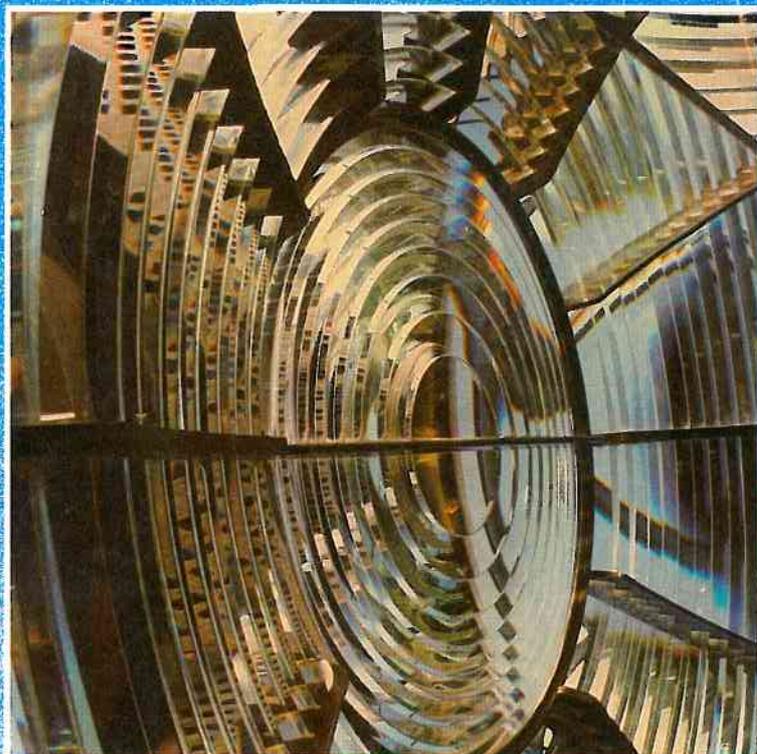


MOPU

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo
Dirección General de Puertos y Costas

Area de Señales Marítimas



1986

**Normas Técnicas sobre
Obras e Instalaciones de
Ayudas a la Navegación**

Area de Señales Marítimas

**Normas Técnicas sobre Obras
e Instalaciones de Ayudas a
la Navegación**

1986

Con la colaboración de la Junta del Puerto de Palma de Mallorca

U.P.C. E.T.S.I.C.C.P.

Edita:
Centro de Publicaciones
Secretaría General Técnica
Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo
Paseo de la Castellana, 67 - Madrid

NIPO: 151-86-072-4

ISBN: 84-7433-423-3

Depósito Legal: M-26379-1986

Imprime: **RUGARTE, S.L.**
Puerto de Arlabán, 33 - 28018 - Madrid

P R E S E N T A C I O N

La señalización marítima, que la Constitución recoge como competencia exclusiva del Estado, es una de las funciones que ejerce el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo a través de la Dirección General de Puertos y Costas, apoyándose , en sus Servicios Centrales y en su doble organización periférica las Demarcaciones y Servicios de Costas a las que corresponde el desarrollo, mantenimiento y explotación del sistema general de balizamiento y señalización de la costa y los Organismos portuarios que tienen encomendado el mantenimiento y funcionamiento de las luces de puerto.

Esta actividad ha sido objeto de una laboriosa y cuidada planificación que ha culminado con la redacción del Plan de Señales Marítimas 1985/1989, en el que se recoge la necesidad de incluir la normativa necesaria para su mejor ejecución.

Resulta pues conveniente proceder a una revisión y actualización de las Normas técnicas relativas a obras e instalaciones de ayudas a la navegación, teniendo en cuenta tanto las últimas recomendaciones de la Asociación Internacional de Señales Marítimas como algunas comunicaciones presentadas en los últimos Congresos Internacionales de dicha Asociación, que se han juzgado de interés para su aplicación en España.

Deseo aprovechar estas breves líneas para destacar el excelente trabajo realizado por el Autor, Rafael Soler Gayá, Director de la Junta del Puerto de Palma de Mallorca, que compatibiliza sus responsabilidades técnicas y de gestión en este Organismo, con su afición y especialización en señales marítimas, que no ha querido abandonar, materia sobre la cual acumula una larga experiencia práctica y docente.

Luis Fernando Palao Taboada
DIRECTOR GENERAL DE PUERTOS Y COSTAS

P R O L O G O

Las normas técnicas relativas a obras e instalaciones de ayudas a la navegación últimamente han sido objeto de estudio en dos ocasiones.

La primera, en julio de 1958, por el Ingeniero D. Alejandro Alvaríño en un trabajo parcial que circuló la Dirección General de Puertos y Señales Marítimas bajo el título "Instrucción para el Proyecto de Señales Marítimas Luminosas".

La segunda de un modo más completo, por el autor del presente trabajo en el seno de la Comisión nombrada por O.M. de 30 de septiembre de 1964 para redactar el "Proyecto de mejora de las señales marítimas de España" que fue aprobado por O.M. de 17 de marzo de 1967, en cuyo Libro Tercero se recoge una amplia serie de normas técnicas. Este Proyecto fue publicado por el Ministerio y ampliamente difundido.

Entre ambas normas el Servicio de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas editó el trabajo titulado "Proyecto de Señales Marítimas Luminosas" -redactado por el que suscribe- que fue objeto de recomendación por Resolución de la Dirección General de Puertos y Señales Marítimas de 31 de diciembre de 1964.

Dado el tiempo transcurrido desde 1967, estas últimas normas resultan hoy día notoriamente incompletas, y, en parte, obsoletas, máxime cuando no tuvieron, al redactarse, pretensión alguna de exhaustividad, al igual que sucede con las presentes.

Resulta pues conveniente y oportuno, ahora que ha sido redactado el nuevo Plan de Señales Marítimas 1985/1989, proceder a una revisión y actualización de las mismas de tal modo que puedan coadyuvar a la mejor ejecución del citado Plan.

Para esta revisión se han tenido en cuenta tanto las últimas recomendaciones de la Asociación Internacional de Señalización Marítima como algunas comunicaciones presentadas en los últimos Congresos Internacionales de dicha Asociación, que se han juzgado de general interés para su aplicación en España.

Contrariamente al criterio seguido en 1967 de exponer simplemente la norma o recomendación, sin explicaciones complementarias, en el presente caso se ha tratado, en la generalidad de normas, métodos o recomendaciones, de justificar lo expuesto, y, siempre, de incluir las referencias bibliográficas que permitan recurrir a las fuentes por si interesara una mayor profundización. De este modo el Ingeniero que disienta de las hipótesis utilizadas, o de la metodología seguida en la norma, tiene fácil camino para sustituirla por otra que entienda más conveniente.

También se han recogido en los textos algunas aportaciones del Departamento de Puertos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona elaboradas a lo largo de cursos comunes de especialidad o de doctorado impartidos en dicho Centro. Han colaborado en la formación de los textos los becarios D. Juan-Diego Bauzá Castelló y D. Pere Santos Forellad, alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, así como el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos D. Javier Martí Durán y el Ingeniero de Telecomunicación D. Francisco Castañer Soler. El material básico procede de las publicaciones que se reseñan en la Bibliografía. La Junta del Puerto de Palma de Mallorca ha prestado el necesario apoyo logístico para la formación de los originales.

El objetivo que se ha pretendido conseguir estriba en recopilar y sistematizar las normas y métodos que puedan resultar de más frecuente aplicación en los Servicios españoles encargados de ayudas a la navegación, de tal modo que dispongan de un instrumento de trabajo que evite -en muchos casos- haber de recurrir a una documentación dispersa y heterogénea; por ello se incluyen, a la par que estos métodos y normas, gran número de tablas de datos y de ábacos concernientes a instalaciones usuales. Se suple, además, de esta forma -aunque sólo sea en parte- la carencia de una publicación en español que trate de las señales marítimas y de los fundamentos de las técnicas aplicadas.

Palma de Mallorca, a 26 de noviembre de 1985

Rafael Soler Gayá

I N D I C E



I N D I C E

	<u>Página</u>
PROLOGO	3
INDICE	7
<u>I.- EVOLUCION, TIPOS Y SISTEMAS</u>	21
I-1.- LA SEÑALIZACION MARITIMA	21
I-1.1.- Evolución	21
I-1.2.- Función	22
I-2.- DIVERSOS TIPOS DE SEÑALES MARITIMAS	22
I-2.1.- Señales ciegas	23
I-2.2.- Señales luminosas	24
I-2.3.- Señales radioeléctricas y reflectores de radar	24
I-2.4.- Señales acústicas	26
I-3.- UTILIZACION POR EL NAVEGANTE	26
I-3.1.- Libros de Faros y Cartas Náuticas	26
I-3.2.- Procesos de utilización	27
I-3.3.- Ayudas con comunicación	28
I-4.- SISTEMAS DE BALIZAMIENTO	28
I-4.1.- Sistemas tradicionales Cardinal y Lateral	28
I-4.2.- Situación histórica	29
I-4.3.- Sistema de la IALA/AISM	30
<u>II.- BALIZAMIENTO DIURNO</u>	35
II-1.- ELEMENTOS PRINCIPALES DEL BALIZAMIENTO DIURNO	35
II-1.1.- Color	35
II-1.2.- Forma	35
II-1.3.- Marcas de tope	35
II-1.4.- Marcas no normalizadas	35
II-2.- DISTANCIA DE RECONOCIMIENTO	36
II-2.1.- Contraste a distancias cortas	36
II-2.2.- Visibilidad meteorológica	37
II-2.3.- Contraste a distancias grandes	37
II-2.4.- Distancia de reconocimiento	38
II-2.4.1.- Cielo claro	38
II-2.4.2.- Cielo uniformemente cubier- to	39
II-3.- DIMENSIONAMIENTO DE FORMAS Y MARCAS DE TOPE	43
II-3.1.- Método simplificado	44
II-3.2.- Método completo	44

	<u>Página</u>
II-3.2.1.- Metodología: variables e hipótesis	46
II-3.2.2.- Proceso de dimensionamiento	48
II-4.- UTILIZACION DE LOS COLORES	54
II-4.1.- Rojo	54
II-4.2.- Naranja	55
II-4.3.- Amarillo y blanco	55
II-4.4.- Verde	55
II-4.5.- Azul	55
II-4.6.- Negro	55
II-5.- BALIZAMIENTO REFLECTANTE	55
II-5.1.- Disposición de las bandas reflexivas	57
II-5.2.- Coeficiente de retrorreflexión	57
II-5.3.- Distancia de visibilidad	58
III.- <u>SEÑALES LUMINOSAS: INTENSIDAD</u>	63
III-.1.-OPTICAS Y FUENTES DE LUZ	63
III-1.1.- Sistemas ópticos	63
III-1.2.- Fuentes de luz: su combinación con las ópticas	69
III-1.3.- Conceptos y unidades referentes a las fuentes de luz	70
III-1.3.1.- Intensidad luminosa	71
III-1.3.2.- Flujo luminoso	71
III-1.3.3.- Iluminancia (o nivel de iluminación)	72
III-1.3.4.- Luminancia (o brillo intrínseco)	72
III-1.4.- Conceptos referentes al sistema óptico	78
III-1.4.1.- Distancia focal	78
III-1.4.2.- Altura dióptrica	78
III-1.4.3.- Abertura angular	78
III-1.4.4.- Altura catadióptrica	78
III-1.5.- Apariencia luminosa	79
III-1.5.1.- Coordenadas cromáticas de la CIE	79
III-1.5.2.- Variación de la luz	82
III-1.5.3.- Recomendaciones para la variación de la luz	83
III-1.6.- Destelladores	90
III-1.6.1.- Destelladores eléctricos	90
III-1.6.2.- Destelladores para quemadores de acetileno	91
III-1.6.2.1.- De llama abierta o desnuda	91
III-1.6.2.2.- De capillos incandescentes	92

	<u>Página</u>
III-1.7.- Forma de los destellos	93
III-2.- INTENSIDAD EFICAZ	98
III-2.1.- Conceptos relacionados con su determinación	98
III-2.1.1.- Intensidad estacionaria o de pico	98
III-2.1.2.- Divergencia horizontal	98
III-2.1.3.- Divergencia vertical	99
III-2.2.- Determinación por métodos de cálculo directo	99
III-2.2.1.- Método I. Schmidt-Clausen	102
III-2.2.2.- Método II. Allard	104
III-2.2.3.- Método III. Blondel-Rey-Douglas	105
III-2.2.4.- Cálculo aproximado de la intensidad estacionaria	107
III-2.2.4.1.- Proyector de haz plano o de horizonte (Fan beam)	109
III-2.2.4.2.- Proyectores de haz direccional (Pencil beam)	111
III-2.2.4.3.- Determinación experimental grosera	115
III-2.3.- Determinación por técnicas de semejanza	116
III-2.3.1.- Opticas fijas (diópticas y catadiópticas)	116
III-2.3.2.- Opticas giratorias (diópticas y catadiópticas)	116
III-2.3.3.- Observaciones	117
III-2.4.- Determinación por medida directa	118
III-2.5.- Determinación en la práctica habitual	118
III-2.5.1.- Aparatos giratorios dioptrio-catadiópticos	118
III-2.5.2.- Aparatos giratorios catópticos	121
III-2.5.3.- Opticas de horizonte con lámparas eléctricas	124
III-2.5.4.- Opticas de horizonte con quemadores de gas	124
III-2.5.5.- Opticas mixtas	126
III-3.- INTENSIDAD DE CALCULO	126
III-3.1.- Corrección por linternas y envejecimiento de lámparas	126
III-3.2.- Correcciones por filtros de color	126

	<u>Página</u>
III-3.3.- Corrección por umbral de percepción	127
III-3.4.- Valor de la intensidad para el cálculo de alcances	127
III-4.- TABLAS DE INTENSIDAD Y DIVERGENCIAS VERTICALES CON DISTINTAS COMBINACIONES DE OPTICAS Y FUENTES LUMINOSAS	127
III-4.1.- Opticas de horizonte	127
III-4.2.- Opticas de dirección (ojos de buey)	131
IV.- <u>ALCANCE DE LAS SEÑALES LUMINOSAS. SEÑALES ESPECIALES</u>	135
IV-1.- ALCANCE Y CLASIFICACION DE LAS SEÑALES	135
IV-1.1.- Conceptos relacionados con el alcance	135
IV-1.1.1.- Coeficiente de transmisión atmosférica	135
IV-1.1.2.- Relación visibilidad meteorológica y transmisión atmosférica	136
IV-1.1.3.- Umbral de percepción de la luz	139
IV-1.1.4.- Ley del inverso del cuadrado	141
IV-1.2.- Alcance luminoso	142
IV-1.2.1.- Fórmula de Allard	142
IV-1.2.2.- Limitaciones de la fórmula de Allard	142
IV-1.2.3.- Alcance nominal nocturno	144
IV-1.2.4.- Alcance nominal diurno	149
IV-1.3.- Alcance geográfico	150
IV-1.3.1.- Propagación recta de la luz	151
IV-1.3.2.- Propagación curva de la luz	152
IV-1.4.- Demoras de sectores de ocultación	156
IV-1.4.1.- Consignación en documentos náuticos	156
IV-1.4.2.- Determinación	156
IV-1.4.2.1.- Al pasar el sol por el meridiano	157
IV-1.4.2.2.- A cualquier hora	158
IV-2.- ENFILACIONES	160
IV-2.1.- Cálculo de la base	161
IV-2.1.1.- Primer método	163
IV-2.1.2.- Segundo método	165
IV-2.1.3.- Base fija	167
IV-2.2.- Cálculo de la altura de los planos focales	167
IV-2.2.1.- De la luz anterior	167
IV-2.2.2.- De la luz posterior	168

	<u>Página</u>
IV-2.3.- Sensibilidad lateral	168
IV-2.4.- Cálculo de la instalacion luminosa	172
IV-2.4.1.- Peculiaridades	172
IV-2.4.2.- Equilibrado de las iluminaciones	174
IV-3.- SECTORES ESPECIALES	175
IV-3.1.- Deslumbramiento	175
IV-3.2.- Apantallamientos	176
IV-3.3.- Coloración de sectores	178
IV-4.- SEÑALES AEROMARITIMAS	178
IV-4.1.- Coeficientes de transmisión	179
IV-4.2.- Método de cálculo	179
IV-4.2.1.- El panel óptico	179
IV-4.2.2.- El alcance	182
IV-4.3.- Apariencias	183
IV-5.- TABLA DE ALCANCES EN OPTICAS GIRATORIAS	183
V.- <u>SEÑALES RADIOELECTRICAS</u>	187
V-1.- INTRODUCCION	187
V-2.- LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS	187
V-2.1.- Campos eléctricos	187
V-2.2.- Campos magnéticos creados por corrientes eléctricas	188
V-2.3.- Ondas electromagnéticas	189
V-2.4.- Polarización de las ondas electromagnéticas	190
V-3.- PRINCIPIOS DE TRANSMISION POR RADIO	190
V-3.1.- El emisor y el receptor	191
V-3.2.- Propagación de las ondas	192
V-3.3.- Antenas	194
V-4.- ONDAS Y TIPOS DE SEÑALES	195
V-4.1.- Dispositivos basados en la polarización	195
V-4.1.1.- Radiofaros circulares	195
V-4.1.2.- Radiobalizas	198
V-4.1.3.- Potencia del transmisor según el alcance	199
V-4.1.3.1.- Límites inferiores de intensidad de campo electromagnético	199
V-4.1.3.2.- Fórmula de Austin	200
V-4.1.3.3.- Cálculo de antenas y tierras	203
V-4.1.4.- Distancia entre radiofaros	207
V-4.2.- Dispositivos basados en las interferencias	209

	<u>Página</u>
V-4.2.1.- Radiofaros direccionales	209
V-4.2.2.- Sistema Consol	210
V-4.3.- Dispositivos basados en la velocidad de propagación	213
V-4.3.1.- Sistemas hiperbólicos	213
V-4.3.1.1.- Sistema Decca	213
V-4.3.1.2.- Sistema Toran	215
V-4.3.1.3.- Sistema Omega	217
V-4.3.1.4.- Sistema Omega Diferencial	218
V-4.3.1.5.- Sistema Loran	219
V-4.3.2.- Sistema de navegación por satélite	221
V-4.3.3.- Sistema de radar	222
V-4.3.3.1.- Principio general	222
V-4.3.3.2.- Dispositivos particulares de los radares de navegación	223
V-4.3.3.3.- Conceptos operacionales. Relación alcance/potencia	225
V-4.3.3.4.- Reflectores de radar pasivos	226
V-4.3.3.5.- Determinación aproximada del alcance	231
V-4.3.3.6.- Determinación rigurosa del alcance	235
V-4.3.3.7.- Reflectores de radar activos	238
V-4.4.- Comparación entre los distintos sistemas	241
<u>VI.- SEÑALES ACUSTICAS</u>	245
VI-1.- INTRODUCCION	245
VI-2.- CONCEPTOS BASICOS	245
VI-2.1.- Tono	245
VI-2.2.- Timbre	245
VI-2.3.- Intensidad	245
VI-2.4.- Ley de Weber Fechner	246
VI-2.5.- Relación entre nivel de intensidad de la fuente y nivel de intensidad de la sensación	247
VI-2.6.- Tonos y apariencias sonoras habituales	247
VI-3.- CALCULO DE LAS SEÑALES ACUSTICAS	248
VI-3.1.- Límite inferior de percepción del sonido	249
VI-3.2.- Determinación de los alcances	250

	<u>Página</u>
VI-3.2.1.- Con nivel de presión acústica a 1 cm	250
VI-3.2.2.- Con nivel de presión acústica a 30 metros	252
VI-3.3.- Tipificación de señales acústicas	253
VI-3.4.- Alcances acústicos normalizados	253
VI-3.4.1.- Alcance nominal en sonidos puros	253
VI-3.4.2.- Alcance real o usual en sonidos puros	254
VI-3.4.3.- Caso de los sonidos complejos	256
VI-3.5.- Influencia del viento	257
VI-3.5.1.- Zonas de silencio	257
VI-3.5.2.- Variación del coeficiente de pérdidas	259
VI-3.6.- Pantallas deflectoras	260
VI-3.7.- Calderines y compresores	261
VI-4.- CLASES DE SEÑALES ACUSTICAS (TABLAS)	261
<u>VII.- INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS Y NORMAS ESPECIALES</u>	269
VII-1.- INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS	269
VII-1.1.- Boyas	269
VII-1.1.1.- Cuerpo del flotador	269
VII-1.1.2.- Tren de fondeo	287
VII-1.1.2.1.- Cálculos	287
VII-1.1.2.2.- Dimensionamiento	289
VII-1.1.3.- Muerto de anclaje	305
VII-1.2.- Linternas	310
VII-1.2.1.- Linternas visitables	310
VII-1.2.2.- Linternas no visitables	310
VII-1.2.3.- Instalaciones que alojan	317
VII-1.2.3.1.- Basamentos y máquinas de rotación	317
VII-1.2.3.2.- Cambiadores automáticos de lámparas	318
VII-1.3.- Baterías de acumuladores	320
VII-1.3.1.- Acumuladores de acetileno	320
VII-1.3.1.1.- Consumo de los quemadores de gas	320
VII-1.3.1.2.- Acumuladores de gas	324
VII-1.3.2.- Acumuladores eléctricos	325
VII-1.3.2.1.- Consumo de la instalación eléctrica	326

	<u>Página</u>
VII-1.3.2.2.- Características de un acumulador eléctrico	326
VII-1.3.2.3.- Tipos de acumuladores eléctricos	327
VII-1.4.- Generadores eléctricos	328
VII-1.4.1.- Generadores eléctricos por conversión fotovoltaica	328
VII-1.4.1.1.- Dimensionamiento de los paneles	329
VII-1.4.1.2.- Dimensionamiento de las baterías	331
VII-1.4.2.- Aerogeneradores	332
VII-1.4.2.1.- Dimensionamiento del aerogenerador	333
VII-1.4.2.2.- Dimensionamiento de las baterías	334
VII-1.4.3.- Generadores activados por olas	335
VII-1.5.- Torres de faros	337
VII-1.5.1.- Elección del tipo de torre	337
VII-1.5.1.1.- Limitaciones de los tipos	338
VII-1.5.1.2.- Torres que deben adoptarse	338
VII-1.5.2.- Cálculo de la torre	347
VII-1.5.2.1.- Acción del viento o del roci6n	347
VII-1.5.2.2.- Acción del oleaje rompiente	348
VII-1.5.3.- Disposiciones especiales	349
VII-1.5.3.1.- Tierras	349
VII-1.5.3.2.- Carpinterías	349
VII-1.5.3.3.- Balconcillos	352
VII-1.5.3.4.- Cámara de acumuladores	352
VII-1.5.3.5.- Muelle de carga	352
VII-1.5.3.6.- Iluminación de interiores	352
VII-1.5.3.7.- Escalera interior	352
VII-1.5.4.- Torretas	352
VII-1.5.5.- Torres y torretas utilizadas como balizamiento diurno	352
VII-1.6.- Cálculo de embarcaderos	361
VII-1.6.1.- En zonas abrigadas	361
VII-1.6.2.- Sometidos al oleaje rompiente	361

	<u>Página</u>
VII-1.7.- Pararrayos y tomas de tierra	361
VII-1.7.1.- Pararrayos	361
VII-1.7.1.1.- Disposición general	361
VII-1.7.1.2.- Dispositivos de captación	363
VII-1.7.1.3.- Bajantes	363
VII-1.7.2.- Tomas de tierra	365
VII-1.7.2.1.- Generalidades	365
VII-1.7.2.2.- Dimensionamiento	365
VII-1.7.2.3.- Medida del valor de la resistencia de una toma de tierra	366
VII-1.7.3.- Tomas en el mar	367
VII-1.7.4.- Disposiciones especiales en las torres	367
VII-1.7.5.- Disposiciones especiales en los radiofaros	369
VII-1.7.6.- Materiales a utilizar	373
VII-1.7.7.- Precauciones a tener en cuenta	373
VII-1.8.- Cálculo de líneas eléctricas	373
VII-1.8.1.- Condiciones de las instalaciones	373
VII-1.8.2.- Cálculo de la línea	375
VII-1.8.2.1.- Zancas	375
VII-1.8.2.2.- Postes	376
VII-1.8.2.3.- Cálculo de la sección del conductor	382
VII-1.8.2.4.- Separación entre conductores	388
VII-1.8.3.- Estación de transformación	389
VII-2.- DISPONIBILIDAD Y FIABILIDAD	392
VII-2.1.- Introducción	392
VII-2.2.- Definiciones	392
VII-2.2.1.- Fiabilidad (R: Reliability)	392
VII-2.2.2.- Disponibilidad (A: Availability)	392
VII-2.2.3.- Avería	392
VII-2.2.4.- Tasa de avería (F: Failure Rate)	392
VII-2.2.5.- Tiempo medio de un buen funcionamiento (MTBF: Mean Time Between Failures)	393
VII-2.2.6.- Tiempo medio de reparación (MTTR: Mean Time To Repair)	393

	<u>Página</u>
VII-2.2.7.- Tiempo de servicio	393
VII-2.2.8.- Tiempo total de buen funcionamiento (UT: Up Time)	393
VII-2.2.9.- Tiempo total de avería (DT: Down Time)	393
VII-2.2.10.- Disponibilidad (D:Mean Percentage Down Time)	393
VII-2.3.- Relaciones	393
VII-2.4.- Precisiones acerca de las definiciones	394
VII-2.5.- Mantenibilidad	396
VII-2.6.- Valores requeridos	397
VII-3.- REGLAS DE SEÑALIZACION	397
VII-3.1.- Señalización de playas	397
VII-3.1.1.- Balizamiento de la Banda Litoral	397
VII-3.1.2.- Balizamiento de las zonas de protección en el interior de la banda litoral	398
VII-3.1.2.1.- Zonas de protección para baños	398
VII-3.1.2.2.- Zonas reservadas para baños	398
VII-3.1.2.3.- Zonas prohibidas para embarcaciones a motor	398
VII-3.1.2.4.- Canales de paso	398
VII-3.1.3.- Elementos constitutivos del balizamiento	399
VII-3.1.3.1.- Boyas	399
VII-3.1.3.2.- Discos de señalización	401
VII-3.2.- Señalización de plataformas off-shore	401
VII-3.2.1.- Campo de aplicación	403
VII-3.2.2.- Señalización	403
VII-3.2.3.- Señalización complementaria	404
VII-3.3.- Balizamiento en lagos	404
VII-3.4.- Balizamiento de diques y obras portuarias	404
VII-3.5.- Balizamiento de puentes sobre canales	406
VII-3.5.1.- Señalización visual	406
VII-3.5.1.1.- Señales ciegas	406
VII-3.5.1.2.- Señales luminosas	406
VII-3.5.1.3.- Señalización acústica	406
VII-3.5.2.- Señalización radioeléctrica	406

	<u>Página</u>
VII-3.6.- Balizamiento de un canal de estuarios	406
APENDICE	411
SIMBOLOS UTILIZADOS	421
BIBLIOGRAFIA	433
EJERCICIOS	441

CAPITULO PRIMERO

EVOLUCION, TIPOS Y SISTEMAS

Para la redacción de los textos y para la selección de figuras, ábacos y tablas del presente Capítulo se han utilizado las publicaciones que, en la anexa reseña bibliográfica, figuran con las siglas:

A.6 A.9 A.12

C.7 C.21 C.27 C.32



I.- EVOLUCION, TIPOS Y SISTEMAS

I-1.- LA SEÑALIZACION MARITIMA

El diccionario de la "Association Internationale de Signalisation Maritime" (IALA/AISM) define la señal de ayuda a la navegación como "dispositivo visual, acústico o radioeléctrico destinado a garantizar la seguridad de la navegación y a facilitar sus movimientos". El conjunto de señales de ayuda a la navegación constituye la señalización marítima.

