



GUÍA DE LA IALA

1094

MARCAS DIURNAS PARA AYUDAS A LA NAVEGACIÓN

Edición 2.0

Junio de 2016



Puertos del Estado



REVISIÓN DEL DOCUMENTO

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

Fecha	Página / Apartado revisado	Motivo de revisión
Junio de 2016	Documento entero	Inserción de títulos de las ecuaciones y referencias al diccionario. Modificación de la lista de acrónimos.

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	8
2. ÁMBITO DE APLICACIÓN	8
3. DEFINICIONES	8
4. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LAS MARCAS DE TOPE DIURNAS	8
4.1. Grados de percepción y el alcance	9
4.2. Proceso de información	9
4.3. Percepción visual	10
5. LA MARCA DIURNA – OBJETO	10
5.1. Perfil.....	10
5.1.1. Marca diurna plana.....	11
5.1.2. Marca diurna sólida con simetría rotacional	11
5.1.3. Planchas cruzadas.....	12
5.1.4. Construcción de celosía	12
5.1.5. Comparativa del perfil tridimensional	13
5.2. Luminancia del objeto	13
5.3. Color de la superficie	14
5.3.1. Especificación	14
5.3.2. Envejecimiento del color	15
5.3.3. Láminas retrorreflectantes	15
5.4. Tamaño	16
5.5. La combinación de colores	17
6. CONDICIONES DE OBSERVACIÓN - MEDIOS.....	17
6.1. Distancia de observación	17
6.2. Visibilidad meteorológica	18
6.3. ley de Koschmieder.....	19
6.4. Factores condicionantes	20
6.4.1. El cielo como fondo	21
6.4.2. El sol detrás de una marca diurna	21
6.4.3. La superficie del agua como fondo	21
6.4.4. El paisaje como fondo.....	21
7. EL OBSERVADOR.....	22
7.1. La resolución del ojo y la amplitud angular	22
7.2. Marcas diurnas no uniformes.....	22
7.3. Reconocimiento de la forma	23
7.4. Contraste necesario.....	25
7.5. Reconocimiento del color	25



ÍNDICE DE CONTENIDOS

8. EL DISEÑO DE MARCAS DIURNAS	25
8.1. Ayudas flotantes	25
8.1.1. Perfil tridimensional	25
8.1.2. Color	26
8.1.3. Tamaño y forma de boyas de un solo color	26
8.1.4. Tamaño y forma de boyas cardinales	26
8.1.5. Marcas de aguas navegables y de nuevo peligro	28
8.1.6. Obstrucciones estructurales	29
8.1.7. Paneles solares	29
8.1.8. Marcas de tope	31
8.2. Ayudas fijas	32
8.2.1. Faros tradicionales	33
8.2.2. Herramientas adicionales para estructuras utilizadas como marcas diurnas	35
8.2.3. Marcas diurnas blancas	36
8.2.4. Paneles diurnos de enfilaciones	37
8.2.5. Señalización de puentes	38
8.2.6. El diseño de señales	38
8.3. Metodología general de diseño	39
8.3.1. Entrada	39
8.3.2. Paso 1	39
8.3.3. Paso 2	39
8.3.4. Paso 3	39
8.3.5. Paso 4	40
8.3.6. Paso 5	40
8.4. Limitaciones y factores de servicio	40
8.4.1. Estructura de soporte	40
8.4.2. Desvanecimiento del color	40
8.4.3. Excrementos de aves	41
8.4.4. Consideraciones medioambientales en el diseño de boyas	41
8.5. Ejemplos de diseño	41
8.5.1. EJEMPLO 1	41
8.5.2. EJEMPLO 2	42
8.5.3. EJEMPLO 3	43
8.5.4. EJEMPLO 4	44
8.5.5. EJEMPLO 5	45
9. ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	46
10. REFERENCIAS	47
ANEXO A MODELO FÍSICO DE LA LEY DE KOSCHMIEDER	48
ANEXO B DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE LA LUMINANCIA DEL CIELO	49
ANEXO C UN MODELO SENCILLO DEL OJO HUMANO	50
ANEXO D LA TEORÍA DE BLAISE¹	52
ANEXO E EJEMPLO DE MARCAS DIURNAS CANADIENSES	53

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de Tablas

Tabla 1	Los tres grados de percepción de las marcas diurnas.....	9
Tabla 2	Comparativa de perfiles.....	13
Tabla 3	Valores para el factor de luminancia β y los números RAL y NCS	15
Tabla 4	Alcance geográfico en millas náuticas (M).....	18
Tabla 5	Albedos de diferentes superficies [15]	21
Tabla 6	Convenciones sobre el alcance y el ángulo mínimo de observación.....	24
Tabla 7	Valores típicos de alcances de las marcas diurnas	24
Tabla 8	Tamaño y alcance del panel diurno	37
Tabla 9	Distancia de diseño de las balizas diurnas canadienses	¡Error! Marcador no definido.

Índice de Figuras

Figura 1	Proceso de información	10
Figura 2	Percepción de un objeto extenso.....	10
Figura 3	Marca diurna plana y la línea entre la vertical de la superficie y la dirección del observador....	11
Figura 4	Forma proyectada (visible) de una marca diurna plana.....	11
Figura 5	Perfiles con simetría rotacional	11
Figura 6	Perfiles con planchas cruzadas	12
Figura 7	Construcción de celosía derivada de planchas cruzadas	12
Figura 8	Construcción de celosía de una boya lateral	13
Figura 9	Diagrama cromático estándar de la CIE.....	14
Figura 10	Aplicación típica de láminas retrorreflectantes en una boya	16
Figura 11	Extensión lateral y alcance de una marca diurna.....	16
Figura 12	Marcas diurnas de un solo color y de colores múltiples	17
Figura 13	Ilustración simplificada de la dispersión de la luz en la atmósfera	19
Figura 14	El cielo como fondo.....	21
Figura 15	La superficie del agua como fondo	21
Figura 16	Influencia del ángulo de observación en marcas diurnas no uniformes.....	22
Figura 17	Iluminación directa de una marca diurna (plana, cónica o de planchas cruzadas).....	23
Figura 18	Reconocimiento de formas sencillas.....	23
Figura 19	Boyas con aletas para formar la silueta correspondiente al tipo de marca.....	26
Figura 20	Boyas cardinales tradicionales	27
Figura 21	Diseño preferido de boya para optimizar el rendimiento visual	27
Figura 22	Superestructura y cuerpo de la base	27
Figura 23	Comparativa de una boya tradicional y una de nueva generación	28

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Figura 24	Disposición de franjas verticales en una boya de aguas navegables	28
Figura 25	Ejemplo de una marca de aguas navegables con aletas adicionales	29
Figura 26	Piezas adicionales en una boya	29
Figura 27	Conflicto entre paneles solares y marcas cardinales	30
Figura 28	Boyas cardinales optimizadas	30
Figura 29	Distribución de paneles solares en una marca de aguas navegables.	31
Figura 30	Proporciones de las marcas de tope	32
Figura 31	Estructura Soporte utilizada como marca diurna	33
Figura 32	Franjas horizontales rojas y blancas	33
Figura 33	Diseño de rombos para la marca diurna de un faro	34
Figura 34	Colores alternativos para la marca diurna de un faro	34
Figura 35	Pintura blanca de contraste para estructuras que funcionan como marca diurna lateral fija ...	35
Figura 36	Influencia de la posición del sol en el color y el reconocimiento de la forma	35
Figura 37	Ejemplos de una estructura fija como marca diurna con aletas unidireccionales	36
Figura 38	Marcas diurnas blancas en tierra	36
Figura 39	Ejemplo de la geometría de un panel diurno de enfilación	37
Figura 40	Marcas diurnas definidas por la Recomendación O-113 de la IALA	38
Figura 41	Diseño preferido de marca diurna	38
Figura 42	Señal: mejor punto de paso	38
Figura 43	Flecha de dirección, mostrando el diseño preferido en la ilustración de la derecha	39
Figura 44	Forma de la boya que resulta del Ejemplo 1	42
Figura 45	Forma de la boya que resulta del Ejemplo 2	43
Figura 46	Forma de la marca diurna que resulta del Ejemplo 3	44
Figura 47	Diseño que resulta del Ejemplo 4 (las unidades están en mm)	45
Figura 48	Diseño que resulta del Ejemplo 5	46
Figura 49	Distribución estadística de la luminancia del cielo, Mar Báltico 2003	49
Figura 50	Distribución estadística de la luminancia de la superficie del agua, Mar Báltico 2003	49
Figura 51	Modelo sencillo del ojo	50
Figura 52	Modelo sencillo de la fovea	51
Figura 53	Conos estimulados por formas simples	51
Figura 54	Teoría de Blaise	52
Figura 55	Baliza diurna normalizada canadiense	53
Figura 56	Dimensiones relevantes de la marca diurna	53



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Lista de ecuaciones

Ecuación 1	Alcance geográfico	17
Ecuación 2	Contraste luminoso.....	19
Ecuación 3	Contraste de observación	19
Ecuación 4	Contraste de observación usando la transmisividad atmosférica.....	19
Ecuación 5	Contraste de observación usando la visibilidad meteorológica	20
Ecuación 6	Contraste para un único objeto	25
Ecuación 7	Cálculo del alcance geográfico a partir de la altura	43
Ecuación 8	Luminancia visible	48
Ecuación 9	Movimiento de la cromaticidad.....	48
Ecuación 10	Dependencia espectral de la dispersión atmosférica de la luz	48
Ecuación 11	Separación angular de los conos de la fovea.....	50
Ecuación 12	Valor mínimo para la identificación de la forma	51
Ecuación 13	Ángulo sólido para una gran distancia.....	52
Ecuación 14	Teoría de Blaise ($\alpha < 0,8725$ mrad)	52
Ecuación 15	Teoría de Blaise ($> 0,8725$ mrad).....	52

1. INTRODUCCIÓN

A menudo se considera que la instalación de una señal visual consiste en instalar una luz sobre una estructura soporte, sin realizar ningún tipo de estudio previo acerca del alcance de la marca diurna, su color y otras características de la misma. No hay que olvidar que la mayor parte del tráfico se produce durante el día, lo que significa que el navegante debe poder identificar esa marca con facilidad, sin que haya posibilidad de confusión.

Algunos documentos existentes de la IALA facilitan información sobre las proporciones de las marcas diurnas, pero aportan tan sólo una información limitada sobre la distancia a la que las marcas diurnas se pueden detectar, reconocer e identificar eficazmente.

Esta guía proporciona una visión global e informativa de los factores principales a considerar a la hora de diseñar y facilitar una marca diurna. Asimismo, resalta los aspectos de la percepción visual y cómo optimizar la identificación de una marca diurna. En la práctica, hay aspectos financieros y técnicos que pueden limitar la provisión de marcas diurnas. A fin de resolver dichas limitaciones, la presente guía describe unos métodos prácticos a adoptar para conseguir la solución más idónea.

Nota

Esta guía incluye muchas ilustraciones y fotografías. Debido a las limitaciones de los monitores de ordenador y las impresoras en la reproducción de los colores, dichas fotografías no son representativas de la realidad. Se aconseja, por tanto, no utilizar dichas fotografías para realizar pruebas visuales ni para calcular el rendimiento visual de las marcas diurnas.

2. ÁMBITO DE APLICACIÓN

El alcance de este documento engloba todas las ayudas a la navegación (AtoN), tal y como se definen en el Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA (MBS - *Maritime Buoyage System*) [1].

La presente guía no cubre la utilización de carteles y luces como ayudas a la navegación durante el día.

Para más información sobre las luces diurnas, véase la Recomendación Serie E-200 de la IALA [9].

Para más información sobre carteles, véase la Presentación de la Conferencia de la IALA de 1990 acerca de la letreros y carteles [4].

La autoridad competente garantizará que las estructuras y objetos en las inmediaciones de los canales de navegación y las vías navegables no entren en conflicto con las marcas conformes con el Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA (MBS)

Si dichas estructuras incluyen marcas diurnas, se deben diseñar y mantener conforme al MBS de la IALA y a esta guía.

Si se diseñan y construyen otras estructuras en las inmediaciones de la vía navegable, debe evitarse que éstas y las marcas diurnas (según el MBS y esta guía) entren en conflicto.

3. DEFINICIONES

Las definiciones de los términos empleados en esta guía pueden encontrarse en el Diccionario internacional de ayudas a la navegación marítima (Diccionario de la IALA) en <http://www.iala-aism.org/wiki/dictionary>.

4. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LAS MARCAS DE TOPE DIURNAS

La tarea visual consiste en proporcionar una marca diurna, de acuerdo con el MBS de la IALA, que pueda identificarse con facilidad a una cierta distancia, contra un fondo dado o predominante. Esto implica que el navegante pueda identificar la forma, el color y la combinación de colores de la misma.

La Autoridad Competente determinará el alcance visible de una marca diurna mediante una evaluación global de los requisitos de navegación de la vía navegable o de la ubicación concreta.

El alcance visible de una marca diurna a simple vista no estará necesariamente relacionado con el alcance nocturno de la luz asociada a ella y a menudo será considerablemente menor. No obstante, la utilización de prismáticos mejorará en gran medida la distancia a la que se puede identificar una marca diurna; por lo general, en torno a 8-10 veces, dependiendo de los prismáticos utilizados.

Una marca diurna se define por su tamaño, luminancia, color, forma y altura sobre el nivel del mar. Para estimar el alcance visual, tanto el fondo tras la marca diurna como la iluminación del sol deben tenerse en cuenta. El fondo y la iluminación dependen de las condiciones temporales, geográficas y meteorológicas. El fondo de referencia depende de la altura del puente de la embarcación y la dirección de la observación.

4.1. GRADOS DE PERCEPCIÓN Y EL ALCANCE

Cuando un navegante se aproxima a una ayuda a la navegación visual, como por ejemplo una boya, la primera cosa que reconocerá, en función de las condiciones de observación, son la forma o el color de la boya.

A continuación, el navegante reconocerá la marca de tope y, por último, los números o letras de la marca diurna. Por consiguiente, el proceso de identificación de una ayuda a la navegación visual pasa por tres fases de percepción diferentes.

Tabla 1 Los tres grados de percepción de las marcas diurnas

Detección	El observador se da cuenta de que hay un objeto. El navegante ve un objeto, pero, normalmente, no podrá deducir su forma y color ni sabrá que es una ayuda a la Navegación.
Reconocimiento	El observador se da cuenta de que dicho objeto es una ayuda a la navegación.
Identificación	El observador se da cuenta de qué tipo de ayuda a la navegación es el objeto. A esta distancia, el navegante puede discernir perfectamente qué tipo de marca es.

El alcance de la marca diurna es la distancia máxima a la que se puede observar, en función de un grado de percepción concreto. Debido a los diferentes grados de percepción, el alcance de la marca diurna no tiene una definición exacta.

En el mejor de los casos, se debe definir el alcance cuando la marca diurna se identifique visualmente (tercer grado de percepción). Sin embargo, para muchas marcas diurnas, es aceptable utilizar una definición del alcance basado en el reconocimiento. Debe evitarse la utilización del alcance de detección.

Nota

En contraste con las marcas diurnas, existe una definición exacta del alcance luminoso de las luces. Dicho alcance se basa en la ley de Allard y en una convención internacional sobre el umbral de luminancia.

4.2. PROCESO DE INFORMACIÓN

El proceso de información de la observación diurna, tal y como se muestra en la Figura 1, tiene un número de parámetros que ejercen una influencia sobre la percepción visual, y se pueden definir de la siguiente forma:

- El objeto:
El objeto, como la fuente de la señal, puede presentarse con diferentes formas y verse iluminado por la luz solar, directa o difuminada, o una combinación de ambas. El fondo puede ser distinto, en función de las ubicaciones, y variar con el tiempo (las condiciones climáticas, la posición del sol).
- Los medios / las condiciones de observación:
La atmósfera, como medio, tiene cierto valor para la visibilidad meteorológica (p. ej. neblina, niebla), lo que causa que la luz del objeto se disperse parcialmente fuera de la línea que media entre el objeto y el

observador. Por otra parte, la luz solar, tanto directa como indirecta, se dispersa parcialmente hacia la línea de observación en dirección al observador.

