

ELECTRIFICACION DE SEÑALES MARITIMAS

Por RAFAEL SOLER GAYA
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Las redes de distribución de energía eléctrica — cada día más extensas — permiten hoy disponer de dicha energía en buen número de señales marítimas, que, cuando se establecieron, fueron dotadas de instalaciones luminosas alimentadas con petróleo o acetileno. Puede, entonces, pensarse en electrificar la señal y este es el motivo de escribir estas líneas. Nos limitamos, por consiguiente, a considerar el caso de un faro o de una baliza en el que se pretende sustituir su foco luminoso no eléctrico (incandescencia Chance o Dalén, lámpara Aladino o quemador de acetileno de llama desnuda) por una lámpara eléctrica con tensiones normales de 220-127 V., aprovechando la óptica y los elementos mecánicos. No nos referimos tampoco a las electrificaciones con instalaciones de bajo voltaje (6, 12 y 32 V.) alimentadas generalmente con baterías de acumuladores.

1. Extremos que deben comprobarse.

Las lámparas eléctricas tienen mayor brillo intrínseco que las fuentes luminosas indicadas en el párrafo anterior y, por ello, a simple vista parece que la electrificación es una operación que no ofrece dificultad alguna. Sin embargo, hay dos extremos que deben ser objeto de estudio detenido: la duración del destello y el alcance para la intensidad eficaz.

Ambos están relacionados entre sí y deben ser calculados a la vez, no siendo rigurosos los métodos que permiten el cálculo independiente.

La duración del destello, si la óptica es giratoria y de gran distancia focal, puede quedar reducida a límites inaceptables y, en cuanto al alcance para la intensidad eficaz — relacionado con la duración del destello — pudiera ser mucho menor que el deducido de un cálculo simplista.

2. Casos normales que pueden presentarse.

Salvo raras combinaciones de ópticas, que aún prestan servicio, los casos frecuentes son dos: instalaciones con ópticas de horizonte e instalaciones con ópticas giratorias.

2.1. INSTALACIONES CON ÓPTICAS DE HORIZONTE.

Su electrificación no ofrece dificultades, como no sean las derivadas de la falta de espacio para cabida de la lámpara o del cambiador automático, si se proyectase uno de estos elementos.

Cuando la luz es variada con destellador debe pensarse, al tallar la rueda de características, en los períodos de encendido y apagado, variables con el amperaje según las leyes conocidas.

Con las instalaciones de este tipo los períodos de luz son relativamente largos y la ley de distribución de intensidades luminosas en función del tiempo afecta una forma que — en cuanto a la determinación de la intensidad eficaz — puede considerarse igual a la de una onda rectangular, siendo así de aplicación la ley de Blondel-Rey, en su forma clásica y sencilla, para el cómputo de la intensidad eficaz partiendo de la estacionaria. Por esta misma razón son de correcta aplicación los ábacos generalmente usados, que dan la relación de las dos intensidades indicadas.

Y, conocida la intensidad eficaz, se comprueba el nuevo alcance por los ábacos de la fórmula de Allard de que disponen los Servicios de Faros.

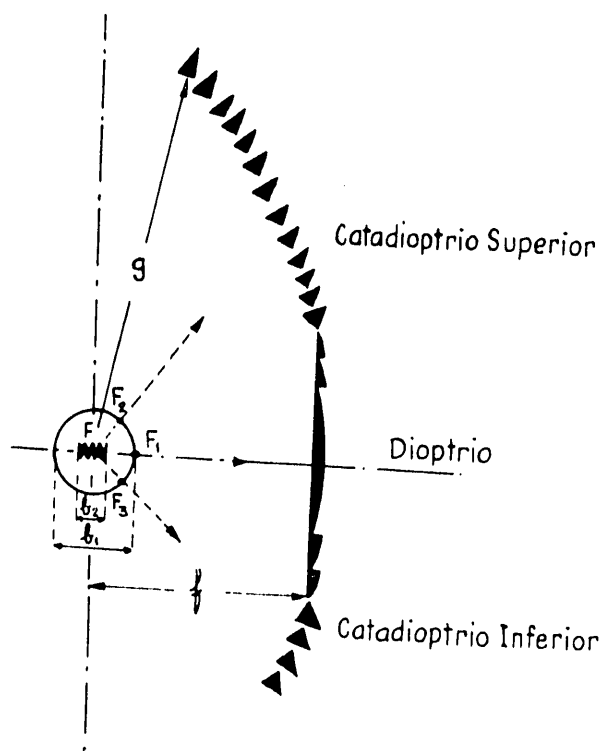


Figura 1.ª

2.2. INSTALACIONES CON ÓPTICAS GIRATORIAS.

Si las ópticas son de gran distancia focal o de modelo antiguo — como es frecuente — nos encontramos con los siguientes inconvenientes:

a) Por construcción, y como consecuencia del tamaño relativamente grande de las fuentes luminosas antiguas, existen tres focos diferentes: uno, para los elementos dióptricos; otro, para los catadióptricos superiores, y otro, para los catadióptricos inferiores (F_1 , F_2 , F_3 , figura 1.ª).

Al sustituir el diámetro de la fuente antigua b_1 por el del tambor de filamentos, o de la doble espiral, de la lámpara eléctrica, b_2 , que se ubica con su centro

en el punto F , se produce un desenfoque, ya que las distancias focales de construcción son más cortas, como se aprecia en la figura. Para tener en cuenta este efecto desfavorable se disminuyen los coeficientes propios de la óptica para hallar la intensidad estacionaria.

b) Debido al bajo valor del brillo intrínseco de las fuentes luminosas antiguas, las superficies diópticas y catadiópticas debían ser grandes a fin de conseguir las intensidades luminosas necesarias para los alcances apetecidos. Por esta razón, las distancias focales resultaban relativamente grandes, dando ello lugar a escasas duraciones del destello si se dispone una fuente luminosa de pequeño diámetro.