Esta definición supone que la ayuda se realiza desde un punto prácticamente fijo establecido sobre la tierra o en el mar en forma de mensaje emitido permanentemente.

I-1.1.- Evolución

Las ayudas de la navegación no tenían históricamente otro objeto que constituir una recalada para los puertos más importantes con cierta función comercial. Los puertos de Alejandría, de Rodas, de Ostia Antica y de Cadiz, así como otros de los que tenemos noticia a través de los historiadores clásicos, tenían sus respectivos faros para que durante la noche los navegantes pudieran recalar a los puertos respectivos.

Esta práctica, que conocemos del tiempo del Imperio Romano, perduró a lo largo de toda la Edad Media e incluso Edad Moderna. Es preciso llegar a fines del siglo XVIII para que encontremos cierta organización y sistematización en el servicio de las ayudas de la navegación, consideradas como un conjunto a lo largo de las costas.

Durante el siglo pasado los diversos países del mundo civilizado organizaron el alumbrado de las costas por medio de los correspondientes planes que, en general, se desarrollaron a lo largo del segundo tercio del siglo.

En España la mayor parte de los faros procede del Plan de Alumbramiento de las Costas Españolas, impulsado por el general Espartero y aprobado por Real Decreto de 13 de septiembre de 1847. En él se preveían un total de 153 faros de los cuales, dados los medios disponibles en aquella época, se construyeron con gran celeridad y eficacia.

La red principal de faros actualmente existente viene a ser la que procede del siglo pasado con algunas mejoras o adiciones introducidas posteriormente; no sucede así con el balizamiento de los puertos que ha experimentado una notable mejora a lo largo del presente siglo.

El número de señales respecto a la longitud del litoral que tienen diversos países, según datos de 1982, es:

Francia	470 señales por 100 millas
Inglaterra	112 señales por 100 millas
Estados Unidos ...	567 señales por 100 millas
Noruega	249 señales por 100 millas
España	62 señales por 100 millas

I-1.2.- Función

La utilidad de los dispositivos de ayuda a la navegación marítima es doble:

- 1º. Evitar las pérdidas por accidentes, tanto de buques, vidas humanas como de mercancías; y
- 2º. Ahorrar tiempo.

Para conseguir esto las señales marítimas desempeñan una triple función: en primer lugar, conforme a un plan previamente establecido, deben servir para que los distintos buques puedan en todo tiempo, en cualquier punto de la mar y con cualquier tipo de situaciones meteorológicas, poder situarse sobre la carta náutica, es decir, conocer aproximadamente la latitud y longitud del punto donde se encuentran a lo largo de la derrota que siguen; a esta función obedecen principalmente los faros de mediano y gran alcance y los radiofaros.

En segundo lugar deben servir para facilitar la recalada hasta los puertos de destino o puntos del litoral donde se dirigen; esta necesidad se satisface con los faros de grande, mediano y pequeño alcance así como con los radiofaros omnidireccionales y direccionales que más adelante definiremos.

Una tercera función que tienen que desempeñar las señales marítimas es la de advertir de los peligros que puede encontrar el navegante, como por ejemplo, naufragios, pecios, escollos u otros obstáculos o bien la de informarle en relación con la situación de puntos caracterizados o acusados de los canales o de los puertos.

La función que antes hemos indicado para los buques puede generalizarse también a las embarcaciones pesqueras en el sentido de permitir a los pescadores la situación en las pesquerías durante la noche; para esta necesidad se disponen faros de pequeño alcance, en general cubriendo la zona costera o franja de doce millas de ancho que permite, en todo caso, la observación simultánea de dos señales.

Por último, y dado el auge que experimenta la navegación deportiva actualmente, debe significarse que las señales ciegas o diurnas, es decir aquellas que sólo son observables durante el día (excepcionalmente durante la noche si se dotan de cintas reflexivas) comienza a alcanzar hoy día gran desarrollo.

I-2.- DIVERSOS TIPOS DE SEÑALES MARITIMAS

Cuatro son los tipos fundamentales de señales marítimas: las ciegas, las luminosas, las acústicas y las radioeléctricas.

Esencialmente todas ellas se basan en las ondas luminosas, ondas sonoras y ondas electromagnéticas.

Los dos primeros tipos se dirigen directamente a los sentidos del navegante, por lo que las señales ciegas, luminosas y acústicas no precisan instrumentos especiales a bordo para ser detectadas; son simplemente suficientes los sentidos del observador y, por ello, con el simple auxilio de los Derroteros o Libros de Faros pueden ser perfectamente indentificadas y utilizadas.

Por el contrario las señales marítimas radioeléctricas precisan la existencia a bordo no sólo de unos receptores especiales sino incluso, en las señales hiperbólicas, de cartas náuticas especialmente diseñadas al efecto que en unión de las estaciones en tierra permiten utilizar la ayuda.

Las distintas señales marítimas ocupan en el espectro de radiaciones (Figura I.1) determinadas longitudes de onda según el tipo de que se trate: las luminosas con longitudes de onda del orden de la micra; las señales de radar con longitudes de onda del orden de 3 ó 10 centímetros; las señales acústicas tienen una amplia gama que oscila entre los 20 mm. y los 20,00 metros de longitud de onda; por último, se encuentran las señales radioeléctricas que comunmente tienen longitudes de onda del orden de los 1.000 metros en los radiofaros circulares y otras longitudes muy diferentes en sistemas especiales donde se oscila desde el VLF hasta el SHF, o sea entre los 10 km. y los 10 cms.(veáse tabla V.1.).

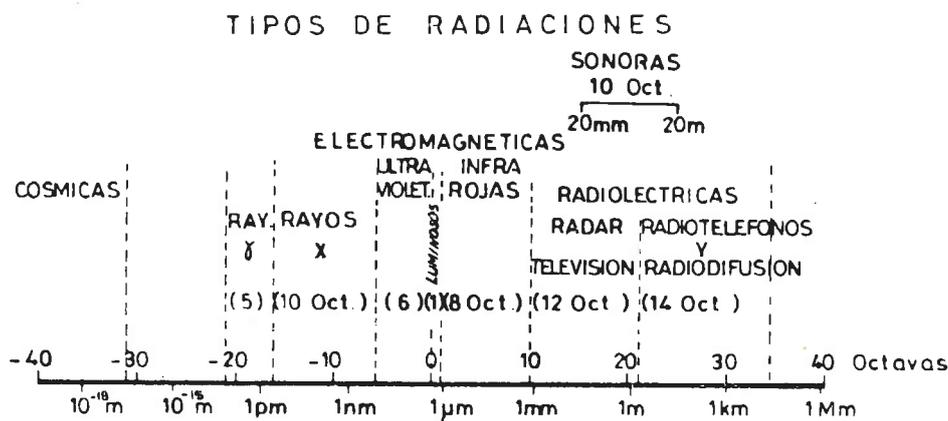


Figura I.1. Tipos de radiaciones y lugar que corresponde en la escala a las señales marítimas luminosas o radioeléctricas

Solamente se abordarán en los presentes temas las cuestiones que afectan a las instalaciones en tierra aunque se haga alguna sucinta referencia a las que se hallan a bordo correspondientes a los instrumentos especiales complementarios de cada uno de los tipos de ayuda.

I-2.1.- Señales ciegas

Las señales ciegas se establecen para ser utilizadas sólo durante el día, balizando determinadas costas o márgenes con el fin de suministrar al navegante las informaciones que precisa.

Tienen una distancia de reconocimiento relativamente corta, siempre del orden de los centenares de metros, a simple vista, y, excepcionalmente, algunos millares. Su función queda prácticamente reducida a servir de información para la navegación de costa, opara las pequeñas embarcaciones de pesca de bajura, o de recreo.

Están formadas por un cuerpo, de forma y color según el Reglamento de Balizamiento, y una señal de tope. El mensaje de la marca queda determinado por una o más de las características: color, forma, marca de tope y/o ritmo de luz. Además, cuando son

numerosas estas señales a lo largo de un canal, se les dota de numeración, colocando los números impares en el lado de estribor y los pares a babor.

Esta clase de señales prácticamente no ha experimentado ninguna evolución desde que fue establecida.

Todas las torretas, torres o soportes de las señales marítimas luminosas constituyen también realmente señales diurnas. Por esta circunstancia actualmente se cuida el aspecto de estas construcciones, que se describe en los libros de faros que utilizan los pilotos, y se les dota de franjas de colores u otros dibujos característicos para facilitar el reconocimiento de la señal.

I-2.2.- Señales luminosas

Las señales luminosas, que son las clásicas, están constituidas por faros, balizas luminosas y luces de puerto, denominación relativa a su importancia y, en especial, a su alcance luminoso. Dichas señales cubren una zona o franja costera de un ancho de unas 30 millas náuticas; fuera de esta zona, en general, resulta difícil tener alcances luminosos adecuados y también conseguir alcances geográficos.

Los faros son luces que se disponen sobre torres en puntos determinados de la costa, de forma que al ser reconocidos por los navegantes puedan determinar su situación con relación a ellos y sobre las cartas náuticas. Se sitúan en lugares de la costa que dominen una gran extensión de mar, en las islas y en las inmediaciones de los puertos más importantes.

Una vez divisado el faro, la identificación se consigue gracias a su "apariencia luminosa" (véase apartado III-1.5.).

Las balizas y boyas luminosas son luces que se disponen sobre postes y torretas para señalar peligros ocultos o no, canales navegables, puntos avanzados en la costa y puntos singulares próximos a las aguas navegables. Sus alcances luminosos son mucho menores que los de los faros y sus apariencias similares.

Un tipo especial son las enfilaciones luminosas, formadas por un conjunto de dos luces que determinan un sector utilizable por los navegantes en un tramo determinado de canal.

Las luces de puerto son de características análogas a las de las balizas luminosas. Se sitúan en los morros de los diques de abrigo y en los extremos de los muelles, de forma que cualquier barco que entre o salga durante la noche pueda conocer perfectamente la ruta a seguir.

Las señales luminosas en general son universalmente utilizadas por los navegantes por su simplicidad y claridad. Las modificaciones que han ido sufriendo han tendido a conseguir mayor seguridad de funcionamiento, y mayor rapidez y claridad de reconocimiento en el máximo número de días posible.

I-2.3.- Señales radioeléctricas y reflectores de radar

Las señales radioeléctricas se han desarrollado extraordi-

nariamente a partir de la Segunda Guerra Mundial, estableciéndose nuevos sistemas de ayuda a la navegación.

Las principales señales de esta clase son: radiofaros circulares, radiofaros direccionales, sistemas hiperbólicos y sistemas de radar.

A partir de las 30 millas náuticas de la costa y hasta unas 100 millas -y sin perjuicio de que también puedan ser utilizados dentro de la franja de 30 millas- tienen su campo de acción los radiofaros circulares, señales radioeléctricas que normalmente funcionan conjugadas de tres en tres; los radiofaros tienen sobre los faros, además, la gran ventaja de ser señales marítimas utilizables, salvo contadísimas excepciones, con toda clase de tiempo meteorológico, dando una exactitud muy aceptable para las situaciones que se toman con ellos.

Los radiofaros circulares son las señales radioeléctricas más antiguas. Son estaciones transmisoras que emiten en todas direcciones una señal determinada durante cierto espacio de tiempo con una frecuencia fijada para cada grupo. Un navío equipado con receptor de radio puede recoger estas señales y, por medio del radiogoniómetro, fijar la demora con respecto al radiofaro emisor.

Los radiofaros direccionales se componen, en esencia, de una emisora de radio con dos antenas de cuadro que establecen una enfilación. Las señales son emitidas con los campos producidos por ambas antenas en fase y en oposición. Para poder utilizar los radiofaros direccionales los barcos necesitan disponer únicamente de un sencillo receptor de radio.

A partir de las cien millas y excepcionalmente de las doscientas millas -y también sin perjuicio de que dentro de esta franja puedan ser utilizadas- tienen su campo de acción otras señales radioeléctricas: las hiperbólicas; con estas señales ha llegado a cubrirse la totalidad de los mares y océanos si bien, como es lógico, a mayor alcance se pierde precisión.

Los sistemas hiperbólicos permiten a un navío fijar su situación en función de las diferencias de tiempo o fase con que llegan a él las señales emitidas por dos estaciones radioeléctricas. Este sistema fundamental ha sido desarrollado con diversas diferencias basadas en la situación de las estaciones, distancia entre ellas y forma de medir el tiempo y de lectura por los sistemas Loran, Decca, Toran, Omega, etc.

Otras señales muy especiales que conciernen solo en parte al servicio de señalización marítima son las balizas de radar que permiten conocer sobre la pantalla panorámica la situación relativa del buque en relación con los puntos del litoral o con las obras existentes en los canales o en los puertos.

A efectos de hacer notar la existencia de determinados peligros que no podrían ser apreciados de otra forma, o para destacar lugares interesantes de la costa, se establecen reflectores de radar formados por agrupaciones de diedros y triedros rectos metálicos que reflejan las ondas que reciben.

I-2.4.- Señales acústicas

Se ha dejado para el final el tipo de señales acústicas ya que éstas al contrario de las anteriormente reseñadas no tienen una función específica de situación, es decir, no permiten determinar, sobre una carta náutica, el punto donde se encuentra el buque o embarcación. Estas señales que funcionan con ocasión de la presentación de la niebla no tienen más objeto que advertir a los buques la próxima presencia de islotes, cabos o elementos geográficos que pudieran constituir un serio peligro para la navegación por no ser vistos a causa de la bruma.

Las señales acústicas pueden ser cañones, silbatos, campanas y sirenas, siendo éstas sirenas propiamente dichas o vibradores electromagnéticos.

I-3.- UTILIZACION POR EL NAVEGANTE

I-3.1.- Libros de Faros y Cartas Náuticas

Las distintas señales marítimas se definen con todas sus características, tanto relativas a su apariencia luminosa como a sus datos topográficos y toponímicos, en los Libros de Faros que se editan en los Servicios correspondientes de Marina, en España se editan en el Instituto Hidrográfico de la Marina. También se reseñan las características de estas señales en los Derroteros que informan sobre las distintas costas, en los cuadernos de radiofaros, que son con los radiofaros lo que los Libros de Faros con los faros.

Todas estas señales tienen que establecerse conforme a Reglamentos internacionales específicos y a los que los distintos países tienen promulgados para sus propios servicios. En España el primer Reglamento para balizamiento de las costas españolas fue aprobado por Decreto de 22 de abril de 1949. Tras diversas modificaciones finalmente se ha adoptado el Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA/AISM en virtud del Decreto 1835/83 de 25-5-1983.

Al producirse variaciones en las distintas señales o implantarse otras nuevas, los diferentes Servicios cursan con la correspondiente antelación los oportunos avisos que son circulados por el Instituto Hidrográfico de la Marina para conocimiento de los navegantes y para que los distintos Libros de Faros de las entidades náuticas de los diversos países puedan recoger dichas variaciones.

Al Ingeniero encargado del Servicio le conciernen dos aspectos muy concretos de la señalización marítima: en primer término el proyecto, construcción y establecimiento de las nuevas señales conforme a los datos, relativos a apariencia y alcance que acuerda la Comisión Interministerial Permanente de Faros (en el MOPU); en segundo lugar, atender a la conservación y mantenimiento de dichos faros y al servicio de los mismos tanto por lo que se refiere al personal como al cuidado de las instalaciones. Este Servicio radica actualmente en las Juntas de Puertos, Grupos de Puertos y Jefatura de Puertos y Costas, con arreglo a los Reglamentos específicos de tipo administrativo.

Otro de los documentos o planos usados por el navegante son las cartas náuticas. Son éstas descripciones gráficas a escala

de una extensión de mar y algunas de sus costas, con todos los detalles convenientes y necesarios a la navegación. En casi todas las naciones, la confección de las Cartas Náuticas es de competencia oficial, pero, no obstante, existen grandes empresas privadas que editan cartas marítimas famosas.

Existen asimismo cartas náuticas especializadas que recogen los diversos dispositivos y cadenas radioeléctricas hiperbólicas para facilitar su utilización.

En cuanto a la instalación de luces y balizas en las costas españolas según la Constitución de 1978, artículo 149, el Estado tiene competencia exclusiva sobre ella, y no es posible su transferencia a las Comunidades Autónomas.

Corresponde, no obstante, a éstas últimas el mantenimiento de dichas señales.

I-3.2.- Procesos de utilización

La utilización por el navegante de las distintas señales marítimas se basa en cuatro procesos distintos (Figura I-2).

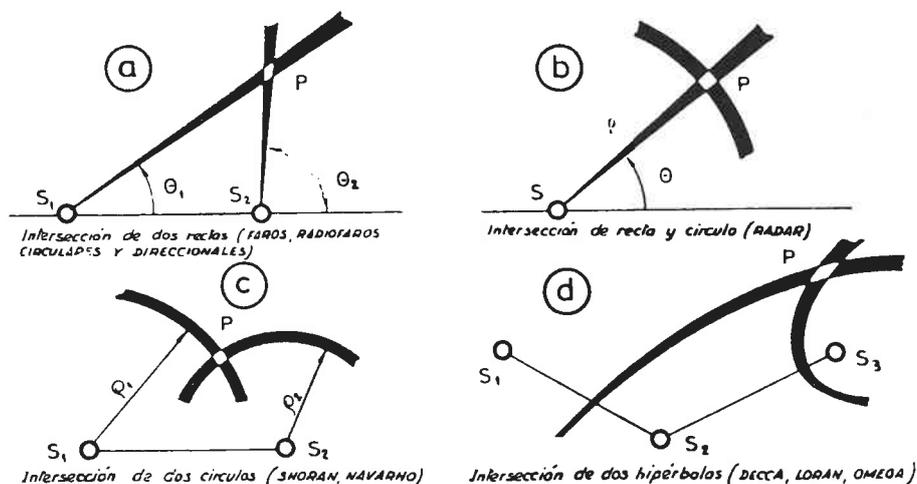


Figura I.2. Diversos procesos o sistemas para fijar la posición de un buque sobre una carta náutica

Los faros y los radiofaros circulares permiten la situación de determinadas demoras sobre la carta náutica que definen el punto donde se encuentra el buque. Se trata pues de la intersección de dos lugares geométricos constituídos cada uno de ellos por una recta; se consigue mayor exactitud, sobre todo en los casos en que la intersección tiene lugar entre rectas correspondientes a demoras muy oblicuas, si puede utilizarse un tercer faro o radiofaro.

Otro procedimiento o proceso consiste en definir el punto de situación por medio de una recta y un círculo; estos lugares geométricos corresponden a los sistemas de radar.

Un tercer punto o procedimiento, consiste en establecer

como lugares geométricos dos círculos cuya intersección define la situación del buque; este procedimiento no introducido en España es el denominado "SHORAN" y "NAVARHO".

Por último, existe un cuarto proceso al que corresponden las señales radioeléctricas hiperbólicas que permite situar el buque por medio de intersección de dos familias de hipérbolas; también en este caso, disponiendo de tres estaciones, es posible utilizar una tercera familia en aquellos casos en que la intersección resulta entre ramas muy oblicuas.

Para definir las demoras con los radiofaros se precisa la existencia a bordo de receptores especiales; una vez conocidas las demoras el proceso de fijación sobre la carta es idéntico al que se emplea cuando se toman como base los faros.

Por el contrario con las señales hiperbólicas los receptores precisan ser complementados con las cartas náuticas especializadas, distintas de las ordinarias y, a veces, acometer cálculos complejos que justifican la utilización de ordenadores.

Existe otro tipo de ayudas a la navegación que proporcionan una respuesta automática al ser activadas por una señal emitida por el buque. Dentro de este tipo se puede incluir el RACON.

I-3.3.- Ayudas con comunicación

Todas las ayudas a la navegación citadas, dependientes del MOPU, se prestan sin respuesta del usuario, por lo que no deben confundirse con otros sistemas -como el de guiado por radar- que implican comunicación con el puente de mando y no dependen del MOPU. Por ello quizás los faros sean las obras públicas por excelencia, ya que prestan servicio sin conocer al usuario ni poderle exigir una tarifa.

Por último tampoco deben confundirse las señales marítimas con las "señales visuales de temporal y puerto" que se rigen por el Reglamento aprobado por Decreto de 24 de junio de 1948, a cargo de la Autoridad de Marina y que, por medio de banderas, gallardetes, bolas, cilindros y conos, suspendido todo ello de mástiles, regulan la apertura o cierre de puertos y otros extremos de policía náutica. Salvo en puertos deportivos, han caído hoy en desuso.

Y quedan aún otras señales, también dependientes de la Autoridad de Marina -que no deben confundirse con las señales marítimas de que nos ocupamos- que son las de los semáforos en puertos o puntos del litoral. También adolecen éstas de franca obsolescencia, en especial desde que se pusieron en boga los sistemas de comunicación por radio a través de canales en V.H.F.

I-4.- SISTEMAS DE BALIZAMIENTO

1.4.1.- Sistemas tradicionales Cardinal y Lateral

Tradicionalmente han venido utilizándose, según las épocas y países, diversos sistemas de balizamiento que pueden agruparse en dos grandes tipos: el cardinal y el lateral.

En el Sistema Cardinal, que no ha sido tradicional en

España, la baliza transmite su mensaje en relación con los puntos cardinales por lo que la señal debe relacionarse con dichos puntos con independencia absoluta de la posición del observador y del sentido de su ruta. (por ejemplo: señal de tres destellos blancos rápidos significa aguas profundas a levante).

En el Sistema Lateral, que ha sido el tradicional en España, el mensaje que transmite la baliza se relaciona con el costado del buque y el sentido de su ruta (por ejemplo: señal roja en puerto significa que debe dejarse por el costado de babor entrando). El sentido que generalmente se adopta es el de entrada en los puertos y el de las agujas de un reloj al considerar las costas de islas y continentes.

El Sistema que se adoptó en la Conferencia Internacional de la IALA/AISM de Tokyo de 1980 -que más adelante se especifica- tomó reglas de ambos Sistemas, la parte que el de IALA/AISM recogió del mismo en determinadas condiciones de color y ritmo.