- El observador:

En términos generales, el observador se ve limitado por la fisiología. Existen algunos acuerdos o convenios sobre el observador marítimo, particularmente para la navegación marítima comercial. No obstante, en la fisiología no existen valores exactos para la percepción visual y la convención podría variar de un país a otro.

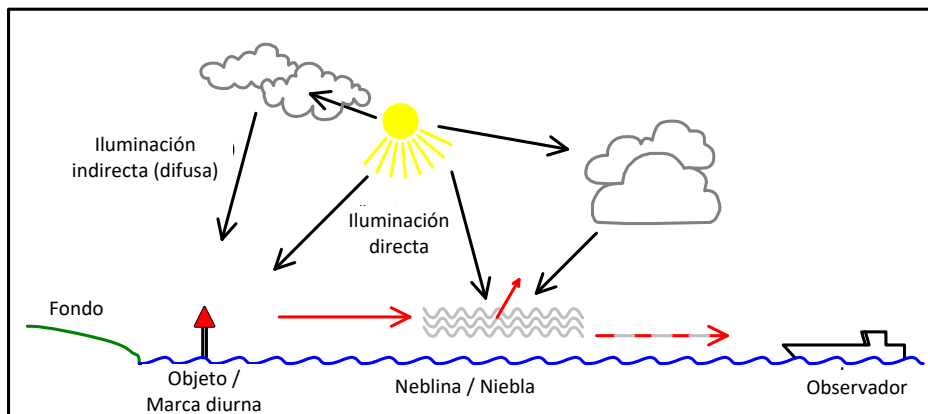


Figura 1 *Proceso de información*

4.3. PERCEPCIÓN VISUAL

Cuando se diseña una marca diurna, hay dos aspectos diferentes que afectan a la percepción visual que se deben considerar.

- 1 Un observador lejano tiene que identificar la marca diurna. La calidad de la marca diurna se puede describir por su alcance: la distancia máxima a la que puede identificarse la marca diurna (bajo ciertas condiciones).
- 2 Deben tenerse en cuenta las condiciones locales, de modo que la marca diurna sea conspicua y destaque de un fondo complejo.

5. LA MARCA DIURNA – OBJETO

5.1. PERFIL

La marca diurna tiene un perfil tridimensional (3D). Al avistar la marca diurna, el usuario percibe una forma bidimensional (2D), que es una proyección del perfil tridimensional (3D).

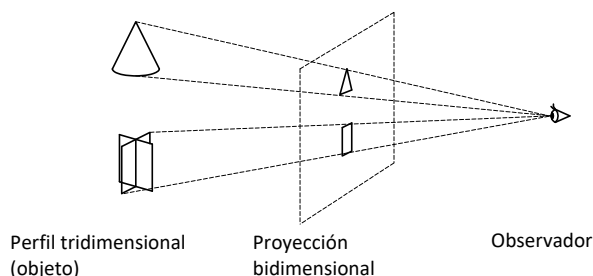


Figura 2 *Percepción de un objeto extenso*

La construcción en tres dimensiones (3D) del perfil de una marca diurna ejerce una influencia importante en la forma bidimensional (2D) que se observa desde diferentes direcciones.

Para las marcas diurnas de ayudas a la navegación se emplean las siguientes construcciones.

5.1.1. MARCA DIURNA PLANA

Una marca diurna plana se puede utilizar cuando la posición del observador es casi perpendicular a la superficie. Como sólo existe un elemento de superficie, que se orienta hacia una única dirección, la superficie tiene la misma apariencia en todas las situaciones.

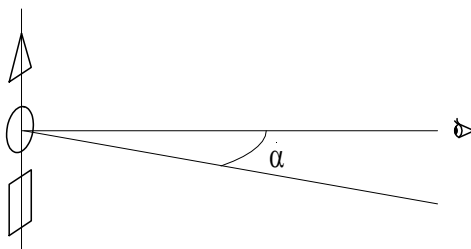


Figura 3 *Marca diurna plana y la línea entre la vertical de la superficie y la dirección del observador*

La forma proyectada hacia la dirección del observador varía según el ángulo entre la vertical y el observador (Figura 4). Incluso para ángulos de entre 15° y 30°, se puede identificar la forma. Una marca diurna plana es el tipo de construcción recomendado para enfilaciones (marcas diurnas de alcance, [5]).

Cuando el ángulo de utilización es de 60° (+/-30°) o menos, se deben utilizar para todos los otros tipos de marcas diurnas. En estos casos, se debe considerar la orientación de la marca diurna (plana) con respecto al tráfico marítimo.

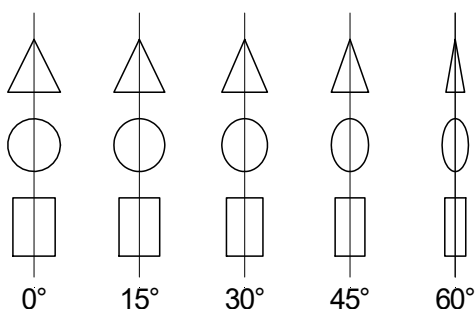


Figura 4 *Forma proyectada (visible) de una marca diurna plana*

5.1.2. MARCA DIURNA SÓLIDA CON SIMETRÍA ROTACIONAL

Una marca diurna que muestra la misma forma en todas las direcciones horizontales debe tener simetría rotacional en torno al eje vertical. Las tres formas que figuran en el MBS de la IALA son cilindros, conos y esferas. Como las formas son tridimensionales, es posible que la superficie proyectada no sea homogénea, debido a las sombras, tal y como se muestra en la Figura 5.

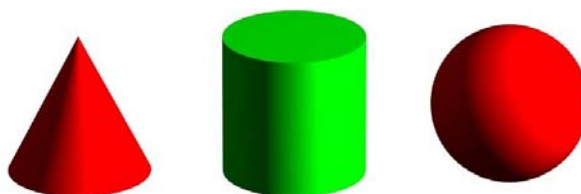


Figura 5 *Perfiles con simetría rotacional*

Se pueden emplear marcas diurnas sólidas y omnidireccionales para alcances reducidos. Tanto el tamaño como el peso de una marca diurna sólida limitan su uso para alcances mayores. Una solución intermedia puede ser el uso de construcciones de planchas cruzadas o de celosía.

Algunas autoridades competentes están investigando materiales alternativos para su uso en marcas diurnas sólidas. Por ejemplo, la Administración Marítima Sueca (SMA) está realizando una investigación sobre el uso del caucho o de cerdas flexibles de plástico para crear marcas diurnas más resistentes a las condiciones severas del hielo.

5.1.3. PLANCHAS CRUZADAS

Se pueden utilizar planchas cruzadas para marcas de tope y para resaltar la forma de las boyas. Requieren menos material, pesan menos y son fáciles de fabricar. Cuando el material es de metal, las planchas cruzadas también pueden funcionar como un reflector de radar.

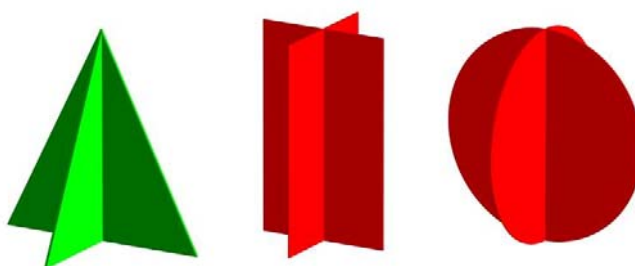


Figura 6 Perfiles con planchas cruzadas

5.1.4. CONSTRUCCIÓN DE CELOSÍA

Una construcción de celosía es similar a las tres formas anteriores, pero la estructura es discontinua. En general, se emplea para marcas diurnas de grandes dimensiones, a fin reducir el peso y la carga de viento.

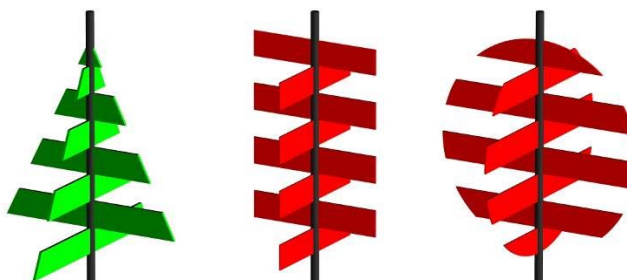


Figura 7 Construcción de celosía derivada de planchas cruzadas

Cuando se observa desde una gran distancia, los huecos (o vacíos) reducen el contraste de la marca diurna.

Figura 7 sólo muestra planchas cruzadas; sin embargo, una construcción de celosía se puede emplear tanto para marcas diurnas planas como para marcas diurnas con simetría rotacional (Figura 8).



Figura 8 Construcción de celosía de una boya lateral

Como regla general, la superficie proyectada de la zona sólida de una marca diurna debe ser mayor que el hueco.

5.1.5. COMPARATIVA DEL PERFIL TRIDIMENSIONAL

El diseño preferido es el de una marca diurna plana, porque la superficie entera tiene la misma apariencia de color y brillo. Sin embargo, sólo puede emplearse para un arco limitado de utilización (ángulo de observación).

La superficie proyectada de una marca diurna sólida no tiene un aspecto uniforme y puede tener sombras (véase la Figura 5). Las planchas cruzadas presentan aún más sombras y una construcción de celosía tiene menos contraste.

Tabla 2 Comparativa de perfiles

Perfil tridimensional	Funcionamiento visual	Limitación
Plano	mejor	Únicamente para ayudas fijas a la navegación
Sólido	bueno	El mejor diseño para boyas
Planchas cruzadas	aceptable	
Construcción de celosía	aceptable	Contraste reducido

5.2. LUMINANCIA DEL OBJETO

La luminancia es el brillo de un objeto y se define como la intensidad luminosa por unidad del área proyectada de cualquier superficie, tal y como se mide desde una dirección determinada (véase la Recomendación E-200 de la IALA relativa a las Señales Luminosas Marítimas, Parte 3, Medición).

Depende del perfil, el color, la iluminación del objeto y la orientación de los elementos de la superficie. Las partes de la marca diurna podrían tener diferentes niveles de luminancia a causa de diferentes orientaciones o efectos de sombra.

La luminancia puede cambiar debido al envejecimiento de la superficie. En la mayoría de los casos, los colores ordinarios tienden a desaturarse, dando como resultado una mayor luminancia. En cuanto a los colores fluorescentes, la luminancia puede ser mayor o menor, en función del material específico.

5.3. COLOR DE LA SUPERFICIE

5.3.1. ESPECIFICACIÓN

El color de la superficie se describe por un factor de luminancia β y dos coordenadas cromáticas x , y (véase la Recomendación E-108 de la IALA sobre los colores de superficie).

El MBS de la IALA utiliza 6 colores: el rojo, el amarillo, el blanco, el verde, el azul y el negro. La siguiente figura muestra el diagrama cromático estándar de la CIE y la ubicación de los cinco colores (el blanco y el negro se encuentran en el punto acromático).

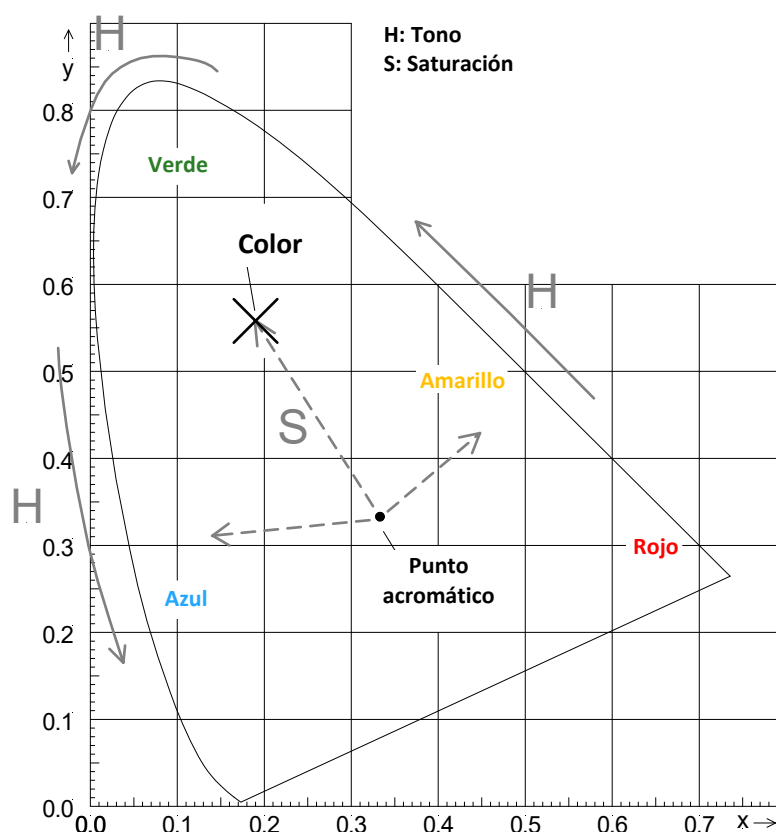


Figura 9 Diagrama cromático estándar de la CIE

Nota

Aunque exista un límite de color de superficie para el color naranja, no se recomienda su uso como un color de superficie debido a que se puede confundir con el amarillo y el rojo.

De acuerdo con el MBS de la IALA, el factor luminoso y las coordenadas cromáticas deben cumplir las especificaciones establecidas para su utilización en la Recomendación E-108 de la IALA. Dichas especificaciones dejan libertad para ajustar el color a una condición específica de observación.

Un color no fluorescente (color ordinario) sólo puede reflejar la luz que incide en la superficie. Para producir un color específico, se debe absorber la otra parte espectral de la luz que incide en la superficie. Para lograr un color muy saturado, la parte del espectro absorbido debe ser muy amplia y la parte reflejada muy reducida. Por lo tanto, una saturación alta sólo está disponible para los colores con una luminancia baja. Por consiguiente, se tiene que llegar a un compromiso entre los niveles de saturación y de luminancia para los colores ordinarios.

En cuanto a los colores fluorescentes, se puede lograr un nivel mayor de luminancia y de saturación.

Por razones prácticas, es mejor describir el color mediante colecciones de colores. Actualmente, la IALA da apoyo a dos colecciones de colores, mundialmente conocidos:

- El sistema sueco de colores naturales (*Swedish Natural Color System - NCS*);
- El sistema alemán RAL de colores (*German RAL Colour*).

La siguiente tabla muestra los colores recomendados de acuerdo a las dos colecciones. Para más información, véase la Recomendación E-108 de la IALA.

Tabla3 Valores para el factor de luminancia β y los números RAL y NCS

Color	Recomendación E-108 de la IALA					Máximo (fluorescente)
	Ordinario			Fluorescente		
	β	NCS	RAL	β	RAL	β
Rojo	> 0,07	S 1085-Y80R	3028	> 0,25	3024	≈ 0,50
Amarillo	> 0,50	S 1080 Y	1023	> 0,60	-	≈1,00
Verde	> 0,10	S 2070-G10Y	6037	> 0,25	6038	≈ 0,50
Azul	> 0,07	S 4050-R90B	5017	-	-	-
Blanco	> 0,75	S 0500-N	9016	-	-	-
Negro	< 0,03	S 9000-N	9017	-	-	-

El color de superficie puede producirse mediante:

- Películas, láminas;
- Pintura;
- Plásticos de color homogéneo.

5.3.2. ENVEJECIMIENTO DEL COLOR

Existen varios aspectos que inciden en el envejecimiento del color. El deterioro del color puede ser debido a las siguientes influencias:

- El desvanecimiento del pigmento de color debido a la degradación ultravioleta;
- La abrasión mecánica de la superficie;
- Las incrustaciones marinas y los excrementos de las aves (el color se oculta tras una capa natural).

El desvanecimiento del pigmento de color suele resultar en una pérdida de saturación del color y esto significa que se desplace hacia el punto acromático.

5.3.3. LÁMINAS RETRORREFLECTANTES

No debe emplearse una superficie retrorreflectante para una marca diurna entera. El principio retrorreflectante sólo funciona cuando la superficie se ve iluminada de noche por un foco ubicado cerca del observador. De día, los colores retrorreflectantes presentan una luminancia baja y no son muy conspicuos.

Por este motivo, la industria ha introducido láminas fluorescentes retrorreflectantes. Sin embargo, los colores disponibles se fabrican para el tráfico rodado y no hay un conjunto completo de láminas para los colores del MBS de la IALA.

