO MODIFICADO DE ALLARD

Como ya se ha tratado en el apartado 6.6, el método modificado de Allard para calcular la intensidad eficaz se logra mediante la convolución matemática. Este proceso se puede describir mejor tomando en consideración los datos discretos que resultan de una medición de la variación de intensidad con respecto al tiempo con un dispositivo digital de grabación. A continuación se muestra un perfil de destello típico de una baliza giratoria, así como la curva de respuesta visual.

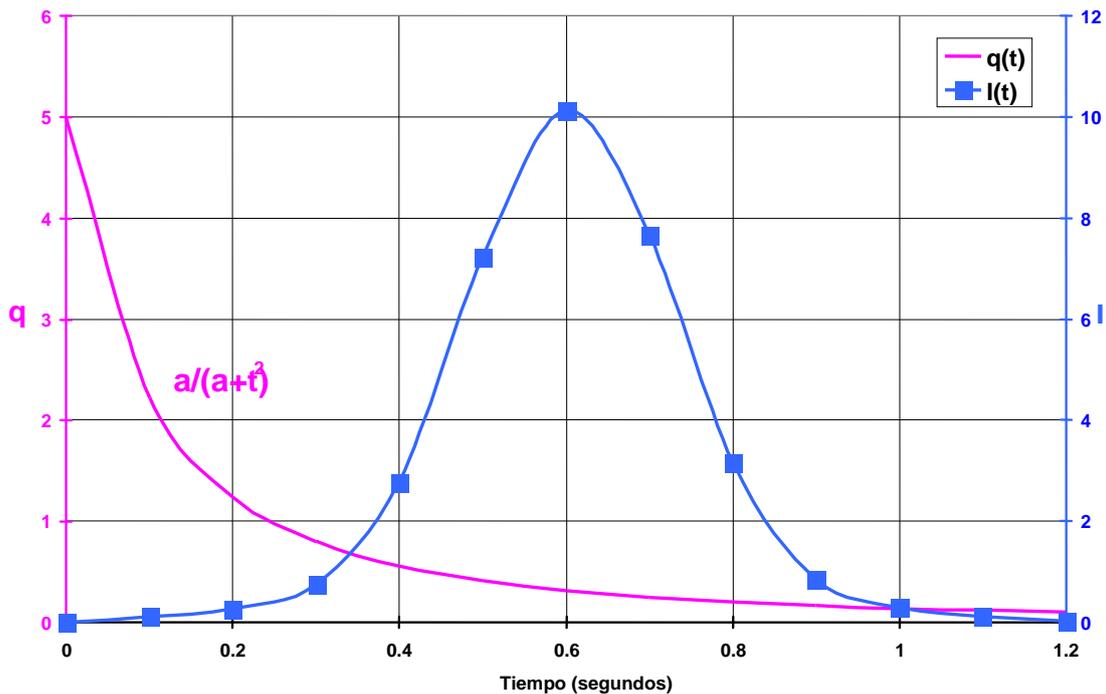


Figura 6 Trazado de la intensidad con respecto al tiempo $I(t)$ y la curva de respuesta visual $q(t)$

Los cuadrados marcados en el trazado del destello representan los instantes de tiempo en que la intensidad instantánea se grabó de forma digital. Tanto el perfil del destello como la curva de respuesta visual se pueden mostrar como valores discretos mediante un histograma:

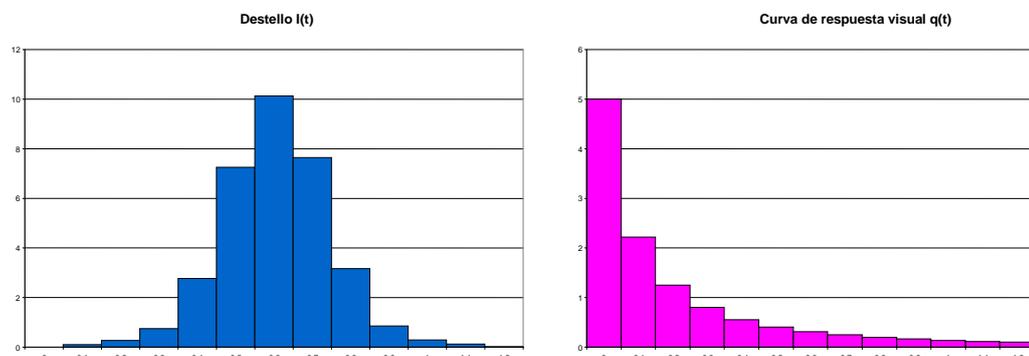


Figura 7 Histogramas del perfil del destello $I(t)$ y de curva de respuesta visual $q(t)$

La convolución se logra desplazando, en pasos, la inversa de la curva de respuesta visual por el perfil del destello y tomando el suma producto a cada paso de la siguiente forma:

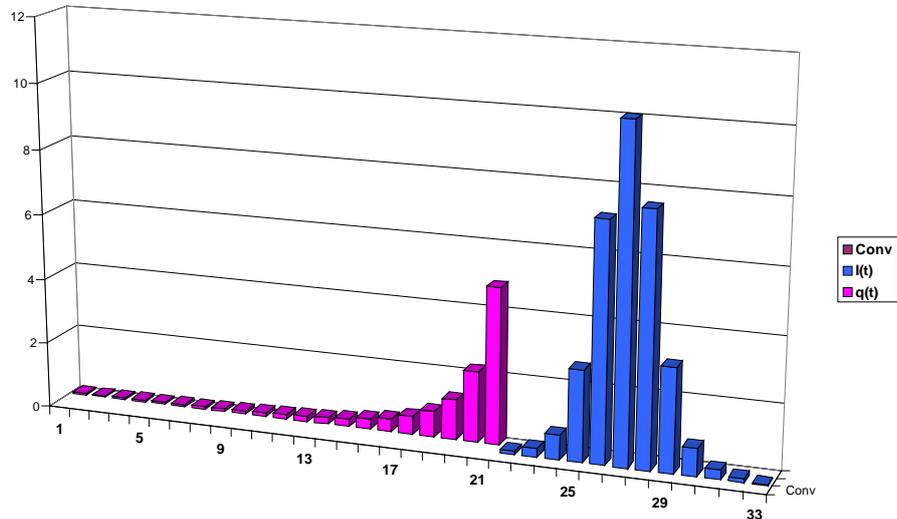


Figura 8 Convolución en $t=0$

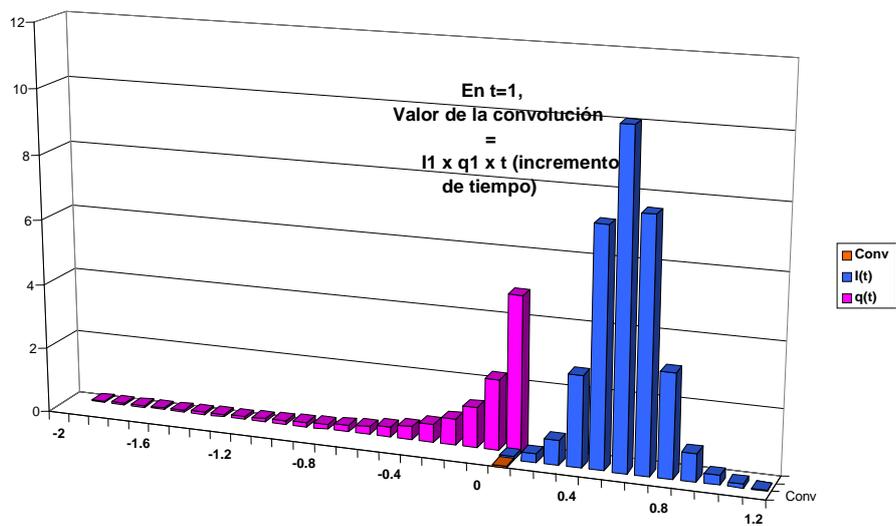


Figura 9 Convolución en $t=1$

En el primer paso, el valor de q_1 en la curva de respuesta visual se multiplica por el valor de I_1 en el perfil del destello. Entonces, se multiplica este producto por el incremento de tiempo en segundos para dar el valor convolucionado de $t=1$.