Aparte de los sistemas de balizamiento de detalle citados se hallan los faros de recalada y de costa cuya misión fundamental es dar demoras y que no se sujetan a reglas específicas.

El último Sistema Lateral español, aprobado por Decreto de 22 de abril de 1949, fue derogado por Real Decreto de 29 de julio de 1977 al implantarse el "Sistema A" que, a su vez, se derogó por Real Decreto de 25 de mayo de 1983, al establecerse el vigente Sistema de la IALA/AISM.

1.4.2.- Situación histórica

En 1975 había en el mundo más de treinta sistemas de balizamiento cuyas reglas se contradecían mutuamente con los consiguientes riesgos de confusión para el navegante. Estos riesgos podían resultar especialmente peligrosos en los balizamientos de naufragios o pecios sobre los que la carta no podía dar información complementaria a la señal.

Cuando a fines del siglo pasado aparecieron las balizas sobre boyas se produjo un desacuerdo mundial sobre la manera de utilizarlas unos países optaron por disponer el rojo en el costado de babor (Europa y su zona de influencia) mientras que otros reservaron este color para el costado de estribor (América y su zona de influencia). Otra diferencia de criterio que dividió a los países consistió en la adopción de los sistemas lateral o cardinal según se considerara o no una dirección convenida de la navegación.

Realizadas numerosas tentativas para eliminar estas divergencias no pudo conseguirse consenso. En la Conferencia de Ginebra en 1936 se llegó a un sistema unificado de balizamiento bajo los auspicios de la Sociedad de Naciones proponiendo el empleo indistinto de marcas cardinales o laterales clasificadas en dos sistemas de reglas fijando el rojo para las marcas de babor; este acuerdo no fue ratificado por los países por lo que llegó la Segunda Guerra Mundial sin progresos efectivos en la tarea de normalización internacional.

Finalizada la guerra muchas señales marítimas quedaron destruidas y hubo de abordarse una importante labor de reconstrucción;

a falta de otra solución mejor varios países adoptaron las reglas de Ginebra aunque modificadas en ocasiones para ajustarlas a condiciones locales, o a los equipos de que se disponía, lo cual originó importantes diferencias e incluso incoherencias especialmente en las frecuentadas aguas del Nord-Oeste de Europa donde las señales se cuentan por decenas de miles.

I-4.3.- Sistema de la IALA/AISM

En esta situación propensa a las confusiones se encontraban los sistemas de balizamiento cuando una serie de desastrosos naufragios ocurridos en el Canal de la Mancha en 1971 constituyeron un acicate para tratar de llegar a un consenso internacional.

Para responder a las necesidades contradictorias existentes se decidió crear en una primera etapa en 1976 dos Sistemas de Señalización, A y B, según utilizasen el rojo para los lados de babor y estribor respectivamente de los canales.

Al elaborarse las reglas de ambos sistemas se vió, no obstante, que eran idénticas prácticamente, por lo que el Comité Ejecutivo de la IALA/AISM decidió agruparlas en un único Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA/AISM. Este sistema permite la colocación del color rojo en las señales de babor o estribor según se esté en la región A ó B (Figura I-3).

Se consigue así finalmente la unificación de criterios al ser reconocido y adoptado el sistema por más de 50 países del mundo en 1980 (Conferencia de Tokyo).

En el Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA/AISM se pueden disponer de combinaciones de cinco tipos de marcas: laterales, cardinales, de peligro aislado, de aguas navegables y marcas especiales.

Para el caso de España, situada en la Región A, el sistema se recoge sintéticamente en la figura I-4.

En este caso las marcas laterales utilizan de día y de noche los colores rojo y verde para indicar los lados de babor y estribor respectivamente de un canal con referencia a un sentido convencional (en los puertos el de entrada y en las islas y continentes el de las agujas de un reloj).

En el punto de bifurcación de un canal puede utilizarse una marca lateral modificada para indicar el canal principal.

Las marcas cardinales indican por su nombre el cuadrante en que se sitúan las aguas más profundas; las de peligro aislado se colocan sobre un peligro de pequeñas dimensiones rodeado por todas partes de aguas navegables; las de aguas navegables no señalan peligro alguno, y se usan en ejes de canales o como señales de recalada; las especiales no tienen por objeto principal ayudar a la navegación, sino indicar una zona o una configuración particular cuya naturaleza está indicada en la carta u otro documento náutico.

Un aspecto diferente no recogido en este Reglamento es el Sistema General de Balizamiento costero, constituido por los faros y radiofaros.

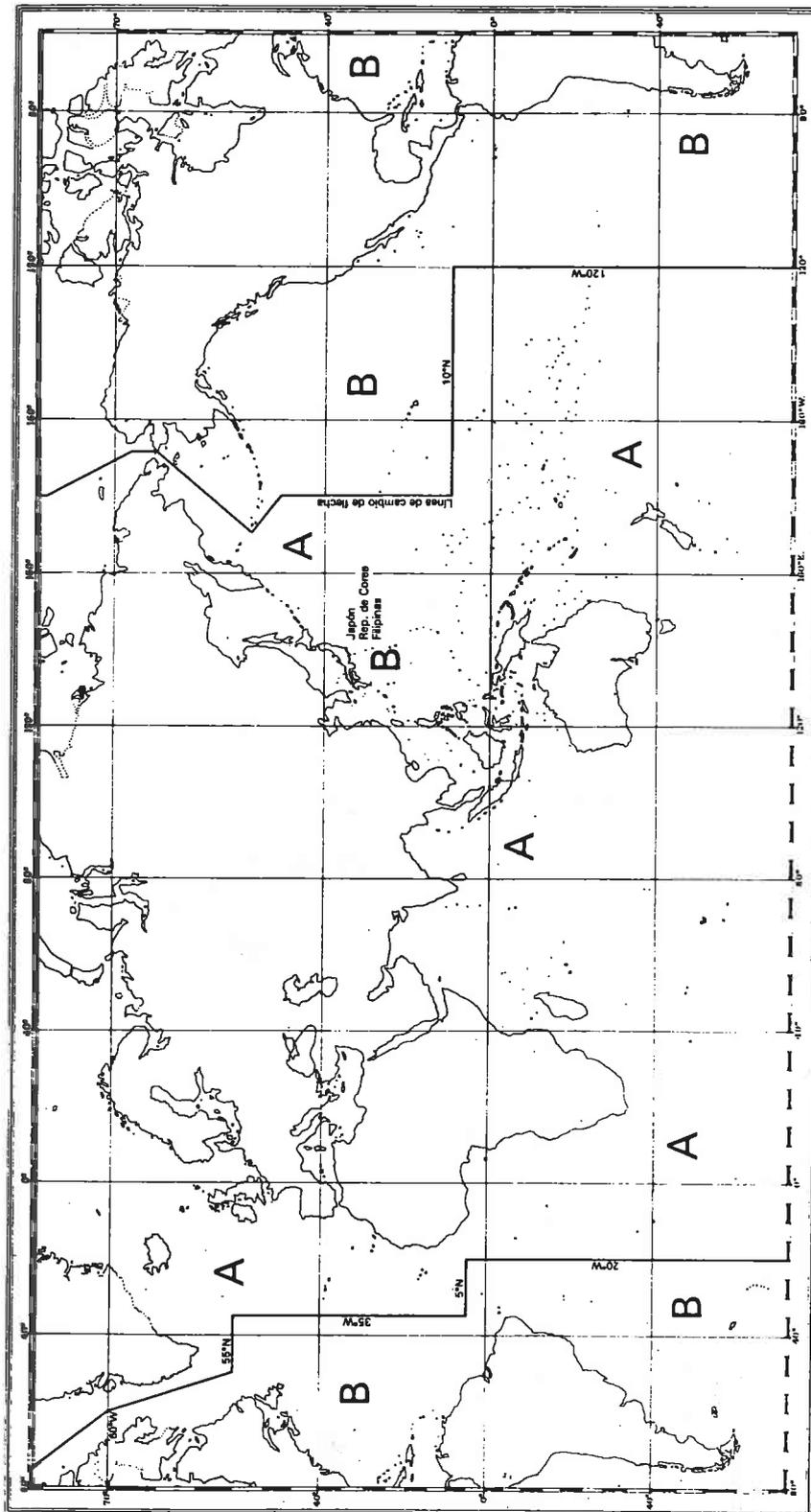
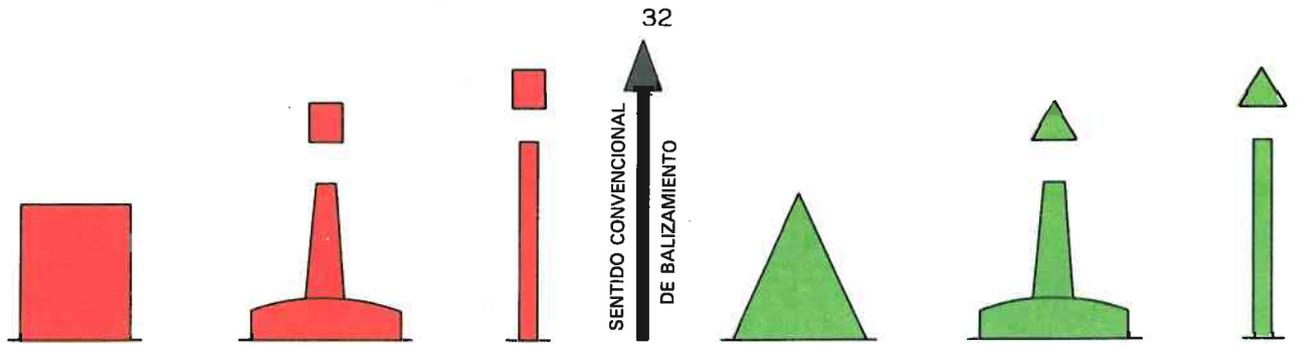
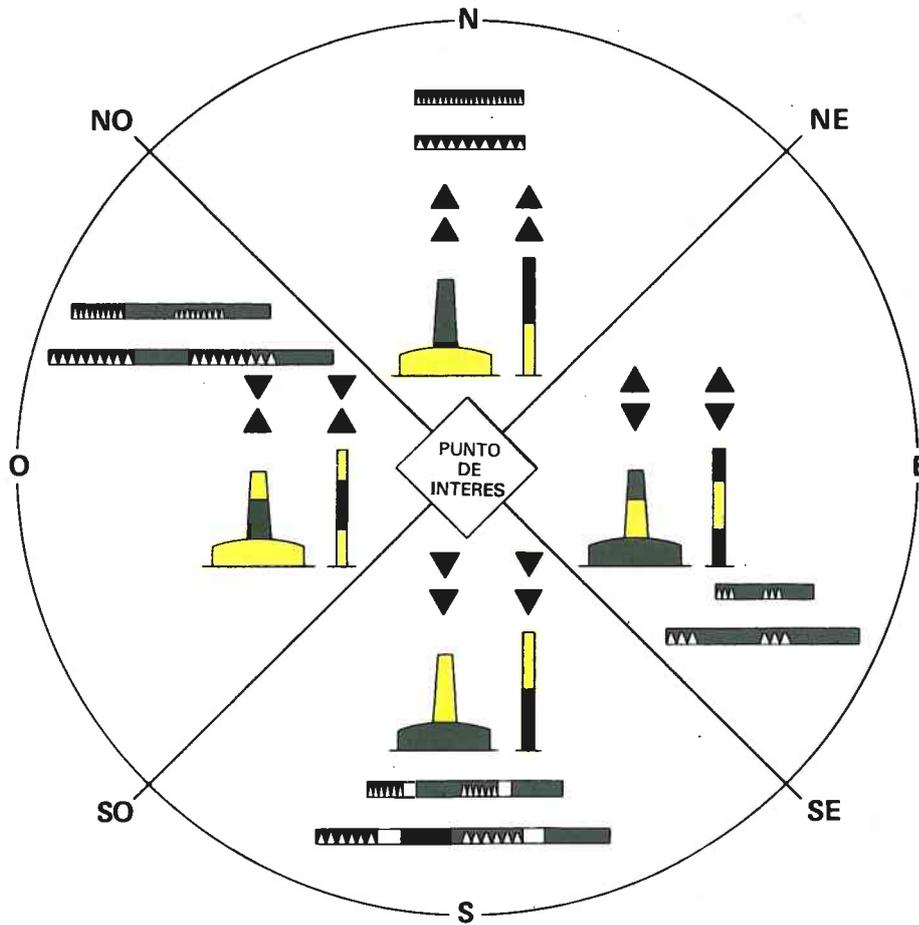


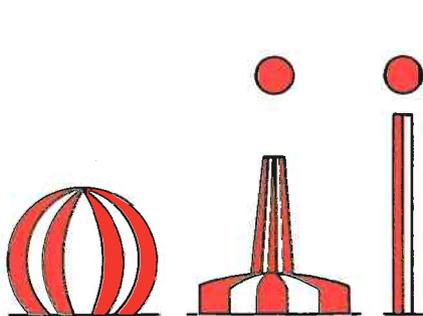
Figura I.3. Sistema de balizamiento de la IALA/AISM
Regiones de balizamiento A y B
Noviembre 1980



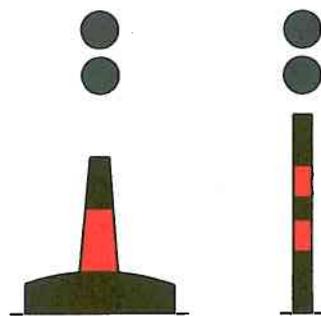
MARCAS LATERALES



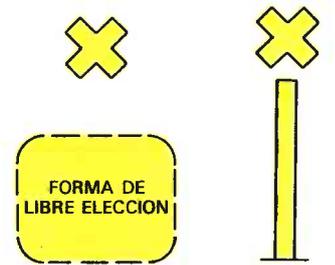
MARCAS CARDINALES



MARCAS DE AGUAS NAVEGABLES



MARCAS DE PELIGRO AISLADO



MARCAS ESPECIALES

Figura I.4. Marcas utilizadas en el Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA/AISM para la Región A

CAPITULO SEGUNDO

BALIZAMIENTO DIURNO

Para la redacción de los textos y para la selección de figuras, ábacos y tablas del presente Capítulo se han utilizado las publicaciones que, en la anexa reseña bibliográfica, figuran con las siglas:

A.9 A.12 A.15
B.7 B.8 B.10
C.7 C.21 C.26 C.34



II.- BALIZAMIENTO DIURNO

El balizamiento diurno corresponde a marcas que deben ser observadas, por sus propias limitaciones, a distancias relativamente cortas, todo ello sin perjuicio de que dicho balizamiento vaya asociado a las correspondientes luces para que durante la noche pueda también prestar su servicio.

Se incluye también en este grupo el cómputo de torres y edificios de faros que, de día, pueden servir como referencia al navegante. Por esta razón existe actualmente la tendencia a proveer a todas estas señales marítimas luminosas de unas franjas o dibujos que durante el día caractericen a la señal y la habiliten como punto caracterizado, de coordenadas conocidas en la carta, apto para la toma de demoras.

II-1.- ELEMENTOS PRINCIPALES DEL BALIZAMIENTO DIURNO

La significación de las marcas de señalización marítima queda determinada durante el día por, al menos, uno de los tres siguientes caracteres: "color", "forma" y "marca de tope".

II-1.1.- Color

El color del balizamiento lateral ha sufrido una gran simplificación, reduciéndose al rojo y verde para las señales de babor y estribor (según la región). Quedan fuera de uso las antiguas figuras del Reglamento de 1949, dameros y franjas.

En cuanto a las señales cardinales y otras marcas, los colores empleados son el rojo, amarillo, negro, blanco y algunas combinaciones de los mismos.

II-1.2.- Forma

Referente a la forma de las marcas, que condicionará su visibilidad, para las señales laterales se usan boyas cilíndricas, cónicas y de espeque. Para las señales cardinales se adoptan las de casquillete o de espeque y para otras marcas se usan también las esféricas. En las marcas especiales se admite cualquier forma con la limitación única de que no puedan prestarse a confusión con las que son propias de la ayuda.

II-1.3.- Marcas de tope

Las marcas de tope funcionalmente de dimensiones inferiores a las de las formas, constituyen de hecho una información redundante que permite corroborar el mensaje captado a mayor distancia y transmitido por la forma y su color. Según el tipo de señal se usan un cilindro, un cono, parejas de cilindros o conos en disposiciones y colores diversos y, por último, cruces de San Andrés.

II-1.4.- Marcas no normalizadas

Como se ha señalado, los faros constituyen propiamente también señales diurnas, constituídas por su torre o su edificio que, dadas sus dimensiones, son observables a grandes distancias. Durante el día, los faros, es decir, su torre o edificio, pueden

ser perfectamente utilizados como punto de referencia para que los navegantes dispongan de demoras que permitan su situación; a este objeto los libros de faros llevan referencias precisas al objeto de definir y describir las torres y edificios. Para aprovechar esta posibilidad de referencias, se suelen dotar, especialmente en países de meteorología poco favorable, torres y edificios de franjas, espirales, rombos u otros dibujos que, a la par que permiten aumentar los contrastes, permiten un fácil reconocimiento del faro durante el día.

II-2.- DISTANCIA DE RECONOCIMIENTO

Para el estudio de la distancia de reconocimiento de una señal diurna es necesario definir el conjunto de parámetros que caracterizan la baliza, la atmósfera y el observador.

La baliza está caracterizada por sus dimensiones, luminancia, color y forma; también habrá que considerar el fondo sobre el que se ve proyectada la misma. En cuanto a la atmósfera, su principal parámetro es la visibilidad meteorológica. El observador sin embargo presenta reacciones psicosomáticas de procesos mal conocidos, y no existen criterios precisos sobre las leyes de visión.

II-2.1.- Contraste a distancias cortas

Sea un objeto O y un fondo F de grandes dimensiones sobre el que se proyecta el objeto. Sean L_O y L_F sus luminancias respectivas (según se definen en el apartado III-1.3.4.).

Si se supone que el objeto se observa a poca distancia, se llama contraste a distancia corta, y se designa por $C(O)$, a la relación:

$$C(O) = \frac{|L_O - L_F|}{L_F}$$

El contraste caracteriza la aptitud del ojo humano para distinguir un objeto del fondo sobre el que se proyecta.

Si se tiene una señal marítima de luminancia L_A y se ve proyectada sobre el cielo, se puede así definir su contraste a distancia corta sobre el cielo $C_C(O)$ según sigue:

$$C_C(O) = \frac{|L_A - L_C|}{L_C}$$

donde L_C es la lu-

minancia del cielo.

Pero esta definición no se puede aplicar estrictamente en señalización marítima en el caso de una baliza o señal proyectada sobre un suelo de luminancia L_S . Esto se debe a que la extensión relativa del suelo no cubre todo el fondo y que la luminancia del cielo condiciona entonces de manera decisiva la adaptación del ojo del observador.

La aptitud de distinguir una señal sobre un fondo de este tipo, o "contraste sobre el suelo relativo al cielo" a distancia corta se define así por la relación:

$$C_S (0) = \frac{|L_A - L_S|}{L_C}$$

II-2.2.- Visibilidad meteorológica

Durante los últimos años o decenios la navegación aérea ha experimentado un notable auge; paralelamente se ha desarrollado el cultivo de la meteorología.

Ello ha conducido a normalizar mundialmente una distancia V de visibilidad meteorológica, definida como la mayor distancia a la que puede ser visto e identificado sobre el horizonte un determinado objeto negro de forma y dimensiones convenidas siendo el umbral de contraste $C = 0,05$ por convención.

En meteorología se define el umbral de contraste como el valor de éste para el que existe visibilidad en un objeto negro tomado como referencia.

A "grosso modo" se puede así admitir que los objetos situados a una distancia superior a la visibilidad atmosférica no son visibles con bruma, mientras que sí lo son los situados más cerca del observador.

II-2.3.- Contraste a distancias grandes

El estado de transparencia de la atmósfera, que caracteriza la visibilidad meteorológica, influye en la aptitud del ojo humano - para discernir un objeto a distancia.

Se puede asimilar este efecto a una modificación del contraste del objeto en relación al fondo.

Sea entonces x la distancia a que se observa una señal de contraste $C(0)$, ya definido. Si la baliza o señal se proyecta sobre el cielo, el contraste a dicha distancia viene dado por:

$$C_C (x) = 0,05 \frac{x}{V} \cdot C_C (0) \quad \text{donde :}$$

V = la distancia de visibilidad meteorológica en las mismas unidades que x .

Si por el contrario la señal se proyecta sobre un fondo de suelo situado a una distancia x' del observador tal que: $|x - x'| \ll V$

se define el contraste a distancia x sobre el suelo relativo al cielo por:

$$C_S(x) = 0,05 \frac{x}{V} C_S(0)$$

II-2.4.- Distancia de reconocimiento

Para el cálculo de la distancia de reconocimiento del balizamiento diurno se deben considerar los casos de tiempo claro y de tiempo brumoso con cielo uniformemente cubierto.

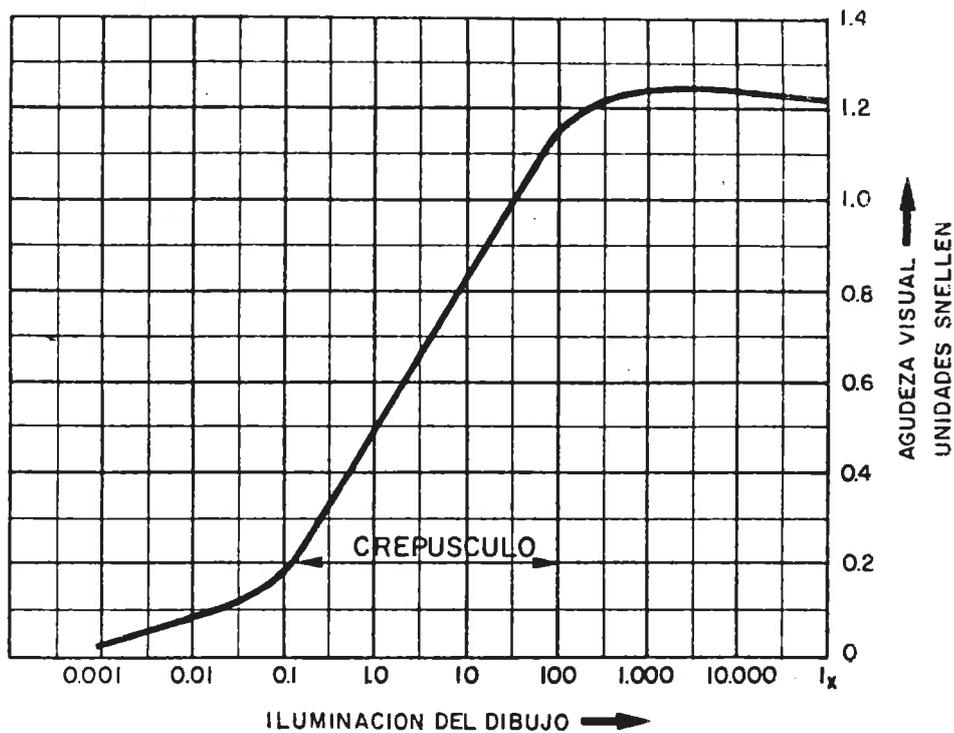


Figura II.1. Valor de la agudeza visual según el nivel de iluminación del dibujo

II-2.4.1.- Cielo claro

En este supuesto, y para tanteos, la distancia resulta de la simple consideración de la agudeza visual, conforme a la siguiente fórmula:

$$d = 0,291 \frac{x}{1/\delta}$$

donde:

- d = dimensión mínima estricta del dibujo en metros
- x = distancia a la que se debe identificar la señal en km.

$1/\delta$ = valor de la agudeza visual en Unidades Snellen.

La agudeza visual depende del nivel de iluminación del dibujo (ver apartado III-1.3.3.), pero para valores superiores a los crepusculares, o sea, de unos 300 lux en adelante, vale 1,2; para valores crepusculares, entre 0,1 y 100 lux, la agudeza visual varía desde 0,2 hasta las proximidades de la unidad, según se recoge en la figura II.1.

Para facilitar el reconocimiento, los valores de la dimensión d que se adoptan en la práctica son del orden de dos o tres veces los teóricos.

II-2.4.2.- Cielo uniformemente cubierto

En este caso es necesario considerar el valor del contraste, C , y la visibilidad meteorológica, V .