Las láminas retrorreflectantes se puede utilizar en algunas partes pequeñas de una boya ciega, para que el navegante, mediante el uso de un foco, pueda detectar de noche su posición y color.

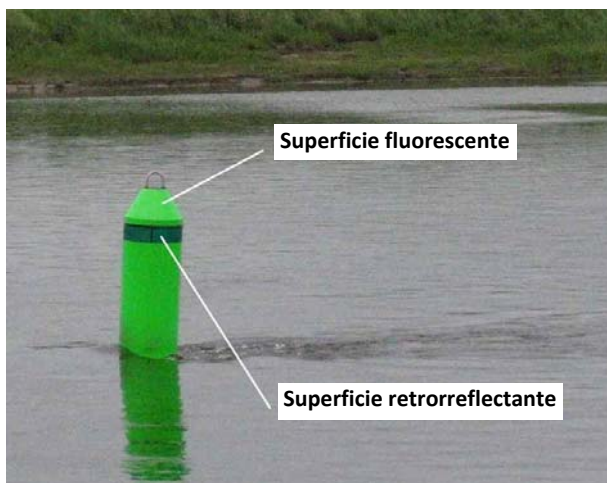


Figura 10 *Aplicación típica de láminas retrorreflectantes en una boya*

5.4. TAMAÑO

El tamaño de una marca diurna está directamente relacionado con su alcance. Como se indicó en el apartado 5.1, el observador percibe una proyección del objeto real, y son relevantes las dimensiones laterales de dicha proyección para la estimación del alcance de la marca diurna.

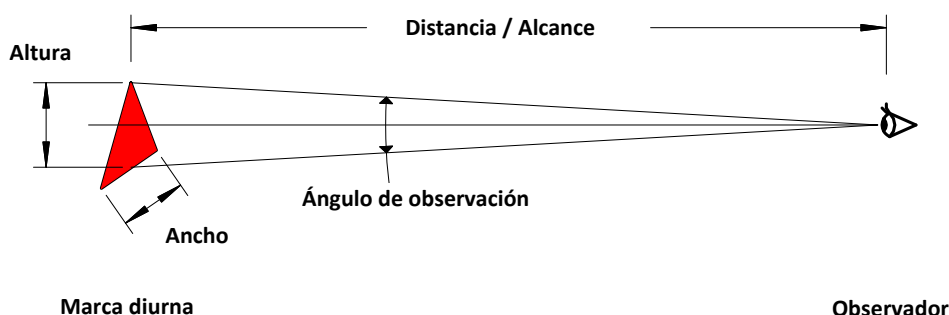


Figura 11 *Extensión lateral y alcance de una marca diurna*

La amplitud angular α (ángulo de observación) de la marca diurna se puede calcular por:

- α [radianes] $\approx$ altura / distancia (para el ángulo vertical);
- α [radianes] $\approx$ ancho / distancia (para el ángulo horizontal).

Mediante estas fórmulas, se puede demostrar que el alcance de una marca diurna depende del ángulo mínimo de observación útil $\alpha_{\min}$ asignado a la misma:

- Alcance $\approx$ (dimensión lateral) / $\alpha_{\min}$ [radianes];
- Dimensión lateral: altura o ancho.

El ángulo mínimo de observación útil para una marca diurna concreta depende de todos los parámetros mencionados en el apartado 4.2. Existen convenciones diferentes para dicho ángulo.

En la Conferencia de la IALA de 1990, se presentó una publicación de la IALA sobre símbolos y rótulos, que incluye una convención sobre el ángulo mínimo de observación útil para muchas señales de tipo CEVNI y SIGNI [4].

5.5. LA COMBINACIÓN DE COLORES

Muchas de las marcas diurnas del Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA consisten en una combinación de colores; p. ej. las marcas cardinales o de peligro aislado.

Para la identificación de una marca diurna, debe poderse reconocer la configuración de los colores de las franjas.

En la Figura 12, el tamaño vertical del objeto se percibe como un factor que limita el alcance de la marca diurna. En el alcance d , el objeto de un solo color aparece a un ángulo de observación α del observador. Cuando el mismo objeto tiene múltiples colores para presentar una marca de peligro aislado, el observador tiene que reconocer cada franja de la misma forma que el objeto de un solo color.

Entonces, aunque las alturas de ambas marcas diurnas sean iguales, el alcance de la marca de peligro aislado será de tan sólo una tercera parte del alcance del objeto de un solo color, debido al tamaño global del color único y la mayor luminancia de la franja roja.

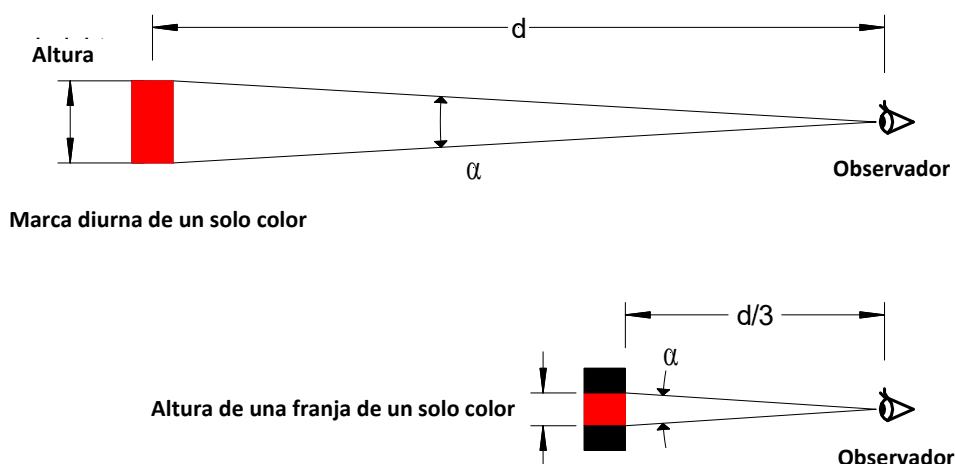


Figura 12 *Marcas diurnas de un solo color y de colores múltiples*

Aunque este cálculo no sea exacto porque no se tuvo en cuenta la dimensión horizontal, en términos generales puede afirmarse que:

El alcance de una marca diurna de múltiples colores es bastante menor que el alcance de una marca diurna de un solo color del mismo tamaño.

6. CONDICIONES DE OBSERVACIÓN - MEDIOS

6.1. DISTANCIA DE OBSERVACIÓN

El primer aspecto de las condiciones de observación es la distancia que media entre la marca diurna y el observador y sus posiciones verticales. Debido a la curvatura de la Tierra, la marca diurna debe tener cierta altura para que se pueda ver sobre el horizonte.

La altura mínima $h_{b,min}$ de la parte más baja de la marca diurna viene dada por la fórmula para el alcance geográfico R_g .

$$R_g = 2.03 \times (\sqrt{h_o} + \sqrt{h_{b,min}})$$

Ecuación 1 Alcance geográfico

Donde:

R_g = alcance geográfico (en millas náuticas)

h_o = elevación del ojo del observador (en metros)

h_b = elevación de la base de la marca diurna (en metros)

La constante es para compensar la curvatura de la Tierra y los factores atmosféricos [18]. Las variaciones climáticas en diferentes partes del mundo dan lugar a que se recomienden diferentes factores. El rango típico de factores es de entre el 2,03 y el 2,12.

Si existieran obstrucciones reales o potenciales entre el observador y la marca diurna, puede que sea necesario modificar la altura para compensar dicha obstrucción.

O muestra algunos ejemplos de los alcances que se pueden lograr, según la elevación del observador y la elevación de la base de la marca diurna que se observa.

Tabla 4 Alcance geográfico en millas náuticas (M)

Altura del ojo del observador (en metros)	Elevación de la marca diurna (en metros)								
	0	1	2	3	5	10	20	30	50
3	3,5	5,5	6,4	7,0	8,1	9,9	12,6	14,6	17,9
5	4,5	6,6	7,4	8,1	9,1	11,0	13,6	15,7	18,9
10	6,4	8,4	9,3	9,9	11,0	12,8	15,5	17,5	20,8
20	9,1	11,1	11,9	12,6	13,6	15,5	18,2	20,2	23,4
30	11,1	13,1	14,0	14,6	15,7	17,5	20,2	20,2	25,5
40	12,8	14,9	15,7	16,4	17,4	19,3	21,9	24,0	27,2
50	14,4	16,4	17,2	17,9	18,9	20,8	23,4	25,5	28,7

En la mayoría de las situaciones, el alcance visual de la marca diurna es menor que el alcance luminoso nocturno y, por lo tanto, muchas marcas diurnas sólo se emplean para la navegación de corta distancia. El alcance geográfico de una marca diurna suele ser mucho mayor que el alcance visual de la misma. Por tanto, el alcance geográfico de una marca diurna no es crítico en el proceso de diseño.

6.2. VISIBILIDAD METEOROLÓGICA

La visibilidad meteorológica es una forma de describir la atenuación atmosférica de la luz a través de la atmósfera.

Definición (diccionario de la IALA):

2-1-280 Visibilidad meteorológica

La mayor distancia a la que un objeto negro de las dimensiones adecuadas puede verse y reconocerse de día contra el cielo del horizonte o, en el caso de observaciones nocturnas, a la que se podría ver y reconocer si la iluminación general se eleva al nivel diurno habitual. El término puede expresar la visibilidad en una única dirección o la visibilidad predominante en todas las direcciones.

La visibilidad meteorológica no equivale al alcance de la marca diurna. La definición describe un método de cómo estimar la visibilidad de la atmósfera. El objeto ha de ser negro para garantizar el contraste máximo contra el cielo de día y tiene que ser muy grande para proporcionar un ángulo de observación suficiente para el observador. En la práctica, se puede emplear una montaña boscosa o un edificio oscuro.

Una marca diurna de ayuda a la navegación tiene un color de acuerdo con el MBS de la IALA y, por tanto, un contraste menor que el negro. Además, el tamaño de la marca diurna es reducido. Desde este punto de vista, en términos generales, se puede afirmar que:

El alcance de una marca diurna es siempre menor que la visibilidad meteorológica.

6.3. LEY DE KOSCHMIEDER

El contraste aparente de un objeto en la posición del observador (contraste del observador) es un parámetro relevante para la visibilidad de un objeto.

El contraste C se define por (véase el diccionario de la IALA):

$$C = \frac{L_o - L_b}{L_b}$$

Ecuación 2 Contraste luminoso

Donde

C es el contraste aparente de un objeto contra un fondo de cielo

L_o es la luminancia del objeto

L_b es la luminancia de fondo

En la Figura 13, se ilustra la dispersión de la luz en la atmósfera. Cierta cantidad de la luz (coloreada) que se desplaza en la dirección del observador se dispersa por la atmósfera en una dirección diferente y se pierde (1). Asimismo, parte de la luz (del fondo o la luz del sol) se dispersa en la dirección del observador (2).

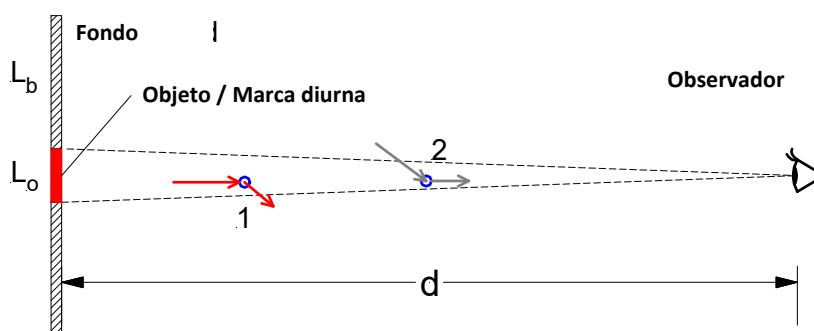


Figura 13 Ilustración simplificada de la dispersión de la luz en la atmósfera

La ley de Koschmieder afirma que el contraste de observación a una distancia d es equivalente a:

$$C(d) = C(0) \times e^{-z \cdot d}$$

Ecuación 3 Contraste de observación

Donde:

C_o , el contraste fotométrico, es el contraste sin tener en cuenta la atenuación atmosférica y se mide justo frente a la marca diurna.

C_d , el contraste de observación, es el contraste tal y como lo ve un observador lejano y tiene en cuenta la atenuación atmosférica.

z es el factor exponencial (la atenuación total incluye la absorción y la dispersión)

d es la distancia

Según la Recomendación E-200-2 de la IALA, la fórmula se puede expresar utilizando la transmisividad atmosférica T_M .

$$C(d) = C(0) \times T_M^d$$

Ecuación 4 Contraste de observación usando la transmisividad atmosférica

Donde:

C_d es el contraste de observación

T_M es la transmisividad atmosférica de una milla náutica

d es la distancia en millas náuticas

Cuando se emplea la visibilidad meteorológica V , la fórmula se convierte en:

$$C(d) = C(0) \times 0.05^{d/V}$$

Ecuación 5 Contraste de observación usando la visibilidad meteorológica

Donde:

V es la visibilidad meteorológica en millas náuticas

d es la distancia en millas náuticas

Aunque se acepte la ley de Koschmieder como base de muchos cálculos, se debe indicar que está basada en un modelo físico muy sencillo; la atmósfera debe ser homogénea y la iluminación uniforme y difusa.

La ley de Koschmieder no es exacta, en particular cuando se trata de iluminación directa por luz solar, porque la cantidad de luz que se dispersa en la dirección del observador depende de la posición del sol.

En el ANEXO A, se presenta una descripción física de la ley de Koschmieder.

6.4. FACTORES CONDICIONANTES

El contraste C depende de la luminancia de la marca diurna y del fondo a su alrededor, por lo que la detección visual de la marca diurna está muy condicionada por el fondo.

El fondo se puede dividir en tres grupos principales:

- La superficie del agua cerca del horizonte;
- El cielo cerca del horizonte;
- La costa con diferentes paisajes o edificaciones.

Todos los fondos pueden cambiar con las condiciones atmosféricas y estacionales.

Para ampliar lo anterior:

Superficie del agua:

- Cambios con el viento y las olas;
- Hielo en invierno;
- Reflejos de la luz del sol.

Cielo:

- Cielo azul, cielo rojo;
- Nubes;
- El sol detrás de la marca diurna.

Costa:

- La vegetación en el verano y el invierno;
- La nieve.

Como la marca diurna es estática, es preciso hacer algunas suposiciones sobre qué tipo de fondo prevalecerá a lo largo del tiempo.

6.4.1. EL CIELO COMO FONDO

Para los buques pequeños, la marca diurna se verá ante el cielo del horizonte.

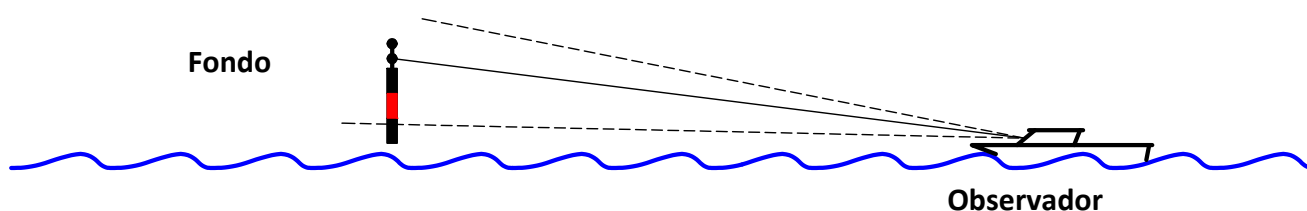


Figura 14 El cielo como fondo

Aunque el tamaño de las marcas de tope sea reducido, las marcas de tope negras de las marcas cardinales y de peligro aislado de la IALA tienen el mejor contraste (una marca de tope negra enfrente de un cielo luminoso).

6.4.2. EL SOL DETRÁS DE UNA MARCA DIURNA

Cuando el sol es visible al atardecer o a la salida del sol, el reconocimiento de una marca diurna es pobre. En muchas situaciones, los símbolos y los colores no podrán reconocerse. Sin embargo, se podrá identificar la forma (el contorno) de la marca diurna.

6.4.3. LA SUPERFICIE DEL AGUA COMO FONDO

En cuanto a los buques grandes y las ayudas flotantes, la posición vertical del observador es mucho más alta que la posición de la marca diurna, de modo que el fondo de la observación es la superficie del agua.