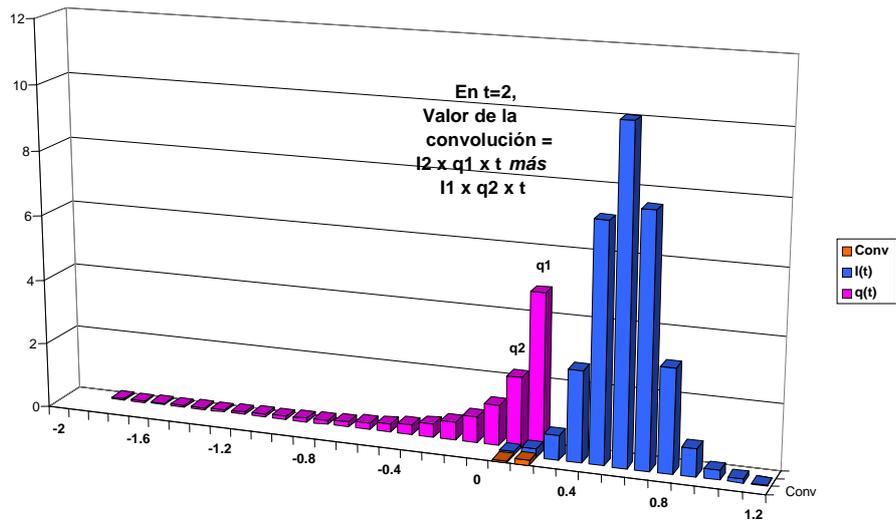


Figura 10 Convolución en t=2

En t=2, se multiplica el valor de q1 por el valor de I2, y después se multiplica el valor de q2 por I1. Se suman los dos productos y se multiplica por el incremento de tiempo. El resultado sería el valor convolucionado en t=2.

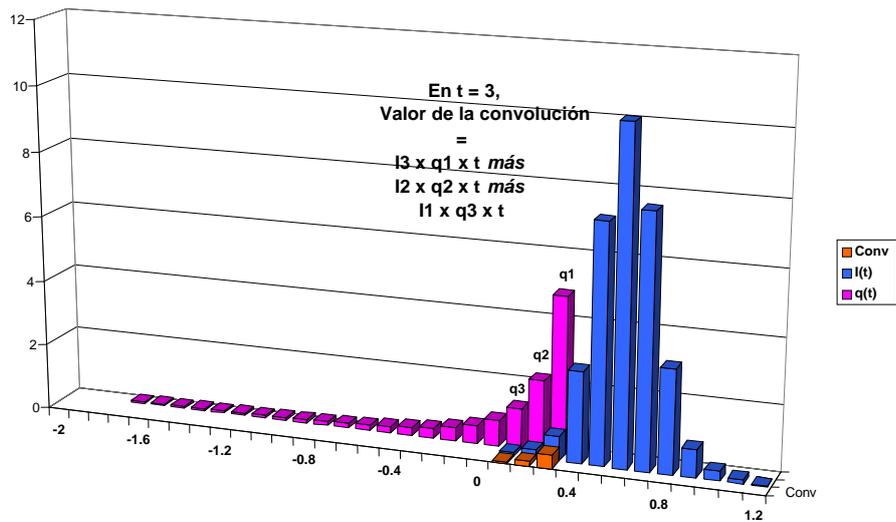


Figura 11 Convolución en t=3

En t=3, se multiplica el valor de q1 por el valor de I3, se multiplica el valor de q2 por I2 y se multiplica el valor q3 por I1. Se suman estos tres productos y se multiplica por el incremento de tiempo para obtener valor convolucionado en t=3.