Para una señal de luminancia L_A sobre suelo de luminancia L_S , o cielo L_C , se pueden calcular los valores de L_A y L_S en función de L_C por las fórmulas:

$$L_S = 2,34 \beta' L_C$$

$$L_A = 3\beta L_C (0,308 + 0,389 \beta')$$

donde:

β = factor de luminancia del panel o señal y, según los colores, toma los valores de la tabla II.1.:

Color de la señal	Factor de luminancia (β)
Blanco absoluto	1,000
Amarillo ordinario	0,592
Verde luminiscente	0,360
Rojo luminiscente	0,345
Verde ordinario	0,220
Púrpura o violeta	0,133
Rojo baliza	0,132
Negro mate	0,000

Tabla II.1. Valor del factor de luminancia β de la señal

y donde β' es el valor del factor de luminancia del suelo, según se obtiene de la tabla II.2.:

Tipo de suelo	Factor de luminancia (β')
Terreno oscuro; rocas con musgo o hierba; coníferas	0,03
Terreno grisáceo; vegetación con hojaca	0,10

Tipo de suelo	Factor de luminancia (β')
Terreno arenoso con alguna vegetación o restos	0,30
Arena blanca y limpia	0,60
Terreno yesoso o gredoso; nevado	1,00

Tabla II.2. Valores del factor de luminancia β' del suelo

Los valores de C_S y C_C en cada caso se pueden calcular con el ábaco de puntos alineados de la figura II.2

C_S = CONTRASTE ENTRE EL PANEL VERTICAL Y EL SUELO, RELATIVO AL CIELO
 C_C = CONTRASTE ENTRE EL PANEL VERTICAL Y EL CIELO, RELATIVO AL CIELO

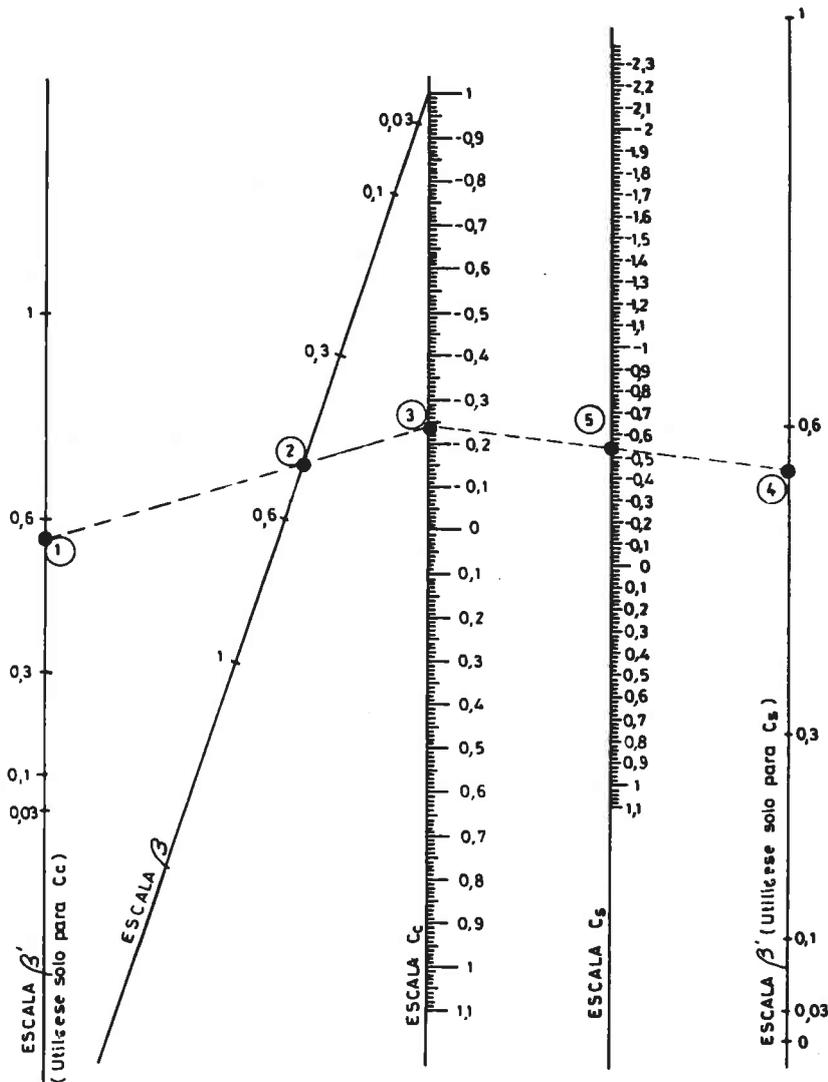
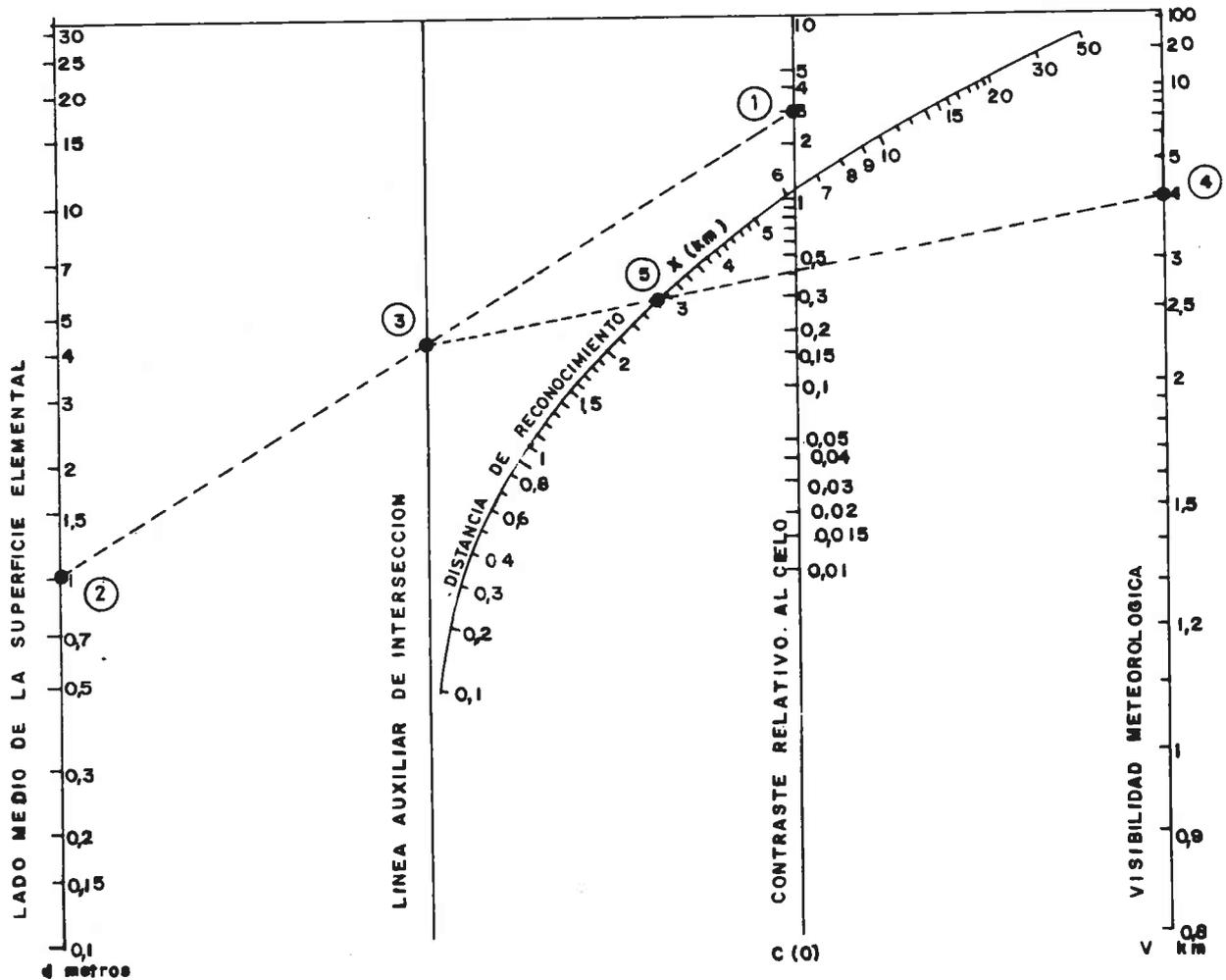


Figura II.2. Abaco de puntos alineados para el cálculo de los contrastes

Para el cálculo de la distancia de reconocimiento, si se designa por d la dimensión media de la señal, es decir, la raíz cuadrada de su superficie frontal, d^2/x^2 es una aproximación del ángulo sólido bajo el que se observa la señal desde una distancia x (d y x en las mismas unidades).



VALIDEZ $X \text{ (Km)} \geq d \text{ (m)}$

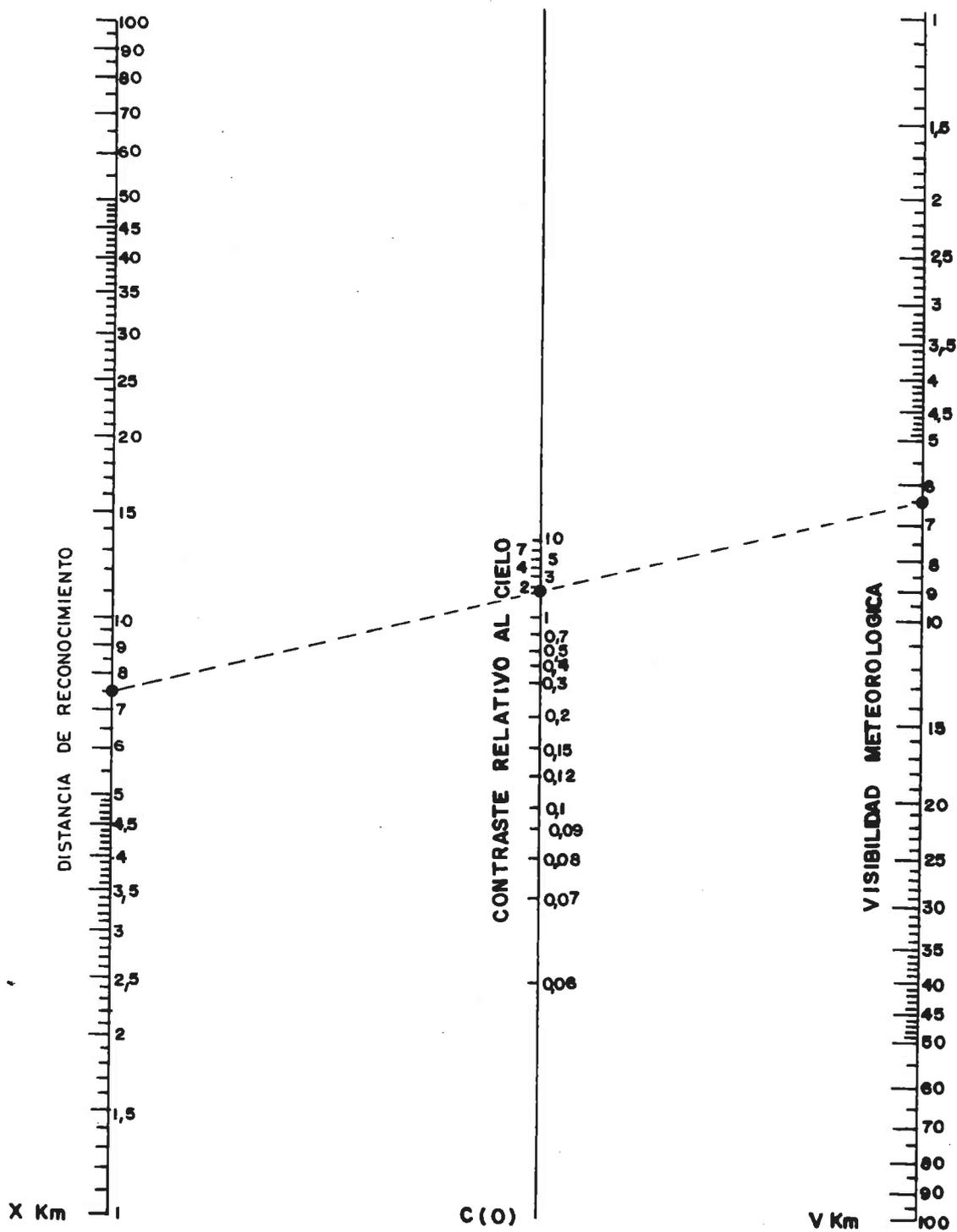
LADO MEDIO $d = \sqrt{A}$ SIENDO "A" EL AREA DE LA SUPERFICIE

C (%) ES C_C (%) Ó C_S (%) SEGUN SE OBSERVE

Figura II.3. Abaco de puntos alineados para el cálculo de las distancias de reconocimiento de las señales diurnas vistas bajo un pequeño ángulo $x \text{ (km)} \geq d \text{ (m)}$

La experiencia ha demostrado que para que una señal dada sea visible se deben cumplir, simultáneamente, las dos condiciones siguientes:

- El contraste a la distancia x debe ser superior a 0,05:



X es independiente de d
 X y V en la misma unidad de longitud

Figura II.4. Abaco de puntos alineados para el cálculo de las distancias de reconocimiento de las señales diurnas vistas bajo un gran ángulo x (km) < d (m)

$$C(x) = 0,05^{x/V} \cdot C(0) > 0,05$$

b) El ángulo sólido de observación de la baliza debe ser superior a un cierto valor límite que depende de la distancia x:

$$\frac{d^2}{x^2} > \frac{0,038}{C(x)}$$

Entonces, si la señal se observa con un ángulo inferior a 1 milistereo radián:

$$d/x < 1 \quad (d \text{ en metros; } x \text{ en kilómetros})$$

la distancia de reconocimiento se calcula por la expresión:

$$C(0) \cdot 0,05^{x/V} \cdot \frac{d^2}{x^2} = 0,038$$

El ábaco de doble alineamiento de la figura II.3 permite conocer todas las variables a partir de tres de ellas.

Si el ángulo de observación es superior al milistereo radián, lo que corresponde generalmente a las señales de márgenes de canales o boyas, o apoyadas en espeques anclados en el fondo, o a los dibujos o franjas de los morros de los diques y espigones, o a las señales preceptuadas para las obras, no influye el valor de d, teniéndose:

$$C(0) \cdot 0,05^{x/V} = 0,05$$

también este caso se puede resolver por el ábaco de puntos alineados de la figura II.4

II-3.- DIMENSIONAMIENTO DE FORMAS Y MARCAS DE TOPE

En general y hasta que la navegación de recreo ha adquirido cierto peso dentro de los requerimientos de ayuda a la navegación, el dimensionamiento de las señales diurnas se ha realizado de un modo totalmente empírico. Para esta tarea el ingeniero no tenía así más elementos de juicio que las condiciones cualitativas de forma y color que marca el Reglamento y, a título indicativo, el alcance luminoso que se puede exigir a una señal luminosa.

Pero este alcance luminoso no es un criterio fiable de dimensionamiento ya que daría lugar a dimensiones exageradas: por otra parte se comprende que los requerimientos de día en cuanto a distancias en que el navegante debe apercibirse de la señal no deban ser iguales a las nocturnas, ya que dispone de la observación visual para completar su localización con referencia a las costas, accidentes en el mar, etc.

Se necesita, pues, un método de dimensionamiento que se base en unos requisitos mínimos fundados en circunstancias operativas y que se rija por unos criterios objetivos. En ese sentido se expone a continuación una metodología de dimensionamiento de formas y marcas de tope de señales diurnas de balizamiento.

II-3.1.- Método simplificado

En la "Guía para la Aplicación del Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA/AISM" (1985) se establece un cálculo aproximado de dimensionamiento de formas y marcas de tope considerando que la distancia de reconocimiento puede evaluarse en 500 veces la altura de la forma, cuando son esféricas, cónicas o cilíndricas y de una altura igual a su diámetro.

Cuando se utilicen boyas de castillete o de espeque se debe tener en cuenta que su superficie visible es a veces muy pequeña y que su distancia de reconocimiento puede por ello ser muy corta. Esta distancia de reconocimiento no se puede evaluar aquí, ni aún aproximadamente dada la gran variedad de boyas de castillete y espeque utilizadas. Sin embargo la distancia de reconocimiento puede aumentarse mediante la utilización de marcas de tope, como sucede en el caso de las marcas cardinales y de peligro aislado. Las marcas de tope pueden también ser útiles cuando las boyas de castillete o espeque se emplean como marcas laterales.

En la figura II.5.a. pueden observarse las limitaciones en las dimensiones de las marcas de tope, su relación con las dimensiones de las boyas y su posición.

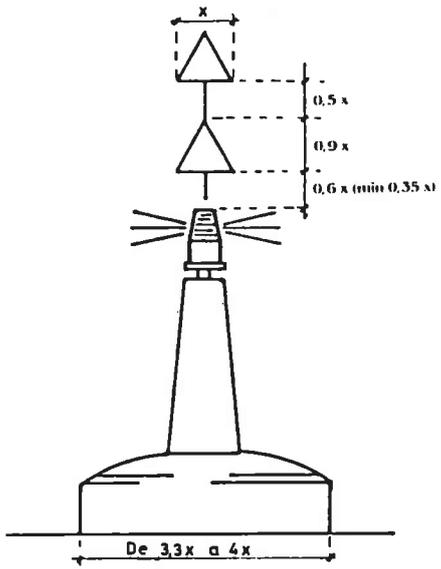
Las marcas de tope deben ser tan ligeras como sea posible, pero suficientemente sólidas para resistir las fuerzas naturales a las que están sometidas.

Pueden construirse con placas planas ensambladas en ángulo recto de forma que den la apariencia de un cuerpo sólido (véase figura II.5.a.).

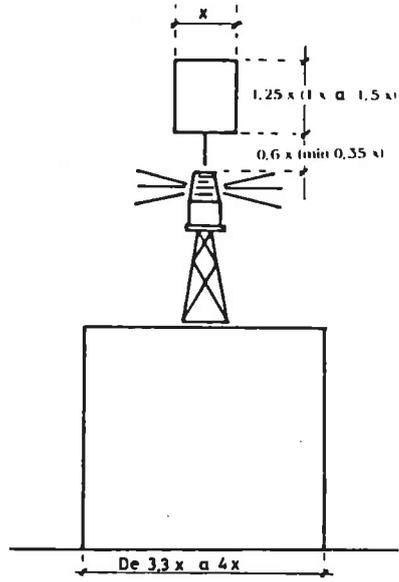
Los materiales utilizados para las marcas pueden ser plástico reforzado o no por fibra de vidrio, armadura metálica ligera o aleación de aluminio.

II-3.2.- Método completo

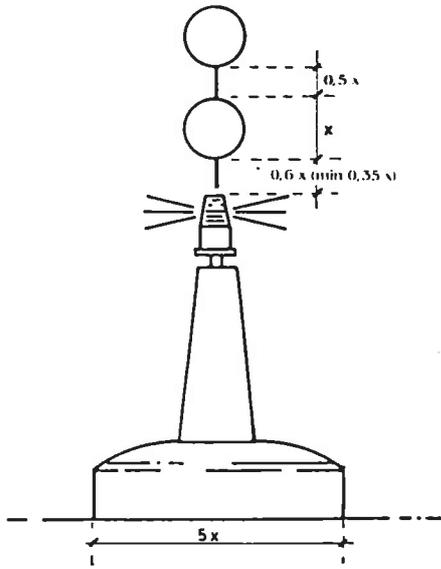
Este método, a diferencia del anterior, tiene en cuenta que la distancia de reconocimiento de la forma de una marca depende, además de sus dimensiones, de la visibilidad meteorológica, del contraste entre la forma y el fondo sobre el que se proyecta y de su forma geométrica.



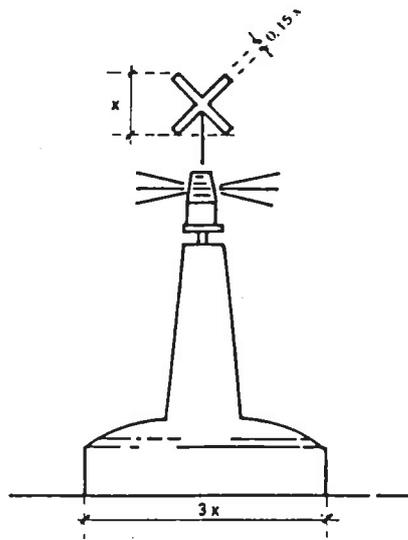
Cónica



Cilíndrica



Esférica



Cruz de San Andrés



Figura II.5.a. Posición y dimensiones de las marcas de tope

II-3.2.1.- Metodología: variables e hipótesis

El método parte de la base de que la distancia a que son percibidas las señales ha de permitir, en condiciones normales, un reviro completo del buque con los radios habitualmente admitidos, también se contempla la casuística en la observación de la señal, tanto en el contraste como en el momento de observación; por último se considera una correlación con el porte del buque, y en especial, su calado.

La distancia de reconocimiento se establece así en diez esloras del buque, que permite la inversión del rumbo con radios de siete esloras y maniobrar adecuadamente. Como las esloras son, a su vez, relacionables a "grosso modo" con los calados, se puede definir la distancia de reconocimiento de la marca en función del tipo de buque (tabla II.3).

TRB	Acorazado		Crucero		Carguero		Pasajeros		Granelero	
	Calado (m.)	Dist. (m.)								
1.000 5.000	4,1 7,0	900 1.550	4,6 7,8	1.090 1.870	4,6 7,8	690 1.170	3,7 6,4	890 1.530	3,6 6,2	690 1.180
10.000 20.000	8,8 11,1	1.950 2.450	9,8 12,4	2.350 2.970	9,9 12,4	1.480 1.860	8,0 10,1	1.930 2.430	7,9 9,9	1.490 1.880
30.000 40.000	12,7 14,0	2.800 3.100	14,1 15,6	3.400 3.700	14,2 15,7	2.140 2.350	11,6 12,7	2.780 3.060	11,3 12,5	2.150 2.370
50.000 75.000	15,1 —	3.300 —	16,8 —	4.024 —	16,9 —	2.530 —	13,7 —	3.290 —	13,4 15,4	2.550 2.920
100.000 150.000	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	16,9 19,4	3.220 3.680
200.000 250.000	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	21,3 23,0	4.050 4.360

Tabla II.3. Relación entre tipos de buques y sus portes y las distancias mínimas de reconocimiento requeridas para su reviro

Se considera la hipótesis simplificativa de igualdad de las condiciones de observación desde los diversos buques tanto por lo que se refiere a la perpendicularidad de la dirección de observación en relación con el plano del panel como a la homogeneidad de la atmósfera.

Las dimensiones tipo se han fijado para un coeficiente de transmisión atmosférica (ver apartado IV-1.1.1.), expresado por milla, de 0,741, de común utilización en el cálculo de faros (alcance nominal).

La luminancia del fondo sobre el que se observa la marca o señal se ha reducido a dos casos medios según se trate de observación sobre cielo o sobre suelo (o agua). En cuanto a las condiciones del cielo, se consideran los casos extremos de "cielo cubierto" y "cielo claro". En el caso primero es indiferente la posición de la iluminación en relación con el observador, mientras que en el segundo se admiten las posiciones límites de "contraluz", "luz de costado" y "luz de espalda" al observador.

TRAPECIO PERALTADO

Tronco de pirámide cuadrangular.

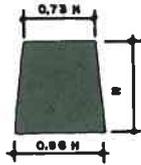
Area = $0,415H^2$
 $d = 0,64 H$
 $H = 1,55 d$



TRAPECIO NORMAL BAJO

Tronco de pirámide cuadrangular.

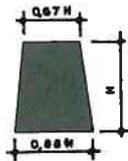
Area = $0,845 H^2$
 $d = 0,92 H$
 $H = 1,09 d$



TRAPECIO NORMAL ALTO

Tronco de pirámide cuadrangular.

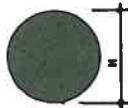
Area = $0,775 H^2$
 $d = 0,88 H$
 $H = 1,14 d$



CIRCULO

Esfera

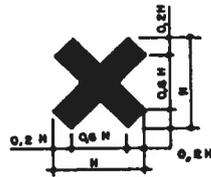
Area = $0,785 H^2$
 $d = 0,89 H$
 $H = 1,15 d$



CRUZ DE SAN ANDRES

Variable

Area = $0,56 H^2$
 $d = 0,75 H$
 $H = 1,34 d$



RECTANGULO APAISADO

Cilindro cuerpo de boya.

