



GUÍA DE LA IALA

G1135

DETERMINACIÓN Y CÁLCULO DE LA INTENSIDAD EFICAZ

Edición 1.0

Diciembre de 2017



Puertos del Estado



HISTORIAL DEL DOCUMENTO

Las revisiones realizadas a este documento de la IALA se anotarán en el siguiente cuadro antes de la puesta en circulación de un documento revisado.

Fecha	Detalles	Aprobación
Diciembre de 2017	1ª edición	Consejo 65

La revisión de la traducción de este documento ha sido realizada por el grupo de trabajo de Puertos del Estado en el que han participado:

*Luis Martínez (Autoridad Portuaria de Vigo);
Enrique Abati (Autoridad Portuaria de Marín);
Juan Manuel Vidal (Autoridad Portuaria de Gijón);
Carlos Calvo (Autoridad Portuaria de Santander);
Cristina García-Capelo (Autoridad Portuaria de Bilbao);
José Luis Núñez (Autoridad Portuaria de Pasajes);
Juan Antonio Torres (Autoridad Portuaria de Huelva);*

*Septimio Andrés (Autoridad Portuaria de Sevilla);
Germán Gamarro (Autoridad Portuaria de Algeciras);
Santiago Tortosa (Autoridad Portuaria de Ceuta);
Jaime Arenas (Autoridad Portuaria de Baleares);
Antonio Cebrián y Guillermo Segador (Autoridad Portuaria de Barcelona);
José Carlos Díez (Puertos del Estado).*

Coordinación de la edición en español y edición final:

José Carlos Díez (Puertos del Estado)

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.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	4
2. DESCRIPCIÓN DE LA INTENSIDAD EFICAZ DE UNA LUZ RÍTMICA	4
3. EVALUACIÓN DE LA INTENSIDAD EFICAZ	5
3.1. Método de Allard modificado	5
3.1.1. Versión de tiempo continuo	5
3.1.2. Versión de tiempo discreto	6
4. CONCLUSIONES	8
5. REFERENCIAS	8
ANEXO A CONSIDERACIONES COMPUTACIONALES DEL MÉTODO DE ALLARD MODIFICADO	Error! Marcador no definido

Índice de figuras

<i>Figura 1</i>	<i>Representación gráfica de la función de la sensibilidad del sistema visual del Método de Allard modificado $q(t)$, para valores diferentes de a. Valores negativos de t de un valor de 0 para $q(t)$.</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2</i>	<i>Perfil del destello con la convolución que resulta empleando el método de Allard modificado ...</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3</i>	<i>Trazado de la intensidad con respecto al tiempo $I(t)$ y la función de impulso visual $q(t)$</i>	<i>9</i>
<i>Figura 4</i>	<i>Histogramas del perfil del destello $I(t)$ y de la función de sensibilidad visual $q(t)$.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5</i>	<i>Figura 5 Convolución en $t=0$</i>	<i>10</i>
<i>Figura 6</i>	<i>Figura 6 Convolución en $t=1$</i>	<i>10</i>
<i>Figura 7</i>	<i>Figura 7 Convolución en $t=2$</i>	<i>11</i>
<i>Figura 8</i>	<i>Figura 8 Convolución en $t=3$</i>	<i>11</i>
<i>Figura 9</i>	<i>Figura 9 Convolución en $t = 9$, mostrando un valor máximo en $t = 7$.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 10</i>	<i>Figura 10 Gráfico continuo del perfil de destello $I(t)$ and el producto de convolución.....</i>	<i>12</i>

Lista de ecuaciones

<i>Ecuación 1</i>	<i>Expresión de Blondel-Rey de la Intensidad eficaz.....</i>	<i>5</i>
<i>Ecuación 2</i>	<i>Método de Allard modificado.....</i>	<i>5</i>
<i>Ecuación 3</i>	<i>Función de la sensibilidad del sistema visual.....</i>	<i>6</i>
<i>Ecuación 4</i>	<i>Ecuación de convolución discreta (Paso 1 del Método de Allard modificado)</i>	<i>6</i>
<i>Ecuación 5</i>	<i>La intensidad eficaz a partir de la ecuación de convolución discreta (Paso 1 del Método de Allard modificado)</i>	<i>7</i>