Este es el principal inconveniente que se encuentra en las electrificaciones del tipo que nos ocupa, ya que, por consideraciones de tipo fisiológico y de acuerdo con las experiencias de Exner, la percepción relativa decrece rápidamente para duraciones del destello inferiores a 0,2 seg. Por esta circunstancia es usual considerar poco aceptables las duraciones de destello menores de 0,2 seg. o, como caso extremo, de 0,15 seg. en faros de alguna importancia.

Por otra parte, la duración del destello, la intensidad eficaz y, en consecuencia, el alcance, están relacionados entre sí de modo que no pueden considerarse independientemente la duración de destello y el alcance luminoso; la disminución de aquella duración influye sobre el alcance, disminuyéndolo también. Estudiemos estos efectos.

2.2.1. Ley que liga la duración del destello inherente a la intensidad eficaz con la relación de esta intensidad a la estacionaria.

Sea una óptica giratoria (fig. 1.^a) con distancia focal f ; distancia del foco al elemento catadióptico más alejado, g ; diámetro de la fuente luminosa, b ; y donde los paneles se apoyan sobre una base o flotador que gira a n revoluciones por minuto.

Las lentes de Fresnel, cuyo uso se ha generalizado en los faros, tienen un coeficiente de divergencia de variación muy parecida a la de $1/\cos \alpha$, siendo α el ángulo que forma el rayo incidente en la lente con el eje óptico. Por esta causa la distribución de la intensidad luminosa dentro del haz general emergente no es uniforme, sino que afecta la forma de una onda trapezoidal del tipo que puede observarse en la figura 2.^a.

La intensidad eficaz de I_e vendrá dada por la ley de Blondel Rey:

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

donde a es una constante con valor aproximadamente igual a 0,09 seg.

Escrita la expresión anterior en la forma:

$$I_e \cdot a = \int_{t_1}^{t_2} (I - I_e) dt,$$

observamos que el significado es:

Area del rectángulo $ABCD$ = Area de la figura curvilínea JEG .

Los puntos J y E alcanzan las zonas curvas próximas a la inflexión y, si PH y QF son las tangentes en esta inflexión, podemos admitir que el área del trapecio $JHFE$ es muy aproximadamente igual a la de la figura curva JEG . Por otra parte, de los experimentos de P. van Braam van Vloten se deduce que podemos tomar:

$$\bar{P}Q = K \bar{MN},$$

siendo aproximadamente:

$$K = 1 - 0,36 \frac{g-f}{g}.$$

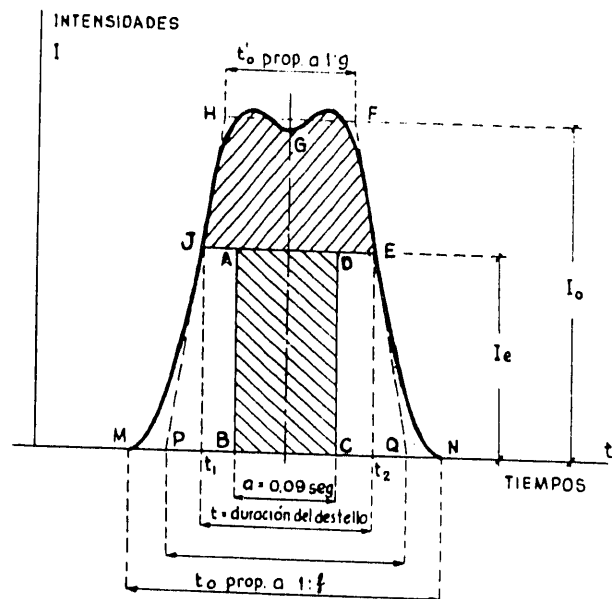


Figura 2.ª

Con estas hipótesis simplificadoras, aplicando la igualdad de áreas y teniendo en cuenta que I_0 es la intensidad estacionaria, tenemos:

$$a I_e = (I_0 - I_e) \frac{HF + JE}{2},$$

y como

$$t_0 = \frac{9,6 b}{n f}; \quad t'_0 = \frac{9,6 b}{n g};$$

$$JE = t'_0 + \frac{I_0 - I_e}{I_0} (K t_0 - t'_0),$$

haciendo $\frac{I_e}{I_0} = C$ y sustituyendo, resulta:

$$4,8 \left(K \frac{g}{b} - \frac{f}{b} \right) (1 - C)^2 + \left(9,6 \frac{f}{b} + a n \frac{f}{b} \frac{g}{b} \right) (1 - C) - a n \frac{f}{b} \frac{g}{b} = 0.$$

Conocido el valor de $1 - C$ resulta inmediatamente la duración del destello:

$$t = t'_0 + (t_0 - t'_0) (1 - C).$$

2.2.2. Aplicación práctica.

La aplicación directa de las fórmulas anteriores resulta engorrosa; no es así utilizando los ábacos adjuntos.

