



GUÍA

G1073

CONSPICUIDAD DE LAS LUCES DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN DE NOCHE

Edición 2.0

Diciembre de 2017





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
Junio de 2011	1ª edición	Consejo 51
Diciembre de 2017	Documento entero: Actualizado para incluir la tecnología más moderna de fuentes luminosas y la evaluación de conspicuidad. Formato alineado con la estructura de documentación de la IALA.	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	5
2. OBJETO	5
3. ÁMBITO DE APLICACIÓN	5
4. DEFINICIÓN DE LA TAREA VISUAL	6
5. DISCUSIÓN DE LOS FACTORES DE CONSPICUIDAD	6
5.1. Introducción a los factores de conspicuidad	6
5.2. El observador	7
5.2.1. Adaptación (estado del ojo)	7
5.2.2. Conocimiento/Experiencia	8
5.2.3. Color	8
5.2.4. Contraste de color	9
5.2.5. Diferencias entre observadores.....	9
5.2.6. Iluminancia	10
5.2.7. Ratio de iluminancia	10
5.2.8. Amplitud angular	10
5.3. La atmósfera	11
5.3.1. Visibilidad	11
5.3.2. Distancia	12
5.4. La luz de ayuda a la navegación.....	13
5.4.1. Propiedades espectrales.....	13
5.4.2. Intensidad.....	13
5.4.3. Ritmo y perfil del destello.....	14
5.4.4. Forma de la fuente luminosa	14
5.4.5. Tamaño de la fuente luminosa	14
5.5. El fondo	15
5.5.1. Fondo general (luminancia).....	15
5.5.2. Luces rivales (intensidad)	16
5.5.3. Propiedades espectrales de la iluminación de fondo	17
6. UN RESUMEN DE LOS MÉTODOS PARA MEJORAR LA CONSPICUIDAD DE LAS LUCES DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN	17
6.1. Introducción.....	17
6.2. DISEÑO DE UNA LUZ DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN UTILIZANDO LOS MÉTODOS HABITUALES	18
6.3. Métodos para mejorar la conspicuidad de las luces de ayudas a la navegación	18
6.3.1. Aumento de la intensidad para mejorar la conspicuidad	18
6.3.2. Cambio de colores para mejorar el contraste de color	19
6.3.3. Colores que se alternan rápidamente	19
6.3.4. Forma de la fuente luminosa.....	19
6.3.5. Perfil del destello y característica	20
6.3.6. Sincronización.....	22



ÍNDICE DE CONTENIDOS

6.3.7.	Secuenciado.....	22
6.3.8.	Iluminación con proyectores.....	22
6.3.9.	Iluminación de contornos.....	23
7.	CAMINO HACIA EL FUTURO	23
8.	ACRÓNIMOS Y DEFINICIONES	24
8.1.	Acrónimos.....	24
8.2.	Definiciones.....	24
9.	REFERENCIAS.....	24

Índice de figuras

<i>Figura 1</i>	<i>Factores de conspicuidad</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2</i>	<i>Sensibilidad diurna (fotópica) y adaptada a la oscuridad (escotópica) del ojo.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3</i>	<i>Diagrama cromático de la CIE 1931</i>	<i>9</i>
<i>Figura 4</i>	<i>Diagrama que explica la amplitud angular</i>	<i>10</i>
<i>Figura 5</i>	<i>Intensidad necesaria en función de la longitud de onda para la visión fotópica, según Ångström</i>	<i>12</i>
<i>Figura 6</i>	<i>Intensidad necesaria en función de la longitud de onda para la visión escotópica, según Ångström</i>	<i>12</i>
<i>Figura 7</i>	<i>Vista de un objeto desde diferentes ángulos.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8</i>	<i>Luminancia de fondo debido a la iluminación pública</i>	<i>16</i>
<i>Figura 9</i>	<i>Luces que rivalizan debido a fuentes puntuales individuales.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 10</i>	<i>Fotos de un dispositivo indicador en forma de arco instalado en el puerto de Barcelona.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 11</i>	<i>Comparativa de luces parpadeantes rojas, verdes y blancas, Guardia Costera de Japón</i>	<i>21</i>
<i>Figura 12</i>	<i>Torre de faro iluminada de diferentes colores.....</i>	<i>23</i>

1. INTRODUCCIÓN

En el pasado, se diseñaban las luces de AtoN principalmente como luces de recalada para los navegantes y estaban concebidas para que se observaran a distancia sobre un fondo oscuro y, por tanto, se percibían en el umbral de la visión. Consecuentemente, la documentación más antigua de la IALA solía concentrarse en el alcance luminoso en el umbral de la visión, así como en el alcance geográfico. En la actualidad, la mayoría de las luces de AtoN se emplean como confirmación visual de la posición a alcances menores que el alcance nominal publicado. Además, es más probable que esté iluminado con luz artificial el fondo sobre el que se ve una luz de AtoN.

Con la proliferación de litorales urbanizados y el consiguiente aumento de la contaminación lumínica, el navegante a menudo experimenta dificultades para detectar e identificar las luces de AtoN sobre un fondo de iluminación general y fuentes luminosas individuales y brillantes. Es posible que características como la iluminación pública, los focos de las zonas portuarias, la iluminación arquitectónica y la señalización luminosa puedan parecer atractivas, pero también pueden causar serios problemas a los navegantes que intentan identificar una luz importante de AtoN.

Esta guía aporta una perspectiva general sobre los factores que afectan a la utilidad de una luz de una AtoN marítima y las maneras de mejorar su eficacia, aumentando su conspicuidad.

La conspicuidad es un tema complejo. Si se tiene en cuenta la gran diversidad de tipos de señales de AtoN, e incluso el número aún mayor de fondos sobre los que se pueda ver una señal de AtoN, es enorme el número de posibilidades de señal y fondo. Existen un número limitado de estudios que han examinado el impacto de cambiar una característica de una señal mientras se observa sobre un fondo simple. Sin embargo, considerando la gran cantidad de combinaciones de señal de AtoN/fondo, dichos estudios apenas abordan el asunto. Parte de la información contenida en esta guía es informativa y/o anecdótica, y documenta los incompletos conocimientos actuales de los factores de la conspicuidad. Se desea tener información cuantitativa, pero, por regla general, no existe. Por lo tanto, se fomenta la investigación sobre la conspicuidad que pueda emplearse para desarrollar modelos cuantitativos. El objetivo a largo plazo es el desarrollo de un modelo exhaustivo que pueda utilizarse para cuantificar la conspicuidad de cualquier señal de AtoN sobre cualquier fondo.

2. OBJETO

Esta guía describe los factores que afectan a la conspicuidad y los métodos propuestos para aumentar la conspicuidad de una luz de AtoN, cuando se observa sobre un fondo de iluminación general, o de luces que rivalizan con ella. En la actualidad, no es posible establecer modelos o parámetros para el diseño de una ayuda a la navegación para que tenga la suficiente conspicuidad en determinadas condiciones, porque, a día de hoy, el estado de los conocimientos científicos de la conspicuidad y el ojo humano son incompletos, y el número de variables impide el desarrollo rápido de modelos basados en la experimentación. De hecho, no existe ninguna medida científica o escala para medir la conspicuidad.

Por consiguiente, esta guía es una perspectiva general del estado actual de los conocimientos, que incluye orientación y reglas generales basadas en datos empíricos, siempre que sea posible.

3. ÁMBITO DE APLICACIÓN

El alcance de esta guía abarca las luces de AtoN vistas sobre una iluminación de fondo que interfiere con ellas. Aborda el tema de la conspicuidad de una señal luminosa marina cuando se observa sobre un fondo de iluminación general o de luces que rivalizan con ella.

No considera las luces de AtoN cuando se observan en el umbral de percepción, un tema que se trata en la Recomendación R0202(E-200-2) de la IALA [6]. Tampoco trata de las luces o marcas diurnas. Para orientación sobre las luces diurnas, consulte la Recomendación R0202(E-200-2) [6] y, para las marcas diurnas, véase la Guía G1094 de la IALA [26].



En esta guía no se tratan los temas del alcance geográfico y las obstrucciones que puedan impedir que el navegante perciba una luz de AtoN, como, por ejemplo, las olas grandes, ni tampoco trata de las luces que se mueven por estar instaladas en una plataforma flotante. La NAVGUIDE de la IALA [22] y la Guía 1065 de la IALA sobre la Divergencia vertical [25] proporcionan orientación adicional sobre dichas cuestiones.

4. DEFINICIÓN DE LA TAREA VISUAL

Hay tres conceptos a considerar cuando se juzga conspicuidad: la detección, el reconocimiento y la identificación. Normalmente, la luz de una AtoN se podrá detectar muy rápidamente. Después de un tiempo, se reconocerá como una AtoN. Sin embargo, no se identificará la ayuda a la navegación hasta que se haya entendido plenamente su ritmo.

La tarea visual que incumbe al navegante es identificar con fiabilidad una luz de AtoN. El tiempo que tarda en realizar esta tarea debe ser lo más corto posible. Al aumentar la conspicuidad de una AtoN, se reduce el tiempo necesario para completar la tarea visual.