1. INTRODUCCIÓN

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 de iluminancia definido por la IALA para la señalización visual. En el pasado, los modelos de la intensidad eficaz se basaban en el umbral acromático, que no necesariamente representa con precisión la sensibilidad del sistema visual humano a los niveles de iluminación de la señal empleados en la señalización visual.

No obstante, el Método de Allard modificado, descrito a continuación, ha demostrado adaptarse bien al umbral de la iluminancia de las señales, a pesar de que, en sus orígenes, se utilizaba para el cálculo de la intensidad eficaz al umbral acromático.

2. 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 y 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 considerará el método recomendado 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 tienen en cuenta. Salvo que se indique lo contrario, las evaluaciones son para destellos aislados, con la intensidad eficaz más baja de los destellos en un carácter que defina el alcance nominal de esa luz.

A efectos de permitir la utilización del Método de Allard modificado para la evaluación de la intensidad eficaz, que será sencillo, universalmente aplicable y de suficiente precisión para los efectos prácticos de la prestación de ayudas a la navegación, las demás condiciones de observación se han limitado a unos ciertos valores normalizados de referencia, que se han elegido para representar las condiciones normales medias de la observación marítima de luces:

- 1 Observador joven con visión normal;
- 2 La amplitud angular de la fuente luminosa en el ojo del observador $\leq 1'$;
- 3 Color de la luz: Blanco.

En general, el Método de Allard modificado utiliza las constantes de tiempo del sistema visual, denotadas por a . La constante es igual a la constante de tiempo a de la expresión de Blondel-Rey de la intensidad eficaz I_e de los destellos de forma rectangular, a saber:

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

Ecuación 1 Expresión de Blondel-Rey de la Intensidad eficaz

Donde:

I_e es la intensidad eficaz (cd)

I_o es la intensidad de pico (cd)

t es la duración del destello rectangular (s)

a es la constante visual de tiempo (s)

En general, la constante de tiempo depende 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, tanto para las observaciones diurnas como para las nocturnas, se recomienda que el valor de a se tome como igual a 0,1 segundo para todos los colores de señalización, salvo el azul, para el que se tomará como igual a 0,2 segundo de noche.

Para hacer que el Método de Allard modificado se ajuste más a las observaciones, el valor de a se ha cambiado desde las ediciones anteriores de las recomendaciones sobre la intensidad eficaz

3. EVALUACIÓN DE LA INTENSIDAD EFICAZ

La determinación de la intensidad eficaz de cualquier destello concreto se deriva del conocimiento sobre la variación de la intensidad luminosa instantánea con respecto al tiempo. Suele resultar útil tanto determinar la forma de esta variación como escalar la curva para que las ordenadas sean 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 la Recomendación E200-3 de la IALA, y las dificultades y limitaciones inherentes a ellas se analizan en ese mismo documento.

3.1. MÉTODO DE ALLARD MODIFICADO

3.1.1. VERSIÓN DE TIEMPO CONTINUO

En el método de Allard modificado, la intensidad eficaz, I_e , de un destello de una longitud finita se determina por el valor máximo del resultado de la convolución entre el perfil del destello y la función de la sensibilidad del sistema visual. Por lo tanto,

$$I_e = \max_t \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} I(t - t') \cdot q(t') dt' \right\}$$

Ecuación 2 Método de Allard modificado

Donde:

$I(t)$ es la intensidad luminosa instantánea del destello en un tiempo t .

$q(t)$ es la función de la sensibilidad del sistema visual.