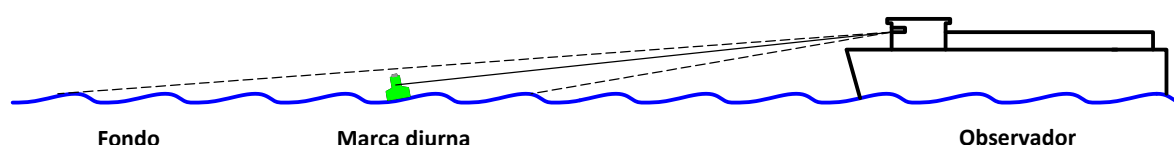


Figura 15 La superficie del agua como fondo

Una superficie de agua lisa funciona como un espejo perfecto para los ángulos de incidencia planos. No obstante, debido al encrespamiento del mar a causa del viento y las olas, la luminancia de la superficie del agua es menor que la del cielo.

Unas mediciones realizadas en el Mar Báltico demostraron que la luminancia de la superficie del agua es aproximadamente el 50% de la luminancia del cielo en el horizonte (véase el ANEXO B).

6.4.4. EL PAISAJE COMO FONDO

Cuando el paisaje o la costa es el fondo de la marca diurna, el contraste depende del “albedo”, o la reflectancia del paisaje. Con respecto a la superficie del agua, el paisaje tiene un aspecto más oscuro que el cielo en la mayoría de las situaciones. En la mayoría de los casos, el valor del albedo es idéntico al factor de luminancia (véase [14]).

Tabla 5 Albedos de diferentes superficies [15]

Superficie	Albedo típico
Asfalto	0,04 - 0,12
Bosque	0,08 - 0,15
Suelo desnudo	0,17
Hierba verde	0,25

Desierto	0,40
Hormigón nuevo	0,55
Hielo oceánico	0,5 - 0,7
Nieve fresca	0,8 - 0,9

7. EL OBSERVADOR

7.1. LA RESOLUCIÓN DEL OJO Y LA AMPLITUD ANGULAR

En el ANEXO C, se presenta un modelo sencillo del ojo humano.

Con muy buena visión, es posible que el observador pueda resolver objetos con una apariencia de menos de 1' (minuto de arco), pero no podrá identificarlos. Por lo tanto, el ángulo útil de observación mínimo debe ser superior a 1'.

Esto significa que:

1 minuto de arco es el límite inferior para cualquier ángulo útil de observación de una marca diurna.

7.2. MARCAS DIURNAS NO UNIFORMES

Una consecuencia de la resolución limitada del ojo es la percepción visual de una construcción de celosía o de una marca diurna de dos colores.

Como ya se ha mencionado, la calidad de una marca diurna de ayuda a la navegación depende de en qué medida se puede identificar desde una distancia lejana. La marca diurna aparecerá más pequeña cuando se avista desde lejos.

En la Figura 16, se muestran los resultados para tres diferentes tipos de marcas diurnas: un cuadrado sólido de color verde, una construcción de celosía de color rojo y una marca diurna de dos colores, rojo y verde.

Desde una distancia lejana, las franjas de la construcción de celosía se funden con el fondo gris. En cuanto a la marca diurna de dos colores, también se funden ambas partes, la roja y la verde.

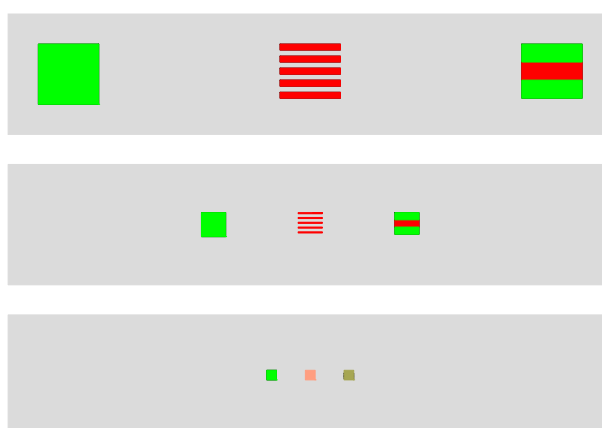


Figura 16 *Influencia del ángulo de observación en marcas diurnas no uniformes*

En ambos casos, el contraste percibido a una distancia lejana se convierte en el valor medio de la proyección entera de la marca diurna. En cuanto a la construcción de celosía, esto reduce el contraste inmediatamente; p. ej. si la celosía y el hueco son del mismo tamaño, el contraste será la mitad del valor de una franja única.

El color de la marca diurna visto desde la lejanía será la mezcla de los colores individuales de los elementos. En el caso de la construcción de celosía, el rojo y el gris se mezclan en un rojo no saturado. El verde y el rojo producen un color marrón (amarillo oscuro).

Por su parte, la marca diurna sólida tendrá el mismo aspecto a diferentes distancias hasta que desaparezca.

Desde este punto de vista, una marca diurna sólida y de un mismo color tiene el mejor rendimiento visual (véase también el apartado 5.5).

Cuando son iluminados directamente por la luz solar, los elementos tridimensionales de las superficies de una marca diurna pueden emitir diferentes luminancias (véase la Figura 17).



Figura 17 *Iluminación directa de una marca diurna (plana, cónica y de planchas cruzadas)*

La marca diurna plana, por su parte, presenta al observador una superficie homogénea, mientras que las superficies proyectadas de los otros diseños se rompen en zonas de menor y mayor luminancia. El ojo tiende a preferir las superficies de mayor brillo, de modo que la superficie efectiva proyectada es de menor tamaño en el caso del cono y de las planchas cruzadas.

7.3. RECONOCIMIENTO DE LA FORMA

En la Figura 18, se muestra que el ángulo de observación tiene que ser mayor a 1' (la resolución del ojo) para el reconocimiento de formas sencillas.

Como regla general, la proyección de una forma sencilla debe aparecer a una amplitud de ángulo de aproximadamente 3' (= 0,873 mrad) para que se pueda identificar. Por razones de seguridad, puede aumentarse dicho valor.

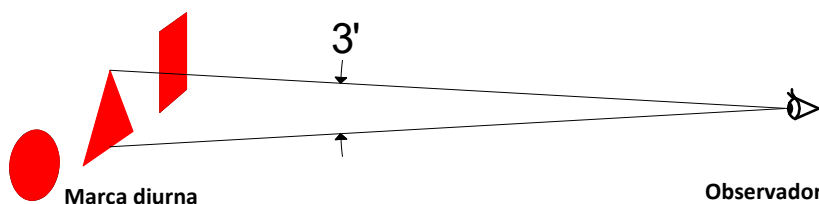


Figura 18 *Reconocimiento de formas sencillas*

En la siguiente tabla se presentan algunas convenciones sobre el alcance de las marcas diurnas (DR, del inglés *daymark range*).

Tabla 6 Convenciones sobre el alcance y el ángulo mínimo de observación

Objeto	Dimensión	1 (Brasil)	2 (IALA 1983)	3 (Alemania)
Cilíndrica		4,1' DR. = 833 * B	6,9' DR. = 500 * B	3' DR. = 1146 * B
Esférica		4,1' DR. = 833 * B	6,9' DR. = 500 * B	3' DR. = 1146 * B
Cónica		2,75' DR. = 1250 * B	6,9' DR. = 500 * B	3' DR. = 1146 * B

1 Manual de Sinalização Náutica del Servicio Brasileño de Faros[17].

2 Guía del Sistema de Balizamiento Marítimo, 1983 y NAVGUIDE de la IALA [10].

3 Ponencia alemana, 1987, [18].

0 muestra los valores típicos de los alcances de marcas diurnas para un ángulo de observación concreto.

Tabla 7 Valores típicos de alcances de las marcas diurnas

Alcance operativo		Dimensiones laterales en metros [m]				
		Ángulo de observación				
[km]	[MN]	1' (0,291 m rad)	2' (0,582 m rad)	3' (0,873 m rad)	4' (1,16 m rad)	5' (1,45 m rad)
1	0,54	0,29	0,58	0,87	1,16	1,45
2	1,08	0,58	1,16	1,75	2,32	2,91
3	1,62	0,87	1,75	2,62	3,48	4,36
4	2,16	1,16	2,33	3,49	4,64	5,82
5	2,70	1,45	2,91	4,37	5,80	7,27
10	5,40	2,91	5,82	8,73	11,64	14,54
15	8,10	4,36	8,72	13,09	17,45	21,82

7.4. CONTRASTE NECESARIO

Para un único objeto, el contraste se define por (véase el apartado 6.3):

$$C = \frac{L_o - L_b}{L_b}$$

Ecuación 6 Contraste para un único objeto

Donde:

L_o = Luminancia del objeto

L_b = Luminancia de fondo

Bajo condiciones ideales, un contraste de 0,02 es suficiente para la detección de un objeto negro de grandes dimensiones ante un horizonte del cielo (véase el diccionario de la IALA). Para la observación práctica, se acordó fijar el valor mínimo del contraste necesario en 0,05.

Para grandes distancias de observación y para marcas diurnas de colores que no se avistan contra el cielo, el contraste necesario tiene que ser mucho mayor que 0,05.

M. P. Blaise presentó una teoría sobre el contraste necesario para objetos pequeños en función del ángulo de observación en el Boletín de la IALA de abril 1971 (véase el ANEXO D). No obstante, esta teoría se basa en la detección simple y no en el reconocimiento y, además, no incluye la diferencia de color respecto al fondo.

7.5. RECONOCIMIENTO DEL COLOR

El reconocimiento del color depende de:

- El brillo del color;
- El tono cromático;
- El contraste con el fondo;
- La diferencia de color con el fondo.

En la mayoría de las situaciones, el fondo tiene un color casi gris, de modo que la diferencia de color depende tan sólo de la saturación de la marca diurna.

El reconocimiento del color es mejor si el fondo es oscuro.

Cuando el fondo es muy luminoso (p. ej. en el ocaso o a la salida del sol), el reconocimiento del color es deficiente.

El tono cromático y la saturación necesarios para los colores de superficie empleados como señales visuales en ayudas a la navegación están definidos por las “regiones cromáticas” de la Recomendación E-108 de la IALA (especificaciones para los colores ordinarios y fluorescentes). Dichas regiones se basan en consideraciones sobre las características fisiológicas del ojo.

8. EL DISEÑO DE MARCAS DIURNAS

8.1. AYUDAS FLOTANTES

Para las ayudas flotantes (principalmente boyas), deben considerarse los aspectos que se relacionan a continuación:

8.1.1. PERFIL TRIDIMENSIONAL

El perfil tridimensional preferido tiene simetría rotacional en torno al eje vertical y es sólido, por lo que la forma proyectada tiene el mismo aspecto para casi todas las posiciones alrededor de la boya. También se pueden

emplear planchas cruzadas y la construcción de celosía para reducir el peso y el coste, pero funcionan peor en cuanto a la percepción visual.

8.1.2. COLOR

En cuanto a las boyas, el fondo es arbitrario: puede ser la superficie del agua, el cielo del horizonte o el paisaje. Por lo tanto, no tiene sentido ajustar el brillo del color. Es mejor que los colores de las boyas se normalicen, con preferencia por los colores saturados y brillantes.

La norma podrá incluir dos cualidades; por ejemplo, colores ordinarios para zonas normales y colores fluorescentes para proporcionar un alto grado de conspicuidad en zonas difíciles. En la Recomendación E-108 de la IALA, pueden encontrarse las colecciones normalizadas de colores.

8.1.3. TAMAÑO Y FORMA DE BOYAS DE UN SOLO COLOR

Una boya de color puede detectarse incluso cuando tiene un contraste (luminancia) de cero respecto a su fondo.

La amplitud angular mínima de una boya de un solo color debe ser de 3'. Por razones de seguridad, se podrá elegir un valor de 4' o 5' para definir el alcance diurno y para calcular el tamaño necesario de una boya.

En muchos casos, se acepta que la altura de la forma de una boya sea mayor que el ancho con una proporción, por ejemplo, de 3 a 1 (véase [13] y [18]), lo que conduce a las formas tradicionales de las boyas.

Se pueden introducir aletas adicionales a la estructura de la boya para mejorar el reconocimiento de la forma (Figura 19). En este caso, la forma de las boyas laterales y esféricas tiene que ser similar a la marca de tope asociada a ellas. Sin embargo, cuando no sea factible, se debe intentar ofrecer la representación que más se asemeje a la forma necesaria de acuerdo con el MBS.

El alcance de la marca diurna se puede determinar utilizando la 0 del apartado 7.3.



Figura 19 *Boyas con aletas para formar la silueta correspondiente al tipo de marca*

8.1.4. TAMAÑO Y FORMA DE BOYAS CARDINALES

El reconocimiento de una boya cardinal se basa o bien en el reconocimiento de las franjas amarillas y negras o bien en la marca de tope (dos conos). En la mayoría de los casos, el cuerpo de la boya es mayor que la marca de tope, por lo que el alcance de las franjas será mayor que el de las marcas de tope.

Como se ha indicado en el apartado 5.5, el alcance como marca diurna de una boya de dos colores es mucho menor que el de una boya de un solo color.

En la siguiente figura, se muestra un diseño típico de una boya cardinal. Las tres franjas tienen diferentes tamaños en función de los distintos diámetros de la boya.

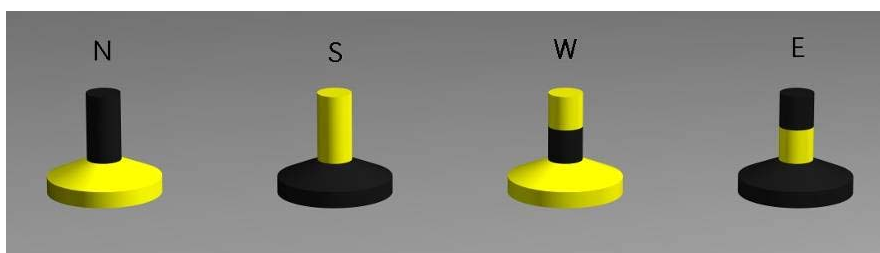


Figura 20 Boyas cardinales tradicionales

A medida que el observador se aleja de la boya, las franjas van haciéndose más pequeñas y desaparecerán en la resolución del ojo. Como son de distintos tamaños, cada franja tiene su propio alcance. A ciertas distancias, la marca diurna de la boya puede ser engañosa; por ejemplo, el observador verá sólo un punto amarillo para el norte y oeste cardinal y lo identificará como una marca especial.

Para evitar esta situación, la boya cardinal preferida presenta cada franja del mismo tamaño, tal y como se muestra en la Figura 21.

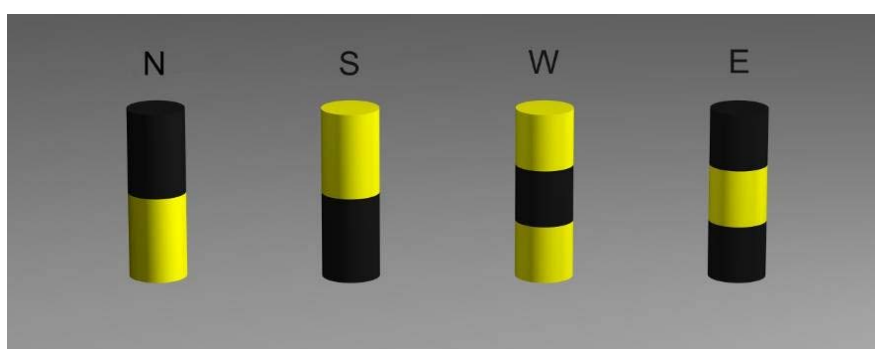


Figura 21 Diseño preferido de boya para optimizar el rendimiento visual

La superestructura, que es la marca diurna de la boya, debe situarse sobre el cuerpo de la base, que podría ser gris o del color adecuado para la marca diurna.