2.2.2.1. Cálculo de la intensidad eficaz. — (Abacos de las figuras 3.^a, 4.^a, 5.^a y 6.^a).

Sustituyendo los valores de K y de a , resulta:

$$\frac{g}{b} \left[3,07 (1 - C)^2 - 0,09 n C \frac{f}{b} \right] = \frac{f}{b} [3,07 (1 - C)^2 - 9,6 (1 - C)],$$

que, en las variables $\frac{g}{b}$ y $\frac{f}{b}$, representa una familia de hipérbolas equiláteras de asíntotas:

$$\begin{aligned} \frac{g}{b} &= \frac{3,07 (1 - C)^2 - 9,6 (1 - C)}{-0,09 n C}; \\ \frac{f}{b} &= \frac{3,07 (1 - C)^2}{0,09 n C}, \end{aligned}$$

con los parámetros n y C .

Dando a n los valores más frecuentes:

$$n = 2; \quad n = 3; \quad n = 4; \quad n = 6,$$

obtenemos los ábacos para los diversos valores de C de las figuras 3.^a, 4.^a, 5.^a y 6.^a.

2.2.2.2. Cálculo de la duración del destello. — (Abacos de las figuras 7.^a, 8.^a, 9.^a, 10).

Sustituyendo en la expresión de la familia de hipérbolas, expuesta en el apartado anterior, los valores de:

$$\begin{aligned} 1 - C &= \frac{t - t'_0}{t_0 - t'_0} \frac{\frac{n}{b} t - \frac{b}{f}}{\frac{9,6}{b} - \frac{g}{f}}; \\ C &= \frac{\frac{b}{f} - \frac{n}{b} t}{\frac{9,6}{b} - \frac{g}{f}}; \end{aligned}$$

y operando resulta:

$$(0,3699 t + 0,1042) n^2 t \left(\frac{g}{b} \right)^2 \left(\frac{f}{b} \right) + 0,4000 n t \left(\frac{g}{b} \right) \left(\frac{f}{b} \right) - n \left(\frac{g}{b} \right)^3 - 72,5555 \left(\frac{f}{b} \right) = 0$$

que, en las variables $\frac{g}{b}$ y $\frac{f}{b}$, representa una familia de cúbicas de parámetros n y t con asíntotas:

$$\begin{aligned} \frac{f}{b} &= \frac{1}{n t (0,3699 t + 0,1042)}; \\ \frac{g}{b} &= \frac{-0,200 t \pm \sqrt{26,8855 t^2 + 7,5602 t}}{(0,3699 t + 0,1042) n t}. \end{aligned}$$

Dando a n los valores más frecuentes:

$$n = 2; \quad n = 3; \quad n = 4; \quad n = 6,$$

obtenemos los ábacos para los diversos valores de t que pueden observarse en las figuras 7.^a, 8.^a, 9.^a y 10.

Tanto estos ábacos como los que se indican en 3.2.2.1 tienen un campo de aplicación teórico limitado por la relación:

$$f = g,$$

que correspondería a un dioptrio de superficie nula. Como las semiaberturas angulares alcanzan valores del orden de 30° , el límite práctico es:

$$f = g \cos 30^\circ,$$

que hemos adoptado como límite del campo de aplicación.

3. Procedimiento para las comprobaciones.

Según se trate de ópticas de horizonte o de ópticas giratorias se actuará del siguiente modo:

3.1. OPTICAS DE HORIZONTE.

La *duración del destello* puede prefijarse al disponer el destellador teniendo en cuenta las inercias al encendido y apagado.

El *alcance luminoso* resulta, conociendo la intensidad eficaz, de la aplicación de los ábacos que desarrollan la fórmula de Allard. En estos ábacos debe entrarse reduciendo aquella intensidad en un 30 ó 40 por 100 para tener en cuenta posibles defectos de limpieza, envejecimiento de la fuente luminosa, etc. Partiendo de la intensidad estacionaria I_0 e d y del valor del destello t seg., la eficaz vale:

$$I_e = C I_0 \text{ siendo } C = \frac{t}{t + 0,09}.$$

Para el cálculo del valor de I_0 se utiliza la expresión:

$$I_0 = (K_{dh} H + K_{cdh}^s m_s H_s + K_{cdh}^i m_i H_i) B b.$$

donde:

I_0 = Valor de la intensidad estacionaria en candelas decimales.

H = Altura neta del dioptrio en centímetros

H_s = Altura neta del catadioptrio superior en centímetros.

H_i = Altura neta del catadioptrio inferior en centímetros.

K_{dh} = Coeficiente adimensional propio del dioptrio de horizonte, función de la semiabertura angular.

K_{cdh}^s = Coeficiente adimensional propio del catadioptrio de horizonte superior, función de los valores α de los ángulos extremos.

K_{cdh}^i = Coeficiente adimensional propio del catadioptrio de horizonte inferior, función de los valores α de los ángulos extremos.

m_s = Factor adimensional de minoración del brillo intrínseco para los catadioptrios superiores.

m_i = Factor adimensional de minoración del brillo intrínseco para los catadioptrios inferiores.

B = Brillo intrínseco de la lámpara en las direcciones del plano focal (brillo máximo) en cd/cm^2 .

b = Diámetro horizontal del tambor de filamentos en cm .

Los valores de H , H_s y H_i deben tomarse directamente sobre la óptica, o del plano o catálogo de la casa suministradora.

Los valores de K_{dh} , K_{cdh}^s , K_{cdh}^i resultan de los ábacos o datos de que disponen los Servicios de Faros.

Los valores de m_s y m_i se toman de las curvas de distribución de intensidades de las lámparas eléctricas, en las secciones meridianas, que dan las casas constructoras de lámparas. Caso de desconocerse, resulta aproximadamente:

$$m = \cos \alpha,$$

siendo α el ángulo formado por la línea que une el foco y el anillo medio del catadioptrio con el plano focal.