La función de la sensibilidad del sistema visual, $q(t)$, se determina por:

$$q(t) = \begin{cases} \frac{a}{(a+t)^2} & \text{para } t \geq 0 \\ 0 & \text{para } t < 0 \end{cases}$$

Ecuación 3 Función de la sensibilidad del sistema visual

Donde:

$$a = \begin{cases} 0,1 \text{ s} & \text{para todos los colores de señalización, salvo el azul de noche} \\ 0,2 \text{ s} & \text{para el color de señalización azul de noche} \end{cases}$$

En la Figura 1, se muestra la función de la sensibilidad del sistema visual del Método de Allard modificado $q(t)$, trazado en función del tiempo.

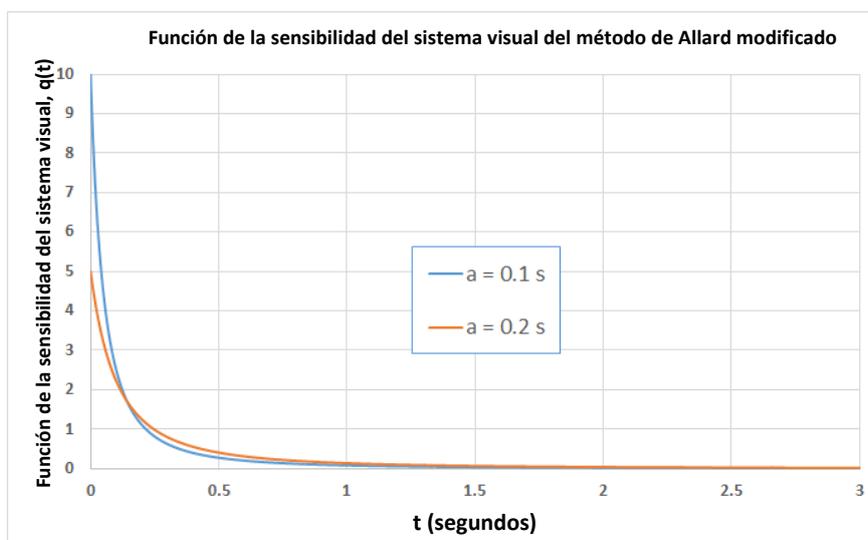


Figura 1 Representación gráfica de la función de la sensibilidad del sistema visual del Método de Allard modificado $q(t)$, para valores diferentes de a . Valores negativos de t de un valor de 0 para $q(t)$.

3.1.2. VERSIÓN DE TIEMPO DISCRETO

Es posible demostrar que la versión de tiempo continuo del Método de Allard modificado puede utilizarse para aplicaciones de tiempo discreto, como las muestras fotométricas tomadas a **intervalos regulares**. La Recomendación E200-3 de la IALA se ocupa de los métodos de medición. Una vez que se haya obtenido un conjunto de muestras, ya sea por medición o por síntesis en una hoja de cálculo, el primer paso para calcular la intensidad eficaz del destello puede obtenerse utilizando la siguiente ecuación.

$$i(t_j) = \Delta t \left(\frac{I(t_0)q(t_j - t_0)}{2} + \sum_{k=1}^{N-1} I(t_k)q(t_j - t_k) + \frac{I(t_N)q(t_j - t_N)}{2} \right)$$

Ecuación 4 Ecuación de convolución discreta (Paso 1 del Método de Allard modificado)

Donde:

$I(t)$ son los datos muestreados en el tiempo $t_0, t_1, t_2, \dots, t_N$ a lo largo de toda la duración del destello

N es el número de puntos de datos

t_k es el tiempo del k -ésimo punto de datos

t_j es el tiempo del j -ésimo punto de datos

Δt es $\frac{t_N - t_0}{N}$ (el intervalo de tiempo entre las muestras)

$q(t)$ como se define en la Ecuación 3.