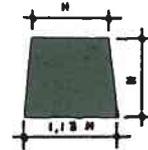
Area = $5 H^2$
 $d = 2,24 H$
 $H = 0,45 d$



RECTANGULO PERALTADO

Cilindro

Area = $1,08 H^2$
 $d = 1,04 H$
 $H = 0,96 d$



ESPEQUE

Espeque

Area = $0,1 H^2$
 $d = 0,32 H$
 $H = 3,16 d$



TRIANGULO

Cono

Area = $0,77 H^2$
 $d = 0,88 H$
 $H = 1,14 d$



TRIANGULO NORMAL

Cono

Area = $0,93 H^2$
 $d = 0,96 H$
 $H = 1,04 d$

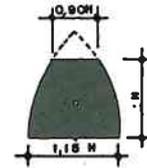


Figura II.5.b. Dimensiones standard de formas y marcas de tope en función de la altura H

Lado del cuadrado equivalente (d)	Señales laterales				Señales cardinales				Comunes			
	Formas		Marcas de tope		Formas		Marcas de tope		Formas			
	Apariencias de formas y marcas											
	Casi un rectángulo peraltado (*)	Espeque	Triángulo normal lado curvo	Casi un rectángulo peraltado (*)	Triángulo	Trapezio peraltado	Trapezio normal bajo	Trapezio normal alto	Triángulo	Círculo	Variable	Rectángulo espaisado
	Geometría de formas y marcas											
	Casi un cilindro (tronco de cono)	Cilindro	Casi un cono curvado	Casi un cilindro (tronco de cono)	Cono	Tronco de pirámide cuadrangular			Cono	Esfera	Cruz de San Andrés	Cilindro
0,10	0,10	0,32	0,10	0,10	0,11	0,15	0,11	0,11	0,11	0,11	0,13	0,04
0,20	0,19	0,63	0,21	0,19	0,23	0,31	0,22	0,23	0,23	0,23	0,27	0,09
0,30	0,29	0,95	0,31	0,29	0,34	0,46	0,33	0,34	0,34	0,34	0,40	0,13
0,40	0,38	1,26	0,41	0,38	0,46	0,62	0,44	0,45	0,46	0,45	0,53	0,18
0,50	0,48	1,58	0,52	0,48	0,57	0,77	0,54	0,57	0,57	0,56	0,67	0,22
0,60	0,58	1,90	0,62	0,58	0,68	0,93	0,65	0,68	0,68	0,68	0,80	0,27
0,70	0,67	2,21	0,73	0,67	0,80	1,08	0,76	0,80	0,80	0,79	0,94	0,31
0,80	0,77	2,53	0,83	0,77	0,91	1,24	0,87	0,91	0,91	0,90	1,07	0,36
0,90	0,87	2,85	0,93	0,87	1,03	1,39	0,98	1,03	1,03	1,02	1,20	0,40
1,00	0,96	3,16	1,04	0,96	1,14	1,55	1,08	1,14	1,14	1,13	1,34	0,45
1,10	1,06	3,48	1,14	1,06	1,25	1,70	1,20	1,25	1,25	1,24	1,47	0,49
1,20	1,15	3,79	1,24	1,15	1,37	1,86	1,31	1,37	1,37	1,36	1,60	0,54
1,30	1,25	4,11	1,35	1,25	1,48	2,01	1,42	1,48	1,48	1,47	1,74	0,58
1,40	1,35	4,43	1,45	1,35	1,60	2,17	1,53	1,60	1,60	1,58	1,87	0,63
1,50	1,44	4,74	1,56	1,44	1,71	2,32	1,63	1,71	1,71	1,69	2,00	0,67

(*) Por razones constructivas las formas cónicas y cilíndricas no responden exactamente a su definición geométrica

Tabla II.4. Valores de la altura determinante H, en metros, de cada forma o marca de tope en función del lado d, en metros, del cuadrado equivalente

Los valores del factor de luminancia para los distintos colores usados en las señales serán los deducidos de la tabla II.1.

En cuanto a las dimensiones de las marcas, no están establecidas de forma universal, pero el Comité Ejecutivo de la IALA/AISM recomienda que, para tener la certeza de que la forma de una marca puede identificarse claramente, sus dimensiones cumplan las proporciones siguientes:

Forma cónica: un cono cuya altura esté comprendida entre 0,75 y 1,5 veces el diámetro de su base.

Forma cilíndrica: un cilindro cuya altura esté comprendida entre 0,75 y 1,5 veces su diámetro.

Forma esférica: una esfera en la que la altura visible por encima de la línea de flotación sea superior a $2/3$ de su diámetro.

Para el método particular de dimensionamiento, conforme a la experiencia existente, se admiten las dimensiones de la figura II.5.b. y tabla II.4, donde se obtienen un cuadrado equivalente de lado "d" para cada una de ellas, en base al cual se hará el estudio de visibilidad.

Para poder conocer las variaciones de las condiciones de observación entre invierno y verano ha sido adoptada una latitud media de 40° Norte, lo que supone, aproximadamente, a mediodía, una distancia cenital del sol de 63° en el solsticio de invierno y de 17° en el de verano.

Finalmente se considera que las formas dotadas de varios colores pueden ser objeto de cálculo individualizado para cada uno de los sectores de color, como si éstos se observaran individualmente sobre el fondo.

II-3.2.2.- Proceso de dimensionamiento

Para el dimensionamiento de los elementos de una señal diurna, suponiendo que el castillete y cuerpo de la señal no limitan el establecimiento de la marca, se puede seguir el siguiente proceso.

Primero se fija el calado mínimo de la zona o canal de navegación. Este valor, minorado al 75% por efecto de seguridad y oleaje, proporciona el calado máximo de los buques y, según la tabla II.3., se obtiene la distancia de reconocimiento.

Debe entenderse que se trata de distancia de reconocimiento para la forma y no para la señal de tope, ya que ésta es una redundancia para corroborar el mensaje de la señal a distancia inferior a la mínima.

En segundo lugar, una vez conocida la distancia de reconocimiento mínima requerida se debe considerar cuál será la zona de observación más frecuente en relación con los puntos cardinales y, según esta zona, la mayor probabilidad de que la iluminación sea lateral, de espaldas o a contraluz. Para cuantificar este aspecto se usa el azimut del Sol ϕ con respecto a la línea de observación, determinado según la figura II.6 y que toma los valores de la tabla II.5.

En tercer lugar, determinada la distancia mínima de reconocimiento y el sentido de iluminación de la señal, hay que fijar si la observación se realiza sobre suelo (tierra o mar) o sobre cielo. Aquí influyen las condiciones locales y la naturaleza del buque.

Observación	Azimut Φ
Contraluz	180°
De espaldas	90°
Lateral	0°

Tabla II.5. Valores del azimut del Sol en función del ángulo de observación

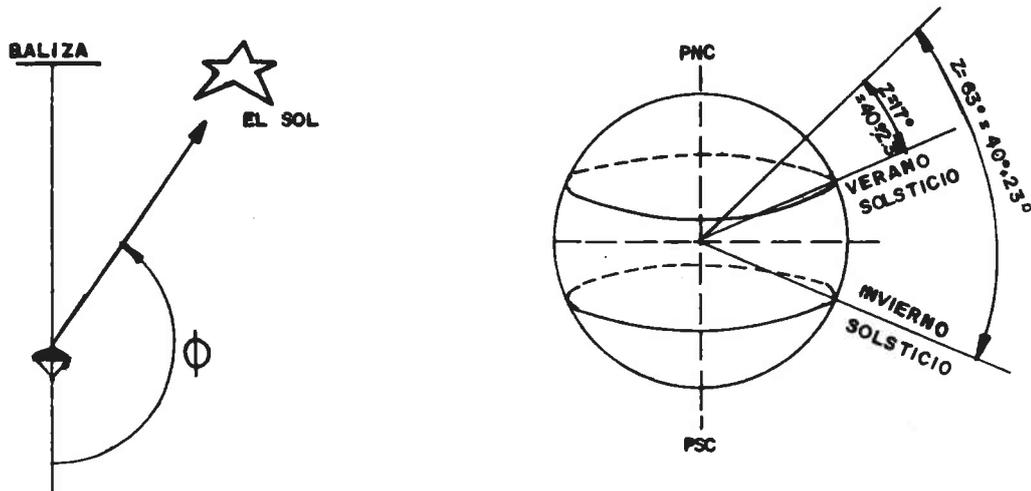


Figura II.6. Medición de azimuts y distancias cenitales del Sol

A continuación se fijan las condiciones de sol y cielo, que se pueden agrupar en las distancias cenitales de la tabla II.6, medidas según la figura II.6:

La consideración del valor resultante, así como del cielo claro, cubierto o situación intermedia, dependerá de la zona, pudiendo optar por valores medios o por los más desfavorables.

Conocidos el tipo de señal, la distancia mínima de reconocimiento, condiciones de sol y cielo y condiciones de observación se obtiene en los ábacos de las figuras II.7 a II.10 el valor del lado del cuadrado equivalente para los colores usados:

En estos ábacos el valor del parámetro β' es el del factor de luminancia medio del fondo de observación sobre el que se considera proyectada la señal vista por el observador.

Condiciones	Distancia cenital z
Verano	17°
Invierno	63°
Ortos y ocasos	90°

Tabla II.6. Valores de la distancia cenital del sol según las condiciones de sol y cielo

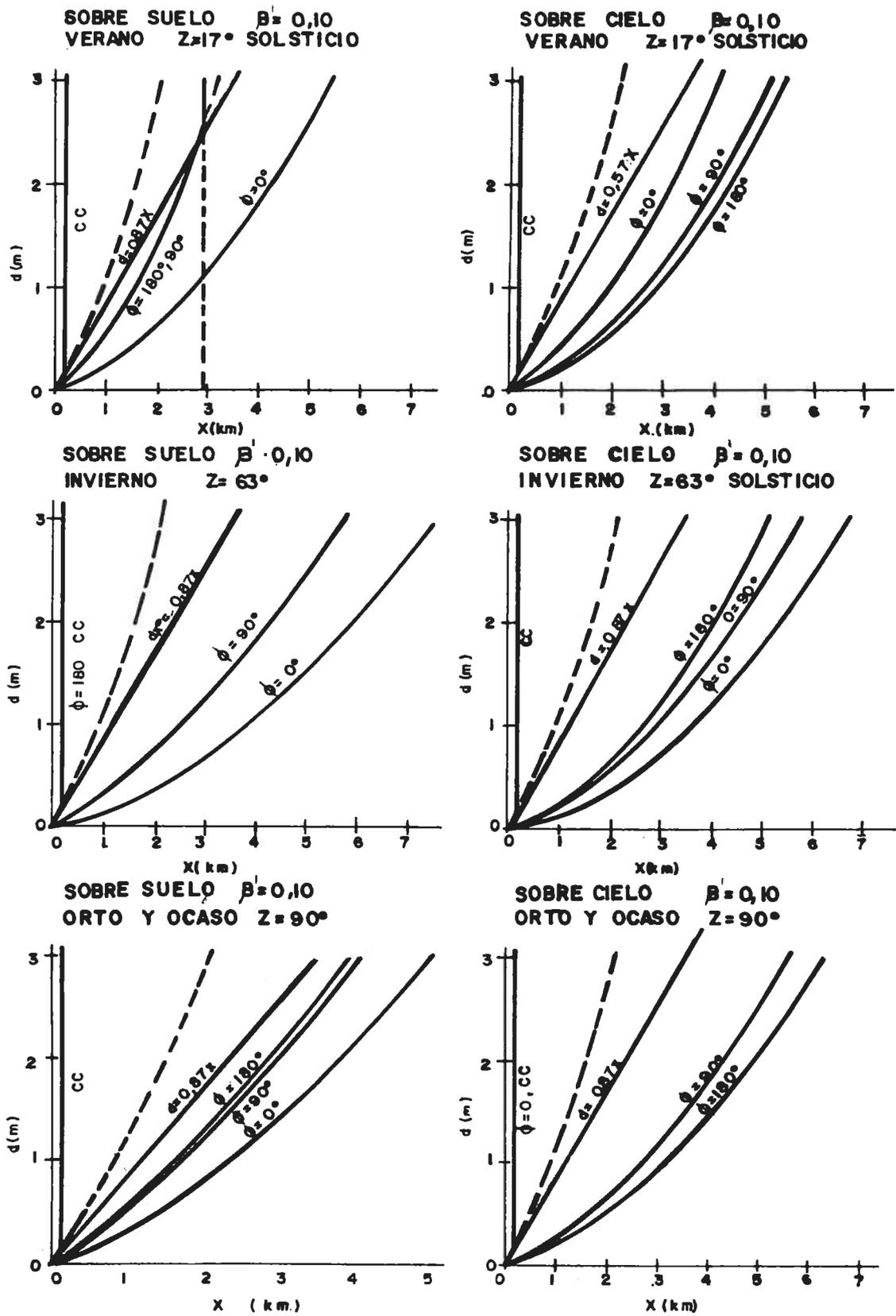


Figura II.7. Relación entre el lado del cuadrado equivalente y las distancias de reconocimiento de las formas o marcas de tope de color amarillo ($\beta = 0,590$) con cielos claro y cubierto, y estado de la atmósfera propio de una visibilidad meteorológica de 10 km.

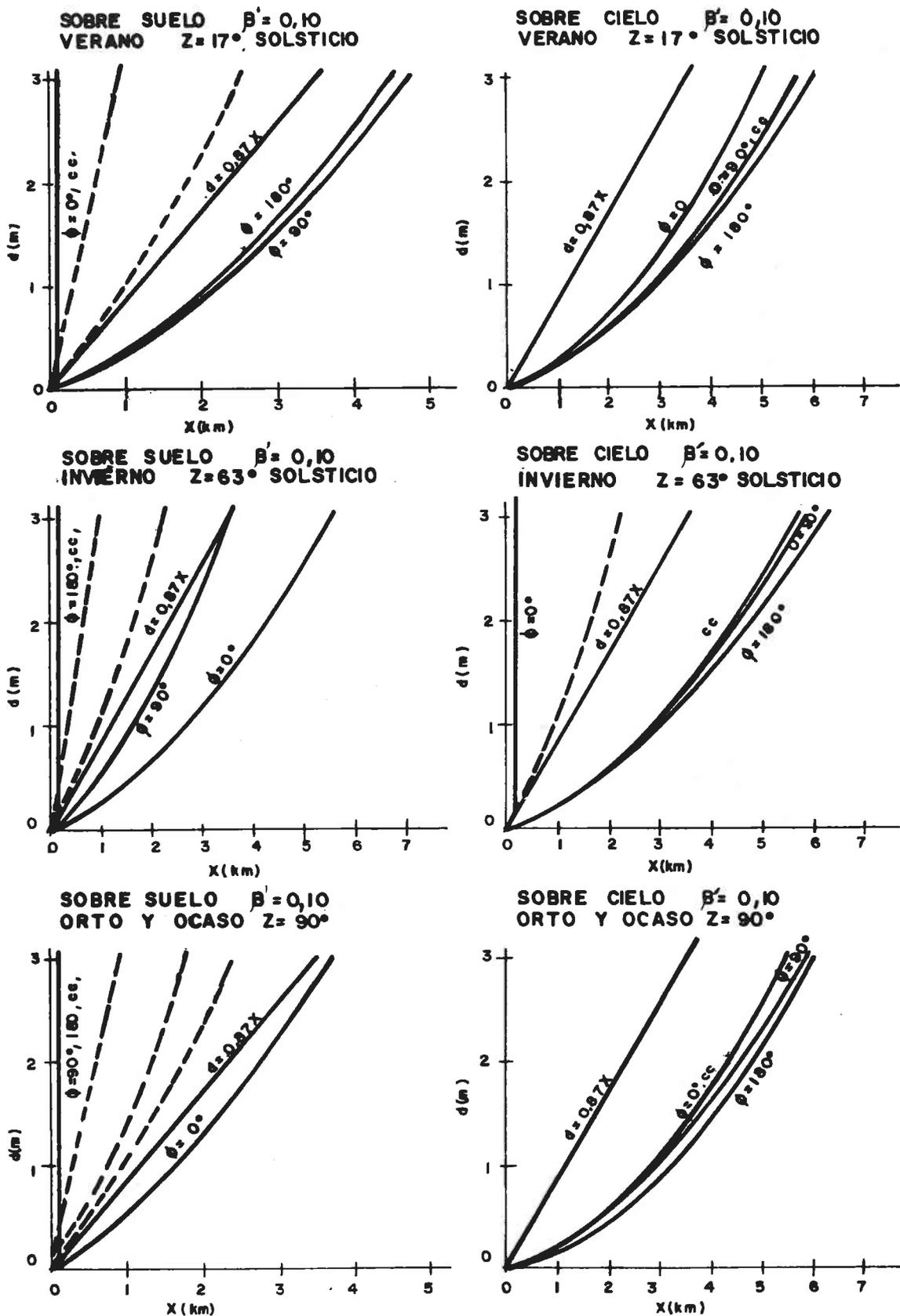


Figura II.8. Relación entre el lado del cuadrado equivalente y las distancias de reconocimiento de las formas o marcas de tope de color verde ($\beta = 0,220$) con cielos claro y cubierto, y estado de la atmósfera propio de una visibilidad meteorológica de 10 km.

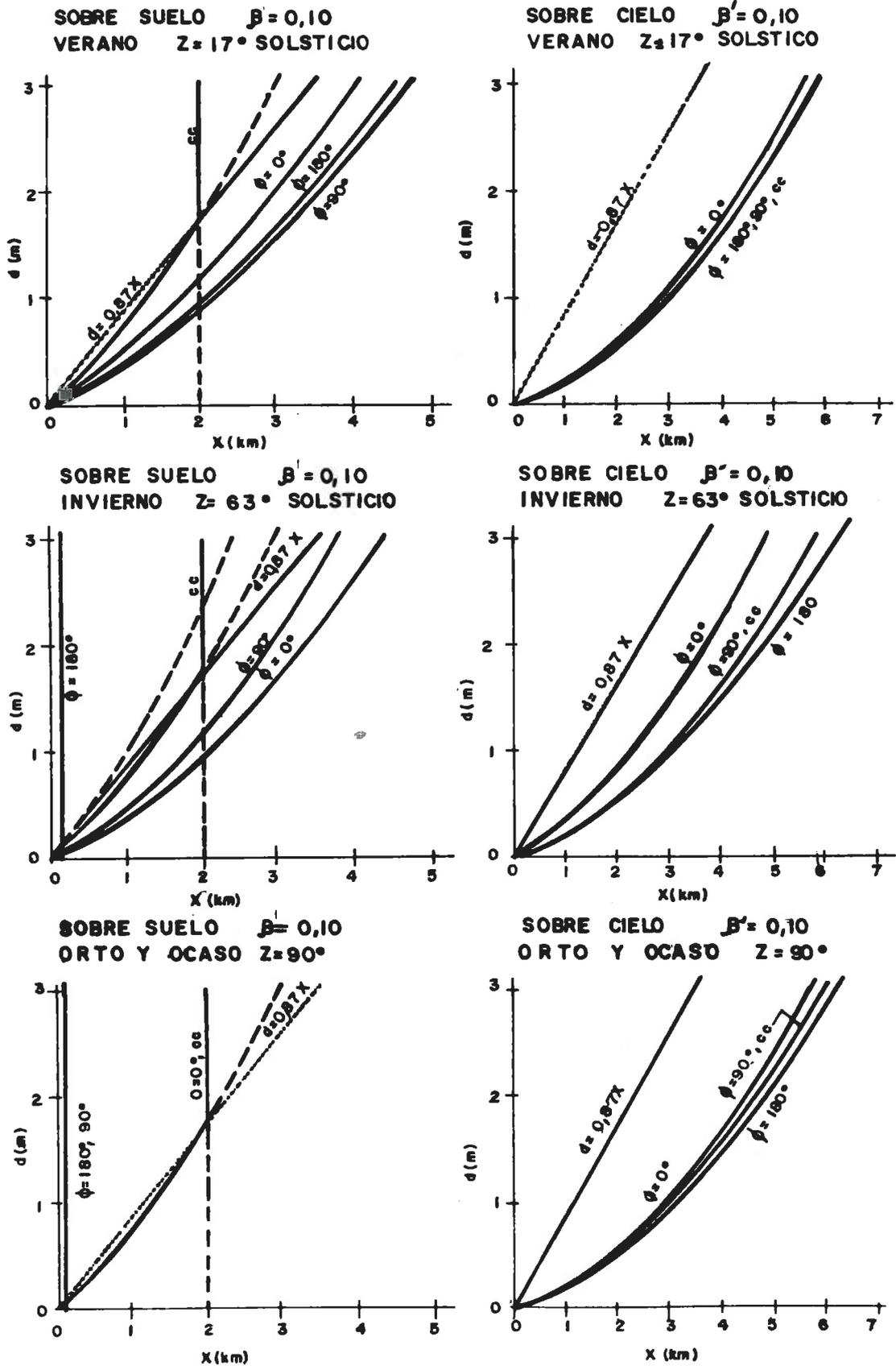


Figura II.9. Relación entre el lado del cuadrado equivalente y las distancias de reconocimiento de las formas o marcas de tope de color rojo ($\beta = 0,132$) con cielos claro y cubierto, y estado de la atmósfera propio de una visibilidad meteorológica de 10 km.

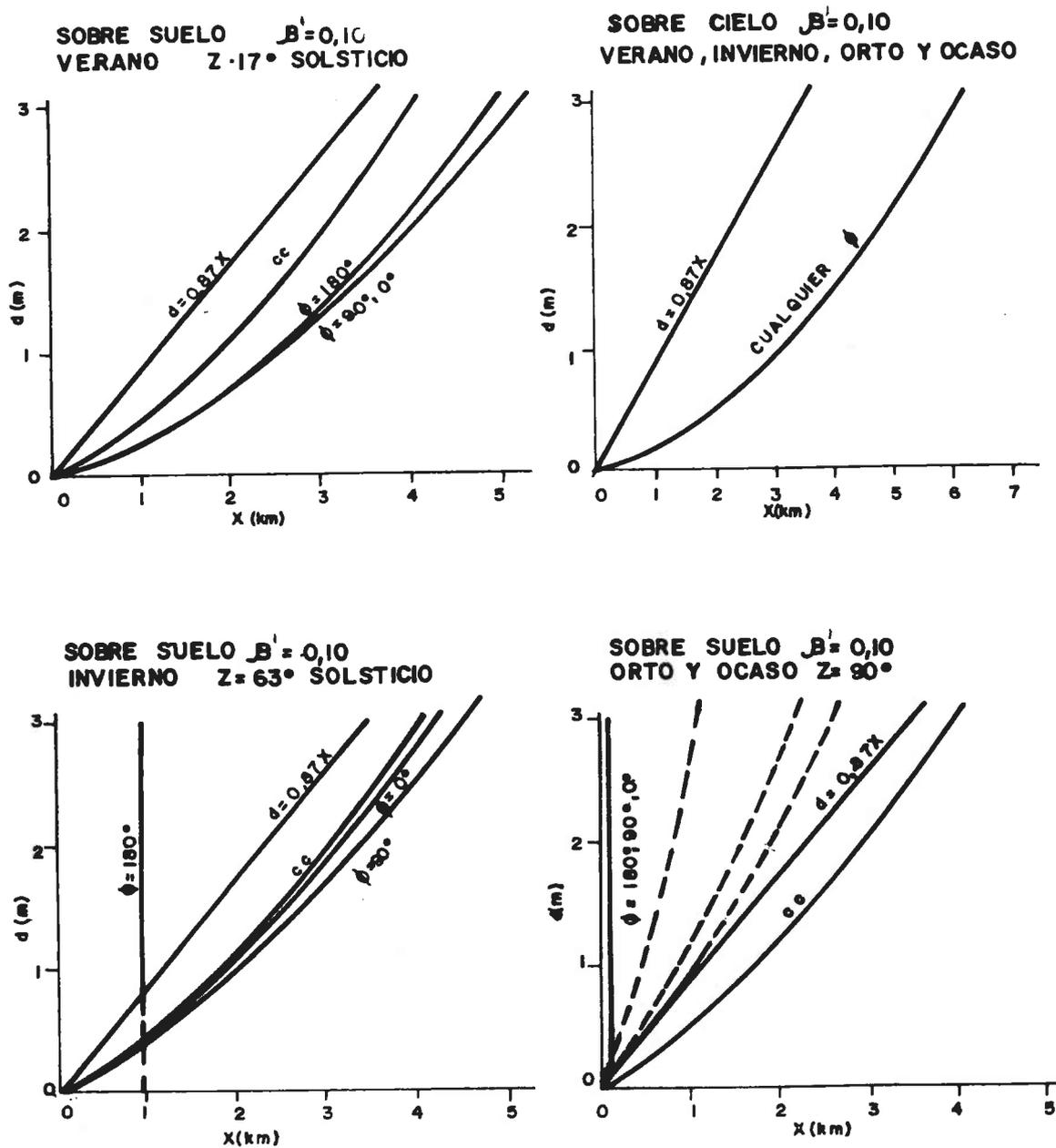


Figura II.10. Relación entre el lado del cuadrado equivalente y las distancias de reconocimiento de las formas o marcas de tope de color negro ($\beta = 0$) con cielos claro y cubierto, y estado de la atmósfera propio de una visibilidad meteorológica de 10 km.

Además son sólo válidos para el caso de visión bajo pequeño ángulo, es decir cuando:

$$x > 0,87 d \quad \text{donde:}$$

d = dimensión del lado del cuadrado equivalente

x = distancia de reconocimiento.

En el caso de gran ángulo de observación ($x < 0,87 d$), la distancia de reconocimiento es independiente de la dimensión de la marca o señal.