Los siguientes ejemplos ilustran estos conceptos:

- 1 Una luz verde de una marca lateral es posible que se identifique rápidamente sobre un fondo amarillo de alumbrado público. El hecho de que lance destellos verdes permite que se identifique como una AtoN, pero hasta que no se vea más de una vez su ritmo, no se identificará qué AtoN concreta es.
- 2 Una luz estroboscópica y brillante exhibida por una luz de AtoN al comienzo su ritmo hará que la luz sea conspicua para su detección. Dicho de otra manera, atraerá la atención del ojo del observador hacia donde la AtoN parpadea y, después, reconocerla e identificarla.
- 3 Una única torre de faro, prominente en la costa e iluminada con una luz de color magenta, que también es un color único en la zona, una vez que se detecte, el observador también reconocerá muy rápidamente el objeto a la vista e identificarlo como un faro determinado.

5. DISCUSIÓN DE LOS FACTORES DE CONSPICUIDAD

5.1. INTRODUCCIÓN A LOS FACTORES DE CONSPICUIDAD

Al considerar la conspicuidad de las luces de AtoN dentro del alcance de este documento, hay una serie de factores a considerar. Muchos de estos factores no pueden contemplarse aisladamente, ya que los cambios de un factor pueden afectar a las condiciones de otro.

Cada uno de estos “factores de conspicuidad” se muestran en la Figura 1 y se agrupan en tipos (el observador, la atmósfera, la luz de AtoN y el fondo).

Los siguientes apartados se ocupan de cada uno de estos factores, o una combinación de ellos, cuando se afectan mutuamente.

			
<p>El observador</p>	<p>La atmósfera</p>	<p>La luz de AtoN</p>	<p>El fondo</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Adaptación (estado del ojo) • Conocimiento/Experiencia • Color • Contraste de color • Diferencias entre observadores • Iluminancia ($Int/Dist^2$) • Ratio de iluminancia • Amplitud angular 	<ul style="list-style-type: none"> • Visibilidad (dispersión atmosférica) • Distancia 	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades espectrales • Intensidad • Ritmo y perfil del destello • Tamaño de la fuente luminosa • Forma de la fuente luminosa 	<ul style="list-style-type: none"> • Fondo general (luminancia) • Luces rivales (intensidad) • Propiedades espectrales

Figura 1 Factores de conspicuidad

5.2. EL OBSERVADOR

5.2.1. ADAPTACIÓN (ESTADO DEL OJO)

Se sabe que el funcionamiento del ojo varía según el nivel de luz ambiental al que está expuesto. A plena luz de día, el observador normal tiene visión a todo color en visión directa (visión fotópica) y no es muy sensible al movimiento (o al movimiento aparente) en la visión periférica. Tras veinte minutos, más o menos, en oscuridad total, el ojo se adapta a la oscuridad y se vuelve muy sensible. En este estado muy sensible a niveles bajos de luz, no están activos los elementos de detección del color de la visión directa y los objetos parecen de color gris. La región más sensible del ojo en este estado (escotópica) es la periferia, a unos 10 grados de la visión directa. En la visión escotópica, la sensibilidad espectral máxima del ojo se desplaza hacia longitudes de onda más cortas. Este “desplazamiento hacia el azul” hace que las luces blanco-azules sean más acusadas de noche en comparación con las luces blanco-amarillas. Por lo tanto, cambiar una luz de AtoN a una temperatura de color mayor (longitud de onda más corta) aumentará su conspicuidad en condiciones escotópicas o mesópicas, incluso si su intensidad luminosa permanece igual [12].

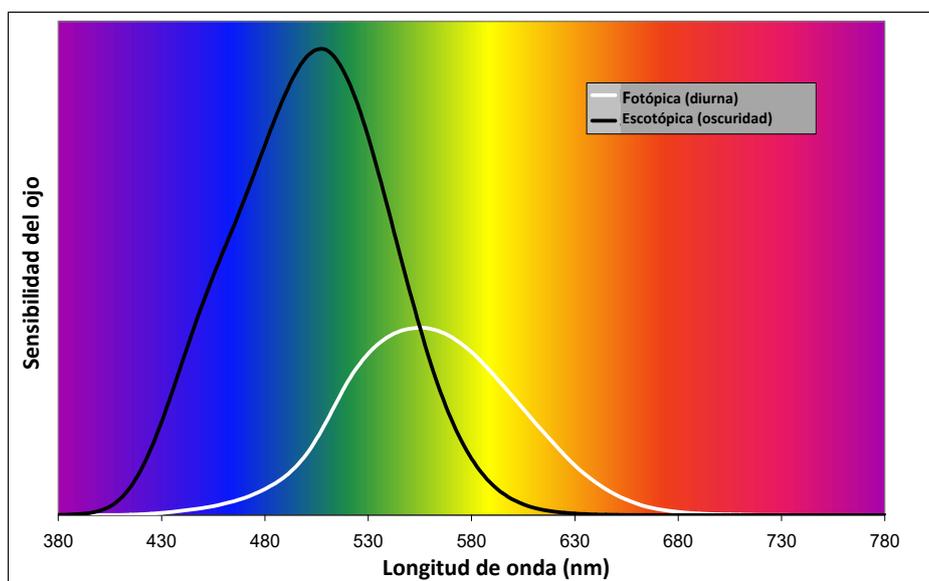


Figura 2 *Sensibilidad diurna (fotópica) y adaptada a la oscuridad (escotópica) del ojo*

A niveles bajos de luz (p. ej. el crepúsculo), el ojo alcanza un estado intermedio entre la visión fotópica y la escotópica, que muestra elementos de ambos estados (mesópica). De noche, es probable que el navegante en el puente poco iluminado de un buque se encuentre en un estado de visión mesópica, en el que la visión directa del color es limitada y la sensibilidad de la visión periférica mejora. A niveles bajos de luz incidente, cuando el observador se esfuerza por ver una AtoN, su sensibilidad visual será más lenta que a niveles mayores de luz. También existe mayor posibilidad de confusión de colores, especialmente de las luces de destellos, y particularmente entre el verde, el azul y el blanco. A estos niveles bajos de luz, una duración mayor del destello reducirá la confusión de colores [12]

5.2.2. CONOCIMIENTO/EXPERIENCIA

Cuando un navegante tiene conocimientos previos o experiencia de una entrada determinada a puerto o un canal de navegación, podrá discernir con mayor facilidad las luces de AtoN. Las AtoN que, a un navegante experimentado, le parecen conspicuas y obvias, con frecuencia pueden parecer indistintas a uno sin experiencia o se le pasarán por alto. Esto se debe al campo de visión esperado. Un navegante experimentado tiene un campo de visión más estrecho, donde espera ver la AtoN y, por lo tanto, tardará menos en detectar, reconocer e identificar una AtoN y lo hará con menos esfuerzo. Por el contrario, un navegante sin experiencia tiene un campo de visión inicial más amplio, dentro del cual le será más difícil detectar, reconocer e identificar una AtoN.

5.2.3. COLOR

La percepción del color es una función del sistema visual humano y no una propiedad de la luz. El espectro emitido por una fuente luminosa, tal y como lo ve el ojo, se traduce a color por la función de triple estímulo del ojo y el cerebro. Se suele representar al observador patrón humano del color por un diagrama cromático bidimensional, como el desarrollado por la CIE en 1931, que se muestra en la Figura 3.

A pesar de la ciencia de la medición y representación del color, se puede engañar fácilmente al observador humano del color. Las luces que son tenues, de tamaño pequeño, de destellos o que se ven sobre otro color de fondo pueden confundirse fácilmente con una luz de otro color distinto, cosa que es menos cierta para el rojo que para cualquier otro color. En general, cuanto más puro (menos saturado) sea el color de la luz, menos posibilidades hay de confusión.

5.2.4. CONTRASTE DE COLOR

Se conoce bien la capacidad del observador humano de detectar diferencias leves de color. Una persona media puede detectar con facilidad una ligera diferencia del tono o croma del color de una superficie. Sin embargo, cuando se trata de discernir diferencias en la luz emitida, los conocimientos están menos documentados.

A niveles muy bajos de iluminancia, cuando un observador apenas detecta una luz, son difíciles de discernir el color de la luz y la duración de un destello de luz. A medida que aumentan los niveles de iluminancia en el ojo del observador, el reconocimiento del color y la duración de un destello se vuelven más obvios. Sin embargo, la aparición de una fuente puntual de luz es más difícil de pronosticar que la de un área de luz.

Cuando la luz de una AtoN se ve sobre iluminación de fondo, es más discernible cuando el color de la iluminación de fondo y el de la AtoN son diferentes. Tal y como muestra el diagrama cromático, cuanto mayor sea la diferencia, más fácil será detectar uno sobre el otro.

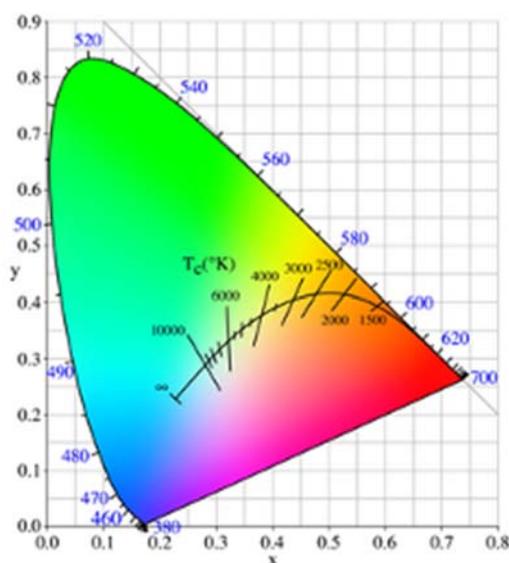


Figura 3 Diagrama cromático de la CIE 1931

5.2.5. DIFERENCIAS ENTRE OBSERVADORES

Cuando se elige un color de señal luminosa para que destaque sobre el fondo, el aumento de conspicuidad que experimentan los observadores normales no será percibido por observadores con deficiencias cromáticas. Por ejemplo, para aproximadamente el 5% de los observadores varones, una luz roja no parecerá diferente de una amarilla. Por lo tanto, para esta parte de la población, elegir una luz de AtoN roja para su uso sobre un fondo de luces amarillas no conseguirá la conspicuidad deseada. Cabe resaltar que la gente al mando de los buques comerciales marítimos se somete a revisiones médicas periódicas, incluidas las de visión cromática. No obstante, los navegantes de ocio pueden lanzarse al mar sin realizar dichas pruebas.