Los valores B y b se toman del catálogo de lámparas, o se hallan directamente; el primero, con auxilio de un fotómetro, y el segundo, por simple medición.

Por último, la aplicación por ábacos de la fórmula de Allard resulta posible por disponer de ellos los Servicios de Faros.

3.2. OPTICAS GIRATORIAS.

La *duración del destello* no puede prefijarse por lo que, adoptada *a priori* una lámpara, se entra en los ábacos de las figuras 7.ª, 8.ª, 9.ª y 10 y se observa si el valor es aceptable (mayor de 0,15 seg. y preferentemente de 0,2 seg.).

El *alcance luminoso* resulta de un modo análogo al indicado en 4.1; pero tomando el valor de C de los ábacos de las figuras 3.ª, 4.ª, 5.ª ó 6.ª.

Para el cálculo de I_0 debe utilizarse ahora la expresión:

$$I_0 = (K_{du} S_i + m_s K_{cd u}^s S_c^s + m_i K_{cd u}^i S_c^i) B,$$

donde:

I_0 = Valor de la intensidad estacionaria en candelas decimales.

S_i = Superficie neta del dioptrio en cm^2 .

S_c^s = Superficie neta del catadioptrio superior en cm^2 .

S_c^i = Superficie neta del catadioptrio inferior en cm^2 .

K_{du} = Coeficiente adimensional propio del dioptrio, función de la semiapertura angular, disminuido en un 40 por 100 si la óptica es muy antigua.

$K_{cd u}^s$ = Coeficiente adimensional propio del catadioptrio superior (normalmente igual a 0,83) disminuido en un 50 por 100 si la óptica es muy antigua.

$K_{cd u}^i$ = Coeficiente adimensional propio del catadioptrio inferior (normalmente igual a 0,83) disminuido en un 50 por 100 si la óptica es muy antigua.

m_s = Factor adimensional de minoración del brillo intrínseco para los catadioptrios superiores.

m_i = Factor adimensional de minoración del brillo intrínseco para los catadioptrios inferiores.

B = Brillo intrínseco de la lámpara en las direcciones del plano focal (brillo máximo) en cd/cm^2 .

Los valores de S_i , S_c^s y S_c^i deben tomarse directamente sobre las ópticas, o de los planos de las mismas.

Los valores de K_{du} resultan de los ábacos de que también disponen los Servicios de Faros.

De los demás valores ya se ha tratado en 4.1.

4. Comparación de resultados con ópticas giratorias y consideración final.

Si a varios casos concretos aplicamos separadamente las fórmulas simples:

$$t = \frac{9,6 b}{n f} \quad C = \frac{t}{a + t},$$

con un valor virtual para a de 0,15, los ábacos de la Conferencia de Washington de 1960 y, por último, los ábacos adjuntos, resultan los valores de los ejemplos que se exponen al final.

Deducimos que resultan duraciones y coeficientes sensiblemente inferiores a los de la fórmula simple, de evidente incorrecta aplicación por suponer onda rectangular de distribuciones de intensidades en el tiempo, y también inferiores a los resultados obtenidos de la aplicación de los ábacos de la C.W. de aplicación más general.

Como para la determinación de los ábacos se ha partido de resultados experimentales con lámparas eléctricas, estimamos que el uso de aquéllos con este tipo de fuentes luminosas ofrece soluciones más reales, siendo excesivamente optimista la aplicación de los otros dos procedimientos.

EJEMPLOS

$2f = 375 \text{ mm.}$	$2g = 500 \text{ mm.}$	$b = 20 \text{ mm.}$	$n = 3,$
$\frac{f}{b} = 18,75$	$\frac{g}{b} = 25,0$	$\frac{f}{g} = 0,75.$	
Fórmula simple ($a = 0,15$)	C. W.	Abacos adjuntos	
t 0,342	0,275	0,150	
C 0,695	0,722	0,605	
$2f = 1\,400 \text{ mm.}$	$2g = 2\,110 \text{ mm.}$	$b = 30 \text{ mm.}$	$n = 3$
$\frac{f}{b} = 23,33$	$\frac{g}{b} = 35,7$	$\frac{f}{g} = 0,664$	
Fórmula simple	C. W.	Abacos adjuntos	
t 0,137	(no alcanza el ábaco)	0,118	
C 0,477	—	0,510	
$2f = 1\,000 \text{ mm.}$	$2g = 1\,200 \text{ mm.}$	$b = 30 \text{ mm.}$	$n = 2$
$\frac{f}{b} = 16,66$	$\frac{g}{b} = 40,00$	$\frac{f}{g} = 0,835$	
Fórmula simple	C. W.	Abacos adjuntos	
t 0,288	0,249	0,186	
C 0,656	0,710	0,615	

NOTA. — En el texto precedente se han mencionado los ábacos de la fórmula de Allard, que se usan para la determinación de los alcances luminosos y los que dan los valores de los coeficientes propios de las ópticas, que se precisan para hallar las intensidades estacionarias. Estos ábacos, juntamente con los de inercia de encendido y apagado de las lámparas y otros datos necesarios al proyectista, pueden encontrarse en la publicación: "Proyectos de Señales Marítimas Luminosas" (Servicio de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del M. O. P. - 1963).

Relación de la intensidad eficaz a la estacionaria en función de la distancia al catadioptrio mas alejado (g), de la distancia focal (f) y del diámetro horizontal del tambor de filamentos (b); n = revoluciones por minuto.