Por último cabe hacer dos observaciones:

a) En bastantes casos se comprobará que se obtienen dimensiones superiores a las deseables por cuestiones prácticas de construcción; y,

b) La distancia de reconocimiento de formas constituidas por sectores de color diferentes será la del sector más restrictivo, dado que el mensaje transmitido por la forma requiere que el observador capte el conjunto de los sectores.

II-4.- UTILIZACION DE LOS COLORES

Al estudiar el color de la superficie de la señalización diurna se presentan dos tipos: color ordinario, correspondiente a pinturas normales, materiales plásticos opacos, etc.; y color fluorescente o luminiscente.

Un color superficial se puede definir, como se verá más adelante, según la "Comission Internationale de l'Eclairage" (CIE) por su cromaticidad y por su factor de luminancia.

Es aconsejable comprobar que la apariencia del color de una señal permanece razonablemente constante bajo los distintos tipos de iluminación que se espera que actúen sobre la señal.

A continuación, y según las recomendaciones de la IALA/AISM publicadas en mayo de 1980 se señalan algunas consideraciones para colores particulares. Los colores utilizados por el Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA/AISM son el verde, amarillo, rojo y negro. No obstante, dado que en diversas señales especiales se pueden usar otros, se recogen también el azul, naranja y blanco.

II-4.1.-Rojo

La región cromática del rojo, idéntica para el ordinario y fluorescente permite una gran posibilidad de reconocimiento exacto del color, en especial en superficies brillantes y para rojo fluorescente. No ocurre así con las superficies mate y semi-mate, en que es difícil cumplir las especificaciones de la CIE.

Presenta mal reconocimiento de la tonalidad a contraluz, en que se confunde con el negro.

II.4.2.- Naranja

El reconocimiento de este color es peor que el del rojo o amarillo y, además, bajo ángulos de visión pequeños, tienden a confundirse. Parece por tanto lógico excluirlo de un sistema de señalización que incluye el rojo y amarillo.

Pero sin embargo es el color que presenta mejor contraste con el mar, por lo que se recomienda se reserve para aquellos objetos cuya detección en el agua es más importante que el reconocimiento de su color (chalecos salvavidas, balsas, boyarines, etc.).

II-4.3.- Amarillo y blanco

La distinción entre amarillo y blanco no es posible bajo ángulos pequeños de visión, por lo que no se deben considerar como colores diferentes salvo para visión cercana. En particular se desaconseja originar situaciones que requieran la distinción inequívoca entre el blanco y el amarillo en materiales retrorreflectores bien de día o de noche.

En el mar, la probabilidad de reconocer, o incluso detectar, el blanco por sí mismo, es, a menudo, baja.

II-4.4.- Verde

Como color ordinario el verde no se reconoce bien en el mar. Sin embargo, se pueden obtener colores de verde fluorescente de gran pureza y fácilmente reconocibles en la mayoría de los casos.

Si se debe usar como fondo para señales o símbolos alfanuméricos se recomienda utilizar un color oscuro, que no se usará, por otra parte, nunca como color de marca.

II-4.5.- Azul

En canales de navegación interior, estuarios y puertos, donde se observan los colores de cerca, el azul es un buen color de señal, pero a distancias mayores y especialmente en el mar es difícil de reconocer.

Al igual que el verde, si se usa como fondo deberá ser un color oscuro, que no se usará nunca como color de marca.

II-4.6. Negro

Se reconoce bien en superficies brillantes, pero la distinción baja para colores mates o semimates.

II-5.- BALIZAMIENTO REFLECTANTE

Frecuentemente se pretende extender el tiempo de utilización de las señales ciegas a la noche. Es necesario entonces conseguir una mejora de la visibilidad nocturna de las marcas de balizamiento, y esto se puede lograr por reflexión sobre la marca o señal de un rayo luminoso manejado por el propio navegante. Dado que interesa que el rayo emitido vuelva al emisor, será necesario que ambos rayos incidente y reflejado, sigan direcciones casi iguales y este es el principio de los retrorreflectores.

Existen numerosos tipos de dispositivos retrorreflectores, entre los que son más usuales los prismáticos y esféricos (figura II.11).

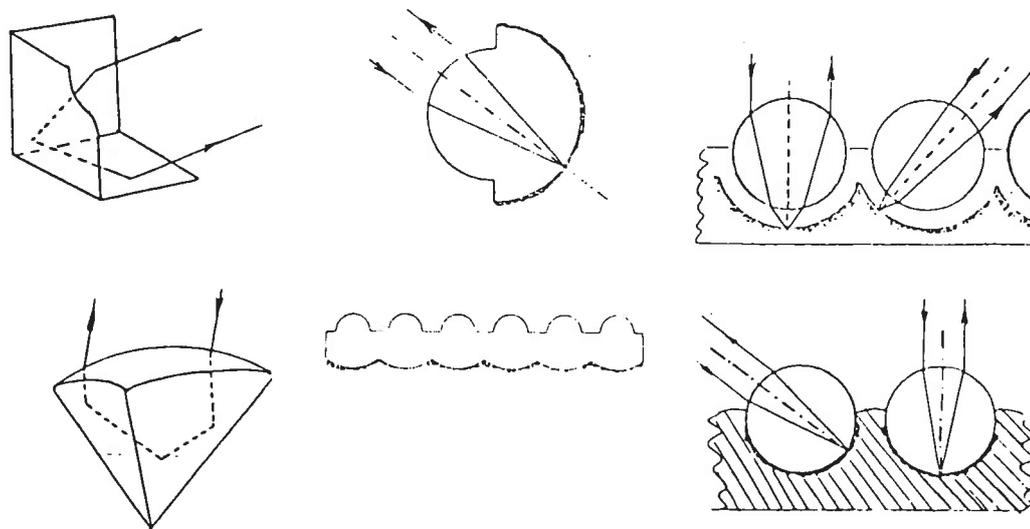


Figura II.11. Distintos tipos de retrorreflectores

En señalización marítima, las dificultades de colocación y la necesidad de obtener una respuesta en todas las direcciones ha llevado a favorecer el uso de películas retrorreflectoras, compuestas de perlas de vidrio de dimensiones muy pequeñas diseminadas en la superficie o el interior de una capa en que la parte inferior es de material reflectante.

Cuando estas microesferas de vidrio están parcialmente sujetas por una capa de pintura o termoplástico pigmentado y sobre ella incide un haz de rayos luminosos, ésta hace el papel de lente convexa concentrando los rayos en su foco, pero en este camino los rayos son reflejados por los pigmentos que hay en la interfase vidrio-pintura, y entonces las microesferas actúan de lentes cóncavas de manera que los rayos realizan un camino paralelo al de incidencia y regresan a su lugar de origen (el propio barco). De esta manera, se explica el por qué el color percibido por el piloto corresponde al de los pigmentos, aún siendo las microesferas de vidrio incoloras (fig. II.12).

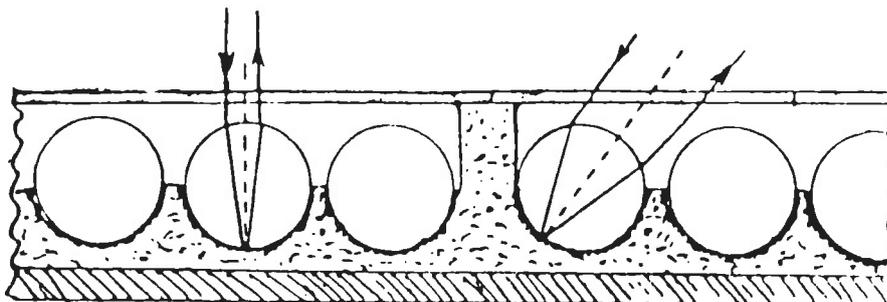


Figura II.12. Funcionamiento de una película retrorreflectora

II-5.1.- Disposición de las bandas reflexivas

La utilización de bandas reflexivas en las marcas de balizamiento responde a la aplicación de dos principios y una regla experimental.

El primero de los principios es que deben jugar por la noche el papel que los colores desempeñan durante el día: permitir la detección e identificación de señales.

El segundo es que no deben alterar la identificación de día de la marca.

En cuanto a la experiencia, se ha observado que la utilización de varias cintas de colores diferentes no favorece la identificación, pudiendo conducir a confusiones peligrosas.

Para la disposición de las bandas retrorreflectantes se colocarán de la siguiente manera (en el caso de la Región A):

- a) Marcas de babor: señal de tope recubierta de rojo; banda horizontal roja en el cuerpo de la marca.
- b) Marcas de estribor: señal de tope recubierta de verde; banda horizontal verde en el cuerpo de la marca.
- c) Marcas cardinales: señal de tope recubierta de negro; cuerpo de la señal con banda horizontal amarilla.
- d) Peligro aislado: señal de tope recubierta de negro; cuerpo de la señal con banda horizontal roja.
- e) Marca de aguas navegables: señal de tope recubierta de rojo; cuerpo de la marca con bandas verticales blancas.
- f) Marcas especiales: banda horizontal amarilla en el cuerpo de la marca.

Las cintas retrorreflectantes deben ser colocadas en el tercio superior de la parte emergida de la señal, y caso de ser esto imposible, lo más alto que se pueda. Serán bandas de 0,15 m. de anchura, salvo las de aguas navegables, que podrán ser más estrechas. No se colocarán nunca delante de un reflector de radar.

La disposición de cintas reflexivas sobre el cuerpo de la marca contribuye a mejorar la distancia de detección, mientras que la de la señal de tope tiene por objeto permitir una buena identificación de la marca.

II-5.2.- Coefficiente de retrorreflexión

Una película retrorreflectora se caracteriza por su coeficiente de retrorreflexión expresado en candelas por lux por metro cuadrado de superficie de retrorreflector. Se define así a la intensidad luminosa emitida por una superficie unitaria (1 m²) en una dirección dada como respuesta a una iluminancia de un lux medida en una superficie perpendicular a la dirección de la luz incidente.

Las características de algunos materiales retrorreflectantes se recogen en la tabla II.7.

En cuanto a la vida útil de un retrorreflector si es de superficie lisa, varía de uno a tres años, según las condiciones ambientales. Los de superficie rugosa se degradan más rápidamente.

Tipo	Color	Denominación	Observaciones	Coefficiente de retrorreflexión cd/lx . m ²
Esferas envueltas (cintas normales)	Rojo	Scotchlite flat top 2272	Reactivable por calor	20
		" 3272	Autoadhesivo	
		" 3146	Mejor reflexión día y noche	
	Amarillo	" 2271	Reactivable por calor naranja.	50
		" 3271	Autoadhesivo-naranja	
		" 3281	Autoadhesivo-limón	
	Verde	" 2277	Reactivable por calor	15
		" 3277	Autoadhesivo	
	Blanco	" 2290	Parece gris de día	25
		" 3290	Reactivable por calor Parece gris de día Autoadhesivo	
Negro	" 3285	Negro de día, blanco de noche		
Esferas encapsuladas (cintas alta intensidad)	Rojo	Scotchlite alta intensidad 2872	Reactivable en caliente	50
	Amarillo	" 2871	Reactivable en caliente	180
	Verde	" 2877	Reactivable en caliente	40
	Blanco	" 2870	Reactivable en caliente	300

Tabla II.7.- Características de algunas películas retrorreflectoras

II-5.3.- Distancia de visibilidad

Para la determinación de la distancia de visibilidad de las cintas reflexivas usadas en señalización marítima se pueden hacer las siguientes hipótesis:

- El proyector de luz y el ojo del observador están situados a la misma distancia y en la misma dirección.
- El alcance es igual en todas las direcciones situadas a menos de 30° de la del rayo, y nulo en las demás.
- Límite inferior de percepción $E = 0,2$ microlux.
- La visibilidad meteorológica es constante y uniforme.

Las variables que intervienen en el problema son:

CR = coeficiente de retrorreflexión en candelas por lux y por m².

I = intensidad luminosa del proyector en la dirección del retrorreflector en candelas.

x = distancia del proyector y observador al reflector, en m.

V = visibilidad meteorológica en km.

a = coeficiente de transmisión atmosférica, por m.

S = superficie de retrorreflector, en m².

y se relacionan por la fórmula que da la iluminancia que llega al ojo del observador E:

$$E = a^{2000x} \cdot \frac{S \cdot CR \cdot I}{x^4}$$

Si se fija un umbral de percepción:

$$E = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ lux}$$

y utilizando la relación entre el coeficiente de transmisión atmosférica A, y la visibilidad meteorológica en kilómetros V (ver parágrafo IV-1.1.2.).

$$a^{1000} = 0,05^{1/V}$$

se llega entonces a la expresión:

$$0,2 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 \cdot 20^{2x/V} = I \cdot CR \cdot S$$

Con esta fórmula se pueden dimensionar cintas reflexivas. Para la resolución de este problema se pueden usar los ábacos de puntos alineados de la figura II.13. en los que R, dado por la expresión:

$$R = CR \cdot S$$

representa una línea auxiliar de relación de los diversos parámetros, según explica la clave de la figura.

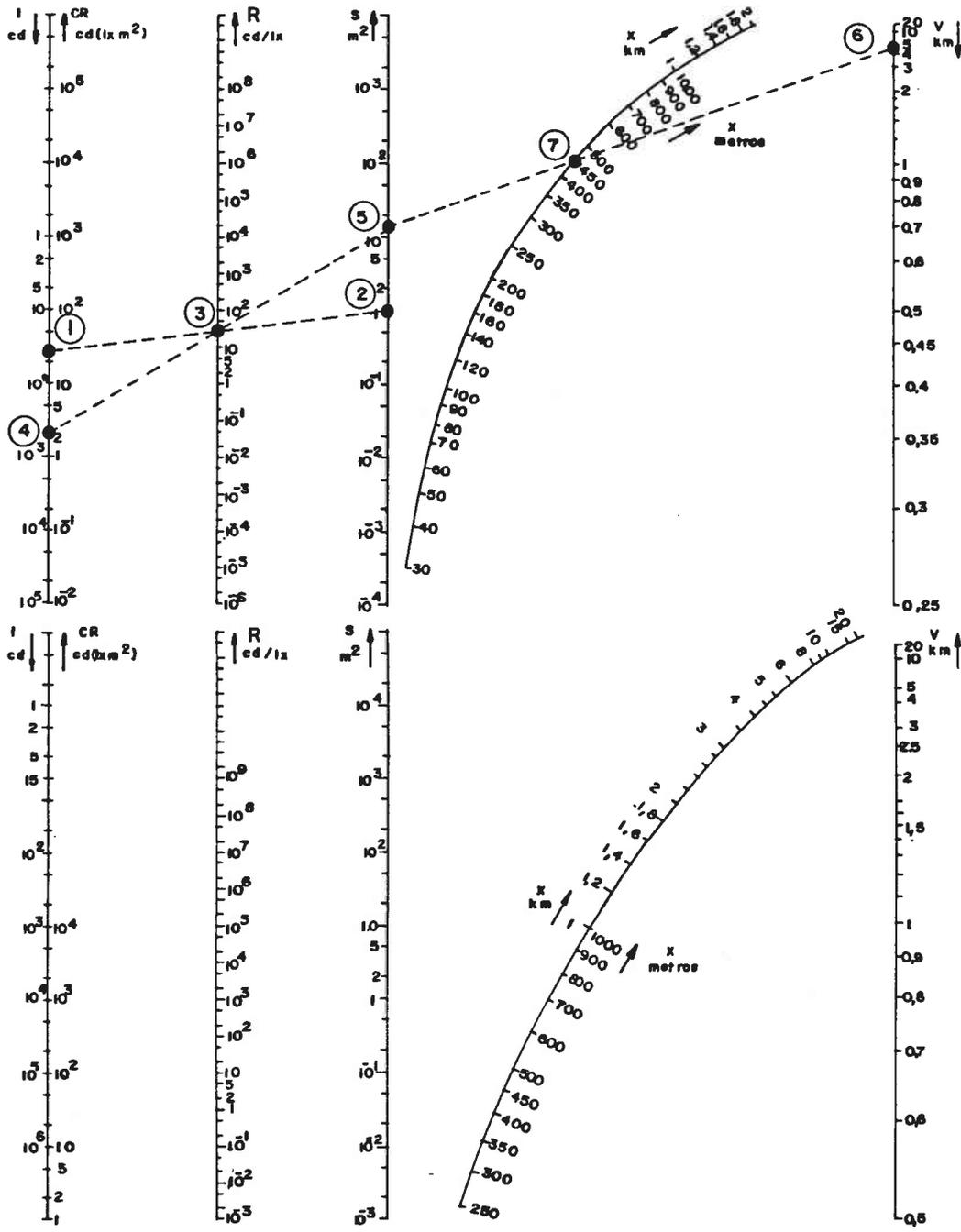


Figura II.13. Abacos de puntos alineados para el cálculo del alcance de películas retrorreflectoras

CAPITULO TERCERO

SEÑALES LUMINOSAS: INTENSIDAD

Para la redacción de los textos y para la selección de figuras, ábacos y tablas del presente Capítulo se han utilizado las publicaciones que, en la anexa reseña bibliográfica, figuran con las siglas:

A.1	A.6	A.9	A.12			
B.1	B.2	B.3	B.11	B.18		
C.1	C.7	C.9	C.23	C.24	C.30	C.31



III.- SEÑALES LUMINOSAS: INTENSIDAD

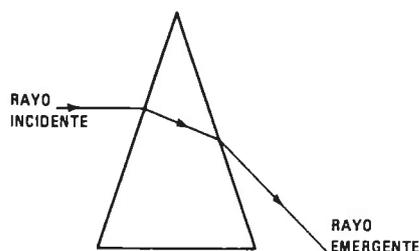
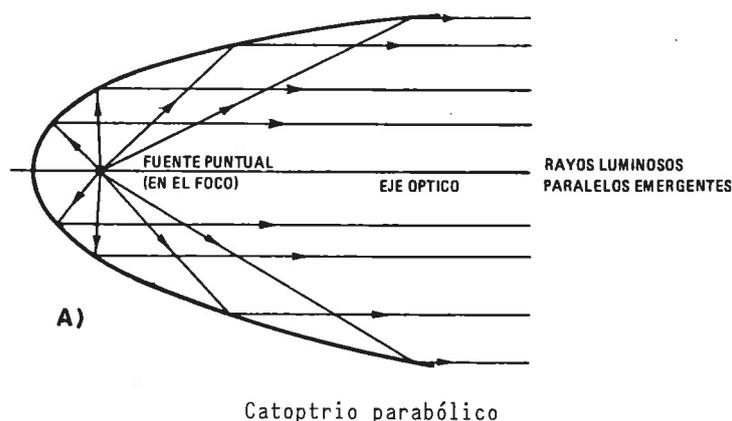
III-1.- OPTICAS Y FUENTES DE LUZ

III-1.1.- Sistemas ópticos

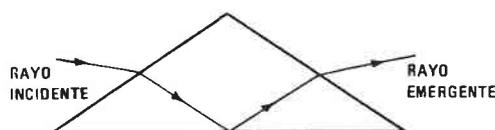
Los sistemas ópticos tienen por objeto transformar el haz luminoso que emerge de determinada fuente en otro de menor ángulo sólido y dirigido precisamente hacia el horizonte; de este modo se consigue aumentar la intensidad luminosa del haz al conseguir que la energía se concentre en menor ángulo sólido.

Los distintos sistemas ópticos que existen se basan en tres principios fundamentales: la reflexión (catóptrios), la refracción (dióptrios) y, por último, la combinación de la reflexión y la refracción (catadióptrios).

El sistema más antiguo conocido es el de la reflexión. Con base a espejos parabólicos fueron construídos los primeros aparatos de faros, allá por la segunda mitad del siglo XVIII; posteriormente, a principios del siglo pasado, los adelantos de FRESNEL en la construcción de lentes, al idearse las lentes esca-



Elemento dióptico



Elemento catadióptico

Figura III.1. Sistemas ópticos

lonadas, pusieron en boga el tipo de faros que, perfeccionado, es el que tenemos en la actualidad a base de dióptrios y catadióptrios.

Los catóptrios o reflectores, que ahora vuelven a utilizarse al introducirse en los mercados las lámparas de haz sellado (es decir lámparas tipo coche o locomotora), pueden ser o estar constituidos por parábolas de revolución que producen un haz unidireccional (Pencil Beam) o bien por una sección circular parabólica o elíptico-parabólica que sólo producen el paralelismo de los haces reflejados en determinadas direcciones.

Los elementos dióptricos pueden ser de dos clases: aquellos

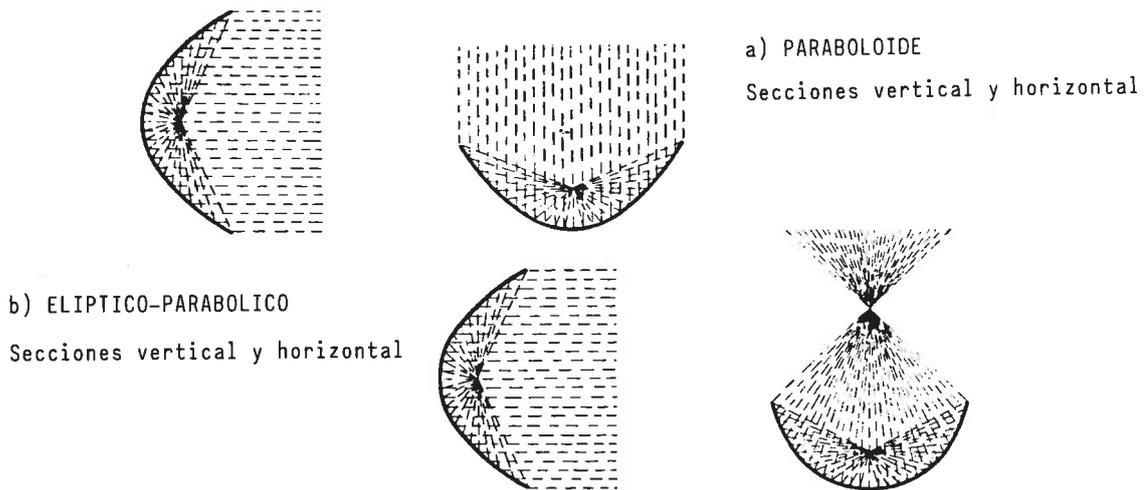


Figura III.2. Catoptrios reflectores

en los que los haces emergentes tienen igual divergencia que los incidentes, es decir aquellos en que la desviación de los haces extremos y la de los centrales son iguales, sistemas que se llaman equiangulares, o bien las típicas lentes de Fresnel, plano-conexas, en los que los haces emergentes no tienen igual divergencia que los haces incidentes.