Para información sobre los observadores con deficiencias cromáticas, incluyendo las líneas de confusión del color, véase la Recomendación de la IALA R0200-1. La confusión entre el azul y el amarillo es muy rara (1:63.000), lo que da más fuerza a las luces blanco-azules sobre un fondo amarillo de iluminación de sodio.

La edad afecta al funcionamiento de la visión de un observador. Debido al deterioro de la córnea, los observadores de mayor edad son menos sensibles al azul. Normalmente, un observador de 50 años tiene una sensibilidad al azul de entre el 10% y el 20% comparado con uno de 20 años, lo que obviamente tiene implicaciones en la conspicuidad de las luces azules. Entre todos los observadores de todos los grupos de edad, el cansancio afecta de manera adversa al funcionamiento del sistema visual.

5.2.6. ILUMINANCIA

El diccionario de la IALA da la siguiente definición [17]:

Iluminancia (en un punto de una superficie)

El cociente del flujo luminoso (dF) que incide sobre un elemento infinitesimal de la superficie, que contiene el punto considerado, por el área (dA) de dicho elemento.

La cantidad de iluminancia que una AtoN luz proyecta al ojo del observador depende de su intensidad, la distancia de la AtoN con respecto al observador y el estado de la atmósfera. La iluminancia mínima discernible en el ojo de un observador fotópico se cita, a menudo, como 0,05 microlux (sin embargo, para un observador escotópico adaptado a la oscuridad, puede llegar a ser tan baja como 0,0015 microlux). A estos niveles, p.ej. en el umbral de percepción visual, la posibilidad de ver una luz es algo mayor que el 50%. El nivel de iluminancia mínima recomendada para una luz de una AtoN es de 0,2 microlux, basado en un acuerdo internacional de 1933 [16]. Éste es el valor a partir del cual se calcula la cifra del alcance nominal. A este nivel, el color y el ritmo de una AtoN se puede reconocer con confianza.

No obstante, cabe resaltar que, con altos niveles de iluminación de fondo, se requiere un valor más alto de iluminancia para poder ver la luz de una AtoN. A estos niveles más altos, el sistema visual humano se comporta de forma muy distinta que a niveles bajos de iluminancia. A medida que aumenta la iluminancia, se vuelven más conspicuos fenómenos como luces de destellos cortos (estroboscópicos), destellos rápidos repetitivos y parpadeos.

5.2.7. RATIO DE ILUMINANCIA

Cuando una luz de AtoN luz brilla más que una vecina, es más conspicua. La relación necesaria para que un observador note en el ojo la diferencia de la iluminancia entre dos fuentes luminosas es aproximadamente 4:1 [13]. Sin embargo, cuando se trata de que una fuente puntual de luz sea apenas discernible sobre una luminancia de fondo, la relación es aproximadamente del orden de una potencia de dos [13]. Por ejemplo, un aumento de tres veces de la luminancia de fondo deberá acompañarse con un aumento de nueve veces la intensidad luminosa de la AtoN.

5.2.8. AMPLITUD ANGULAR

La amplitud angular del objetivo no se considera un factor humano, sino más bien una propiedad de la geometría del tamaño y la distancia. Sin embargo, la agudeza visual del ojo determina el grado de detección y reconocimiento de un objeto que tiene una amplitud angular determinada.

Vistas de lejos, la mayoría de las luces de AtoN son fuentes puntuales y, por tanto, no tienen un tamaño discernible. A medida que el observador se acerca a la luz de AtoN, el tamaño aumenta, de modo que se pueden notar tanto el tamaño como la forma de la fuente luminosa. Si la amplitud angular en el ojo o, dicho de otra manera, el ángulo en el ojo desde un lado del objeto observado al otro lado es menor que un minuto de arco, puede decirse que es una fuente puntual.

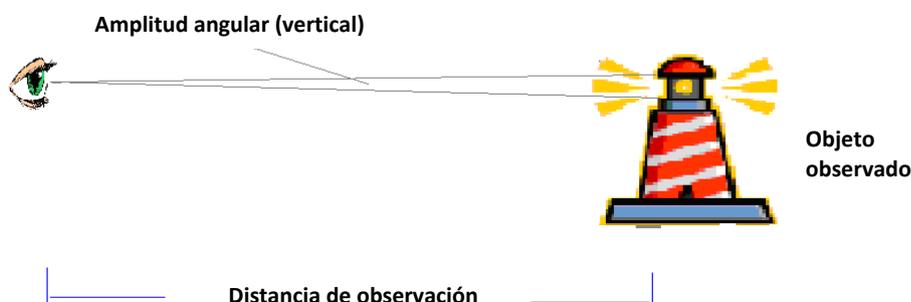


Figura 4 Diagrama que explica la amplitud angular

Como regla general, la amplitud angular necesaria para reconocer una forma simple es tres minutos de arco. Para poder reconocer las formas complejas, como, por ejemplo, las letras, la amplitud angular mínima necesaria es diez minutos de arco. Estas amplitudes angulares mínimas pueden variar en función del contraste de luminancia y de color entre la luz de AtoN y el fondo. Las señales y los objetos iluminados también pueden provocar el deslumbramiento cuando la iluminancia en el ojo del observador es alta, lo que puede dar lugar a que la forma de la zona iluminada se vuelva confusa[24].

5.3. LA ATMÓSFERA

5.3.1. VISIBILIDAD

Generalmente, la visibilidad se considera como la visibilidad meteorológica, que se define como:

La mayor distancia a la que un objeto negro de las dimensiones adecuadas se pueda ver y reconocer de día contra el cielo del horizonte [17].

Para la observación nocturna:

La mayor distancia a la que se pueda ver y reconocer un objeto negro de las dimensiones adecuadas, si la iluminación general se eleva al nivel de la luz diurna [17].

El estado de la atmósfera determinará la mayor distancia a la que una luz de una intensidad determinada pueda verse de noche y esta distancia se conoce como el “alcance luminoso” de la luz. El método de determinar el alcance luminoso es la ley de Allard, que considera la intensidad de la luz, la distancia del observador de la luz y la visibilidad.

Otra manera de definir el estado de la atmósfera es mediante su “transmisividad”, que puede considerarse como el rendimiento de la luz para una milla náutica de atmósfera. La transmisividad se suele citar como un factor (p.ej. 0,74), lo que significa que la luz que llega tras atravesar una milla náutica será el 74% de la inicial, tras aplicar la ley de cuadrado inverso [6], Tanto la visibilidad meteorológica como la transmisividad suponen que la atmósfera es neutra en términos espectrales. Dicho de otro modo, todas las longitudes de onda de la luz visible se ven afectadas de igual forma. Desafortunadamente, el impacto de la atmósfera es algo más complejo que esto y, a menudo, afectará de manera desigual a las longitudes de onda dentro del espectro visible.

Los dos fenómenos tradicionalmente utilizados para describir la manera en que la atmósfera dispersa la luz son la dispersión de Rayleigh y la de Mie, que habitualmente se emplean para representar cómo se ve afectada la luz solar. El modelo de Ångström describe de forma más completa cómo se ve afectada la luz a nivel del mar. Este modelo incluye los efectos de la dispersión de Rayleigh y la de Mie, así como el efecto de partículas de aerosoles, tales como la sal.

Generalmente, la dispersión de Rayleigh se produce cuando la visibilidad es de moderada a buena y se dispersa la luz, preferentemente en función de su longitud de onda a la cuarta potencia de la longitud de onda. Por lo tanto, una luz azul se dispersará más y tendrá un alcance luminoso menor que el de una roja de la misma intensidad. La dispersión de Mie se produce en condiciones de mala visibilidad, cuando las gotas de agua en la atmósfera son mayores. En términos espectrales, la dispersión de Mie es neutra. El modelo de Ångström combina tanto la dispersión de Mie como la de Rayleigh, e incluye otros factores para los aerosoles presentes en la atmósfera cerca del mar.

En el cuadro a continuación, se muestra como la intensidad necesaria para un alcance luminoso determinado varía en función de la longitud de onda y es válido para una observación fotópica (diurno). Dicho cuadro se puede considerar durante la etapa de diseño para la implantación de una luz de AtoN. No obstante, los cálculos del alcance luminoso se realizarán según la Recomendación R0202(E-200-2) de la IALA [6].