Ecuación 4 hace algunas suposiciones con el fin de simplificar el cálculo. El destello que se considera debe existir para un valor positivo de t , y, en los límites del conjunto de datos, se debe considerar extinguido el destello. Además, al ser una función de convolución, el número de iteraciones que se precisan para calcular el resultado aumenta de forma exponencial según la longitud del conjunto de datos. Una duración de destello prolongada o un destello muestreado a una velocidad rápida darán lugar a una computación más lenta. Sin embargo, el valor de Δt (el intervalo entre las muestras) debe ser lo suficientemente breve para garantizar que el perfil del destello se captura de forma precisa (incluido cualquier modulación de ancho de pulso utilizada).

Si se usa una hoja de cálculo, puede emplearse la función “SUMAPRODUCTO” para convolucionar $I(t)$ e invertir las funciones $q(t)$, con el fin de determinar la intensidad eficaz de un perfil de destello medido. Los pasos temporales discretos de ambas funciones deberán ser iguales. En la Figura 2, se muestra de forma gráfica el destello medido (azul oscuro) y la función $q(t)$ (morado), utilizados en un ejemplo. El producto de convolución resultante, $i(t)$, se muestra en rojo.

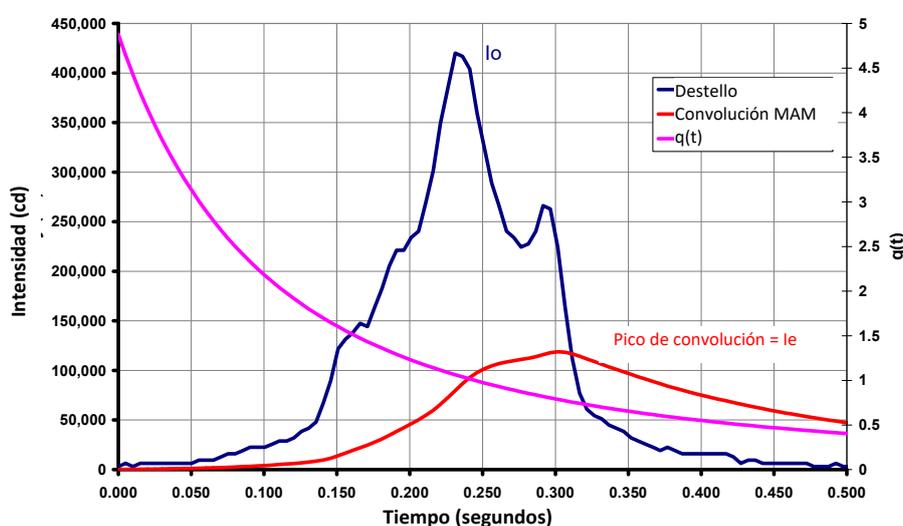


Figura 2 Perfil del destello con la convolución que resulta empleando el método de Allard modificado

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

$$I_e = \max_{t_j} \{i(t_j)\}$$

Ecuación 5 La intensidad eficaz a partir de la ecuación de convolución discreta (Paso 1 del Método de Allard modificado)

En la Figura 2, se puede observar que el valor máximo del producto de convolución tiene un valor máximo de aproximadamente 120.000 cd, por lo que ésta sería la intensidad eficaz del destello que se muestra en dicha figura.

Las ventajas del método de Allard modificado son las siguientes:

- En términos matemáticos, es equivalente a la ecuación de Blondel-Rey para los pulsos rectangulares;
- Es adecuado para un grupo de destellos, ya que ha sido validado, tanto por los datos visuales experimentales [1] así como por el análisis computacional;

En el ANEXO A, se ofrece más información sobre las consideraciones computacionales de la aplicación del Método de Allard modificado.