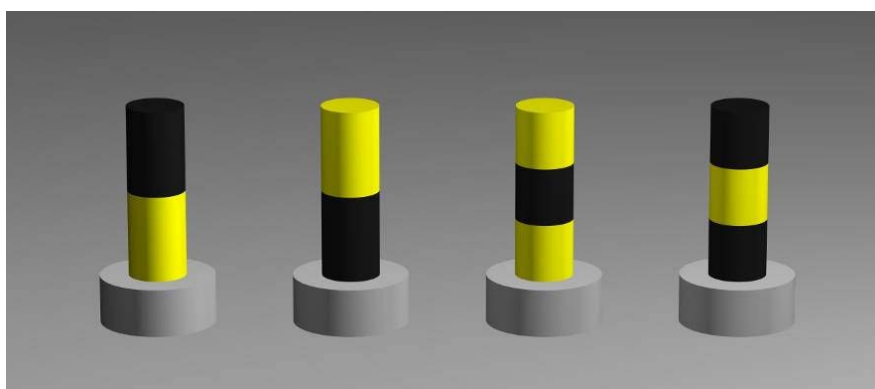


Figura 22 Superestructura y cuerpo de la base

La influencia de la forma de la boya en las marcas cardinales fue investigada por la administración francesa, cuando reemplazaron la forma clásica de boya con la forma cilíndrica (Figura 23).



Figura 23 *Comparativa de una boya tradicional y una de nueva generación*

Mediante ensayos visuales, se confirmó que las boyas cardinales de forma cilíndrica incrementan de manera significativa el alcance de las boyas como marca diurna.

8.1.5. MARCAS DE AGUAS NAVEGABLES Y DE NUEVO PELIGRO

En el MBS de la IALA, estas marcas presentan franjas verticales. No se ha fijado el número de franjas, y se han empleado tres disposiciones principales de franjas.



Figura 24 *Disposición de franjas verticales en una boya de aguas navegables*

Mientras que la disposición “8 x 45°” es muy conspicua a distancias cortas, el ancho de la franja tiene que ser mayor para mejorar el alcance de la marca diurna. Con respecto a la disposición “4 x 90°”, sólo una franja es completamente visible en una dirección. En cuanto a la disposición “6 x 60°”, siempre hay una parte blanca y otra roja visible. Con respecto al alcance de la marca diurna, la disposición óptima es la de “6 x 60°”. Figura 5 muestra un buen ejemplo de cómo lograr la forma de una marca de aguas navegables usando aletas adicionales.



Figura 25 *Ejemplo de una marca de aguas navegables con aletas adicionales*

8.1.6. OBSTRUCCIONES ESTRUCTURALES

En la práctica, una boya necesita equipos adicionales que podrían causar un conflicto con su función como marca diurna, como, por ejemplo, asas de amarre, tornillos, pernos, una escalera, una linterna o paneles solares.

La tarea consiste en minimizar el efecto negativo de todas estas piezas adicionales, lo que se puede lograr adoptando las siguientes medidas:

- En la medida de lo posible, las piezas adicionales deben presentar el mismo color que el de la boya;
- Cuando la posición de la pieza se pueda mover, deberá hacerlo de manera que no ponga en peligro las características navegacionales de la boya;
- Si el color de los equipos adicionales no puede ser el mismo que el de la boya, debe ser de color gris claro (p. ej. RAL 7042).

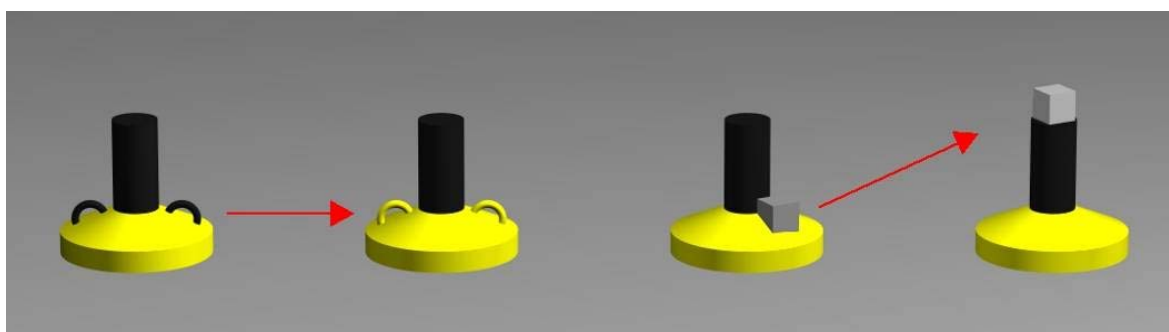


Figura 26 *Piezas adicionales en una boya*

8.1.7. PANELES SOLARES

La obstrucción estructural más significativa en una boya con equipo luminoso son los paneles solares. El color del panel solar suele ser de color azul oscuro, que, a gran distancia, parece negro. Existen paneles solares de colores, pero su eficiencia eléctrica es muy baja y, por lo tanto, no son adecuados.

Es posible que los paneles de color azul oscuro dificulten la identificación de una boya cardinal. Por ejemplo, si una disposición de paneles se coloca sobre una boya cardinal sur, ésta puede confundirse con una cardinal este.

Para evitarlo, los paneles solares deben colocarse en la parte negra de la boya cardinal.

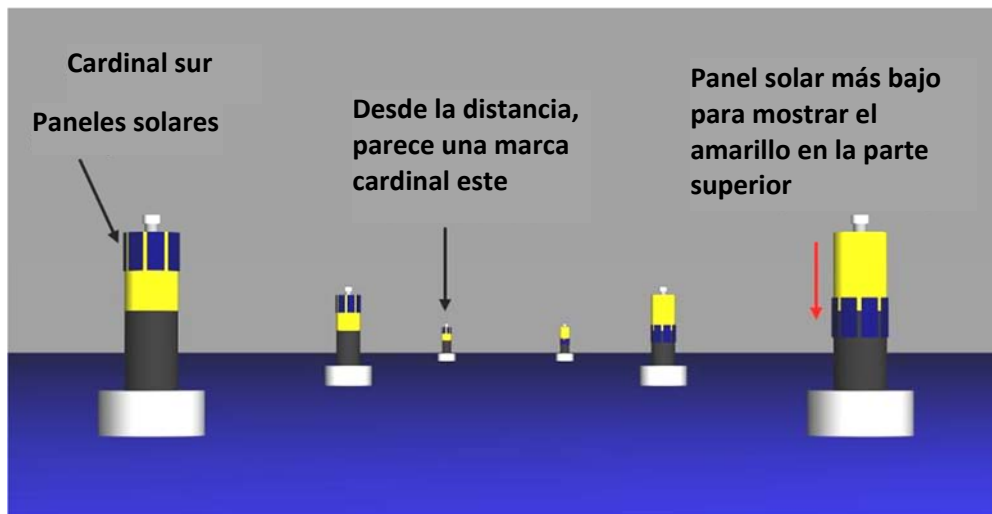


Figura 27 *Conflicto entre paneles solares y marcas cardinales*

Las fotografías que figuran a continuación muestran ejemplos de boyas cardinales bien diseñadas. En la foto de la izquierda, la forma es cilíndrica y las franjas negras y amarillas son del mismo tamaño. Los paneles solares se han colocado en la parte negra de la marca diurna de la boya. La parte inferior es de color gris y, por lo tanto, neutra. Se ha empleado una construcción de celosía para minimizar la carga del viento. La foto de la derecha muestra una boya con aletas adicionales para incrementar la superficie visible de la marca diurna.



Figura 28 *Boyas cardinales optimizadas*



Figura 29 *Distribución de paneles solares en una marca de aguas navegables.*

Figura 29 muestra que la ubicación de los paneles solares es importante para maximizar las características de la marca diurna.

8.1.8. MARCAS DE TOPE

En general, las marcas de tope de boyas son mucho menores que la boya en sí y, por lo tanto, también es menor el alcance visual de la marca de tope.

No obstante, las marcas de tope juegan un papel importante en la confirmación de las características de la ayuda a la navegación mediante el uso de prismáticos o cuando uno se encuentre a una distancia inferior a la distancia de reconocimiento de la ayuda a la navegación en su conjunto.

Las marcas de tope son opcionales en toda clase de boyas, pero el MBS de la IALA recomienda firmemente el uso de marcas de tope en marcas cardinales y de peligro aislado.

Se pueden utilizar boyas en ubicaciones expuestas al hielo anual a la deriva, posiblemente de grosor considerable, que es capaz de destruir los equipos montados en el cuerpo de la boya. Cabe la posibilidad de que no sea factible el uso de marcas de tope en tales situaciones.

8.1.8.1. Forma

Las formas utilizadas en el MBS de la IALA incluyen conos, esferas, cilindros, formas en X y cruces (marca de peligro nuevo) y se pueden fabricar con los perfiles mostrados en el apartado 5.1.

8.1.8.2. Dimensiones

Las dimensiones tienen que ser tan grandes como sea posible, teniendo en cuenta su impacto en la estabilidad de la boya. Las guías del Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA [11] definen la relación entre el tamaño de la marca de tope y el de la boya. La dimensión X, tal y como se muestra en la Figura 29, originalmente se definió como entre el 25% y el 30% del diámetro de la boya. Sin embargo, una cifra más práctica es de entre el 15% y el 25%.

MARCAS CARDINALES	Marcas de tope cardinales N / E / S / O
LATERALES	Marcas de tope laterales (Región A)
MARCAS ESPECIALES Y DE PELIGRO NUEVO	
MARCAS DE AGUAS NAVEGABLES Y DE PELIGRO AISLADO	

Figura 30 *Proporciones de las marcas de tope*

8.2. AYUDAS FIJAS

Casi todas las marcas definidas por el MBS de la IALA para boyas se emplean en ayudas fijas. Por lo tanto, la información proporcionada con antelación para boyas también puede emplearse para ayudas fijas.

No obstante, en cuanto a las ayudas flotantes, existen muchas limitaciones de diseño debido a las características flotantes y a los aspectos relacionados con el mantenimiento.

En cuanto a las ayudas fijas, hay más libertad en el diseño de las marcas diurnas.

Por ejemplo:

- Una marca diurna fija puede ser mucho mayor y más alta, proporcionando así un mayor alcance a la misma;
- Se puede emplear un sistema específico de colores para identificar una ayuda fija en concreto;
- Puede ser plana;
- Se puede diseñar para un fondo específico;
- Puede llevar un panel trasero para presentar mayor contraste;
- El diseño de la marca diurna debe considerar las condiciones ambientales, tales como el oleaje o el hielo;
- La estructura de soporte de una marca diurna puede convertirse en una parte de la misma o utilizarse para incrementar la conspicuidad (Figura 31).



Figura 31 Estructura soporte utilizada como marca diurna

8.2.1. FAROS TRADICIONALES

La utilización de franjas es un método tradicional para aumentar la conspicuidad de los faros como marcas diurnas. Con respecto al alcance de la marca diurna, los edificios deben tener un solo color para aumentar el alcance lo máximo posible. Una combinación roja y blanca de colores se utiliza para mejorar la conspicuidad y, al mismo tiempo, aceptar un menor alcance para la marca diurna.

Debido a su alto grado de conspicuidad, la combinación de rojo y blanco también se utiliza extensamente para marcas diurnas aeronáuticas y para señales de tráfico rodado.



Figura 32 Franjas horizontales rojas y blancas

También puede emplearse una combinación de colores para identificar una marca diurna. Debido a este motivo, se pueden usar diseños geométricos especiales (p. ej. rombos) o una combinación diferente de colores (verde y blanco).



Figura 33 ***Diseño de rombos para la marca diurna de un faro***



Figura 34 ***Colores alternativos para la marca diurna de un faro***

No deben utilizarse de forma arbitraria algunas combinaciones de colores debido a que el MBS de la IALA ya ha definido algunas combinaciones de colores para informaciones náuticas concretas.

Éstas son:

- Bandas horizontales de color verde y rojo para divisiones de canal;
- Bandas horizontales de color negro y rojo para marcas de peligro aislado;
- Bandas horizontales de color negro y amarillo para marcas cardinales;
- Franjas verticales de color rojo y blanco para marcas de aguas navegables;
- Franjas verticales de color azul y amarillo para marcas de peligro nuevo.

Sólo deben emplearse dichas combinaciones de colores en ayudas fijas si la marca diurna tiene el mismo significado que el de la boya correspondiente.

8.2.2. HERRAMIENTAS ADICIONALES PARA ESTRUCTURAS UTILIZADAS COMO MARCAS DIURNAS

Para facilitar el reconocimiento del color, principalmente en las marcas laterales, puede ser útil que la parte inferior de la estructura se pinte de color blanco. Así se puede mejorar el contraste con el entorno y con la parte superior del edificio, que presenta el color.

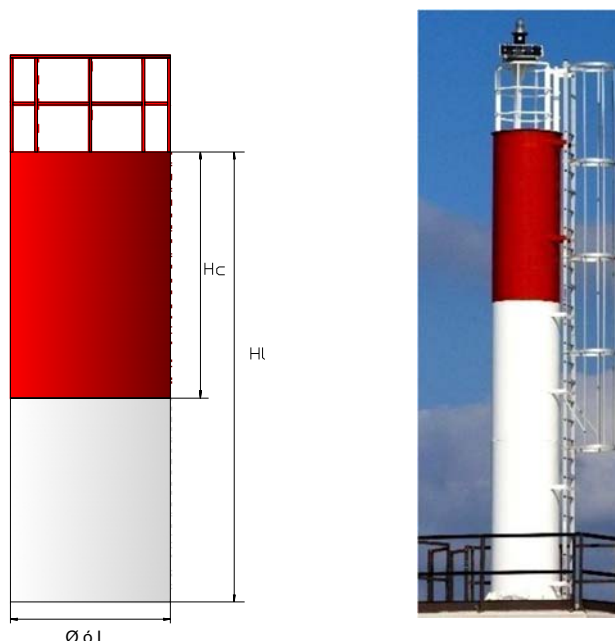


Figura 35 *Pintura blanca de contraste para estructuras que funcionan como marca diurna lateral fija*

Para el cálculo de la superficie útil de la marca diurna, sólo se utilizarán las dimensiones de la parte pintada del color correspondiente al tipo de señal.

La instalación en la estructura de una marca de tope o de una forma específica, que se corresponda con el MBS de la IALA, mejora de manera considerable el reconocimiento de la marca diurna. En ciertos momentos del día, el reconocimiento de la forma es de suma importancia en situaciones de contraluz, ya que el reconocimiento no es muy bueno en dichas situaciones (véase la Figura 36).



Figura 36 *Influencia de la posición del sol en el color y el reconocimiento de la forma*

En algunos casos, se puede incorporar a la estructura un perfil de la marca concreta del MBS de la IALA, lo que se puede lograr mediante aletas omnidireccionales, unidireccionales o paneles (Figura 37).



Figura 37 *Ejemplos de una estructura fija como marca diurna con aletas unidireccionales*

8.2.3. MARCAS DIURNAS BLANCAS

El factor de luminancia, o albedo, (véase el apartado 6.4.4) del fondo (roca, bosque) se suele situar en el rango de 0,05 y 0,2. Por lo tanto, salvo el blanco, los colores verde y rojo normalizados tienen aproximadamente el mismo valor y, así, sólo proporcionan un contraste bajo de luminancia (véase el apartado 5.3.1).

Se prefiere, por este motivo, una marca diurna blanca en aquellas situaciones en las que el fondo es la costa, y el diseño puede elegirse sin las restricciones del MBS de la IALA.



Figura 38 *Marcas diurnas blancas en tierra*

No obstante, una marca diurna blanca presenta un contraste muy bajo en condiciones de niebla y cuando el fondo se encuentre cubierto de hielo o nieve.

8.2.4. PANELES DIURNOS DE ENFILACIONES

En la Guía 1023 de la IALA [5], se describen las marcas diurnas de las enfilaciones. Como las enfilaciones sólo se utilizan en un sector horizontal reducido, la marca diurna tiene que ser plana. Dicha Guía propone un panel con franjas verticales blancas y rojas.