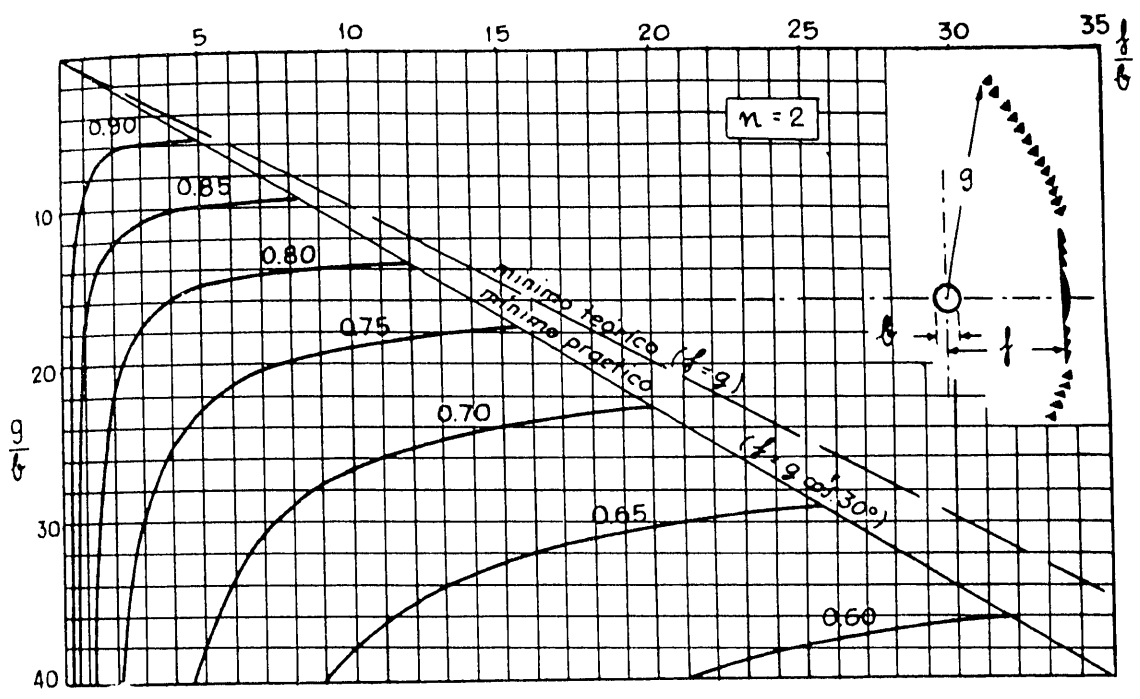


Figura 3.^a

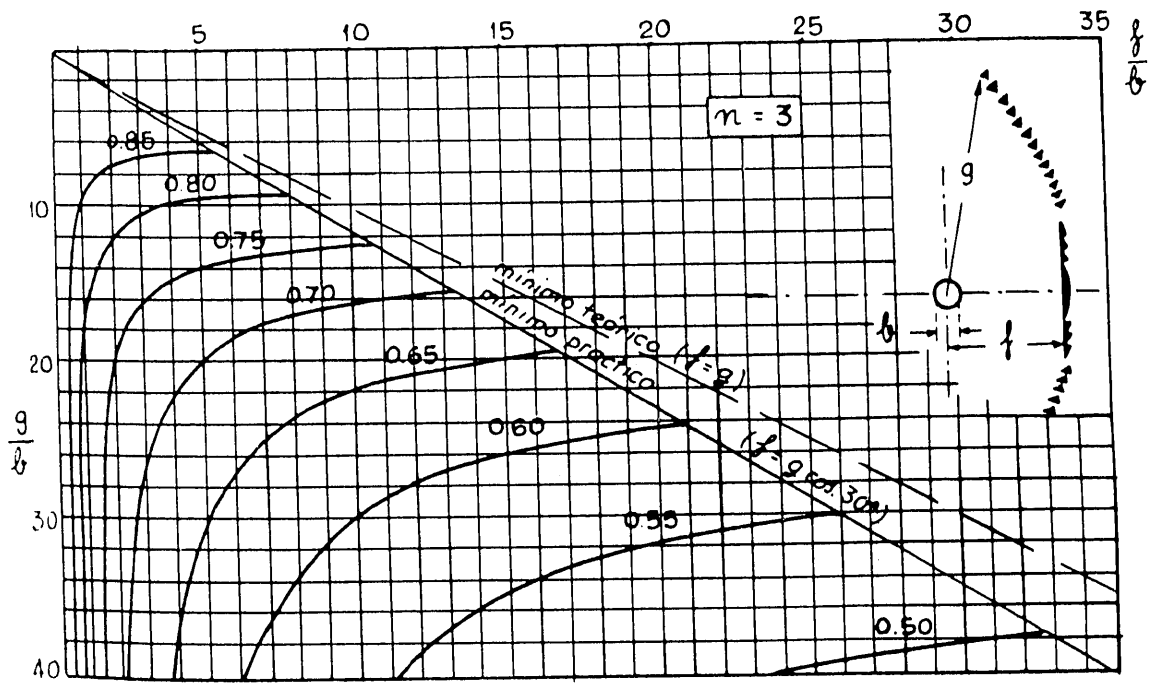


Figura 4.^a

Relación de la intensidad eficaz a la estacionaria en función de la distancia al catadioptrio más alejado (g), de la distancia focal (f) y del diámetro horizontal del tambor de filamentos (b); n = revoluciones por minuto.