Input Min Contrast, Visibility, Observer Distance and Photopic/Scotopic Dominant Wavelength DSPW							
Min Contrast	0.0000002 lux	Transmissivity (T)	0.74	Distance (D)	10 M	DSPW (P)	555 nm
Sea Mile Candela	0.69 lux/M ²	Visibility (V)	10 M	Intensity (I)	1372 cd		

Luminous Range (M)	Wavelength (nm), corresponding Transmissivity and Illuminance at Observer (lux)														
	460	470	500	510	520	530	540	550	590	620	630	640	650	660	
	0.62	0.63	0.67	0.69	0.70	0.71	0.73	0.74	0.79	0.84	0.85	0.86	0.88	0.89	
	2.0E-07	2.0E-07	2.0E-07	2.0E-07	2.0E-07	2.0E-07	2.0E-07	2.0E-07	2.0E-07	2.0E-07	2.0E-07	2.0E-07	2.0E-07	2.0E-07	
	Required Intensity (cd)														
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	
3	19	19	17	17	16	16	16	15	14	13	13	13	13	13	
4	51	49	43	42	40	39	38	37	33	31	30	30	29	29	
5	116	110	95	91	88	84	81	78	68	63	61	60	58	57	
6	245	230	193	184	175	167	159	152	130	117	113	110	107	104	
7	489	454	371	349	329	312	295	281	233	207	199	192	185	179	
8	935	860	683	637	596	559	526	496	402	350	335	322	309	297	
9	1735	1578	1219	1127	1045	973	908	850	670	574	547	522	499	478	
10	3140	2826	2120	1943	1788	1651	1529	1421	1091	918	870	827	787	750	
11	5570	4960	3616	3285	2997	2745	2524	2329	1741	1440	1358	1283	1215	1152	
12	9716	8561	6064	5462	4942	4491	4098	3753	2733	2221	2083	1958	1845	1742	
13	16714	14573	10030	8955	8035	7244	6559	5964	4229	3379	3152	2948	2764	2597	
14	28412	24513	16393	14509	12911	11547	10377	9366	6469	5079	4713	4385	4091	3825	
15	47808	40815	26522	23270	20535	18220	16248	14559	9793	7557	6975	6457	5993	5578	

Figura 5 *Intensidad necesaria en función de la longitud de onda para la visión fotópica, según Ångström*

Para un observador con visión escotópica, que tiene una sensibilidad espectral diferente a la fotópica, estos valores de la intensidad cambiarán, tal y como se aprecia a continuación en la Figura 6.

Input Min Contrast, Visibility, Observer Distance and Photopic/Scotopic Dominant Wavelength DSPW							
Min Contrast	0.0000002 lux	Transmissivity (T)	0.74	Distance (D)	10 M	DSPW (P)	505 nm
Sea Mile Candela	0.69 lux/M ²	Visibility (V)	10 M	Intensity (I)	1372 cd		

Luminous Range (M)	Wavelength (nm), corresponding Transmissivity and Illuminance at Observer (lux)														
	460	470	500	510	520	530	540	550	590	620	630	640	650	660	
	0.62	0.63	0.67	0.69	0.70	0.71	0.73	0.74	0.79	0.84	0.85	0.86	0.88	0.89	
	1.6E-07	1.6E-07	1.7E-07	1.8E-07	1.8E-07	1.8E-07	1.8E-07								
	Required Intensity (cd)														
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	
3	17	17	15	15	15	14	14	14	13	12	12	12	12	12	
4	42	41	37	36	35	34	33	32	29	27	27	26	26	26	
5	93	89	78	75	73	70	68	66	58	54	53	52	50	49	
6	188	178	153	146	139	134	128	123	107	98	95	93	90	88	
7	359	336	281	266	253	241	230	220	186	168	162	157	152	148	
8	657	610	498	468	441	417	395	375	311	275	265	256	247	238	
9	1166	1072	853	796	745	699	658	620	503	438	420	403	387	373	
10	2019	1839	1427	1321	1227	1143	1069	1002	793	680	649	620	593	569	
11	3426	3092	2338	2148	1981	1833	1702	1585	1225	1036	983	935	891	850	
12	5719	5113	3769	3436	3145	2890	2665	2466	1862	1550	1465	1387	1316	1250	
13	9413	8338	5992	5420	4925	4493	4116	3783	2792	2289	2152	2029	1916	1813	
14	15310	13436	9413	8449	7621	6904	6281	5737	4135	3339	3125	2932	2757	2598	
15	24648	21431	14637	13038	11673	10501	9489	8611	6063	4821	4492	4195	3928	3686	

Figura 6 *Intensidad necesaria en función de la longitud de onda para la visión escotópica, según Ångström*

A medida que la luz azul pasa a través de la atmósfera, tiende a dispersarse de forma selectiva y, como resultado, las señales luminosas, consistentes en una lámpara de filamento y un filtro, pueden parecer moradas o rojas cuando se perciben a distancia. Por lo tanto, elegir una luz azul, porque el color azul es más conspicuo sobre un fondo determinado, puede no ser una buena opción si se ha previsto la luz azul para verse desde lejos.

5.3.2. DISTANCIA

La distancia del observador a la señal luminosa de la AtoN es el factor más importante que afecta a la capacidad de un navegante para detectar una AtoN luminosa sobre un fondo de iluminación general y de fuentes luminosas individuales. Sin embargo, cuando se analiza la conspicuidad, no es la distancia en sí la que se analiza, sino el impacto de la distancia en otros factores que, a su vez, ejercen una influencia en la conspicuidad. Visto que la distancia afecta en última instancia, a la conspicuidad a través de otros factores de conspicuidad, se debe investigar primero el impacto de la distancia en esos otros factores de conspicuidad y, a continuación, considerar el impacto de ellos en la capacidad del observador para detectar una señal de AtoN. Consideremos los siguientes ejemplos:

1. Aumentar la distancia de una AtoN luminosa disminuye la iluminancia en el ojo del observador. La iluminancia se utiliza para analizar la conspicuidad.

- 2 Aumentar la distancia de una señal de AtoN incrementa la longitud de la atmósfera por la que atraviesa la luz antes de que el observador la vea. Visto que diferentes longitudes de onda experimentan diversos niveles de absorción y dispersión atmosférica, la distancia afecta a la distribución espectral de la señal recibida por el observador. Se emplea la distribución espectral de la señal recibida para analizar la conspicuidad.
- 3 Aumentar la distancia de una señal de AtoN disminuye la amplitud angular de la señal, que, a su vez, afecta a la capacidad del observador para distinguir la forma de una fuente luminosa extensa o un objeto iluminado por proyectores. La amplitud angular y la forma del objetivo se utilizan para analizar la conspicuidad.
- 4 Disminuir la distancia de una señal de AtoN aumenta el contraste de iluminancias entre la señal de AtoN y la iluminación de fondo. El contraste de iluminancia se utiliza para analizar la conspicuidad.

En cada uno de estos ejemplos, el factor identificado – más que la distancia – se utiliza para analizar la conspicuidad. La distancia de observación influye en demasiados factores como para permitir un vínculo directo entre la distancia y la conspicuidad.

5.4. LA LUZ DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN

5.4.1. PROPIEDADES ESPECTRALES

El ojo humano traduce las propiedades espectrales de una fuente luminosa al color. Sin embargo, es normal asociar una fuente luminosa a un determinado color y, para simplificar, se empleará esta convención en este apartado.

Las luces de AtoN a menudo se ven restringidas por sus requisitos de navegación. Por ejemplo, una boya a estribor en la Región B debe exhibir una luz verde y es posible que limite la capacidad de mejorar la conspicuidad, cambiando la distribución espectral o el color. Sin embargo, mejorar la pureza del color, por ejemplo, empleando una fuente luminosa con una distribución espectral estrecha, con frecuencia mejorará la conspicuidad.

En lo que se refiere a las luces blancas, cambiar la temperatura del color de una luz de AtoN suele mejorar la conspicuidad sobre un fondo de luces blancas con una temperatura de color diferente. Un ejemplo de ello es cuando una luz de AtoN de alta temperatura de color (blanco-azul) se ve sobre un fondo de alumbrado público de sodio (blanco-amarillo) de una temperatura de color baja (véase el apartado 6.2.4 Contraste de color).

Para hacer que la luz sea conspicua a corta distancia, se ha demostrado que los colores que cambian con rapidez son eficaces. Un ejemplo de ello es la aplicación de boyas de emergencia para señalar restos de naufragio (EWMB), que llevan una luz alternante azul y amarilla.

5.4.2. INTENSIDAD

La intensidad de una luz de AtoN determina tanto su alcance nominal como su alcance luminoso para una visibilidad determinada, tal y como se describe en la Recomendación R0202(E-200-2) de la IALA [6]. Sin embargo, para hacer que una luz sea más conspicua incrementando la intensidad, dicho incremento tiene que ser considerable, normalmente por un factor de diez. Esto es debido a que la intensidad requerida de una luz para que sea visible sobre una luminancia de fondo es proporcional al cuadrado de la luminancia de fondo (según Langmuir y Westendorp 1931 [13]). La Recomendación R0202(E-200-2) de la IALA [6] ofrece orientación sobre las intensidades necesarias a diferentes niveles de iluminación de fondo.

Al considerar una luz de destellos, la intensidad eficaz es el parámetro relevante que debe utilizarse a los niveles del umbral de iluminancia. No obstante, cuando se consideran destellos cortos a niveles mayores de iluminancia, normalmente es el caso cuando se ven sobre una luminancia de fondo, el valor de la intensidad eficaz no es proporcional a la conspicuidad. Se ha descubierto que el ojo responde con más rapidez a destellos con un nivel mayor de iluminancia del ojo. Se pueden encontrar más detalles al respecto en la Recomendación R0204(E-200-4) de la IALA.