4. CONCLUSIONES

- El método de Allard modificado 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;
- El método de Blondel-Rey, la Ecuación 1, 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 la señal luminosa que **lanza** el destello sea **rectangular**. No se deberá utilizar para grupos de destellos que destelleen a una velocidad por encima de los 60 destellos por minuto;
- 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, la Ecuación 1, utilizando los valores de I_0 y t calculados según los métodos descritos en la Recomendación E200-5 de la IALA¹.
- Debe advertirse que el Método de Allard modificado no es perfecto y, por tanto, se solicita a los Miembros de la IALA que aporten información que permita mejorar el modelo de intensidad eficaz.
- Asimismo, los Miembros de la IALA deberían contemplar mejoras en el cálculo de la intensidad eficaz y se les solicita que las presenten a la IALA.

5. REFERENCIAS

- [1] Mandler and Thacker, “A Method of Calculating The Effective Intensity of Multi-Flick Flashtube Signals”, publicación de la Guardia Costera de EE.UU., CG-D-13-86 (1986)

¹ A la fecha (diciembre de 2017), la serie E-200 de Recomendaciones se encuentra en proceso de revisión. Es probable que los detalles contenidos en la Recomendación E-200-5 se trasladen a una nueva Guía antes del año 2022.

ANEXO A CONSIDERACIONES COMPUTACIONALES DEL MÉTODO DE ALLARD MODIFICADO

El método de Allard modificado para calcular la intensidad eficaz se logra mediante la convolución matemática. Este proceso se describe mejor si se consideran los datos discretos resultantes de una medición de la intensidad de la variación a lo largo del tiempo con un dispositivo digital de grabación. En la Figura 3, se muestra un perfil de destello típico de una baliza giratoria, así como la función de impulso visual.

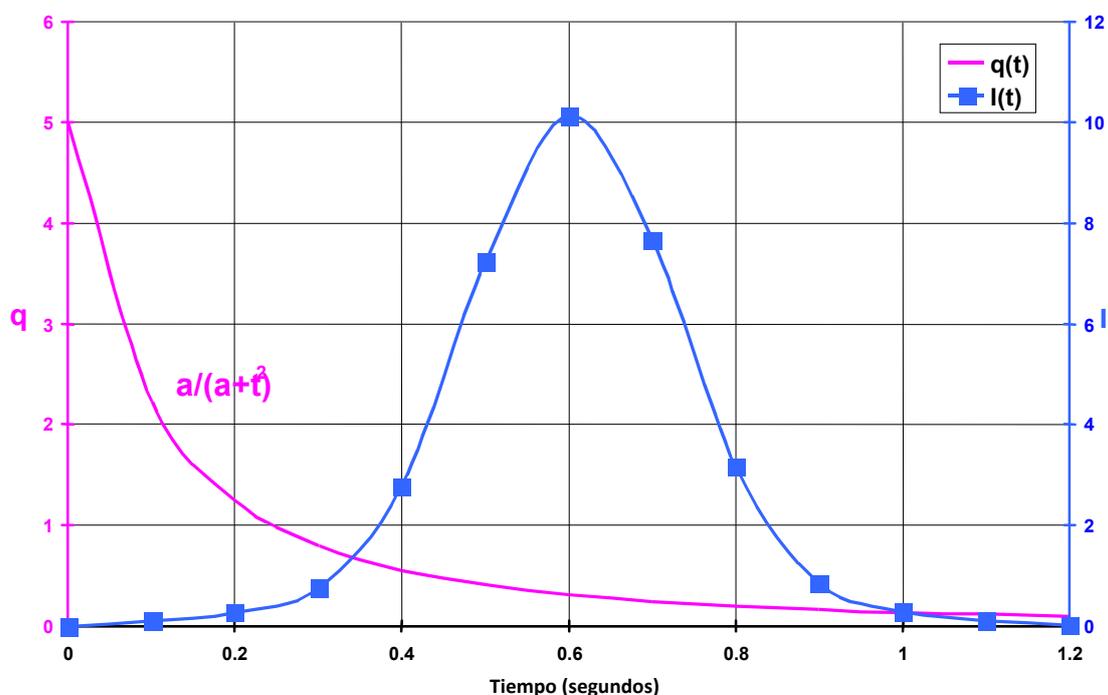


Figura 3 Trazado de la intensidad con respecto al tiempo I(t) y la función de impulso visual q(t)

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 función de impulso visual se pueden mostrar como valores discretos mediante un histograma.