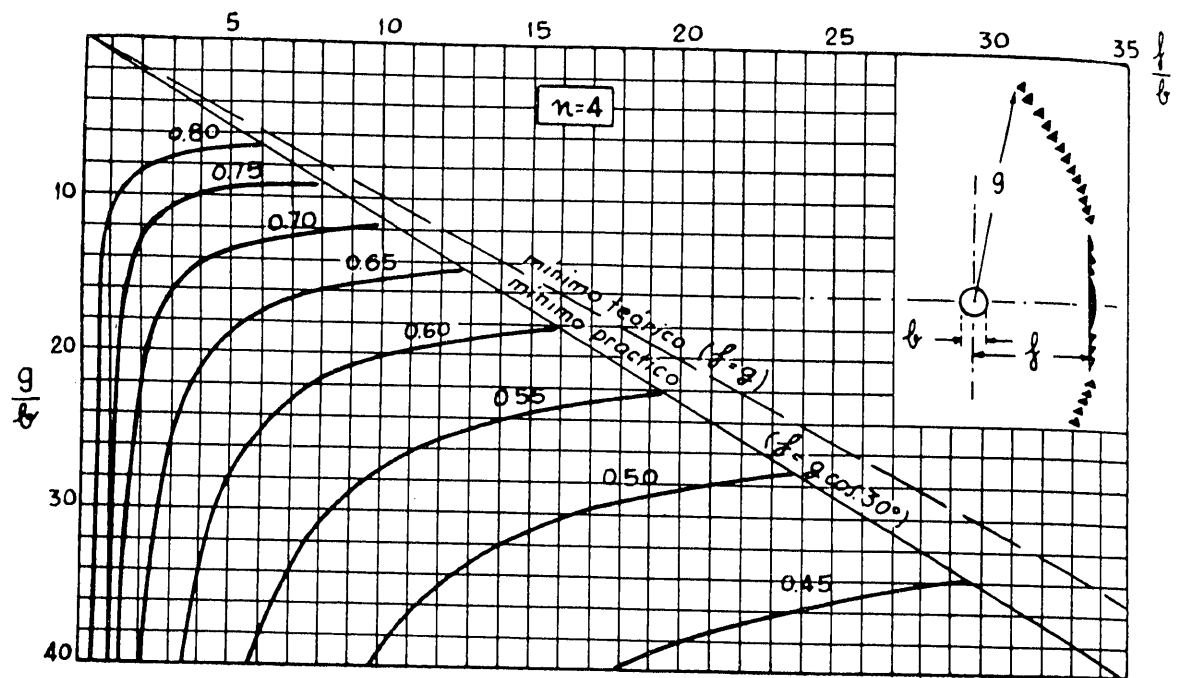


Figura 5.ª

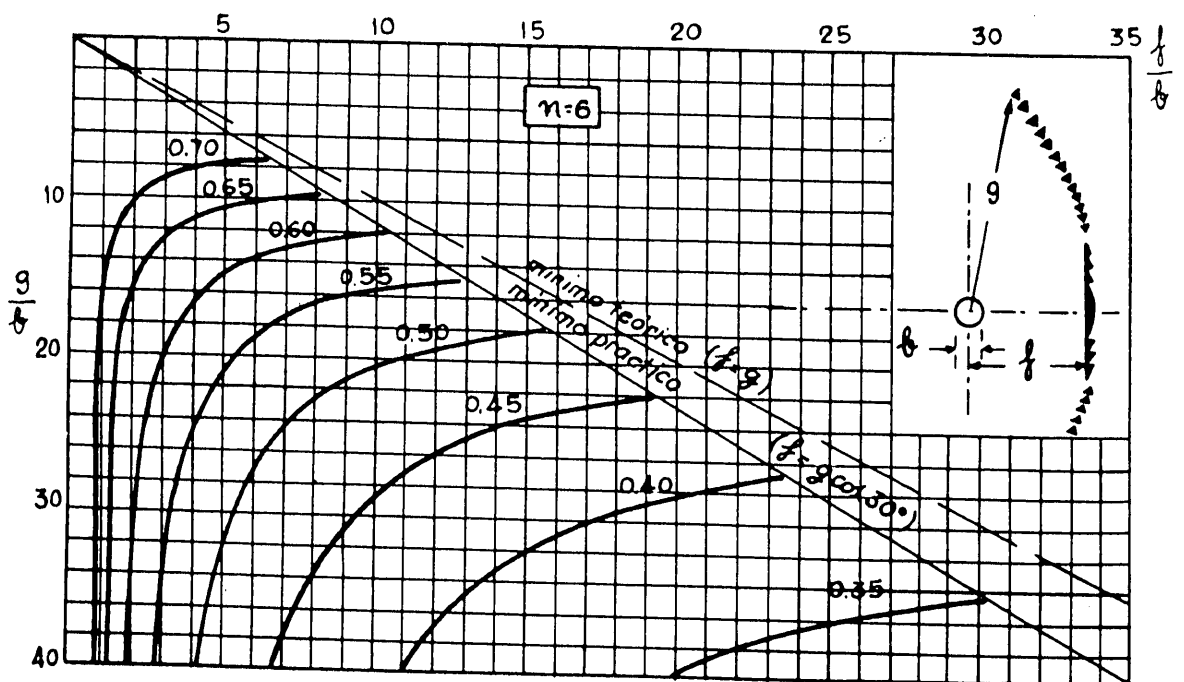


Figura 6.ª

Duración del destello en segundos, en función de la distancia focal (f); de la distancia al catadioptrio más alejado (g)
 y del diámetro horizontal del tambor de filamentos (b) n = revoluciones por minuto.