Es posible que demasiada intensidad haga que sea más conspicua una señal luminosa, pero puede provocar el deslumbramiento a distancias cercanas. El deslumbramiento puede llegar a impedir que el navegante vea otras características o señales significativas. Por lo tanto, al decidir sobre la intensidad de una señal luminosa concreta, debe considerarse toda la zona de utilización de la AtoN.

5.4.3. RITMO Y PERFIL DEL DESTELLO

El ritmo de la luz de AtoN es lo que la diferencia de su entorno y la identifica con respecto a otras luces de AtoN. Generalmente, el ritmo de las señales luminosas, tales como las marcas cardinales, no se puede modificar por motivos operativos. A niveles elevados de iluminancia, los destellos cortos (centelleos) que se repiten rápidamente suelen ser más conspicuos que los destellos más largos con tiempos de oscuridad mayores entre destellos. Se debe extremar el cuidado para garantizar que la característica siga siendo la adecuada en condiciones de mala visibilidad, cuando los niveles de iluminancia en el ojo del observador pueden ser bajos y, como resultado, la sensibilidad visual se ralentiza (véase el apartado 5.2.1 Adaptación).

La forma del destello, o el perfil del destello, también tiene su importancia para la conspicuidad. Una forma rectangular de destello, por ejemplo, una con un tiempo rápido de subida y bajada, es más conspicua a niveles altos de iluminancia que, digamos, una forma de destello gaussiano (como la que se observa en un sistema de lentes giratorias) [12].

5.4.4. FORMA DE LA FUENTE LUMINOSA

La forma de una fuente luminosa no tiene relevancia cuando se observa como una fuente puntual. Sin embargo, si está prevista para que se vea como una zona iluminada o una fuente luminosa extensa, una forma determinada puede ser inmediatamente reconocible por un observador. Una forma iluminada puede proporcionar un marcador muy conspicuo, utilizado como un indicador o señalizador de una AtoN o como una AtoN en sí misma.

Las fuentes luminosas que se diseñan como superficies extensas o zonas iluminadas, generalmente se diseñan para dar información sobre la forma [10] [20] [21]. Por lo tanto, los extremos de dichas luces tienen que corresponder con una amplitud angular de 3 minutos de arco o más para que sean útiles como AtoN (véase el apartado 5.2.8) y, por consiguiente, el tamaño físico de una fuente luminosa así determina su alcance útil.

5.4.5. TAMAÑO DE LA FUENTE LUMINOSA

El tamaño de una luz de AtoN determinará su amplitud angular horizontal/vertical para un observador a una distancia determinada. Es importante asegurar que el tamaño de una fuente luminosa extensa sea lo suficientemente grande para que se pueda reconocer a la distancia operativa máxima. Además, si se prevé que la fuente luminosa se verá oblicuamente dentro de su arco de utilización, su anchura debe ser lo suficientemente amplia para permitir la vista oblicua (véase la Figura 7). Para calcular el aumento necesario de la profundidad/altura puede utilizarse el coseno del ángulo de visión.

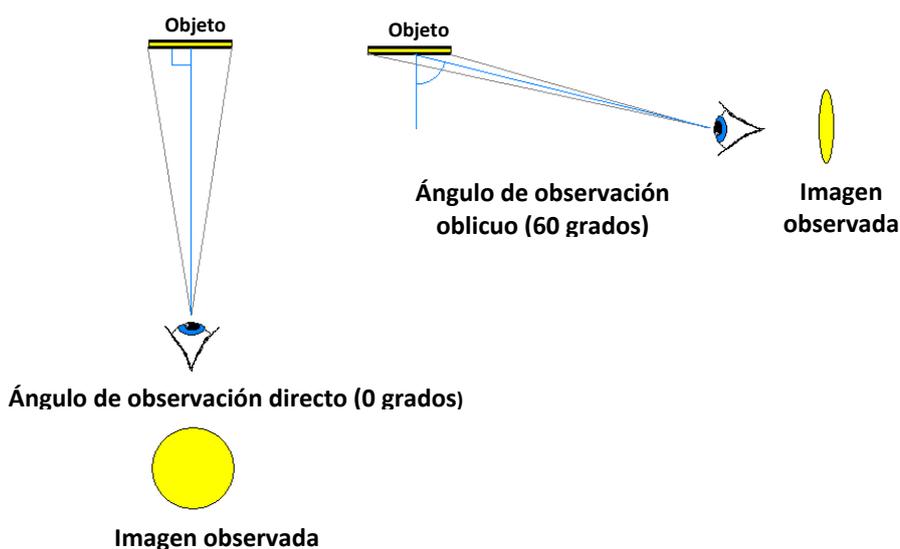


Figura 7 Vista de un objeto desde diferentes ángulos



Ya que no se ve como una fuente puntual, es más relevante para el observador la luminancia de la fuente luminosa extensa, que su intensidad. Por lo tanto, como regla general, la luminancia de la fuente extensa debe ser al menos cuatro veces mayor que la luminancia de fondo para que el ojo pueda detectar una diferencia.

En una ponencia presentada en la XII Conferencia de la IALA celebrada en Holanda en 1990, Marc Mandler, de la Guardia Costera de Estados Unidos, presentó detalles de los experimentos realizados sobre fuentes luminosas extensas [21]. Sin embargo, una característica importante del experimento de la Guardia Costera de Estados Unidos fue la introducción de un índice de conspicuidad basado en el recíproco del tiempo que tardan los observadores en reconocer una señal luminosa. Dicha métrica se considera una manera válida de modelizar la conspicuidad y podría formar la base de un modelo de la conspicuidad.

Las conclusiones del experimento afirman que:

- La conspicuidad aumentó con el tamaño de las fuentes extensas;
- La conspicuidad disminuyó con niveles más altos de luminancia de la iluminación de fondo;
- Los fondos de mayor luminancia provocaron una reducción menor de la conspicuidad en las señales grandes que en las pequeñas;
- Los destellos mejoraron la conspicuidad de los objetivos pequeños más que la de los grandes.

En la ponencia, se adelantan métodos para ayudar a los ingenieros de diseño en el dimensionamiento y elección de las fuentes extensas.

El tamaño de una fuente luminosa tiene un efecto en su funcionamiento a distancia cuando se produce titileo¹. Cuando se observa en la distancia, la diferencia entre una fuente luminosa grande y una luz pequeña de intensidad similar, la diferencia en el titileo es bastante marcada. En una noche clara, cuando las luces distantes titilan (tiemblan o parpadean), una fuente luminosa grande, como, por ejemplo, un panel grande de lentes, titilan mucho menos que una pequeña. Puede resultar difícil tratar de encontrar una luz de destellos entre luces parpadeantes. Una fuente luminosa grande, incluso cuando esté destelleando, titila menos y, por lo tanto, destaca más de su entorno.

5.5. EL FONDO

5.5.1. FONDO GENERAL (LUMINANCIA)

Una zona general o una gran mancha de luz de brillo casi uniforme, directamente detrás de una luz de AtoN, puede perjudicar la visión del navegante de una luz de AtoN de su interés. La luminancia de la iluminación de fondo puede medirse en candelas por metro cuadrado.

Cuando una gran masa de iluminación en tierra forma el fondo de una luz de AtoN y las fuentes luminosas individuales dentro del fondo no se pueden diferenciar, puede considerarse como una luminancia homogénea de fondo.

¹ El titileo se produce debido a una diferencia de temperatura entre el aire y el mar y su efecto se experimenta como un parpadeo aleatorio de una luz distante.



Figura 8 Luminancia de fondo debido a la iluminación pública

Para el observador, las luces en tierra tienden a fusionarse a cierta distancia, como, por ejemplo, cuando el navegante se encuentra a bastante distancia de la costa. Por lo tanto, las luces de AtoN más afectadas por la luminancia de fondo suelen ser las de largo alcance.

Cuando se está más cerca de la orilla, la iluminación de fondo puede considerarse como un conjunto de fuentes puntuales individuales con una densidad determinada. Ésta es una imagen mucho más compleja que una mancha de luminancia uniforme y la densidad puntos de las fuentes variará según el número de luces de fondo a la vista, su proximidad entre sí y la distancia del observador a ellas.

5.5.2. LUCES RIVALES (INTENSIDAD)

Las luces rivales pueden considerarse como fuentes puntuales e individuales de luz no deseada, que enmascaran u oscurecen una luz de AtoN e impiden que se detecte o reconozca con facilidad. En ocasiones, una leve diferencia en la posición del navegante dentro de un canal o de la altura de observación puede significar que se vea o no la AtoN.



Figura 9 Luces rivales causadas por fuentes puntuales individuales

Las escenas de fondo a menudo se ven comprometidas por una mezcla de iluminación general y luces rivales. Los cálculos de las luces de fondo y las rivales se detallan en la guía elaborada a partir de la Recomendación R0202(E-200-2).

Otro ejemplo de luces rivales es cuando hay demasiadas luces de AtoN en una zona, provocando confusión. Un buen ejemplo de ello es cuando un gran número de instalaciones de acuicultura, cada una con su luz de destellos, rodean una boya que también está provista de una luz de destellos. Como resultado, es difícil detectar y reconocer la boya entre otras muchas luces de destellos, incluso cuando los ritmos mostrados sean distintos.