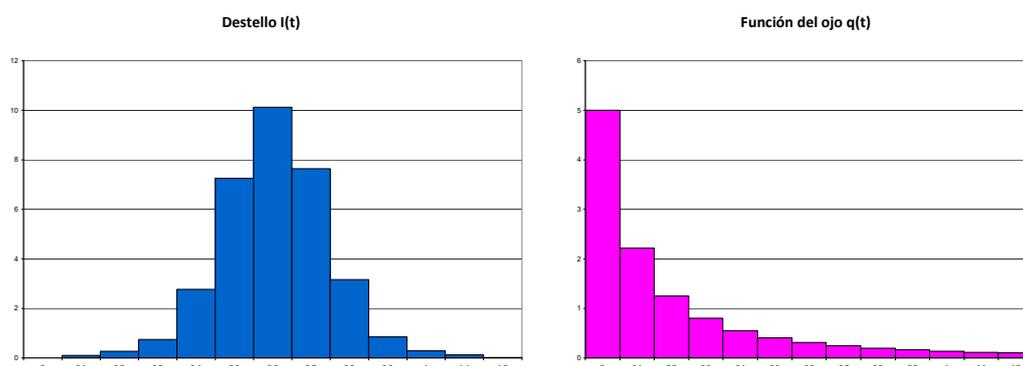


Figura 4 Histogramas del perfil del destello I(t) y de la función de sensibilidad visual q(t)