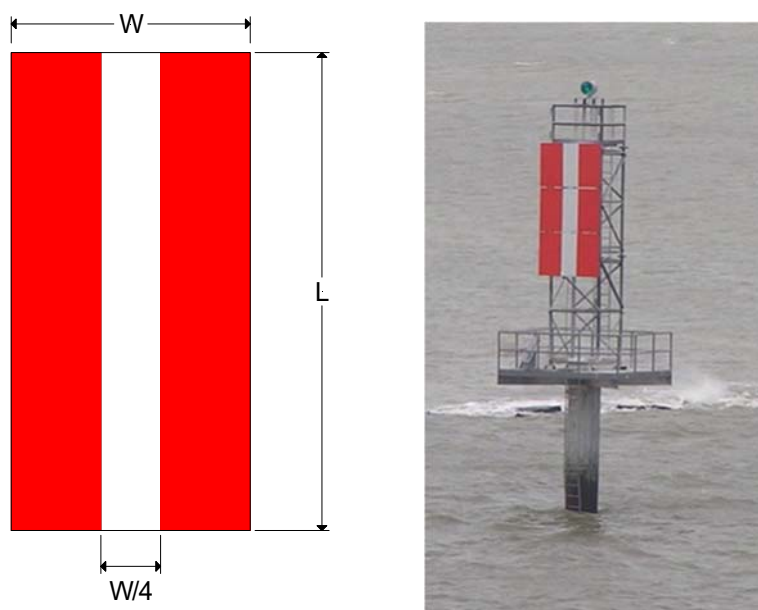


Figura 39 *Ejemplo de la geometría de un panel diurno de enfilación*

En función de la altura vertical (longitud) de las marcas diurnas, se define un alcance operativo, que es, por tanto, el alcance de la marca diurna de esta disposición específica de marca diurna. Para unas buenas condiciones de observación (visibilidad meteorológica de 10 M), el alcance operativo sólo depende del tamaño (L = longitud) del panel diurno.

Tabla 8 *Tamaño y alcance del panel diurno*

Tamaño del panel diurno Largo x Ancho [m x m]	Alcance Operativo [km]	Alcance Operativo [MN]	Ángulo de observación para longitud L	Ángulo de observación para ancho A ($= L / 2$)
1,6 x 0,8	1,9	1	2,9'	1,5'
2,1 x 1,05	3,7	2	2,0'	1,0'
3,1 x 1,55	5,6	3	1,9'	1,0'
4,2 x 2,1	7,4	4	2,0'	1,0'
6,3 x 3,15	9,3	5	2,3'	1,2'
8,6 x 4,3	11,1	6	2,7'	1,3'
12,2 x 6,1	13,0	7	3,2'	1,6'

En el alcance máximo, los ángulos de observación del tamaño vertical y horizontal del panel diurno se pueden comparar con los valores de la 0. Debido al gran alcance necesario y los grandes paneles que resultan de ello, los ángulos mínimos de observación aceptados son menores que los de las marcas de tope de las boyas.

Sin embargo, no se tiene que reconocer la forma del panel de una enfilación. A una gran distancia, el observador verá el panel como una barra reducida de color rojo y la franja blanca podría desaparecer, porque ya es menor que la resolución del ojo.

8.2.5. SEÑALIZACIÓN DE PUENTES

Otro ejemplo de una marca diurna plana es la señalización de puentes, tal y como la define la Recomendación O-113 de la IALA. Para aumentar el contraste entre la señal y el fondo, se recomienda un panel trasero blanco, como se muestra en la Figura 41.

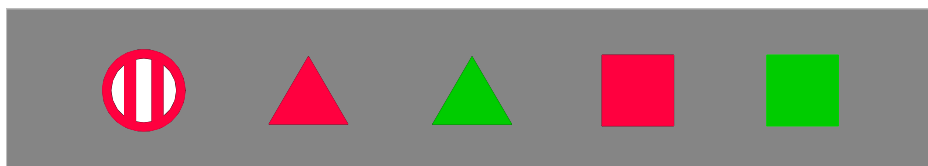


Figura 40 *Marcas diurnas definidas por la Recomendación O-113 de la IALA*

Desde el punto de vista de la percepción visual, un panel trasero blanco no aumenta el alcance de la marca diurna, pero sí hace que las señales sean más conspicuas.

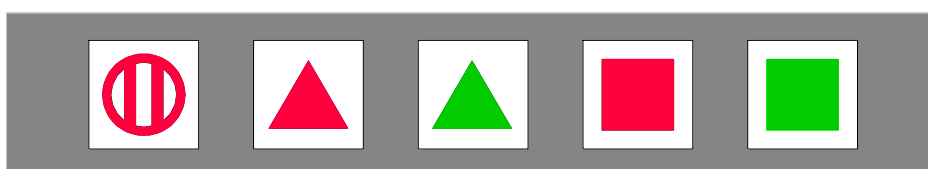


Figura 41 *Diseño preferido de marca diurna*

8.2.6. EL DISEÑO DE SEÑALES

A la hora de diseñar una señal, debe tenerse en cuenta el aspecto de la resolución limitada del ojo.

EJEMPLO 1

La Recomendación O-113 de la IALA sobre la señalización de puentes recomienda un círculo con franjas verticales blancas y rojas. No define, sin embargo, el aspecto exacto de la marca diurna ni el número de franjas; por consiguiente, ambas señales mostradas en la Figura 42 son válidas.

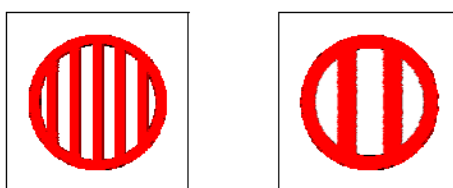


Figura 42 *Señal: mejor punto de paso*

Sin embargo, la resolución del ojo para la señal de la izquierda presenta unas franjas muy pequeñas y, por tanto, el alcance de la marca diurna será mucho menor que el de la que se encuentra a la derecha. Se recomienda, por consiguiente, utilizar el diseño que figura en la ilustración a la derecha.

EJEMPLO 2

Cuando un canal se encuentra cerrado en una división de canal, se utiliza una flecha de dirección para mostrar la dirección obligatoria. Figura 43 muestra dos diseños de una flecha de dirección. La punta de flecha del diseño a la izquierda es muy reducida y puede volverse invisible a una distancia reducida de observación. Se pierda la información (la dirección), porque el observador verá una barra horizontal negra a una distancia lejana.

El diseño que figura en la ilustración de la derecha tiene una punta de flecha que es más de dos veces mayor, lo que aumentará el alcance de la marca diurna por un factor mayor a dos; por lo que se prefiere este diseño.

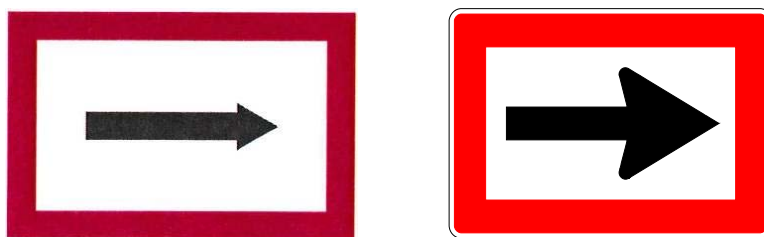


Figura 43 *Flecha de dirección, mostrando el diseño preferido en la ilustración de la derecha*

En el ANEXO E, se muestra un tercer ejemplo proporcionado por la Guardia Costera canadiense.

8.3. METODOLOGÍA GENERAL DE DISEÑO

A la hora de diseñar una marca diurna, se deben abordar, en primer lugar, los aspectos visuales, porque están directamente relacionados con las necesidades del navegante.

El procedimiento a continuación establece algunos pasos para encontrar un diseño adecuado para la marca diurna necesaria. A raíz de los conocimientos de las autoridades y las condiciones locales, se podrá modificar el procedimiento.

En muchos casos, no es idóneo diseñar por separado cada marca diurna. Es más efectivo crear clases de marcas diurnas con la intención de cubrir todas las necesidades de una región.

El resultado del procedimiento podrá variar en función de la elección de la convención adoptada por la Autoridad Competente.

El procedimiento comienza con la recopilación de datos para utilizarlos como parámetros de entrada.

Se puede conseguir el diseño (tamaño, perfil, color) a partir de varios pasos.

8.3.1. ENTRADA

- Tipo de marca diurna (MBS, boya, fija, etc.);
- Propósito y alcance necesario;
- Para ayudas fijas a la navegación: el arco (sector horizontal de utilización: omnidireccional / unidireccional);
- Fondo: costa (albedo), cielo, superficie del agua, nieve, hielo.

8.3.2. PASO 1

- Posición y altura sobre el nivel del mar (véase el apartado 6.1);

Nota: La posición de algunas marcas diurnas no se puede cambiar.

8.3.3. PASO 2

- Dimensiones mínimas para las distintas formas (tamaño de la boya, marca de tope, paneles);

Nota: Una convención sobre el ángulo necesario de observación debe ser conforme al apartado 8.1.3

8.3.4. PASO 3

- Elección de perfil según el apartado 5.1: plano, simetría rotacional (sólido), planchas cruzadas, construcción de celosía;
- ¿Se requiere una marca de tope?

8.3.5. PASO 4

- Elección de un color según las recomendaciones, guías y normas existentes:
 - MBS;
 - E-112 enfilaciones, paneles;
 - E-108 color ordinario, color fluorescente, combinación de colores.
- Establecimiento del contraste necesario y el tamaño de las franjas de colores de una marca diurna de dos colores;
- Establecimiento del contraste necesario de una marca diurna con respecto al fondo.

8.3.6. PASO 5

- Consideración de los aspectos adicionales de diseño, por ejemplo:
 - El diseño hidrostático de boyas;
 - El acceso seguro para el mantenimiento;
 - El precio;
 - La estructura soporte;
 - La carga de viento;
 - La fuerza del oleaje.
- Consideración de las experiencias previas.

Como resultado del paso 5, se podría establecer que el diseño de la marca diurna es prohibitivo en cuanto a costes o que no es factible, teniendo en cuenta la carga de viento, la fuerza del oleaje u otros aspectos similares. En tales situaciones, se deben revisar y cambiar los parámetros de entrada. Se tienen que repetir los pasos a raíz de la nueva entrada de parámetros. En general, si no puede lograrse el alcance necesario, se pueden emplear marcas diurnas más reducidas a intervalos más cortos de distancia.

8.4. LIMITACIONES Y FACTORES DE SERVICIO

8.4.1. ESTRUCTURA DE SOPORTE

Las herramientas para optimizar las propiedades visuales de una marca diurna se limitan, principalmente, al tamaño y al contraste. Proporcionar un gran alcance suele significar la construcción de marcas diurnas de grandes dimensiones. No obstante, no se podrá aumentar el tamaño debido a las siguientes limitaciones:

- El peso;
- La fuerza del viento;
- La acumulación de nieve y hielo.

Estos tres aspectos pueden conllevar a que la estructura soporte, fija o flotante, resulte muy grande y costosa. Por este motivo, es necesario lograr un equilibrio aceptable entre los aspectos visuales de una marca diurna y la instalación práctica.

8.4.2. DESVANECIMIENTO DEL COLOR

El desvanecimiento del color de las marcas diurnas es el resultado del deterioro causado por la luz solar, junto con la humedad, las lluvias ácidas y la abrasión mecánica. Es necesario elegir qué tipo de sistema de pintura, lámina de color o material plástico utilizar para conseguir la máxima estabilidad. Los prestadores de servicio deben llevar a cabo ensayos periódicos para confirmar que el color de la marca diurna permanece dentro de los parámetros

establecidos en las Guías de la IALA. Puede ser necesario aumentar la frecuencia con que se pinta para garantizar que el color de la marca diurna mantenga su funcionamiento dentro de los parámetros establecidos por la IALA.

8.4.3. EXCREMENTOS DE AVES

Los excrementos de aves pueden ocultar el color de una marca diurna y dificultar su identificación. Los efectos corrosivos de los excrementos de aves pueden causar daños y dar lugar a la reducción de la vida útil o a fallos prematuros. Por lo tanto, el diseño de las marcas diurnas debe evitar cualquier lugar donde se puedan posar las aves. Servirá de ayuda la utilización de púas flexibles y largas en todas las ubicaciones potenciales en tierra. No obstante, se debe garantizar que dichas púas no supongan ningún peligro para el personal encargado de atender a la ayuda a la navegación. (Véase [21]).

8.4.4. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES EN EL DISEÑO DE BOYAS

Las condiciones ambientales locales pueden requerir de un diseño especial para las marcas diurnas, lo que podría no cumplir las orientaciones generales contenidas en el presente documento. Dichas condiciones incluyen el hielo a la deriva, desechos en ríos y boyas en lugares donde rompen las olas.

En general, las boyas ubicadas en zonas expuestas al hielo anual y a la deriva, posiblemente de grosor considerable, que es capaz de destruir los equipos montados en el cuerpo de la boya, han de diseñarse con un cuerpo esbelto, con mínimas proyecciones y ser completamente estancas. Cabe la posibilidad de que no sea factible la utilización de paneles adicionales o marcas de tope. Por consiguiente, no siempre será posible el uso del reconocimiento de la forma para las boyas laterales.

8.5. EJEMPLOS DE DISEÑO

8.5.1. EJEMPLO 1

Una pareja de boyas laterales con un alcance de marca diurna de 3 millas náuticas

Altura mínima del observador sobre el nivel del mar: 1 m

Paso 1

La posición viene dada sólo por los requisitos náuticos.

Se puede obviar la altura (alcance geográfico) (véase el apartado 6.1).

Paso 2

Se dimensiona la boya para cumplir la convención de 3' vertical y 1' horizontal;

- Altura de la marca diurna, $\text{Altura} = 3 \times 1852\text{m} \times \tan(3') \approx 4,9\text{ m}$;
- Ancho de la marca diurna, $\text{Ancho} = 3 \times 1852\text{m} \times \tan(1') \approx 1,6\text{ m}$;
- El tamaño de la marca diurna de la boya se fija en una altura de 4,9 m y un diámetro de 1,6 m.

Paso 3

Diseño tridimensional preferido: forma sólida con simetría rotacional (véase el apartado 5.1.2).

Para aumentar el ancho y facilitar el reconocimiento de la forma, deben utilizarse aletas adicionales.

Es aceptable el reconocimiento de la forma de las aletas; no se requiere marca de tope.

Paso 4

- Rojo o verde ordinario;
- Plástico de colores (no fluorescente).

Paso 5

- Fabricación: rotomoldeo de polietileno;

- Se confirma la aceptabilidad de las dimensiones con otras herramientas (p. ej. cálculos hidrostáticos o de carga de viento);
- Opcional: caja de paneles solares con una luz colocada encima de la boya.

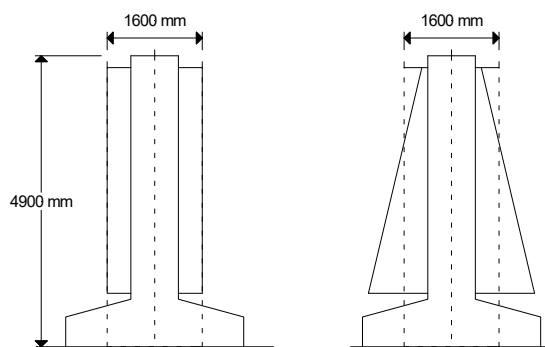


Figura 44 *Forma de la boya que resulta del Ejemplo 1*

8.5.2. EJEMPLO 2

Una pareja de boyas laterales con un alcance de marca diurna de 1 milla náutica

Altura mínima del observador sobre el nivel del mar: 1 m

Paso 1

La posición viene dada sólo por los requisitos náuticos.

Se puede obviar la altura (alcance geográfico) (véase el apartado 6.1).

Paso 2

Se dimensiona la boya para cumplir la convención de 3' vertical y 1' horizontal;

- Altura de la marca diurna, $\text{Altura} = 1 \times 1852\text{m} \times \tan(3') \approx 1,6 \text{ m}$;
- Ancho de la marca diurna, $\text{Ancho} = 1 \times 1852\text{m} \times \tan(1') \approx 0,54 \text{ m}$;
- El tamaño de la marca diurna de la boya se fija de acuerdo con una altura de 1,6 m y un diámetro de 0,54 m;
- Para la forma cónica, el ancho necesario es el diámetro medio del cono.

Paso 3

Diseño tridimensional preferido: forma sólida con simetría rotacional (véase el apartado 5.1.2).

Para mejorar el reconocimiento, la boya debe diseñarse con formas cónicas y cilíndricas de acuerdo con el MBS de la IALA.

Paso 4

- Rojo o verde ordinario;
- Plástico de colores (no fluorescente).

Paso 5

- Fabricación: rotomoldeo de polietileno;
- Confirmar la aceptabilidad de las dimensiones con otras herramientas (p. ej. cálculos hidrostáticos o de carga de viento).