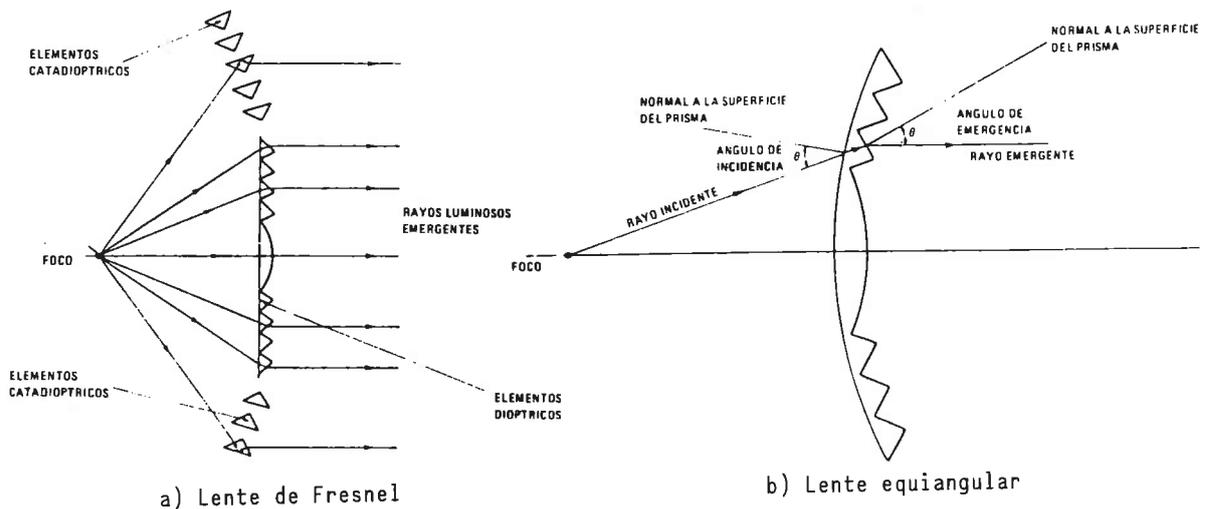


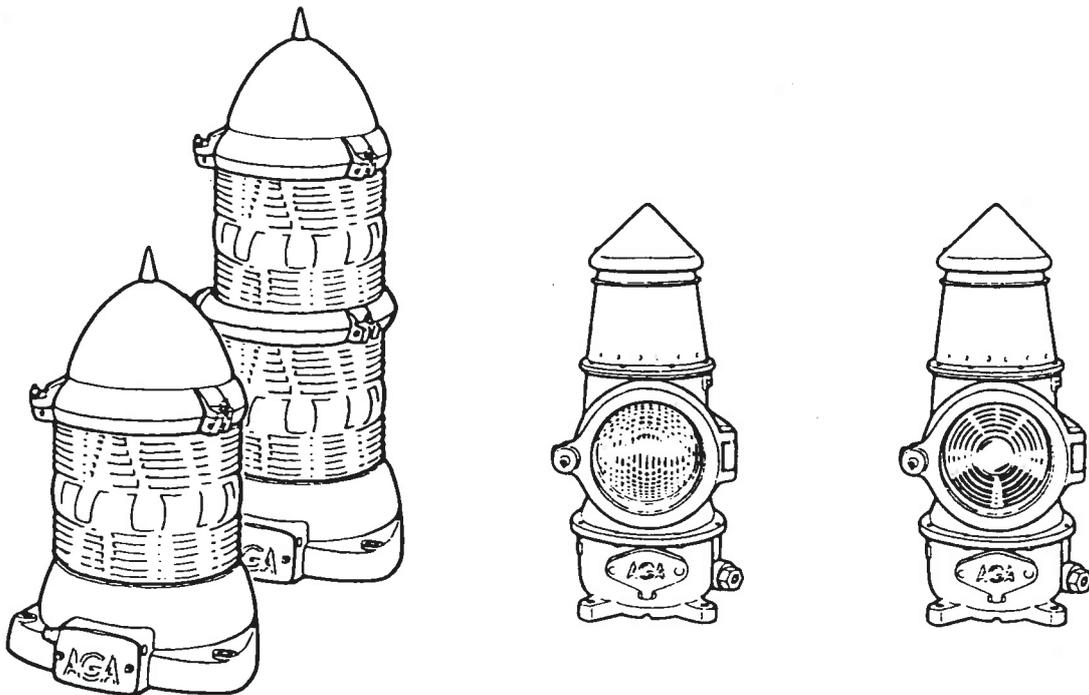
Figura III.3. Tipos de lentes

Los elementos catadióptricos se sitúan normalmente a continuación de los elementos dióptricos, y vienen a constituir prismas de reflexión total; los que se montan sobre el dióptrio (dispuesto este último a la altura del plano focal) se denominan de "cúpula"; los que se montan bajo el dióptrio, con igual funcionamiento se denominan de "corona"; en estos últimos cabe, además, una doble disposición según que los prismas estén montados verticalmente bajo el dióptrio o bien siguiendo un arco de círculo sin más trascendencia que la de aprovechar mejor la altura del aparato.

Las ópticas dióptricas y catadióptricas pueden, a su vez dividirse en dos clases: las ópticas que producen haces unidireccionales (Pencil Beam) y las que producen haces en abanico o de horizonte (Fan Beam). Las primeras están constituidas por perfiles de Fresnel o equiangulares de determinada superficie, pero que tienen un solo eje óptico; las segundas, llamadas también ópticas de tambor, si son dióptricas, se construyen partiendo de una sección meridiana de una lente de Fresnel que se hace girar alrededor de un eje vertical que pasa por el foco.

En la figura III.4 se observan linternas que poseen uno de estos dos tipos de ópticas.

La figura III.5 muestra las secciones de unas ópticas de horizonte BBT.



a) Linternas con ópticas que producen haces en abanico o de horizonte

b) Linternas con ópticas que producen haces unidireccionales

Figura III.4. Ejemplos de ópticas

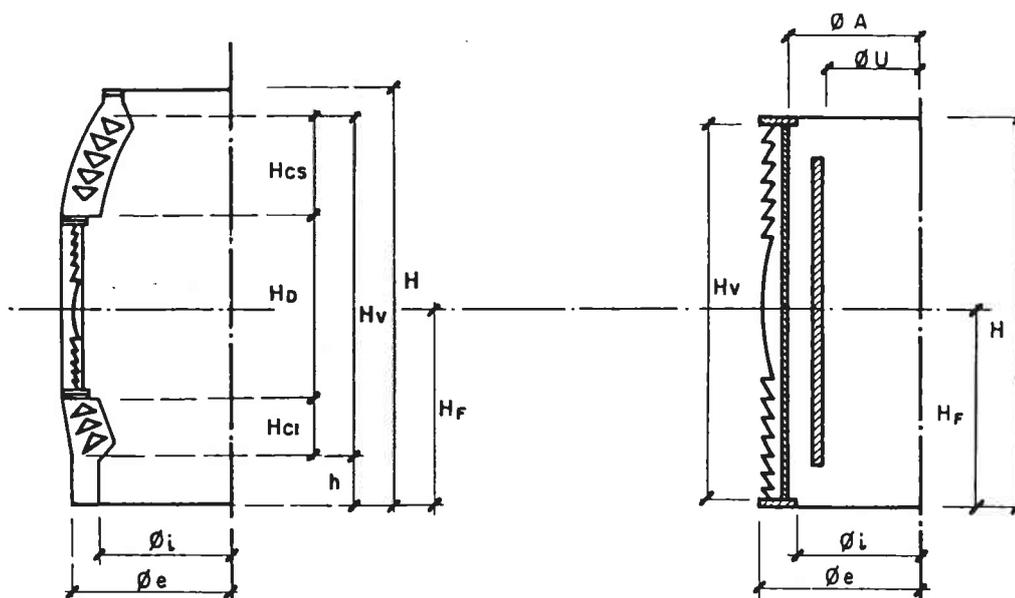
Una óptica puede estar constituida por varios paneles ópticos, esto es, lentes prismáticas formadas por dióptrios, con o sin catadióptrios montados sobre armadura rígida.

En las tablas III.1, III.2 y III.3 se ofrecen dimensiones de las ópticas de horizonte de las casas BBT y AGA.

O	A	II	HF	b	IIv	Oc	Oi	Ou	Oh	X	HD	Cs	Hes	Cl	lit
140	360	150	75		134	184	131		129	4	134	0	0	0	0
200	360				95			166	170	0	0	0	0	0	0
	360	178	89		168	258	190,5	166	188	0	95-168	0	0	0	0
	360	178	89		168	253	190,5	166	188	6	168	0	0	0	0
300	360	265	132,5		250	360	288,5	264	287	8	250	0	0	0	0
	360	265	132,5		250	360	288,5	264	287	8	250	0	0	0	0
375	360	405	202,5		388	456	362	264	352	10	388	0	0	0	0
	360	405	202,5		388	456	362	264	352	10	388	0	0	0	0
	90	530	210	16,5	484,2	460	345	362		7	387-381	0	0	0	0
	180	530	210	16,5	484,2	460	345			7	387-381	0	0	0	0
	270	530	210	16,5	484,2	460	345			7	387-381	0	0	0	0
500	360	542	271		510	600	476	264	470	10	510	0	0	0	0
500	360	542	271		510	600	476	264	470	10	510	0	0	0	0
	90	680	275	20	634	610	460	332		7	415	0	0	0	0
	180	680	275	20	634	610	460	332		7	415	0	0	0	0
	270	680	275	20	634	610	460	332		7	415	0	0	0	0
	360	680	275	20	634	610	460	332	más	7	415	0	0	0	0
750	90	770	385		730	850	730			14	730	0	0	0	0
	180	770	385		730	850	730			14	730	0	0	0	0
	270	770	385		730	850	730			14	730	0	0	0	0
	360	770	385		730	850	730			14	730	0	0	0	0
	90	1.250	550	139	1.076	855	765			8	528	10	410	4	147
	180	1.250	550	139	1.076	855	765			8	528	10	410	4	147
	270	1.250	550	139	1.076	855	765			8	528	10	410	4	147
360	1.250	550	139	1.076	855	765			8	528	10	410	4	147	
1.000	90	909	454,5		828	1.066	990			18	828	0	0	0	0
	180	909	454,5		828	1.066	990			18	828	0	0	0	0
	270	909	454,4		828	1.066	990			18	828	0	0	0	0
	360	909	454,4		828	1.066	990			18	828	0	0	0	0
	90	1.775	8.000	171	1.575	1.000	880			12	704	11	594	4	277
	180	1.775	8.000	171	1.575	1.000	880			12	704	11	594	4	277
	270	1.775	8.000	171	1.575	1.000	880			12	704	11	594	4	277
360	1.775	8.000	171	1.575	1.000	880			12	704	11	594	4	277	

Tabla III.1. Características de las ópticas de horizonte BBT

La significación de las distintas cotas puede observarse en la figura III.5



- H_{cs} : Anillos catadióptricos de cúpula Cs.
 H_D : Lente central + \times anillos dióptricos.
 H_F : Anillos catadióptricos de corona Hci.
 $\varnothing A$: Interior del armazón.

Figura III.5. Ópticas de horizonte BBT

d_i	PARTE DIOPTICA		PARTES CATADIOPTRICAS				Altura total	ARMADURA				Peso total — Kg.
	h_e	Anillos	PARTE SUPERIOR		PARTE INFERIOR			Ø ANILLO SUPERIOR		Ø ANILLO INFERIOR		
			h_e	Anillos	h_e	Anillos		Interior	Exterior	Interior	Exterior	
300	210	7	—	—	162	4	437	288	370	115	280	30
375	290	8	—	—	200	5	586	361	435	230	400	60
500	400	8	—	—	317	6	786	476	586	230	400	110
800	505	9	200		436	8	1.300	600	800	420	580	390

d_i es el diámetro interior de la óptica en el plano focal horizontal.
 h_e es la altura eficaz en cada parte de la óptica.
 Instalación alimentada por gas acetileno.

Tabla III.2. Dimensiones de las ópticas de horizonte catadióptricas (en milímetros) de la casa AGA

d ₁	he y número de anillos	Altura total	A R M A Z O N		Peso total — Kilogramos
			Diámetro interior de anillos	Diámetro exterior de anillos	
140 (1)	135 5	151	131	148	2,5
200 (1)	160 7	178	190	213	4,5
300 (1)	243 9	265	288	360	12,2
375 (2)	378 11	404	361	435	35,0
500 (2)	508 11	542	476	586	77,0
800 (2)	975 17	880	760	960	235,0
1.000 (2)	820 13	850	962	1.100	285,0
1.000 (2)	910 15	940	962	1.100	285,0

a) Ópticas pulidas

d ₁	he y número de anillos	Altura total	A R M A Z O N		Peso total — Kilogramos
			Diámetro interior de anillos	Diámetro exterior de anillos	
70	75 9	86	—	—	0,5
105	112 7	125	—	—	1,3
150	148 11	153	—	—	2,0
200 (3)	158 7	178	190	213	4,5
300 (1)	251 13	265	288	360	12,0
375 (1)	380 15	404	361	435	28,0

d₁ = diámetro interior de la óptica en el plano focal horizontal.

he = altura eficaz de la óptica.

(1) = armadura de montantes verticales.

(2) = armadura de montantes helicoidales.

(3) = Armadura de dos anillos extremos unidos a la óptica.

b) Ópticas moldeadas

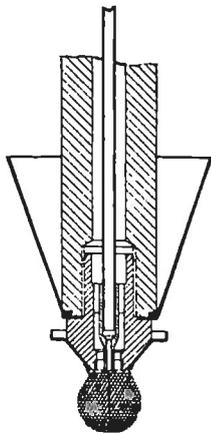
Tabla III.3. Dimensiones de las ópticas de horizonte dióptricas
(en milímetros) de la casa AGA

III.1.2.- Fuentes de luz: su combinación con las ópticas

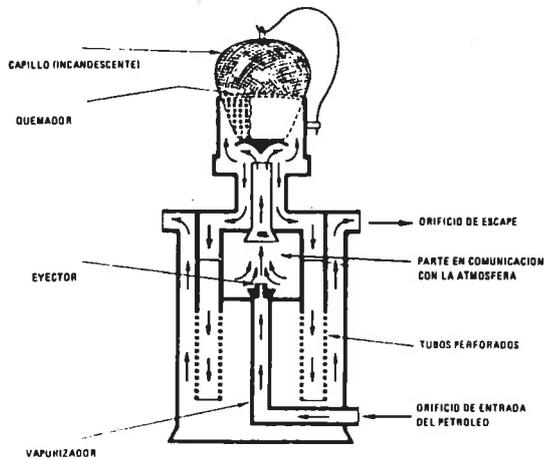
Las fuentes de luz producen la energía luminosa que es lanzada al horizonte por medio de los sistemas ópticos. Antiguamente era preciso recurrir a la combustión para producir la luz, por ello los primeros faros solían estar dotados de lámpara de aceite mineral o vegetal, o bien de parafinas; al final del siglo pasado comenzó a introducirse el alumbrado eléctrico que hoy día es el normal en los faros ubicados en tierra firme.

A principios del presente siglo, y con especial aplicación en las señales marítimas luminosas ubicadas en islotes o puntos apartados del litoral, comenzó a introducirse el alumbrado por gas acetileno que une a su sencillez la posibilidad de un automatismo completo. Este tipo de alumbrado que ha ido desarrollándose y mejorándose, se encuentra hoy muy extendido en señales automáticas tanto de mediano como de gran alcance.

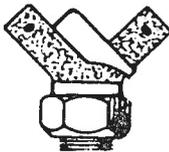
Al comenzar este siglo alcanzó gran difusión otro sistema de alumbrado basado en el vapor de petróleo y que hoy día sólo perdura en aquellos casos en que no ha podido conseguirse fácilmente la electrificación.



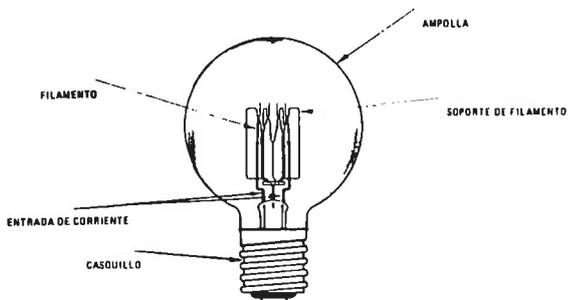
a) Quemador con capillo incandescente de gas acetileno



b) Quemador con capillo incandescente de vapor de petróleo



c) Quemador de llama desnuda de gas acetileno



d) Lámpara eléctrica de incandescencia

Figura III.6. Cuatro tipos de fuentes de luz

En España, dos son los tipos de alumbrado normales hoy día: el sistema eléctrico y el sistema de gas acetileno. El sistema de petróleo se encuentra en franca decadencia y es de esperar que en el transcurso de algunos años haya desaparecido totalmente.

Las fuentes de luz se disponen en el foco de los sistemas ópticos, y deben conjugarse el tamaño del sistema óptico (o sea, la superficie óptica) y las características luminotécnicas de la fuente para lograr el alcance necesario.

Las antiguas fuentes tenían escaso flujo y por ello debían combinarse con ópticas de considerable envergadura para conseguir las intensidades luminosas que requerían los alcances; modernamente el sistemático empleo de lámparas eléctricas, de gas acetileno por incandescencia, ha permitido el aumento de los indicados flujos luminosos con lo que, consecuentemente, han disminuído tanto las distancias focales de las ópticas como sus envergaduras y aberturas angulares.

III-1.3.- Conceptos y unidades referentes a la fuente de luz

Las señales luminosas son las que con más frecuencia se presentan al ingeniero encargado de los servicios; el cálculo de las mismas se centra principalmente en la determinación de los alcances luminosos y geográficos así como en la determinación cuantitativa de las apariencias, ya que la cualitativa le viene determinada por la Comisión Permanente de Faros.

Como quiera que entre el cálculo del alcance y el de la determinación cuantitativa antes reseñada existe una interrelación, es preciso abordar los cálculos simultáneamente. Para ello se tratarán a continuación las distintas unidades que se utilizan.

En estas unidades se empieza por la definición de la "intensidad luminosa" aún cuando en dicha definición se utiliza el concepto de "flujo luminoso" que se expone posteriormente. Ello se debe a que en realidad se procede en la práctica a la denominación del flujo a partir de la intensidad, y no recíprocamente, al ser la intensidad objeto de mediciones directas hasta el punto de que su unidad, la candela decimal, resulta de una medición experimental adoptada por convenio.

La intensidad luminosa es uno de los principales parámetros que intervienen en los cálculos de señales luminosas directamente relacionado con muchos de los resultados que pretende comprobar el ingeniero; el flujo luminoso, por el contrario, es un concepto que se utiliza frecuentemente para la justificación o explicación de métodos o fórmulas, pero que raramente entra en los cálculos directos de aplicación.

El flujo luminoso, sin embargo, se relaciona frecuentemente con la potencia en los catálogos de las lámparas de las casas constructoras, que señalan una correlación entre watios y lúmenes totales; por ello es un excelente indicador del grado de aprovechamiento de la energía que consume la lámpara al poder evaluar a través de la relación watios/lúmenes las pérdidas que se producen en la transformación de energía eléctrica en luminosa.

III-1.3.1.- Intensidad luminosa

Obsérvese la figura III.7.a.

Definición: Cociente entre el flujo luminoso ($d\Phi$) que parte de la fuente, y el elemento de ángulo sólido ($d\Omega$) correspondiente a la dirección en que se propaga.

Unidad: Candela (cd). En ocasiones se usa como unidad el decibelio (dB) que exige tomar un valor de intensidad como referencia, suele tomarse 1 cd y se dice que una fuente de luz tiene una intensidad de n decibelios si

$$n = 10 \log (I/1 \text{ cd})$$

siendo I su intensidad en candelas.

Esta unidad tiene a veces interés porque se ajusta a la Ley de Weber de la percepción, por la cual una intensidad se percibe n veces mayor que otra cuando el valor se ha elevado a n -ésima potencia (es una ley de carácter aproximado).

La candela decimal se define experimentalmente a partir de un patrón representado por el denominado "espacio hueco radiante" a la temperatura de fusión del platino, o sea 2042 grados, en que un centímetro cuadrado de superficie emisora irradia con una intensidad de 60 candelas.

Otras unidades de intensidad luminosa son la "bujía Hefner", la "bujía internacional", el "Violle" y el "Beccarcel" que tienen determinadas relaciones con la candela decimal, que es la usualmente utilizada.

Símbolo:

$$I, I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \text{ cd}$$

III-1.3.2.- Flujo luminoso

Definición: Magnitud del flujo radiante que expresa su capacidad para producir una sensación luminosa.

Es aquel flujo radiante Φ capaz de producir una sensación luminosa en visión fotópica. Su magnitud se evalúa teniendo en cuenta las normas de la CIE y en base a la longitud de onda (véase III.1.5.1.). Si no se especifica el ángulo sólido se entiende que es en todas direcciones, es decir, correspondiente a un ángulo sólido de 4π stereoradianes.

Unidad: Lumen (lm). Es el flujo luminoso emitido a través de un ángulo sólido unidad por un generador o fuente de luz puntual de intensidad uniforme de una candela.

Dimensionalmente corresponde a una potencia irradiada.

$$\text{lumen (lm)} \quad (1 \text{ lumen} = \frac{1}{680} \text{ W})$$

Símbolo: ϕ lm

Nota: Cuando se hable de flujo luminoso sin otra especificación se sobreentenderá el flujo esférico, correspondiente al ángulo sólido 4π stereradianes.

III-1.3.3.- Iluminancia (o nivel de iluminación)

Obsérvese la figura III.7.b.

Definición: Es el cociente del flujo luminoso incidente ($d\phi$) sobre una superficie, por el elemento de superficie (dA) en el que incide.

Unidad: lux (lx), 1 lux = 1 lm/m².

Símbolo: $E = \frac{d\phi}{dA}$ lx

III-1.3.4.- Luminancia (o brillo intrínseco)

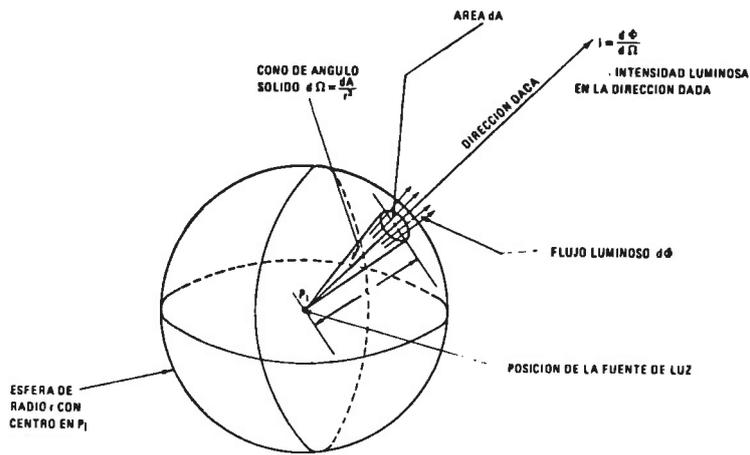
Obsérvese la figura III.7.c.

Definición: Relación entre el flujo luminoso ($d^2\phi$) que deja, alcanza o pasa a través de un elemento de superficie y se propaga en direcciones definidas por un cono elemental que contiene la dirección dada, por el producto del ángulo sólido ($d\Omega$) del cono y el área ($dA \cos\vartheta$) de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular a la dirección dada.

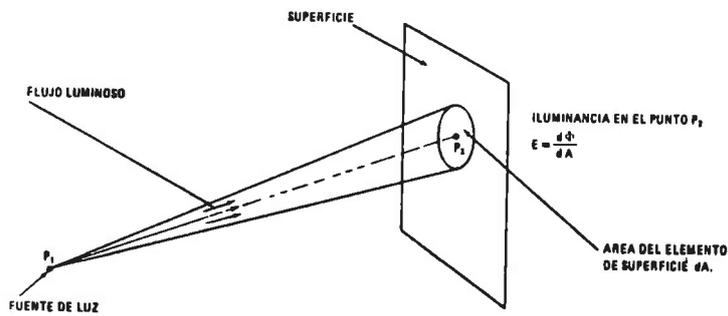
Unidad: candela por metro cuadrado (cd/m²) o nit (nt)

Símbolo: $L = \frac{d}{dA \cos\vartheta} \left(\frac{d\phi}{d\Omega} \right) = \frac{d^2\phi}{d\Omega dA \cos\vartheta}$ cd/m²

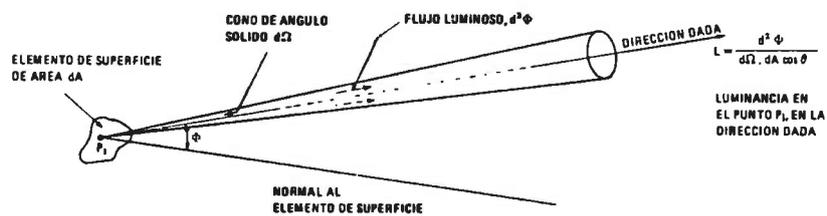
Este concepto puede referirse tanto a una fuente de luz primaria (por ejemplo una lámpara eléctrica), como a una fuente secundaria (por ejemplo una óptica combinada con una fuente), como a una superficie cualquiera que recibe un flujo luminoso.



a) INTENSIDAD LUMINOSA (de una fuente, en una dirección dada)



b) ILUMINANCIA (en un punto de una superficie)



c) LUMINANCIA (en una dirección dada, en un punto de una superficie)

Figura III.7. Definición geométrica de los principales conceptos luminotécnicos

En las siguientes tablas se observan la luminancia e intensidad de diversas fuentes de luz, así como otros datos útiles para los cálculos.

Altura h — mm.	Ancho $b = 2r$ — mm.	Consumo de petróleo — gr/b.	Brillo intrínseco — cd/cm ²	Intensidad — cd.	Observaciones
—	20	30	2,37	9,5	1 mecha
—	40	100	5,05	49,5	2 mechas

Altura h — mm.	Ancho $b = 2r$ — mm.	Brillo intrínseco — cd/cm ²	Intensidad — cd.	Consumo de petróleo — gr/b.
—	54,2	19,6	940	516
—	85,2	19,8	1.900	1.160

Tabla III.4. Lámparas de vapor de petróleo por capilaridad

Altura h — mm.	Ancho medio $b = 2r$ — mm.	Brillo intrínseco — cd/cm ²	Intensidad — cd.
55	29	6,80	110

Tabla III.5. Lámparas de incandescencia de vapor de petróleo

Diámetro del capillo en el plano focal — mm.	Consumo de petróleo — l/b.	Intensidad luminosa (repart. regular) — cd.	Brillo intrínseco — cd/cm ²
35	0,38	612	259
55	0,74	1.205	317
85	1,28	2.500	290

Tabla III.6. Lámparas de incandescencia de vapor de petróleo a presión

Consumo de gas — l/h.	Altura de la llama — mm.	Anchura de la llama — mm.	Intensidad en el plano focal — cd.	Brillo intrínseco (luminancia) (*) — cd/cm ²
Quemadores simples				
5	9	9	2	3,5
8	11	11	5	4,7
10	14	14	7	5,1
15	18	18	14	6,0
10	14	14	7	5,1
15	18	18	14	6,0
20	23	23	21	6,4
25	29	29	30	6,9
30	36	36	40	7,0
Quemadores múltiples				
50	39,5	40	63	8,01
60	40	40	80	8,6
75	40,5	45	100	9,2
90	41	50	120	9,9
100	41,5	55	135	10,3
120	42	65	160	11,1
150	42,5	65	200	12,1
200	43	80	275	13,6
250	43,5	85	350	15,4
300	44	95	430	16,9

(*) Los valores de los quemadores simples se refieren a la llama observada desde el lado plano. El brillo de la llama es cinco veces mayor cuando se observa por el canto. La luminancia o brillo intrínseco de los quemadores varía muy poco al ser observados éstos desde distintos ángulos.