5.5.2.1. Evitar la iluminación de fondo y las luces rivales

Cuando sea posible, se debe controlar la iluminación en torno a una AtoN existente, de tal manera que cualquier luz nueva no afecte de forma significativa al funcionamiento de la luz de la ayuda, lo que se podría llevar a cabo mediante la legislación o las normas de urbanización existentes.

También podría ser factible recolocar, apantallar o redirigir las luces rivales [15], lo que normalmente requiere el consentimiento del propietario o el usuario de las luces rivales en cuestión. Sin embargo, con bastante frecuencia, un leve ajuste de la posición, la dirección o la luminaria de una luz rival puede dar lugar a una diferencia importante en la conspicuidad de la AtoN que sufre la interferencia.

Si no es posible ninguna otra actuación, tal vez se pueda alejar la AtoN de las luces rivales o, en el caso de una nueva instalación, ubicarla lejos de dichas luces (se trata este punto en la Guía 1051 de la IALA [11]), de forma que no se encuentren en la misma dirección de observación. A menudo, un ligero desplazamiento vertical puede separar la luz de AtoN del fondo o de la luz rival, desde el punto de vista del observador. Sin embargo, cualquier reubicación de este tipo no debe afectar al significado principal de la AtoN para la navegación. Con frecuencia, se puede producir un conflicto entre las AtoN y las luces rivales en zonas específicas del arco de utilización de la ayuda. Por lo tanto, el funcionamiento de toda la zona de una luz de AtoN debe considerarse desde una serie de alturas de observación.

5.5.3. PROPIEDADES ESPECTRALES DE LA ILUMINACIÓN DE FONDO

Como la mayoría de la luminancia de fondo es blanca o casi blanca, las AtoN más susceptibles al enmascaramiento o a la interferencia son las luces blancas de AtoN. Sin embargo, las luces de sodio a baja presión son amarillas y podrían enmascarar con facilidad una marca especial amarilla de AtoN.

El color de la iluminación de fondo general es una mezcla de todas las luces a la vista, pero suele tomar el color de la fuente luminosa predominante. Por ejemplo, si la escena de fondo consiste principalmente en luces de sodio a alta presión, el color general visto desde la distancia será blanco-amarillo con un toque de naranja. Si el fondo es un puerto de contenedores iluminado por focos y con mucho movimiento, la iluminación de fondo será, sobre todo, de lámparas de haluro metálico, que da un tono blanco-azul.

En cambio, una luz rival puede ser una fuente luminosa de cualquier color y podría ser una farola, un semáforo de tráfico o las luces de navegación a bordo de otros buques.

6. UN RESUMEN DE LOS MÉTODOS PARA MEJORAR LA CONSPICUIDAD DE LAS LUCES DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN

6.1. INTRODUCCIÓN

Sólo se suele mejorar la conspicuidad de una luz de AtoN tras recibir quejas del navegante y se realiza caso por caso. El caso habitual es que un navegante se queje de que ha tenido dificultad en detectar o identificar una luz determinada. A continuación, el prestador de AtoN debe investigar la queja, lo que se hace poniéndose en contacto con la persona que la presentó y averiguando dónde ocurrió el problema, si ocurre con frecuencia y, de ser así, en qué posición. Asimismo, el prestador de AtoN debe averiguar la naturaleza exacta del problema y si las condiciones locales (p. ej. el tiempo, la altura del observador o el fondo) afectan a la conspicuidad.

Si se considera justificada la queja, el prestador llevaría a cabo una inspección o revisión de la luz de AtoN en cuestión para asegurarse de que funcionaba satisfactoriamente o si hubo un fallo en los aparatos de la luz de AtoN. Durante la inspección, pueden investigarse otras causas que no sean el funcionamiento de la AtoN, pero suele ser difícil identificar un problema cuando uno se encuentra en la propia ayuda. Tras la inspección de la AtoN, si sigue sin resolverse el problema, el prestador debe llevar a cabo un ensayo de observación de la luz de la AtoN afectada desde la zona en que se produjo la dificultad. Si es posible, será una buena idea invitar a la persona que presentó la queja al ensayo de observación.

Una vez que se haya identificado la naturaleza exacta del problema de conspicuidad, y para mejorarla, el prestador de AtoN puede barajar las opciones que figuran en el documento citado y en otros relevantes de la IALA, lo que se hará teniendo en cuenta los requisitos operativos y de navegación.

Muchos problemas de conspicuidad surgen no tanto de una instalación de una AtoN nueva, sino de la urbanización de la costa. Una urbanización residencial, un centro comercial o una instalación nueva frecuentemente conllevan una gran cantidad de iluminación que puede interferir con una AtoN existente. Antes, durante y después de la urbanización, suele ser muy fructífero coordinarse con los promotores, constructores, propietarios u ocupantes de

dichos lugares. Un cambio leve de la dirección, la posición o el diseño de las luminarias de unas pocas luces puede marcar una diferencia significativa en el funcionamiento de una AtoN desde el punto de vista del navegante.

También hay más información disponible sobre la mejora de la conspicuidad de las luces de AtoN en la Guía 1051 de la IALA sobre la Prestación de AtoN en zonas urbanas, que, por ejemplo, se empleó para resolver unos problemas de conspicuidad en Kinnaird Head en Escocia [18]. El núcleo del problema se encontraba en una zona comercial nueva y las correspondientes luces del aparcamiento, que se colocaron en postes altos en la misma línea que la de la luz de AtoN existente. Después de tratar el tema con el ayuntamiento, la altura de los postes se redujo, restaurando así la conspicuidad de la luz de AtoN.

6.2. DISEÑO DE UNA LUZ DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN UTILIZANDO LOS MÉTODOS HABITUALES

Al diseñar las luces de AtoN, el punto de partida suele ser el requisito de navegación, que puede entenderse como las necesidades del usuario. Dicho requisito especificará parámetros como el color, el alcance nominal, el ritmo, etc., que normalmente son relativamente inflexibles.

En algunos lugares, es muy posible que haya preocupaciones adicionales sobre factores, tales como la visibilidad predominante o la iluminación de fondo, que se tratan en las guías que dan apoyo a la Recomendación R0200-2 de la IALA [6], las cuales utilizan los métodos habituales, como la ley de Allard y un modelo de iluminación de fondo en tres pasos: sin luz de fondo; poca luz de fondo; mucha luz de fondo. Por lo tanto, la Recomendación R0200-2 de la IALA [6] se utilizará para definir los requisitos operativos o del sistema.

6.3. MÉTODOS PARA MEJORAR LA CONSPICUIDAD DE LAS LUCES DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN

Si no es posible evitar las luces rivales o la iluminación de fondo, se podrán utilizar los siguientes métodos para mejorar la conspicuidad:

6.3.1. AUMENTO DE LA INTENSIDAD PARA MEJORAR LA CONSPICUIDAD

El método tradicional para resolver un problema de conspicuidad baja de una luz de AtoN es aumentar su intensidad. La información sobre dichos métodos, incluyendo la necesidad de considerar la intensidad eficaz de una luz de destellos, se puede encontrar en serie E-200 de Recomendaciones de la IALA [3]. No obstante, en la Recomendación R0204(E-200-4) de la IALA [8], también se reconoce la improcedencia de utilizar el concepto de intensidad efectiva cuando se trata de los destellos por encima del umbral de percepción (por ejemplo, cuando se observan sobre la iluminación de fondo).

El alcance nominal de la luz se podrá aumentar de forma significativa mediante dichas actuaciones, pero la mejora del alcance útil puede ser mucho menor. La relación entre la intensidad y el alcance se puede consultar en la Recomendación E-200-2 de la IALA [6].

6.3.1.1. Para la luminancia general de fondo

Normalmente, se debe aumentar la intensidad por varios órdenes de magnitud para conseguir una mejora de la conspicuidad sobre la iluminación de fondo. En la Recomendación R0200-2 de la IALA, se recomienda aumentar diez veces la intensidad de la luz de la AtoN y, si la iluminación de fondo es muy alta, se sugiere un incremento de 100 veces.

6.3.1.2. Para luces rivales

Se puede utilizar la ley de Allard para calcular la iluminancia en el ojo del observador para cualquier luz a una distancia determinada y para una transmisividad atmosférica en concreto. Cuando se comparan luces de AtoN con luces rivales del mismo color, la relación mínima de iluminancia necesaria para que un observador vea la luz de una AtoN sobre una luz rival es de aproximadamente 4:1.

6.3.2. CAMBIO DE COLORES PARA MEJORAR EL CONTRASTE DE COLOR

Si fuera posible, el color de la luz de la AtoN será diferente del color de la iluminación de fondo. Por ejemplo, sustituir una lámpara incandescente de filamento por una de descarga con una temperatura de color alta mejoraría el contraste entre la AtoN y la iluminación pública de sodio.

El cambio de color suele estar limitado con respecto a las luces de AtoN, porque los requisitos de navegación dictan su color, pero la mayoría de las luces de fondo y las luces rivales son blancas. Por lo tanto, el problema habitual suele consistir en intentar ver una luz blanca sobre un fondo blanco. Como muchas farolas son de sodio, suelen ser de un color blanco amarillento. La sustitución de la fuente luminosa de las AtoN con una lámpara incandescente de filamento por una fuente luminosa de temperatura de color alta (por ejemplo, las lámparas de haluro metálico o luces LED blancas) suele dar como resultado un contraste de color significativo con el fondo, manteniendo al mismo tiempo el color correcto de la AtoN.