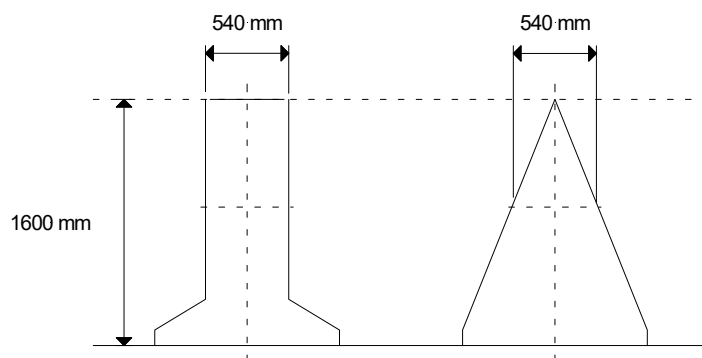


Figura 45 *Forma de la boya que resulta del Ejemplo 2*

8.5.3. EJEMPLO 3

Marcas diurnas **fijas para el acceso a puerto** con un alcance de marca diurna de **5 millas náuticas**

Altura mínima del observador sobre el nivel del mar: 1 m

Paso 1

La posición fija viene dada sólo por los requisitos náuticos (coordenada geográfica).

La altura (alcance geográfico) se puede calcular según el apartado 6.1

$$R_g = 2.03(\sqrt{h_o} + \sqrt{h_{b,min}}) \rightarrow h_{b,min} = \left(\frac{R_g}{2.03} - \sqrt{h_o}\right)^2 = 2.1m$$

Ecuación 7 *Cálculo del alcance geográfico a partir de la altura*

Donde:

R_g es el alcance geográfico (en millas náuticas)

h_o es la elevación del ojo del observador (en metros)

$h_{b,min}$ es la parte más baja de la marca diurna sobre el nivel del mar (véase la Ecuación 1)

Paso 2

Se dimensiona la marca diurna para cumplir la convención de 3' vertical y 1' horizontal.

- Altura de la marca diurna, $\text{Altura} = 5 \times 1852m \times \tan(3') \approx 8,1 \text{ m}$;
- Ancho de la marca diurna, $\text{Ancho} = 5 \times 1852m \times \tan(1') \approx 2,7 \text{ m}$.

La marca diurna debe ser visible desde un sector de aprox. 180° fuera del puerto.

Paso 3

En este paso, se toma la decisión de proporcionar sólo reconocimiento de color. Se puede obviar el reconocimiento de la forma. No se requiere marca de tope.

Se elige una estructura cilíndrica situada al menos 10,2 m (8,1 m + 2,1 m) sobre el nivel del mar y con un diámetro de al menos 2,7 m.

Paso 4

Rojo o verde ordinario, pintados sobre la estructura.

Para aumentar la conspicuidad, se pinta de blanco la parte inferior del edificio.

8,1 m se pinta de rojo o verde y la parte inferior (2,1 m) del edificio se pinta de blanco.

Paso 5

Se confirma la aceptabilidad de las dimensiones con otras herramientas (p. ej. cálculos de carga de viento).

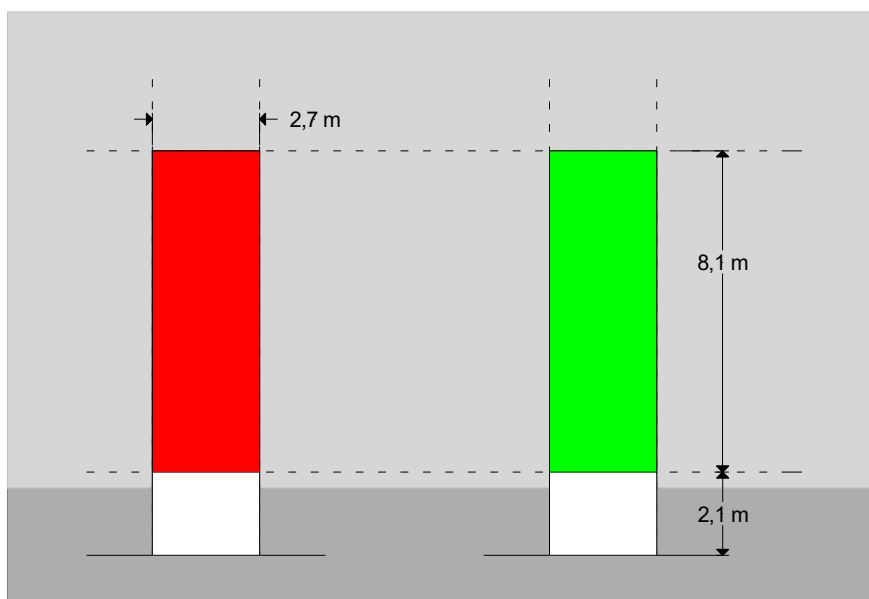


Figura 46 *Forma de la marca diurna que resulta del Ejemplo 3*

8.5.4. EJEMPLO 4

Boya cardinal sur con un alcance de marca diurna de 1,5 millas náuticas, equipada con paneles solares y marcas de tope

Paso 1

La posición viene dada sólo por los requisitos náuticos.

Se puede obviar la altura (alcance geográfico) (véase el apartado 6.1).

Paso 2

Se dimensiona cada franja para cumplir la convención de 3' vertical y 1' horizontal (véase el apartado 5.5):

- Altura de la marca diurna, $\text{Altura} = 1,5 \times 1852 \text{ m} \times \tan(3') \approx 2,4 \text{ m}$;
- Ancho de la marca diurna, $\text{Ancho} = 1,5 \times 1852 \text{ m} \times \tan(1') \approx 1,2 \text{ m}$.

El tamaño de la marca diurna de cada franja de color se fija de acuerdo con una altura de 2,4 m y un diámetro de 1,2 m.

Paso 3

A partir de los criterios de diseño, se utiliza una estructura con aletas adicionales para aumentar el ancho de la marca diurna y, así, mejorar el reconocimiento.

El casco de la boya se fija en 3 metros por el diseñador.

La dimensión X de la marca de tope se fija en el 25% del diámetro del casco. Las proporciones de la marca de tope se calculan según el apartado 8.1.8.2.

Paso 4

- Amarillo y negro ordinarios;
- Plástico de colores (no fluorescente).

Paso 5

- Fabricación: casco de elastómero con un diámetro de 3 m;
- La altura total de la marca diurna es de 4,8 metros (dos franjas horizontales de 2 x 2,4 m);
- Se confirma la aceptabilidad de las dimensiones con otras herramientas (p. ej. cálculos hidrostáticos o de carga de viento);
- Los paneles solares se colocan en la parte inferior negra de la boya.

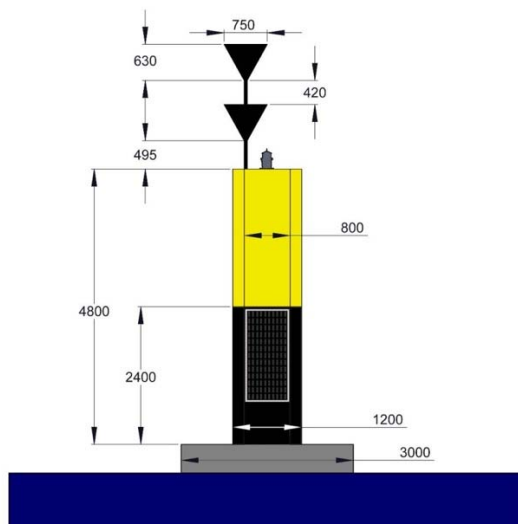


Figura 47 *Diseño que resulta del Ejemplo 4 (las unidades están en mm)*

8.5.5. EJEMPLO 5

Un conjunto de marcas diurnas laterales colocadas sobre una estructura soporte reducida con un alcance de 4 millas náuticas y una zona limitada de cobertura.

Paso 1

La posición viene dada sólo por los requisitos náuticos.

Se puede obviar la altura (alcance geográfico) (véase el apartado 6.1).

La zona de cobertura es inferior a 60°.

Paso 2

La forma de la marca diurna se debe reconocer como un cono (triángulo) y un cilindro (rectángulo). El tamaño de las formas se calcula para cumplir la convención de 3' con la geometría de las marcas de tope (véase el apartado 8.1.8.2):

- Ancho de la marca diurna, $\text{Ancho} = X = 4 \times 1852\text{m} \times \tan(3') \approx 6,5 \text{ m}$;
- Para el triángulo verde: $\text{Alt}_{\text{verde}} = 0,9 \times 6,5 \text{ m} \approx 5,8 \text{ m}$;
- Para el rectángulo rojo: $\text{Alt}_{\text{rojo}} = 1,25 \times 6,5 \text{ m} \approx 8,1 \text{ m}$.

Paso 3

Debido a la zona de cobertura limitada, se elige una marca diurna plana

Paso 4

Rojo y verde ordinarios sobre una construcción de acero

Paso 5

Como resultado de las consideraciones de diseño relativas a la estabilidad, la carga de viento y el coste, se decide emplear una construcción de celosía sobre una delgada estructura soporte de acero.

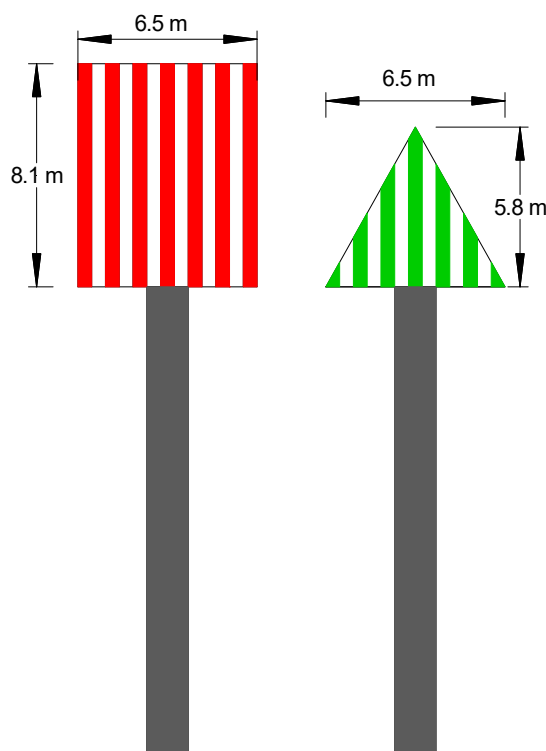


Figura 48 *Diseño que resulta del Ejemplo 5*

9. ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AtoN	(<i>Aid(s) to Navigation</i>) Ayuda/s a la navegación
CEVNI	(<i>Code Européen des Voies de Navigation Intérieure</i>) Código Europeo de Vías Navegables Interiores
CIE	(<i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>) Comisión Internacional de la Iluminación
DR	(<i>Daymark Range</i>) Alcance de la marca diurna
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
MBS	(<i>IALA Maritime Buoyage System</i>) Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA
NCS	(<i>Natural Colour System</i>) Sistema de Colores Naturales - Suecia
NM	(<i>Nautical Miles</i>) Millas náuticas
RAL	(<i>Reichs-Ausschuß für Lieferbedingungen und Gütesicherung</i>) Sistema Clásico RAL
SIGNI	(<i>Signs and Signals on Inland Waterways</i>) Carteles y Señales en vías navegables interiores, UNECE, Resolución N.º22
SMA	(<i>Swedish Maritime Administration</i>) Administración Marítima Sueca
2-D	(<i>2-Dimensional</i>) Bidimensional
3-D	(<i>3-Dimensional</i>) Tridimensional

10. REFERENCIAS

- [1] Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA.
- [2] *'Signalisation maritime Documentation technique'*, Documentación técnica de faros francesa: CETMEF
- [3] *CIE110 Spatial distribution of daylight - Luminance distribution of various reference skies*. Distribución espacial de la luz del día - Distribución de luminancia de varios cielos de referencia.
- [4] *IALA Conference Presentation 1990 about lettering and signs, 'Studies on the recognizability of symbols and letterings on aids to navigation'*, Conferencia de la IALA (1990), Presentación sobre rótulos y signos, 'Estudios sobre el reconocimiento de símbolos y rótulos en las ayudas a la Navegación' Dr. Gerdes, República Federal de Alemania.
- [5] Guía 1023 de la IALA sobre el Diseño de enfilaciones.
- [6] *'Theorie der horizontalen Sichtweite'*, Teoría del alcance visual horizontal, Koschmieder, Meteorologische Zeitschrift 11/1926.
- [7] *'Farbe und Sichtbarkeit'*, Color y visibilidad, Hoffmann, DFVLR, 1977, Alemania.
- [8] M. Blaise, Boletín N.º 47 de la IALA (abril de 1971) artículo con el título *'Daymarks as Aids to Navigation'*.
- [9] Recomendación E-200 de la IALA sobre las Señales luminosas marítimas.
- [10] NAVGUIDE DE LA IALA.
- [11] Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA.
- [12] Recomendación E-108 de la IALA sobre los Colores de superficie.
- [13] *'Standardization of U.S. Coast Guard Leading Lines'*, Conferencia de la IALA 1998, Ingeniería.
- [14] *'Grundlagen der Lichttechnik'*, Fundamentos de la tecnología de la luz: Dietrich Gall, Alemania.
- [15] Artículo de Wikipedia 'Albedo', 16-08-2011
- [16] Libro de Normas Técnicas of 1986. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. España
- [17] *'Manual de Sinalização Náutica'* del Servicio Brasileño de Faros.
- [18] *'Über den Einfluss der Komponenten des Wasserverkehrssystem auf die Sicherheit des Seeschiffsverkehrs'*, *Influencia de los componentes del movimiento de las masas de agua en la seguridad del tráfico marítimo* Universidad de Hanover, Alemania.
- [19] Recomendación de la IALA sobre la Señalización de puentes fijos y otras estructuras sobre aguas navegables.
- [20] Guía básica para el diseño de las marcas diurnas de ayudas visuales a la navegación, Puertos del Estado, España, 2010
- [21] Guía 1091 de la IALA sobre las Medidas disuasorias de aves.

ANEXO A **MODELO FÍSICO DE LA LEY DE KOSCHMIEDER**

En el modelo físico de Koschmieder, la luminancia visible del objeto en el ojo del observador también se puede calcular:

$$L_o(d) = L_o * e^{-z*d} + L_b * (1 - e^{-z*d})$$

Ecuación 8 **Luminancia visible**

Donde:

L_o es la luminancia del objeto

L_b es la luminancia del fondo

z es el factor exponencial (la atenuación total incluye la absorción y la dispersión)

d es la distancia

La principal conclusión de la ley de Koschmieder es que un objeto visto desde una distancia lejana se desvanecerá y el contraste se convertirá en cero.

La fórmula original de Koschmieder no incluye el color. Este aspecto fue añadido por Hoffmann en 1977 [7]. Calculó el desplazamiento de la cromaticidad X, Y, Z en función de la distancia, donde Y es idéntica a L.

$$X_o(d) = X_o * e^{-z*d} + X_b * (1 - e^{-z*d})$$

$$Y_o(d) = Y_o * e^{-z*d} + Y_b * (1 - e^{-z*d})$$

$$Z_o(d) = Z_o * e^{-z*d} + Z_b * (1 - e^{-z*d})$$

Ecuación 9 **Movimiento de la cromaticidad**

Con estos cálculos, se puede mostrar que el color del objeto se desplaza hacia el color del fondo cuando se avista desde la distancia.

Aunque la fórmula que antecede incluye el color, no incluye la dependencia espectral de la dispersión atmosférica de la luz. Esto se podría realizar con la distribución espectral de la radiancia de la luz S_{λ} .

$$S_{\lambda,o}(d) = L_{\lambda,o} * e^{-z_{\lambda}*d} + Z_{\lambda,b} * (1 - e^{-z_{\lambda}*d})$$

Ecuación 10 **Dependencia espectral de la dispersión atmosférica de la luz**

Este cálculo requiere la distribución espectral del fondo $S_{\lambda,o}$, del objeto $S_{\lambda,o}$ y el factor exponencial z_{λ} .

ANEXO B **DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE LA LUMINANCIA DEL CIELO**

A título de ejemplo, la distribución estadística de la luminancia del cielo cerca del horizonte se muestra en la Figura 49. Los valores se basan en las mediciones de la administración alemana en el Mar Báltico, que se realizaron de enero a diciembre de 2003.