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

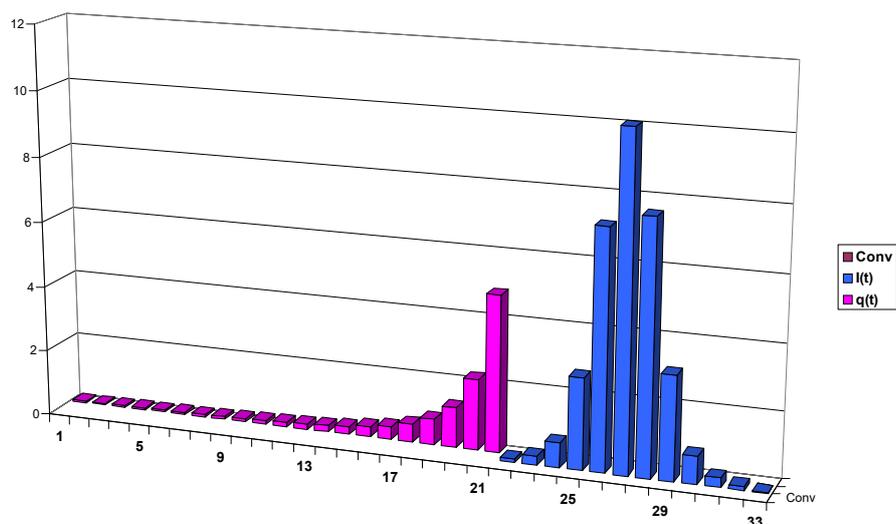


Figura 5 **Figura 1** *Convolución en t=0*

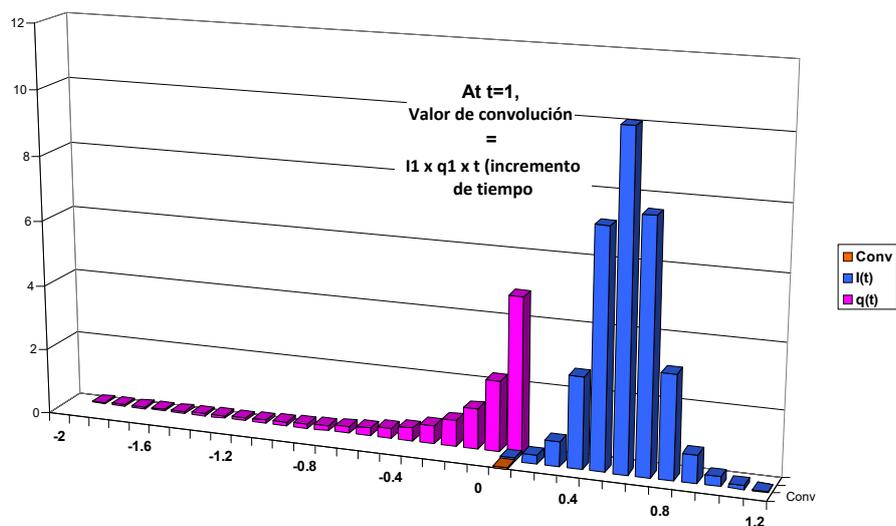


Figura 6 **Figura 2** *Convolución en t=1*

En el primer paso, el valor de q1 en la función de impulso visual se multiplica por el valor de l1 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.

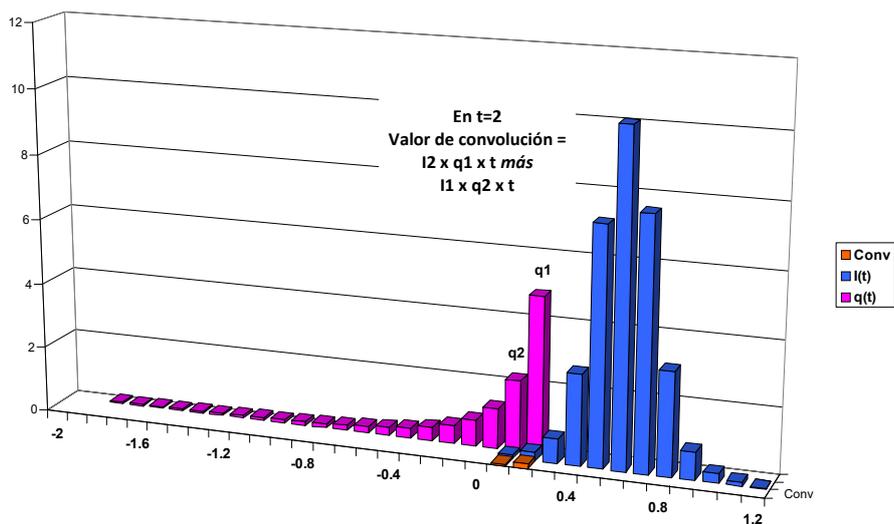


Figura 7 **Figura 3** **Convolución en t=2**

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.

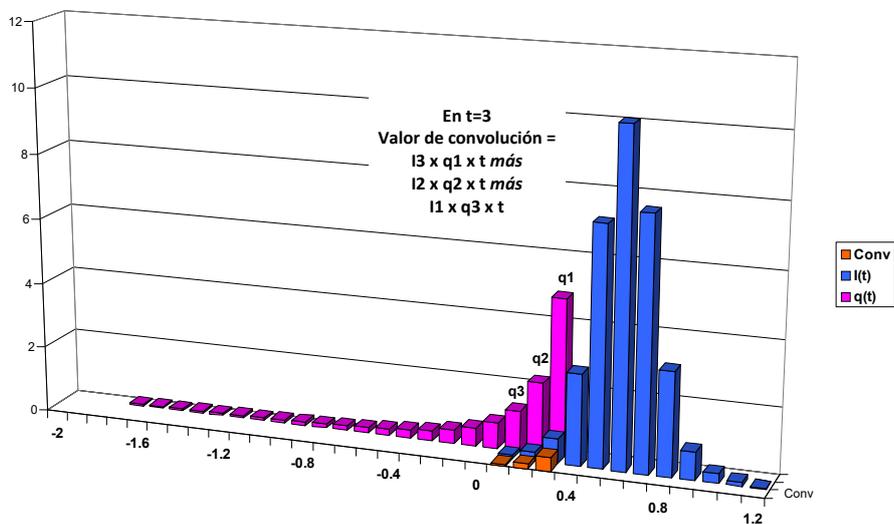


Figura 8 **Figura 4** **Convolución en t=3**

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 el valor convolucionado resultante en t=3.