A medida que este proceso continúa por los pasos 0 a 9, será posible ver surgir el trazado de convolución:

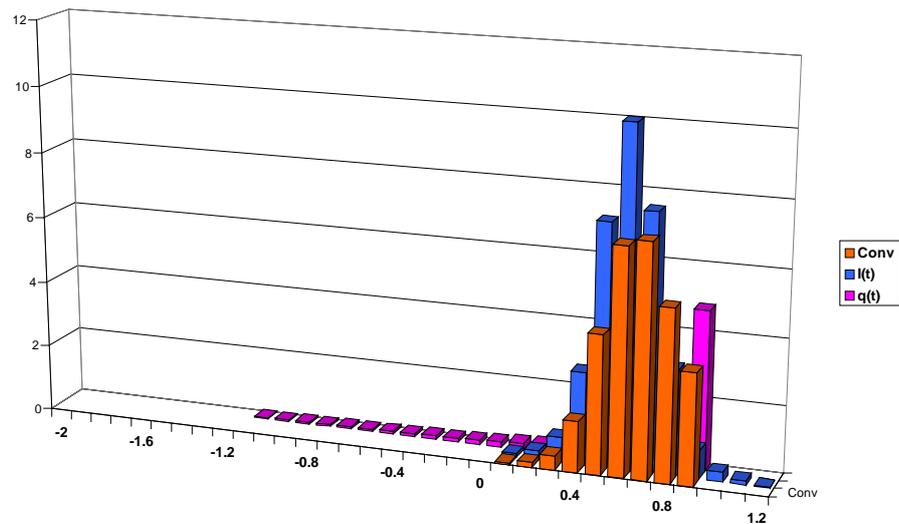


Figura 12 Convolución en $t=9$ mostrando un máximo convolucionado en $t=7$

Aunque sean algo artesanales, los histogramas muestran el proceso de convolución en un formato discreto. Volviendo al formato continuo, el valor máximo de la convolución se puede tomar como el valor de la intensidad eficaz.

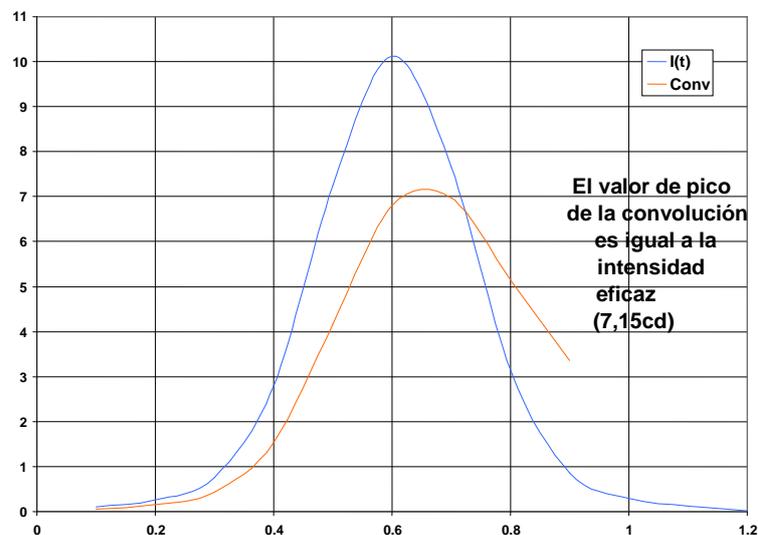


Figura 13 Gráfico continuo del perfil del destello $I(t)$ y la convolución

Los valores discretos del perfil del destello, la curva inversa del impulso visual y los incrementos de tiempo se pueden introducir en una hoja de cálculo. Se podrá, entonces, utilizar la función SUMAPRODUCTO para obtener un valor de convolución en cada incremento temporal. De los valores convolucionados que así resulten en cada incremento temporal, se tomará el valor máximo como la intensidad eficaz.