Luminancia del cielo cerca del horizonte

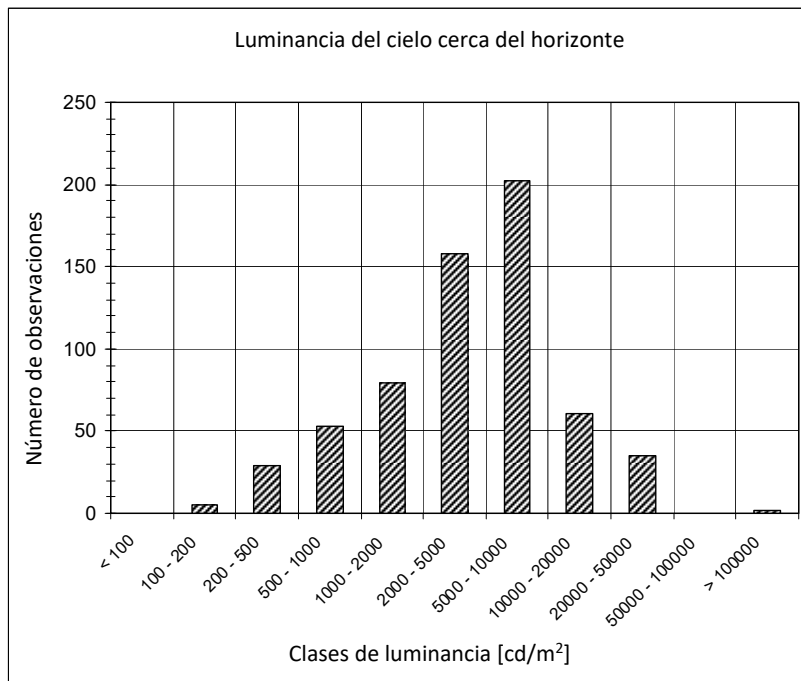


Figura 49 ***Distribución estadística de la luminancia del cielo, Mar Báltico 2003***

Luminancia de la superficie del agua cerca del horizonte

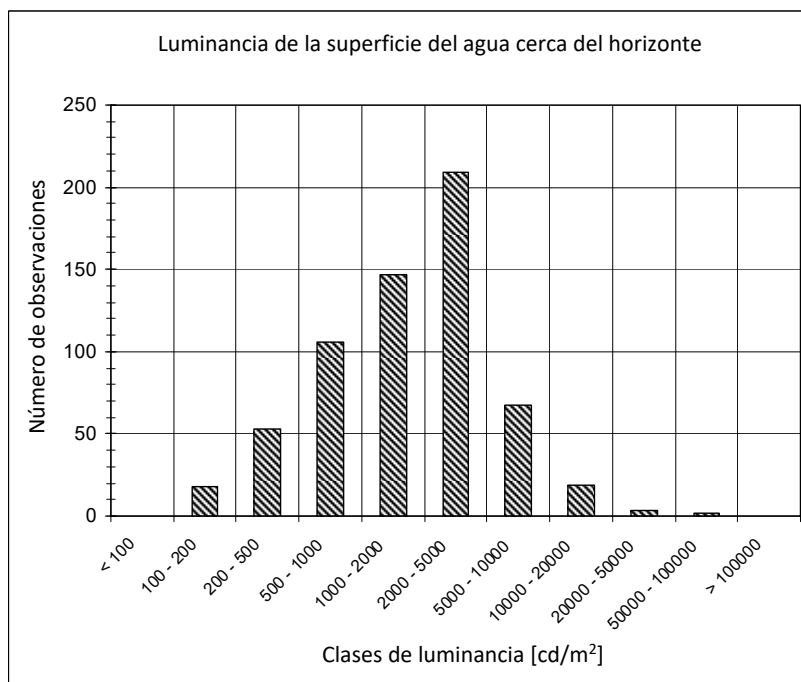


Figura 50 ***Distribución estadística de la luminancia de la superficie del agua, Mar Báltico 2003***

ANEXO C UN MODELO SENCILLO DEL OJO HUMANO

C 1 INFORMACIÓN GENERAL

Tanto los aspectos físicos como los psicológicos del observador ejercen una influencia en la percepción visual. Aunque el ojo humano funciona como un sensor físico, la imagen que ve el observador es el resultado de un procesamiento de la imagen realizado por las partes neuronales del ojo y del cerebro.

Se muestra un modelo sencillo del ojo humano en la Figura 51.

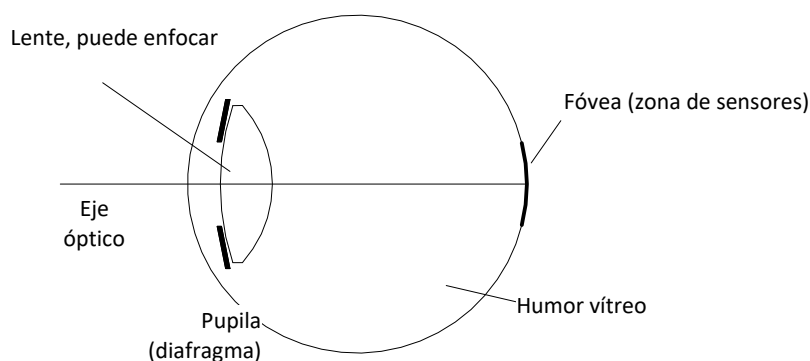


Figura 51 Modelo sencillo del ojo

El modelo óptico sencillo del ojo humano consiste en una lente capaz de enfocar, una pupila, que define el diámetro abierto de la lente, y la fóvea, situada cerca del eje óptico.

El ojo tiene las siguientes propiedades:

- Distancia focal: aproximadamente 16 mm cuando se enfoca al infinito;
- Diámetro de la pupila: 2 - 8 mm;
- Densidad de los sensores en la fóvea: conos 142,000 células/mm² (↗ 377 células/mm);
- Sensibilidad visual: aprox. 10⁻⁵ cd/m² - 10⁺⁵ cd/m².

El ojo cuenta con dos tipos de sensores: los conos y los bastones. Los conos son para la percepción diurna y los bastones para la nocturna. Los conos son relevantes para las marcas diurnas. Se puede suponer que la identificación de una marca diurna requiere que el observador la observe directamente. Ello significa que la marca diurna y su imagen están en el eje óptico del ojo. En esta región, la densidad de conos es máxima, por lo que la resolución del ojo también estará al máximo.

Los conos de la fóvea tienen una distancia de aproximadamente 1/ 377 mm ≈ 2,65 μm y dicha distancia corresponde a una separación angular de:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{2.65\mu m}{16mm}\right) \approx 0.57'$$

Ecuación 11 Separación angular de los conos de la fóvea

Como se muestra arriba, la resolución teórica del ojo puede ser menor a 1'. Sin embargo, se ha aceptado emplear la convención de 1' (minuto de arco) como una aproximación a la resolución del ojo. La resolución del ojo significa que dos objetos de reducido tamaño y con buen contraste se pueden percibir, cuando el ángulo de observación es de al menos 1', como dos objetos distintos.

C 2 RECONOCIMIENTO DE LA FORMA

Una imagen del objeto (marca diurna) se proyecta sobre la fovea. En un modelo sencillo, los sensores en la fovea (conos) tienen una distancia de aprox. $2,65 \mu\text{m}$, lo que da lugar a una resolución de $0,57' = 0,166 \text{ mrad}$ (Figura 52).

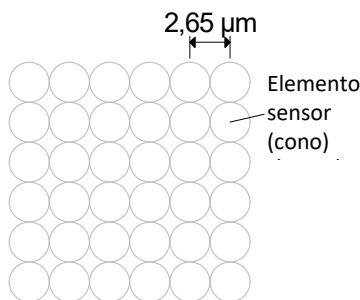


Figura 52 *Modelo sencillo de la fovea*

Cuando el observador percibe una forma sencilla de una marca diurna (cilindro, cono, esfera), se estimulan los sensores, tal y como muestra la Figura 52.

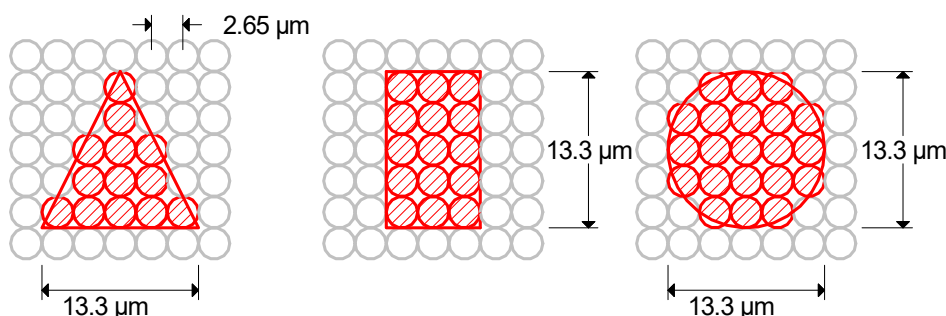


Figura 53 *Conos estimulados por formas simples*

Figura 53 ilustra la influencia de la densidad de los sensores en la fovea en el reconocimiento de la forma. Cuando se proyecta la forma sobre una disposición de 5×5 elementos sensores, las tres formas simples de la IALA se pueden identificar con seguridad.

Por lo tanto, la dimensión externa mínima de una forma simple proyectada en la fovea debe medir aprox. $13,3 \mu\text{m}$. Combinada con la distancia focal del ojo (aprox. 16 mm), el valor mínimo para la identificación de la forma es:

$$\alpha_{\text{shape}} = \arctan\left(\frac{1,33\mu\text{m}}{16\text{mm}}\right) = 0,0476^\circ \approx 2,86' \approx 3'$$

Ecuación 12 *Valor mínimo para la identificación de la forma*

ANEXO D TEORÍA DE BLAISE¹

M. P. Blaise, de la administración francesa, publicó una teoría en el Boletín de la IALA de abril de 1971. Expuso que existen dos regiones distintas para la visibilidad

Amplitud angular mayor a 3' (0,8725 mrad): la visibilidad depende sólo del contraste.

Amplitud angular menor a 3' (0,8725 mrad): la visibilidad depende del producto del contraste y el ángulo sólido aparente del objeto.

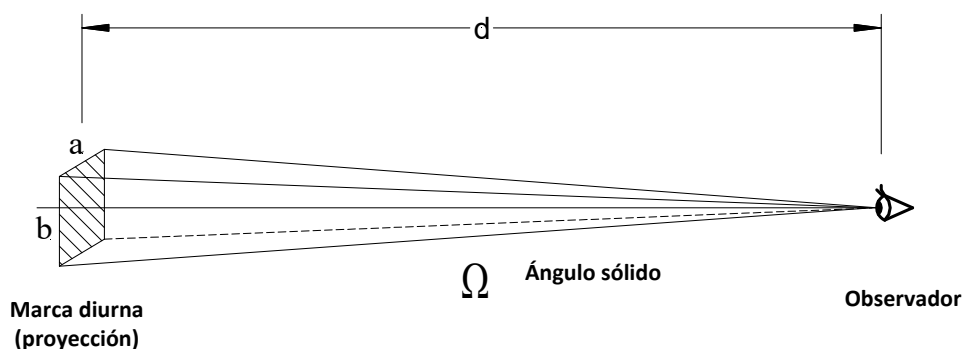


Figura 54 Teoría de Blaise

Para una gran distancia d , se aproxima al ángulo sólido mediante:

$$\Omega \approx \frac{a * b}{d^2}$$

Ecuación 13 Ángulo sólido para una gran distancia

Para simplificar el cálculo, Blaise supuso $a \approx b$, entonces el ángulo sólido sería (2): $\Omega \approx \frac{a^2}{d^2}$.

El ángulo de observación del objeto es: $\alpha = \frac{a}{d}$ (en radianes).

Entonces, la teoría de Blaise se puede expresar de la siguiente manera:

para $\alpha < 0.8725 \text{ mrad}$ el contraste necesario en el ojo del observador $|C| > 0.038 * 10^{-6} * \left(\frac{d^2}{a*b}\right)$.

Ecuación 14 Teoría de Blaise ($\alpha < 0,8725 \text{ mrad}$)

para $\alpha > 0.8725 \text{ mrad}$ el contraste necesario en el ojo del observador $|C| > 0.05$.

Ecuación 15 Teoría de Blaise ($\alpha > 0,8725 \text{ mrad}$)

Observaciones:

- 1 La teoría de Blaise se basa en la simple detección de la marca diurna y no en su reconocimiento ni identificación.
- 2 En la publicación, Blaise fija el límite de α en 1 mrad. Sin embargo, la fórmula para C es únicamente continua para $\alpha = 0.8725 \text{ mrad} = 3'$ y, por lo tanto, aquí se ha elegido ese valor.

ANEXO E EJEMPLO DE MARCAS DIURNAS CANADIENSES

La Guardia Costera canadiense utiliza marcas diurnas planas en ayudas fijas a la navegación. Dichas marcas diurnas planas se definen en una directriz operacional. Para marcas laterales, se especifican las siguientes marcas diurnas.

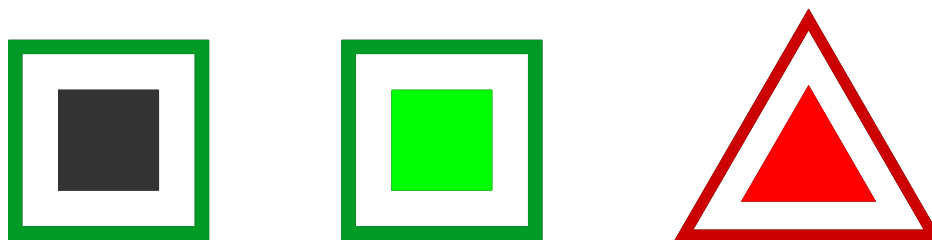


Figura 55 *Baliza diurna normalizada canadiense*

Las formas de las marcas diurnas cumplen con el MBS de la IALA. El color que figura en el centro es un rojo o verde fluorescente. Para la baliza diurna de babor, se puede utilizar un cuadrado negro como alternativa.

Las señales llevan un panel blanco de contraste, que se encuentra rodeado por una cinta fina de material retrorreflectante de color rojo o verde.

La directriz canadiense aporta información sobre el alcance útil (distancia de diseño) para un tamaño específico de la forma central.

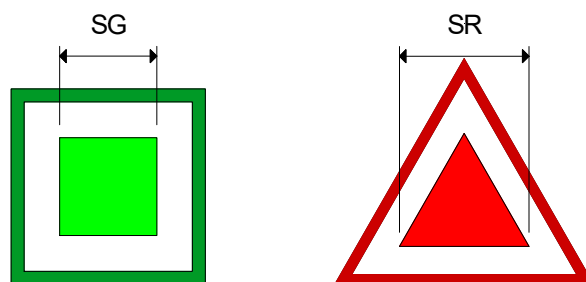


Figura 56 *Dimensiones relevantes de la marca diurna*

Tabla 9 *Distancia de diseño de las balizas diurnas canadienses*

Tipo	Dimensión	Distancia de diseño	Ángulo de observación en la distancia de diseño
Babor	SG = 0,3 m	1000 m	1'
	SG = 0,45 m	1500 m	1'
	SG = 0,9 m	3000 m	1'
Estribor	SR = 0,4 m	1000 m	1,4'
	SR = 0,6 m	1500 m	1,4'
	SR = 1,2 m	3000 m	1,4'

Del Tabla anterior, se puede deducir que no habrá reconocimiento de la forma central a la distancia de diseño, ya que el ángulo de observación es cercano a la resolución del ojo (véase el apartado 7.1). Si se eligiera el tamaño del panel para proporcionar un ángulo de observación de 3', este debería ser tres veces mayor que lo descrito, lo que conllevaría costes muy altos, particularmente para las estructuras de soporte y las medidas necesarias para mitigar la carga del viento.

No obstante, la directriz canadiense es un ejemplo idóneo de cómo hacer frente a estas dificultades.

Se mejora el reconocimiento mediante el uso de:

- Un panel blanco de contraste;
- Colores fluorescentes;
- El color negro, en lugar del verde, para la señal de babor.

Por consiguiente, a grandes distancias de observación, el navegante podrá identificar la baliza por su color y no por su forma. Como el color verde no se puede identificar tan bien como el rojo a una gran distancia, el uso de un cuadrado negro puede resultar más eficaz.