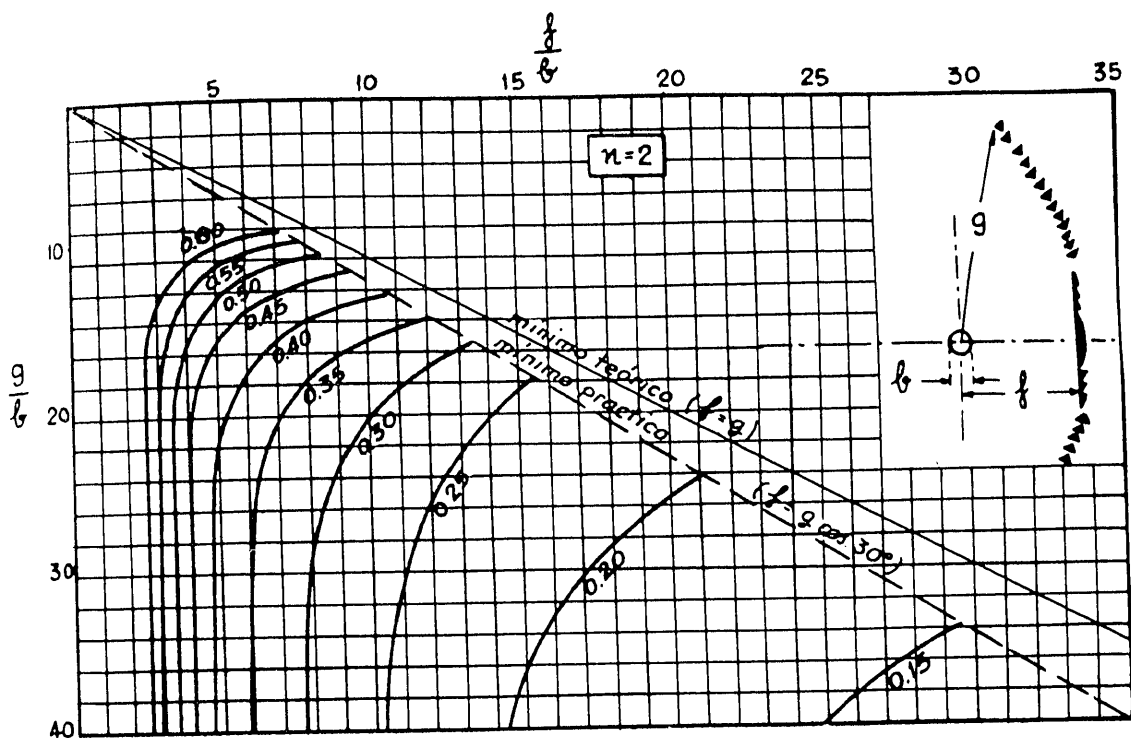


Figura 7.^a

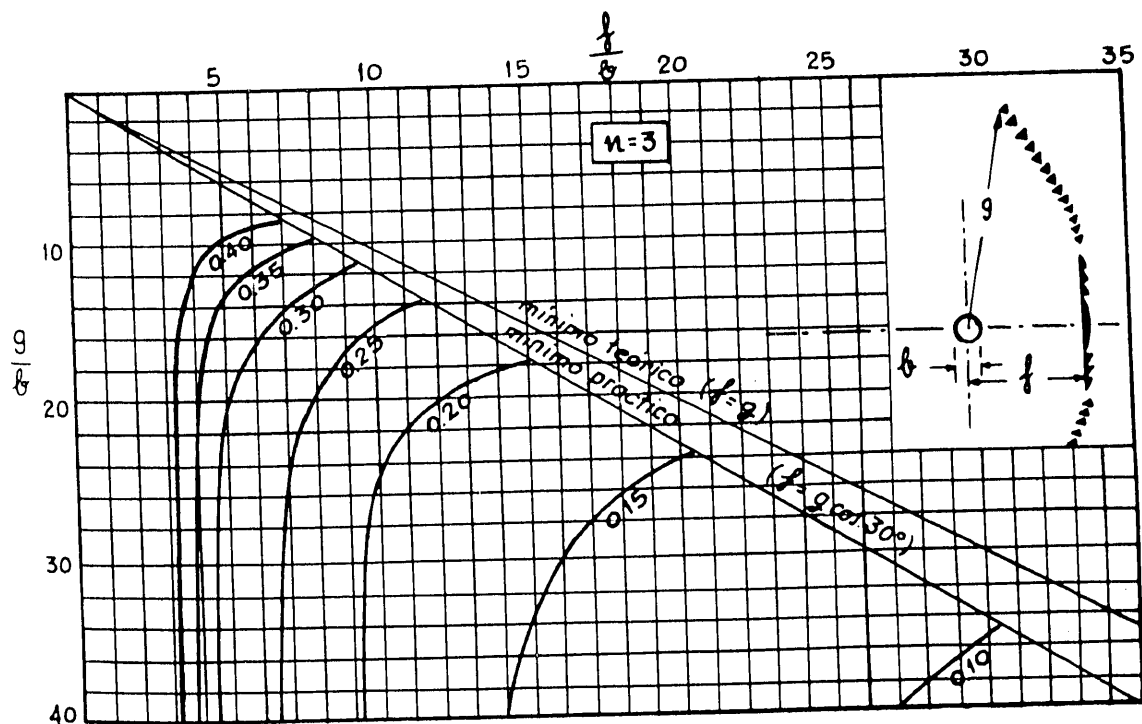


Figura 8.^a

Duración del destello en segundos en función de la distancia focal (f) de la distancia al catadioptrio mas alejado; y del diámetro horizontal del tambor de filamentos (b) n = revoluciones por minuto.