A medida que este proceso continúa por los pasos 0 a 9, se podrá ver cómo surge el trazado de convolución:

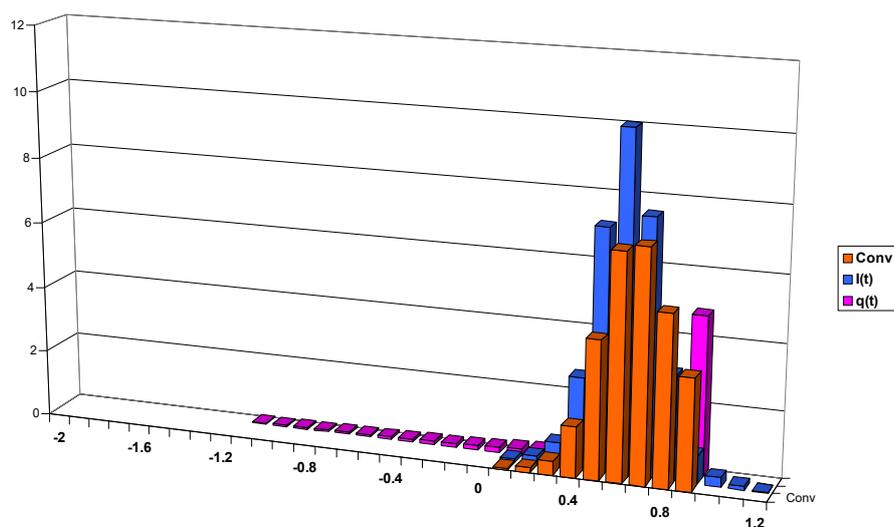


Figura 9 *Figura 5 Convolución en $t = 9$, mostrando un valor máximo en $t = 7$*

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.

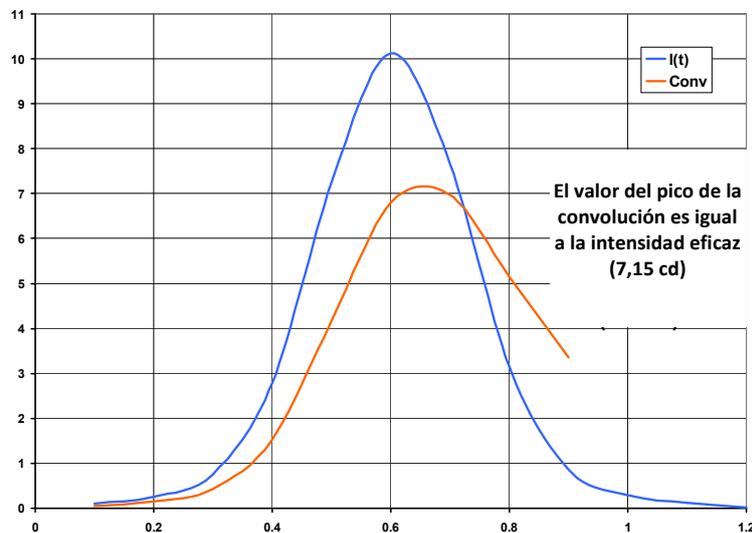


Figura 10 *Figura 6 Gráfico continuo del perfil de destello $I(t)$ and el producto de convolución*

Los valores discretos del perfil del destello, la función inversa de 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.