Existen dos excepciones a esto:

- Cuando el fondo es, por ejemplo, una explanada de maniobras o un estadio de fútbol, en el que se utilizan proyectores de temperatura de color alta;
- Cuando la luz de AtoN es amarilla (por ejemplo, una marca especial) y el fondo es de luces de sodio a baja presión.

6.3.3. COLORES QUE SE ALTERNAN RÁPIDAMENTE

Para hacer que la luz sea conspicua a corta distancia, se ha demostrado que los colores que cambian con rapidez son eficaces. Un ejemplo de ello es la aplicación de boyas de emergencia para señalar restos de naufragio (EWMB), que llevan una luz alternante azul y amarilla.

6.3.4. FORMA DE LA FUENTE LUMINOSA

Para la navegación a corta distancia, y para facilitar la identificación de formas, se pueden utilizar las zonas iluminadas, los contornos iluminados y fuentes luminosas extensas. La forma también puede utilizarse como una AtoN en sí, o para indicar una AtoN [10].

Las formas de las fuentes luminosas se reconocen con más rapidez que una fuente puntual de destellos. La Guardia Costera de Japón ha realizado algunos trabajos sobre los números iluminados en las boyas, que aportan la ventaja no sólo del reconocimiento rápido, sino que también ayudan a los navegantes a medir con mayor precisión su distancia a la boya. Supuestamente, han reducido el número de colisiones con boyas.

Las disposiciones de fuentes luminosas puntuales pueden utilizarse de manera similar. La utilización de luces secuenciadas dentro de una disposición o forma es particularmente eficaz, ya que exhibe un movimiento aparente y/o indica una dirección.



Figura 10 *Fotos de un dispositivo indicador en forma de arco instalado en el puerto de Barcelona*

6.3.5. PERFIL DEL DESTELLO Y CARACTERÍSTICA

A niveles elevados de iluminancia del observador, los destellos cortos (centelleos) que se repiten rápidamente suelen ser más conspicuos que los destellos más largos con tiempos de oscuridad mayores entre los destellos.

Un destello con forma de pulso cuadrado, prácticamente sin transición entre el encendido y apagado, es más conspicua que un destello que tiene un tiempo de transición más lento (pulso gaussiano) [12].

A alcances relativamente cortos, donde es alta la interferencia de la iluminación de fondo y de las luces rivales, resulta eficaz el parpadeo de la luz de AtoN dentro del perfil del destello a una frecuencia de alrededor de 10 Hz. Esta técnica de parpadeo produce mejores resultados entre las luces de AtoN rojas y blancas que entre las verdes.

Es posible mejorar la conspicuidad mediante la utilización de una luz fija de baja potencia durante el período de oscuridad de una característica. Esto es especialmente cierto en el caso de una luz de destellos en la que no se puede ver ningún tipo de progresividad o “derrame de la linterna” durante la oscuridad. Esto se conoce una luz fija variada por destellos y se dan más detalles al respecto en la Recomendación E-1116 de la IALA sobre la Selección de caracteres rítmicos y sincronización de las luces de AtoN[28]

6.3.5.1. Elección de un perfil de destello adecuado

Los siguientes puntos pueden ayudar en la mejora de la conspicuidad de una luz de destellos.

- Características sencillas de destello (p. ej. una luz con un grupo de cuatro destellos, Fl(4), en una AtoN es más conspicua sobre un fondo de luces fijas rivales que una ayuda con una característica de luz fija).
- En general, un perfil de destello con un tiempo rápido de subida (y tiempo de bajada) es más conspicuo que uno con un tiempo lento de subida.
- Es posible mejorar la conspicuidad mediante la utilización de una luz fija de baja potencia durante el período de oscuridad de una característica. Esta técnica permite al usuario confirmar la posición de la AtoN, ofreciendo

un punto de referencia fijo y visible. Para más información al respecto, véase la Recomendación E-110 de la IALA [27] y la Guía 1116 de la IALA.

Se han realizado algunos trabajos sobre cómo la velocidad de repetición de una luz de destellos afecta a su conspicuidad, pero es casi seguro que depende de la iluminancia en el ojo del observador.

6.3.5.2. Parpadeo

La utilización de una luz parpadeante puede incrementar la conspicuidad de una AtoN sobre un fondo de iluminación muy alta, pero sólo a niveles altos de iluminancia del observador (normalmente, a corto alcance). A niveles bajos de iluminancia del observador, se pierde la ventaja del efecto del parpadeo y es posible que algunos observadores no noten ningún parpadeo.

El parpadeo a ciertas frecuencias y ciclos de servicio proporciona un aumento de la conspicuidad a las señales luminosas blancas y rojas, pero el aumento de las verdes es menos perceptible en ciclos de servicio menores. Existe cierta incertidumbre sobre la mejora de la conspicuidad mediante la aplicación del parpadeo en luces amarillas y azules.

El parpadeo de luces de AtoN dentro del perfil del destello, a una frecuencia de aproximadamente 10 Hz, es una técnica que ha cosechado algún éxito en Japón [1]. Los experimentos realizados por la Guardia Costera de Japón [19] con luces parpadeantes pusieron de manifiesto que las luces parpadeantes rojas, verdes y blancas mejoraban la conspicuidad. Cuanto menor sea la ratio de servicio dentro de la frecuencia del parpadeo, mayor será la conspicuidad. Sin embargo, como ya se ha comentado, el grado de conspicuidad varía según el color. En la figura a continuación, se muestra la comparativa entre luces parpadeantes rojas, verdes y blancas cuando se fijó la frecuencia de parpadeo a 10Hz. El gráfico compara el ciclo de servicio de las luces de color parpadeando a 10Hz con un valor relativo de conspicuidad.

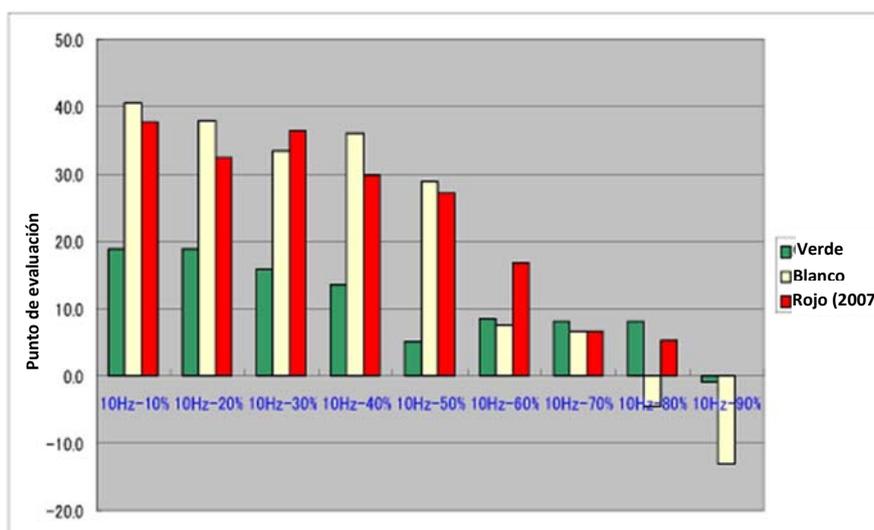


Figura 11 *Comparativa de luces parpadeantes rojas, verdes y blancas, Guardia Costera de Japón*

Una de las conclusiones de estos experimentos fue que, a una ratio de servicio del 50% o menos, la conspicuidad de las luces parpadeantes verdes es claramente menor que la de las luces parpadeantes blancas y amarillas. Por lo tanto, dados otros factores como el efecto Ångström, el diseño de las luces parpadeante como AtoN requiere una atención rigurosa.

Una reunión de expertos de la Guardia Costera de Japón, celebrada en noviembre de 2008 [1], concluyó que:

“Una luz parpadeante de LED es conspicua y, por lo tanto, tiene la posibilidad de convertirse en un nuevo método de iluminación de AtoN. Sin embargo, el alcance del parpadeo es menor que el alcance luminoso nominal de la luz



parpadeante bajo ciertas condiciones y, por lo tanto, se debe extremar el cuidado en el diseño de las luces parpadeantes. Para su aplicación práctica, se necesitan más estudio e investigación.”

6.3.6. SINCRONIZACIÓN

La sincronización de varias luces de AtoN puede aumentar de forma considerable la conspicuidad, particularmente cuando se observan desde lejos. La sincronización es particularmente adecuada para las luces de enfilación.

Esta técnica es muy eficaz para varias boyas que balizan un canal, así como para las luces de babor y estribor de entrada a puerto y para las de enfilación. Cuando se ven a distancia, el efecto de varias luces encendiéndose a la vez sobre una zona amplia es muy conspicuo. Sin embargo, si todas las luces de AtoN en el grupo sincronizado tienen el mismo ritmo, pueden surgir problemas en la identificación de las luces individuales que forman parte del grupo. Esto es particularmente relevante con mala visibilidad, cuando quizá sólo se pueda ver una de las AtoN a la vez.

Es posible mantener los ritmos dentro de un grupo de AtoN y sincronizarlas al principio de la característica con el periodo más largo. Para que esto sea factible, los caracteres de las AtoN deben tener un periodo en común o divisiones exactas del periodo de mayor duración (o múltiplos exactos del periodo más corto). Se puede obtener más información al respecto en la Guía 1116 de la IALA sobre la Selección de caracteres rítmicos y sincronización de las luces de AtoN[14].