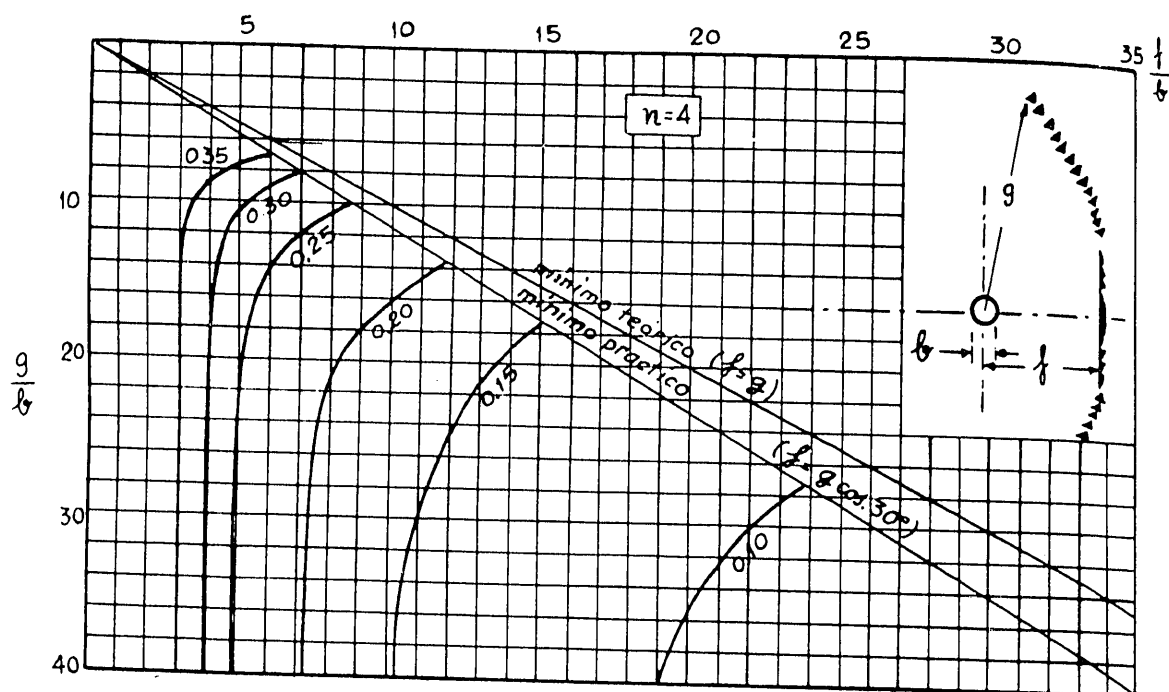


Figura 9."

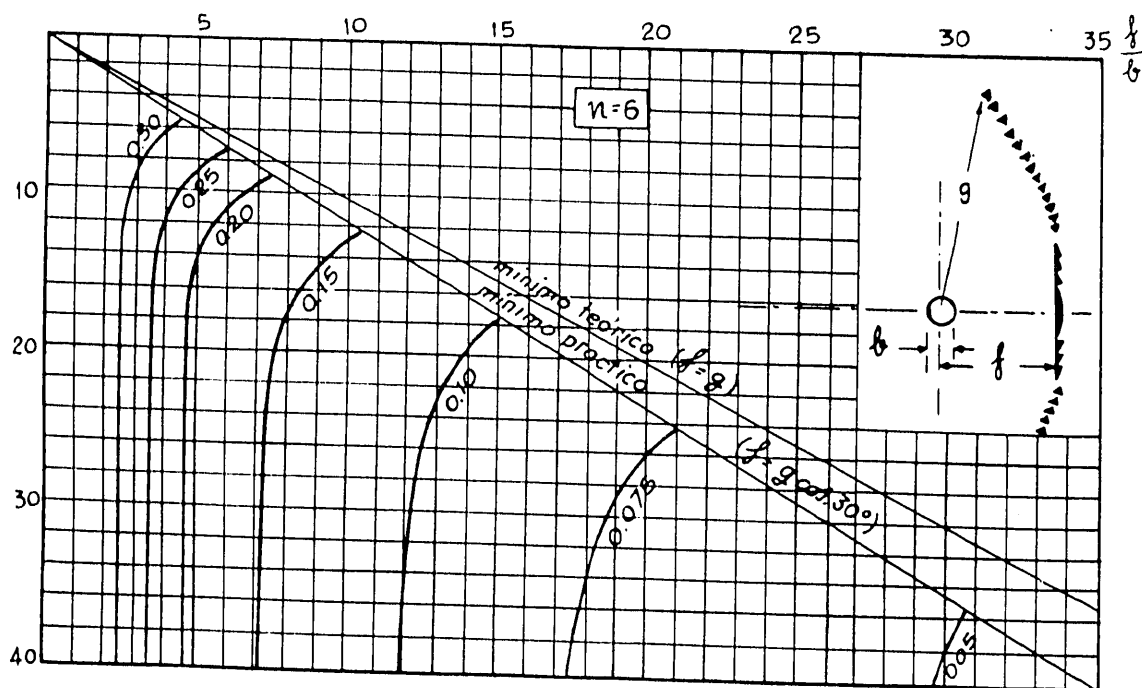


Figura 10.