6.3.7. SECUENCIADO

Aparte del secuenciado de luces en una disposición o forma que se ven juntas, el secuenciar varias luces de AtoN sobre una zona más amplia también puede aumentar la conspicuidad, ya que proporciona movimiento aparente e indica tanto la dirección como la distancia relativa. Sin embargo, para que funcione bien el secuenciado, deben estar a la vista del observador varias luces y ello puede implicar un aumento del número de luces en una zona concreta. Se puede obtener más información al respecto en la Guía 1116 de la IALA sobre la Selección de caracteres rítmicos y sincronización de las luces de AtoN [14].

6.3.8. ILUMINACIÓN CON PROYECTORES

La iluminación con proyectores puede considerarse como una fuente luminosa extensa. A corto alcance, una estructura iluminada puede ofrecer una marca conspicua para una luz de AtoN. Si se reconoce la estructura como única, puede ofrecer al navegante un reconocimiento instantáneo y fiable. Sin embargo, la iluminación con proyectores por lo general requiere lámparas de alta potencia y puede no ser factible con AtoN dotadas con sistemas de baja energía.

A distancias de unas millas, los efectos de la iluminación con proyectores tienden a desvanecerse a medida que se reduce la amplitud angular de la zona iluminada y, por consiguiente, se vuelve más difícil el reconocimiento del objeto. Por lo tanto, se recomienda la iluminación con proyectores para mejorar la conspicuidad a distancias relativamente cortas, aunque dependerá de la zona iluminada y el grado de iluminación.

Visto que una estructura iluminada es una zona luminosa que se observa en lugar de una fuente puntual, como es el caso de los “tubos de luz” y las luces de contornos, las ventajas que aporta son un reconocimiento instantáneo y la capacidad de medir la distancia.

No obstante, la eficacia de la iluminación con proyectores depende de la superficie iluminada y su capacidad de reflejar la luz que la ilumina. Diferentes superficies reflejan la luz (y diferentes colores de luz) de manera distinta. También es importante el ángulo de iluminación, así como la zona de la estructura iluminada, que, a su vez, dependen del ángulo del haz del proyector y su distancia de la estructura. Se debe evitar confundir al usuario con luces de colores diferentes, en particular debido a la mezcla de colores de la luz de AtoN. Se debe hacer todo lo posible para que la iluminación con proyectores no perjudique la visibilidad de la luz de AtoN.

Otros factores son el cambio de la reflectancia de la superficie debido a los depósitos de agua (por ejemplo, la lluvia), la suciedad o la vegetación, y la forma en que se ve la estructura iluminada sobre el fondo. Si fuera posible, se debe intentar llegar a un compromiso entre un color aceptable del proyector, la reflectancia de la estructura de ese color y el contraste con la iluminancia del fondo.

Se puede obtener más información al respecto en la Guía 1061 de la IALA sobre las Aplicaciones de la iluminación de estructuras [10].



Figura 12 Torre de faro iluminada de diferentes colores

6.3.9. ILUMINACIÓN DE CONTORNOS

Resaltar la forma del contorno de una estructura con franjas adicionales de luz de baja luminancia puede ser útil por dos motivos: aporta una forma reconocible y da una impresión de su tamaño y distancia. Se puede obtener más información al respecto en la Guía 1061 de la IALA sobre las Aplicaciones de la iluminación de estructuras [10].

7. CAMINO HACIA EL FUTURO

Como ya se ha mencionado, la conspicuidad de las AtoN es un tema complejo. Esta guía sólo es una revisión del estado actual de los conocimientos y claramente es necesario seguir trabajando sobre el tema.

Una manera futura de abordar la conspicuidad, tanto para la planificación y el diseño inicial de las luces AtoN como para las revisiones posteriores, es adoptar un enfoque más holístico. La intención es elaborar un modelo de la conspicuidad que pueda utilizarse para cuantificarla, introduciendo la información pertinente a fin de definir las necesidades de funcionamiento [23]. Convendría plantearse un enfoque probabilístico para dicho modelo.

Sin embargo, hay muchos factores que afectan a la conspicuidad, y su impacto e interrelación apenas se entienden en la actualidad. Por lo tanto, se necesita mucho trabajo científico en profundidad para conseguir tal desarrollo. Los resultados podrían producir no sólo un modelo, sino también, tal vez, unos simuladores basados en dicho modelo. Esto permitiría que se realizaran ensayos preliminares de simulación, reduciendo así los costes de la prestación del servicio de AtoN y aumentando las posibilidades de proporcionar una AtoN útil.

8. ACRÓNIMOS Y DEFINICIONES

8.1. ACRÓNIMOS

CIE	(<i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>) Comisión Internacional de la Iluminación
e-ILV	(<i>Electronic International Light Vocabulary</i>) Vocabulario electrónico internacional de la luz

8.2. DEFINICIONES

Detección de una luz de AtoN	El observador es consciente de la luz	[17]
Reconocimiento de una luz de AtoN	El observador se da cuenta de que la luz es una AtoN	[17]
Identificación de una luz de AtoN	El observador es consciente de que la luz pertenece a una AtoN determinada	[17]
Conspicuidad	La calidad de un objeto o de una fuente luminosa para que parezca prominente en el entorno - eILV 845-11-30	[2]
Luminancia de fondo	Una zona general o una gran mancha de luz de brillo aproximadamente uniforme, directamente detrás de una luz de AtoN, que perjudica la visión del navegante de la luz de AtoN que sea de su interés	[17]
Luz rivales	Las luces rivales pueden considerarse como fuentes puntuales e individuales de luz, que enmascaran u oscurecen una luz de AtoN e impiden que se detecte o reconozca con facilidad	[17]
Iluminación de fondo	Abarca la iluminación del entorno ubicada o bien directamente detrás de la AtoN o bien a su lado, teniendo en cuenta la serie de perspectivas o direcciones de visión proyectadas	[11]
Intensidad luminosa	Diccionario de la IALA 2-1-035	[17]
Iluminancia	Diccionario de la IALA 2-1-055	[17]
Luminancia	Diccionario de la IALA 2-1-045	[17]
Deslumbramiento	diccionario de la IALA 2-1-420 a 2-1-430	[17]
Visibilidad	Diccionario de la IALA 2-1-275	[17]

9. REFERENCIAS

- [1] Guardia Costera de Japón / Ocean Police Research Foundation, “Report of the Expert Meeting on Standardization of New Lighting Method for Marine Aids to Navigation”, Tokio (noviembre de 2008).
- [2] CIE, Publicación N.º 17.4, “International Lighting Vocabulary”, 1987).
- [3] Serie E-200 de Recomendaciones de la IALA.
- [4] Recomendación R0200-0 de la IALA - Perspectiva general
- [5] Recomendación R0200-1 de la IALA - Colores
- [6] Recomendación R0200-2 de la IALA – Cálculo, definición y notación del alcance luminoso
- [7] Recomendación R0200-3 de la IALA - Medición



- [8] Recomendación R0200-4 de la IALA - Determinación y cálculo de la intensidad eficaz
- [9] Recomendación R0200-5 de la IALA - Estimación del funcionamiento de aparatos ópticos
- [10] Guía 1061 de la IALA - Aplicaciones de la iluminación de estructuras
- [11] Guía de la IALA 1051 – Prestación de ayudas a la navegación en zonas urbanas'
- [12] GLA R&RNAV, Informe técnico RPT-28-MN-04 “Conspicuity - Colour Observed and measured comparison of a White LED Beacon versus a White Halogen Beacon” (2004)
- [13] “Some observations in connection with the note on the perceptibility of lights”, presentado por los Srs. Hampton y Holland en la Conferencia Internacional de Faros celebrada en París 1933”, P. van Braam van Vloten, Scheveningen (10 de mayo de 1933)
- [14] Guía 1069 de la IALA - Sincronización de luces
- [15] Departamento de desarrollo de GLA, Informe n.º 5/IT/1999 “Lowestoft Background Lighting Investigation” (19 de abril de 1999)
- [16] “Minimum figure of the perception of light”, Jean REY, Conferencia Internacional de Faros (1933)
- [17] Diccionario de la IALA
- [18] GLA R&RNAV, Informe técnico RPT-14-MN-IT-06 “Kinnaird Head Viewing Trial” (20 de noviembre de 2006).
- [19] “Japan Coast Guard Field Experiment on Conspicuity of Flickering Lights”, Kujukuri Beach, Sanmu City, CHIBA (octubre de 2008)
- [20] “Technical Note on Pointer Devices for Improving the Conspicuity of the Visual AtoN”, Juan F. Rebollo, Puertos del Estado- España (2009)
- [21] Centro de Investigación y Desarrollo de la Guardia Costera de Estados Unidos, “Conspicuity of Aids to Navigation: Extended Light Sources”, Marc B. Mandler (1990)
- [22] NAVGUIDE de la IALA
- [23] GLA R&RNAV, Informe técnico RPT-10-MN-10 “A First Generation Conspicuity Model” (1 de junio de 2010)
- [24] Farbgebung und Tagessichtbarkeit von Tonnen – Frank Hermann, Administración Federal Alemana de Vías Navegables – Traffic Technologies Centre (Coblenza)
- [25] Guía G1065 de la IALA - Divergencia vertical
- [26] Guía G1094 de la IALA - Marcas diurnas para AtoN
- [27] Recomendación R0110 (E-110) de la IALA - Caracteres rítmicos de las luces en AtoN
- [28] Guía 1116 de la IALA - Selección de caracteres rítmicos y sincronización de las luces AtoN