Tabla III.7. Lámparas de acetileno, llama desnuda

Consumo de gas — l/h.	Altura del capillo — mm.	Diámetro del capillo en el plano focal — mm.	Intensidad en el plano focal — cd.	Brillo intrínseco medio — cd/cm ²
10	16	16	40	26
15	17	17	60	34
20	18	18	80	39
25	19	19	100	43
35	21	21	150	50
50	23	23	200	57
75	26	26	300	65
100	30	28	400	70

Tabla III.8. Lámparas de acetileno, incandescencia

Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)	LAMPARAS DE BAJA TENSION DE 6 VOLTIOS BT						
			Forma	Diámetro — mm.	H — mm.	Brillo cd/m ² .	Diámetro ampolla	H focal	Casquillo
6	0,8	5	Espiral	0,53	3,0	6,0	25,4	38	P. 15s
6	1,4	8,5	Espiral	0,4	2,7	10,0	25,4	38	P. 15s
6	2,0	12	Espiral	0,61	3,0	9,0	25,4	38	P. 15s
6	5,0	30	Espiral	1,3	2,5	12,0	34,0	38	P. 15s
12	1,5	18	Espiral	0,60	4,5	12,0	25,4	38	P. 15s
12	2,0	24	Espiral	1,20	3,3	12,0	34,0	38	P. 15s
12	3,0	36	Espiral	1,1	6,0	7,8	34,0	38	P. 15s

Tabla III.9. Lámparas eléctricas de baja tensión, de 6 V. y 12 V.
Lámparas de instalaciones BBT

Potencia (W)	Tensión (V)	Diámetro filamento — mm.	Altura filamento — mm.	Brillo intrínseco — cd/cm ²	Altura focal — mm.	Altura total — mm.	Diámetro exterior — mm.
60	24	6	4	—	54 ± 1	110	60
60	32	6	4,5	—	54 ± 1	110	60
100	24	10	4	—	54 ± 1	127	80
100	32	10	4	250	54 ± 1	127	80
250	24	12	5,5	—	54 ± 1	132	90
250	32	12	6,5	500	54 ± 1	132	90
500	24	14	6,5	—	68 ± 1	183	120
500	32	14	7,0	—	68 ± 1	183	120
1.000	32	—	—	—	101 ± 1	213	130

Tabla III.10. Lámparas eléctricas de baja tensión, de 24 V. y 32 V.
Lámparas de instalaciones AGA

Potencia (W)	Tensión (V)	FILAMENTO			Lúmenes	Brillo intrínseco — cd/cm ²
		Tipo	Altura h — mm.	Base b — mm.		
100	100-160	semi-tambor	6	12	1.100	155
	200-250		9	14	900	72,4
250	100-160	semi-tambor	8,5	14	3.500	298,2
	200-250		11	16	3.200	184,4
500	100-160	semi-tambor	12	13	8.800	572,1
	200-250		14	16	7.500	339,6
1.000	100-160	semi-tambor	14	15	19.000	917,6
	200-250		18	17	18.000	596,6
1.500	100-135	semi-tambor	20	18	26.250	739,5
1.500	100-135	tambor	16	28	25.500	577,3
3.000	100-130	tambor	17	37	50.000	806,2

a) Casa Philips Ibérica S.A.E.

Potencia (W)	Tensión (V)	Diámetro filamento — mm.	Altura filamento — mm.	Brillo intrínseco — cd/cm ²	Altura focal — mm.	Altura total — mm.	Diámetro exterior — mm.
60	110	—	—	—	—	—	—
60	220	—	—	—	—	—	—
110	110	12	9	115	54 ± 1	127	80
110	220	14	8	85	54 ± 1	127	80
250	110	14	11	260	54 ± 1	132	90
250	220	17	11	180	54 ± 1	132	90
500	110	15	14	380	68 ± 1	183	120
500	220	19	16	260	68 ± 1	183	120
1.000	110	18	20	545	101 ± 1	213	130
1.000	220	18	20	480	101 ± 1	213	130
1.500	110	25	20	715	100 ± 1	215	150
1.500	110	20	18	950	170 ± 2	298	150
1.500	220	28	20	500	170 ± 2	298	150

b) Casa Luma (Suecia)

Tabla III.11. Lámparas eléctricas de tensión normal (127 V.)
Se utilizan en toda clase de señales y necesariamente en faros de
largo alcance

Potencia (W)	Tensión del arco (V)	Intensidad corriente (A)	Intensidad luminosa (lux)	Luminancia (cd/cm ²)	Longitud del arco (mm)	Anchura del arco (mm)	
(a)	100	60-75	13,5/16,5	7.000	15.000	7,5	2,0
	250	60-75	3,7/ 4,6	1.300	20.000	3,75	1,5
	1.000	60-75	16 - 18	7.000	40.000	6,5	2,5
	5.000	60-75	67 - 83	32.000	45.000	10,0	7,5
(b)	250	11-13	14,5/23,5	500	-	5,5	-
	2.000	23	67	6.000	25.000	8,75	4,0
	2.000	27	74	7.500	35.000	8,75	3,5

Tabla III.12.- Lámparas de descarga de vapor de mercurio (a)
y de vapor de mercurio con xenon (b)

Nota: la intensidad luminosa es en dirección horizontal

III-1.4.- Conceptos referentes al sistema óptico

III-1.4.1.- Distancia focal

En ópticas con elementos dióptricos y catadióptricos es la distancia entre el foco y el centro óptico del dioptrio del sistema óptico.

En ópticas con elementos catóptricos es distancia entre el foco de la parábola (o cónica, en general) que constituye una sección meridiana y el vértice.

Suele expresarse en mm.

III-1.4.2.- Altura dióptrica

Corresponde a la altura geométrica existente entre los bastidores superior e inferior de sujeción del perfil de Fresnel; esta medida es de capital importancia en las ópticas de horizonte.

Suele expresarse en cm o en mm.

III-1.4.3.- Abertura angular

Se define la abertura angular por medio del ángulo cuyo vértice se encuentra en el foco y cuyos lados pasan por los extremos del dióptrio en su sección completa.

III-1.4.4.- Altura catadióptrica

Es la altura geométrica que suele darse en un plano existente entre los bastidores superior e inferior que sustentan los anillos catadióptricos; esta distancia puede ser de corona o de cúpula, según se trate de los elementos inferiores o superiores. Debe hacerse observar que únicamente es operante la altura catadióptrica neta; por consiguiente si los anillos están dispuestos verticalmente y no sobre un arco, de tal modo que los haces emergentes

no sean contiguos entre si, solamente hay que tomar la parte correspondiente a la altura ocupada por los anillos que viene a ser el 75% de la total.

III-1.5.- Apariencia luminosa

La apariencia de una señal marítima queda definida por el color de la luz y por su variación (conjunto de fases de luz y ocultación).

El color de la luz, conforme a las vigentes disposiciones sólo puede ser blanco, verde o rojo en España. También hoy día se admite, aunque limitadamente, la luz violeta. Estos colores vienen definidos por medio de las correspondientes coordenadas de cromaticidad debiendo estar éstas comprendidas entre determinados límites.

III-1.5.1.- Coordenadas cromáticas de la CIE

La experiencia muestra que el carácter de color en la sensación visual está ligado a la composición espectral del rayo electromagnético incidente en el ojo.

Se constata asimismo que cualquier color puede reconstituirse por superposición aditiva, en cantidades adecuadas de tres flujos luminosos convenientemente elegidos que se llaman "primarios". Esta permite asignar a cada color tres números que representan las cantidades de flujos luminosos primarios y que se llaman "coordenadas tricromáticas".

La CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) eligió inicialmente como colores primarios el rojo, el verde y el azul; posteriormente, para evitar que algunos colores tuvieran coordenadas negativas, adoptó como base del sistema de colores los llamados rojo virtual (designado por X), verde virtual (designado por Y) y azul virtual (designado por Z) y los definió a partir de las llamadas "componentes tricromáticas" (figura III.8).

Así pues, estableció que las coordenadas tricromáticas de un cierto color son:

$$\begin{aligned} X &= \int \bar{x}(\lambda) \varphi(\lambda) d\lambda \\ Y &= \int \bar{y}(\lambda) \varphi(\lambda) d\lambda \\ Z &= \int \bar{z}(\lambda) \varphi(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad \text{donde:}$$

$\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ son las componentes tricromáticas y representan la - distribución espectral de una magnitud luminosa (o bien el flujo, o bien la intensidad o bien la luminancia) respecto el valor máximo de $\bar{y}(\lambda)$, de tal modo que

$$\int \bar{x}(\lambda) d\lambda = \int \bar{y}(\lambda) d\lambda = \int \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

$\varphi(\lambda)$ es la distribución espectral relativa a una magnitud luminosa dada del color en cuestión.

Cuando sólo se desean determinar las coordenadas tricromáticas no tiene ninguna influencia la magnitud luminosa elegida.

λ es la longitud de onda.

Las integrales se extienden sobre el espectro visible (λ entre 380 y 700 nm, aproximadamente).

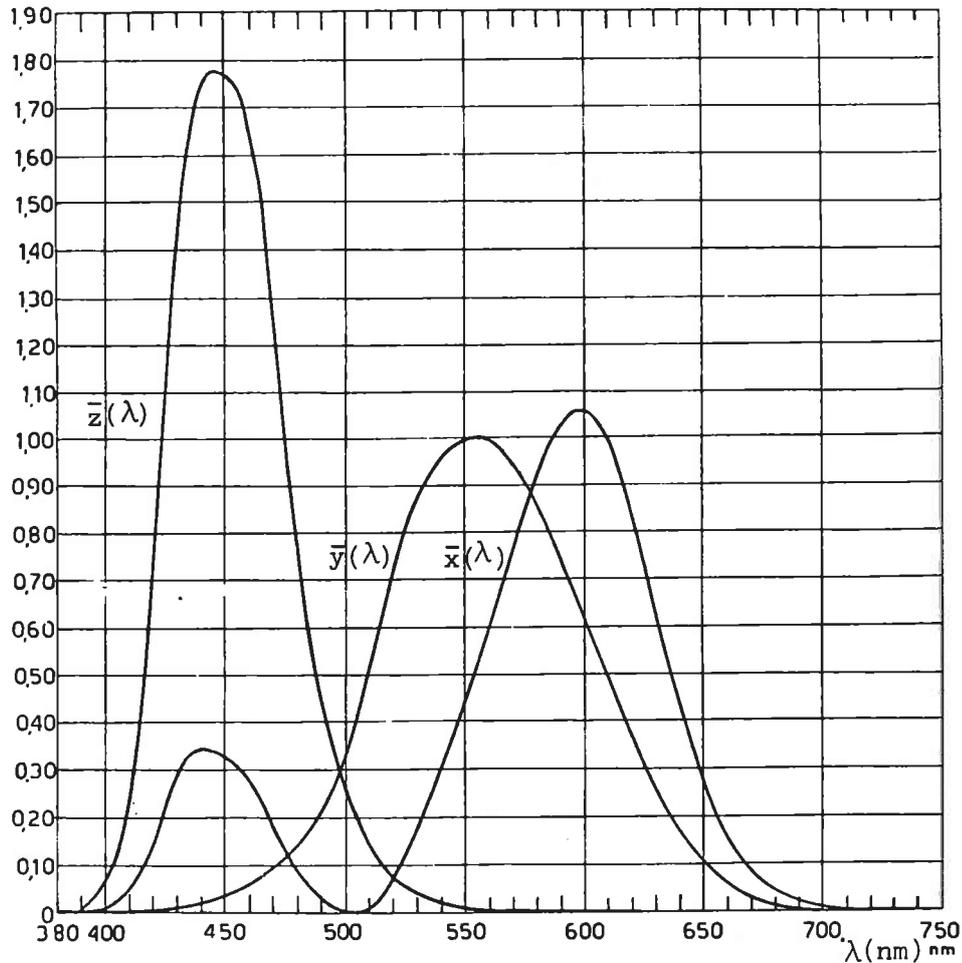


Figura III.8. Componentes tricromáticas, $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$
 En ordenadas : el tanto por uno de una magnitud luminosa (o flujo o intensidad o luminancia) respecto el máximo de la $\bar{y}(\lambda)$

Finalmente las coordenadas tricromáticas se definen como sigue:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} ; \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} ; \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

con ello es posible hacer una representación gráfica en el plano x, y de todos los colores (dado que $x + y + z = 1$). Todos los colores quedan representados dentro del llamado triángulo cromático de la CIE que se representa en la figura III.9. Sobre él se han trazado los límites establecidos para los colores en señalización marítima y la línea del cuerpo negro, esto es, el lugar geométrico en el plano " x, y " de los colores que experimenta un cuerpo perfectamente negro al calentarse. Refiriéndose a la línea del cuerpo negro suele definirse el color de los filamentos incandescentes por su "temperatura de color".

El blanco puro tiene coordenadas $x = 1/3$, $y = 1/3$, $z = 1/3$ y le corresponde, aproximadamente, una temperatura de color de 5.700° K.

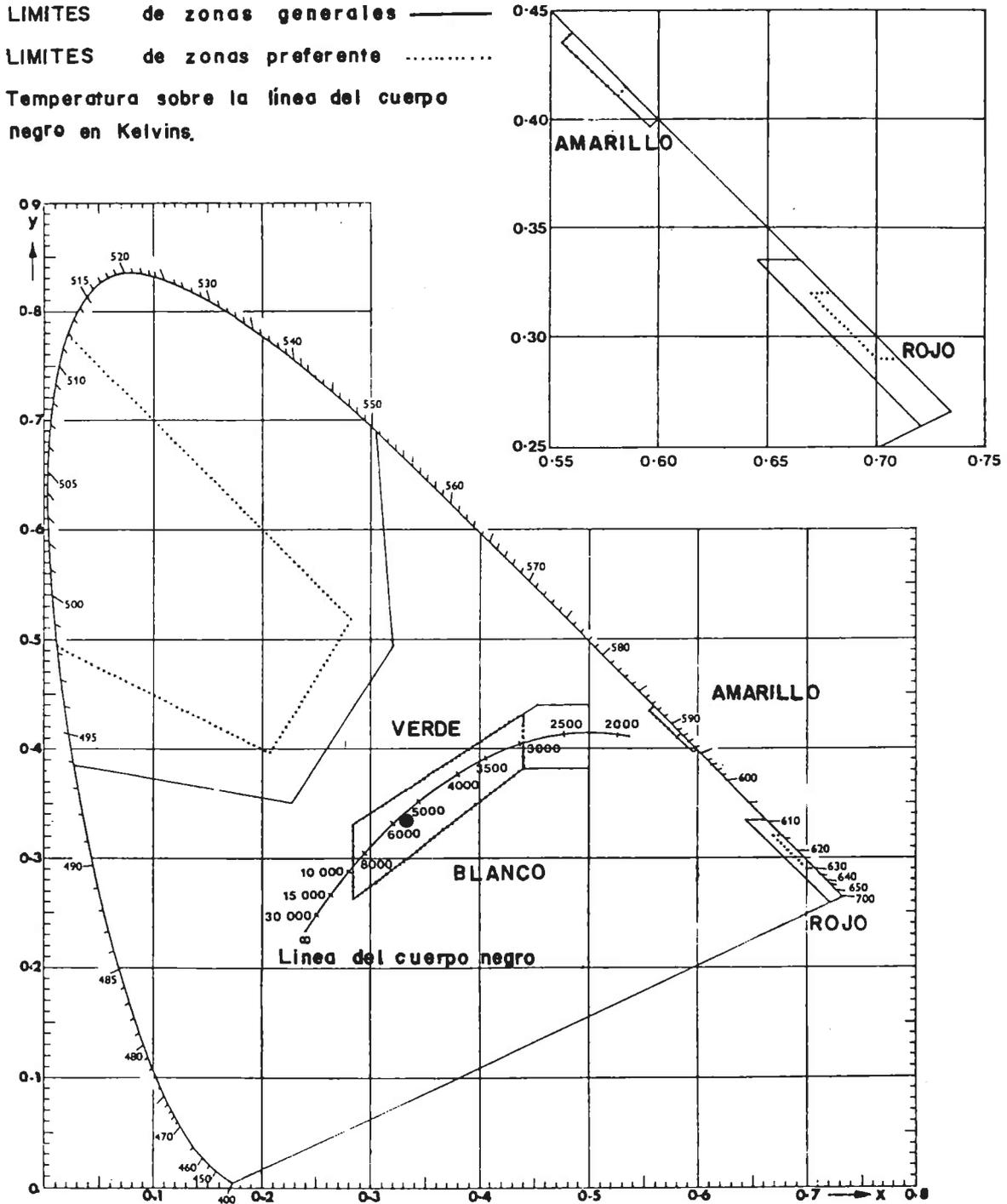


Figura III.9. Triángulo cromático de la CIE y, sobre él, los límites establecidos para los colores de las luces en señalización marítima. Recomendación de la IALA/AISM de diciembre de 1977

En la siguiente tabla III.13 se definen los límites establecidos en la Recomendación de la IALA/AISM de diciembre de 1977.

Color	Límites	Ecuaciones de las Zonas Generales	Ecuaciones de las Zonas Preferentes
Rojo	Límite rojo extremo		$y = 0.290$
	Límite púrpura	$y = 0.980 - x$	$y = 0.990 - x$
Amarillo	Límite amarillo	$y = 0.335$	$y = 0.320$
	Límite rojo	$y = x - 0.200$	$y = x - 0.170$
	Límite blanco	$y = 0.951 - 0.930 x$	$y = 0.951 - 0.930 x$
Verde	Límite verde	$y = x - 0.120$	$y = x - 0.120$
	Límite amarillo	$y = 4.50 - 12.5 x$	$y = 0.800 - x$
Verde	Límite blanco	$y = 1.54 x$	$y = 0.066 + 1.60 x$
	Límite azul	$y = 0.390 - 0.171 x$	$y = 0.500 - 0.500 x$
Blanco	Límite púrpura	$y = 0.382$	$y = 0.047 + 0.762 x$
		Para x mayor o igual que 0.440	
		$y = 0.047 + 0.762 x$	
		Para x menor o igual que 0.440	
	Límite azul	$x = 0.285$	$x = 0.285$
	Límite verde	$y = 0.150 + 0.640 x$	$y = 0.150 + 0.640 x$
		$y = 0.440$	
	Límite amarillo	$x = 0.500$	$x = 0.440$

Tabla III.13. Límites recomendados para los colores de las luces en señalización marítima

III.1.5.2.- Variación de la luz

La variación de la luz puede conseguirse por tres procedimientos: por el giro de la óptica alrededor de la fuente luminosa de encendido constante, con lo que se producen destellos relámpagos; por giro de pantallas alrededor de una fuente luminosa de encendido constante (luz variada por ocultaciones, que va cayendo en desuso); y, por último, intermitencia en el encendido y apagado de la fuente luminosa.

Las duraciones de la luz y de la oscuridad se denominan "fases" y la suma de tiempos correspondientes a las fases de un mismo ciclo se llama "periodo". Cuando la duración de la luz es claramente inferior a la oscuridad (ocultación) se trata de "destellos". Diversas reglas científicas regulan las limitaciones, para fases de luz a un mínimo de 0,2 segundos por razones de tipo fisiológico (figura III.10) si se trata de señales con destellos aislados o grupos de destellos. En las denominadas "señales centelleantes" que son aquellas de rápido ritmo de destellos (un mínimo de 40 por minuto y un máximo de 300 por minuto, para que no den apariencia de luz fija), se suele permitir que este límite descienda a los 0,1 segundos. Para fases de oscuridad hay que tener en cuenta que la persistencia de la visión de una luz al apagarse puede alcanzar 0.15 segundos.

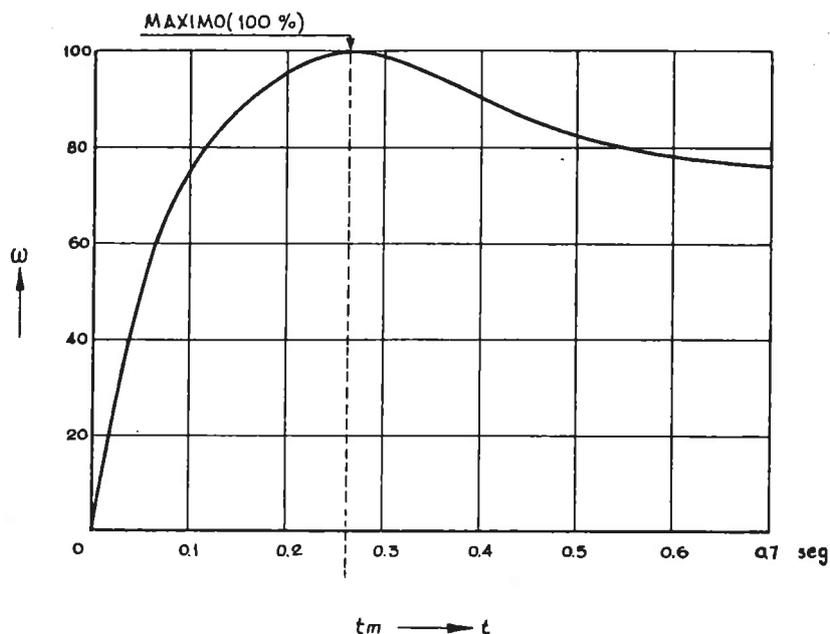


Figura III.10. Percepción relativa ω función del tiempo

III.1.5.3.- Recomendaciones para la variación de la luz

Caben múltiples combinaciones de fases de luz y de oscuridad y de ahí nacen diversas denominaciones como las señales isofase, las señales de grupos de destellos pares, la de grupos de destellos impares, la de ocultaciones largas, las que reproducen letras del alfabeto morse, etc. Esta nomenclatura debe ajustarse a las definiciones y observaciones proporcionadas por la IALA/AISM que se reseñan en la tabla III.14.

Naturalmente señales marítimas próximas entre sí han de tener apariencias totalmente diferentes para evitar posibles confusiones durante la noche; este extremo, en todo caso, es tratado por la Comisión Permanente de Faros que dictamina para cada una de las señales nuevas o modificaciones de las existentes tanto la apariencia que debe darse a la señal como su alcance.

A pesar de todo es imposible conseguir para cada señal marítima una apariencia propia, y por ello estas apariencias, sea cualitativa o cuantitativamente, se repiten a lo largo del litoral pero siempre con un prudencial margen de distancia del orden de 50 ó 60 millas por lo menos.

En cuanto a las señales marítimas de escasa importancia o corto alcance se permite que la repetición de la apariencia tenga lugar a más cortos trechos, pero siempre con sujeción al Reglamento de balizamiento que regula tanto las condiciones que deben tener los grupos de destellos como el color.

Con todo, con carácter general se admiten las siguientes

Clase	Abreviatura Española	Abreviatura Internacional	Descripción General	Especificación de la AISM	Utilización particular en el Sistema de Balizamiento Marítimo de la AISM
1. LUZ FUA	F	F	Luz que aparece continua y uniforme	Una luz fija debe utilizarse con precaución porque puede no ser identificada como una luz de ayuda a la navegación.	No se deberá utilizar una simple luz fija
2. LUZ DE OCULTACIONES			Luz en la que la duración total de la luz en un periodo es más larga que la duración total de la oscuridad y en la que los intervalos de oscuridad (ocultaciones) tienen habitualmente la misma duración.	Luz en la que la duración total de la luz en un periodo es claramente más larga que la duración total de la oscuridad y en la que todas las ocultaciones son de igual duración.	
2.1. Luz de ocultaciones aisladas	Oc.	Oc.	Luz en la que las ocultaciones se suceden regularmente.	La duración de una aparición de luz no debe ser inferior a tres veces la duración de una ocultación. El periodo no debe ser inferior a 2 s.	Una luz blanca de ocultaciones aisladas indica una marca de aguas navegables.
2.2. Luz de grupos de ocultaciones	ej: Gp Oc (2)	Oc. (2)	Luz en la que los grupos, de un número dado de ocultaciones, se suceden regularmente.	Las apariciones de luz entre las ocultaciones de un mismo grupo son de igual duración y esta es claramente más corta que la aparición de luz entre dos grupos sucesivos. El número de ocultaciones de un grupo no debe exceder de cuatro en general, y no llegar a cinco más que excepcionalmente. La duración de la aparición de luz en un grupo no debe ser inferior a la duración de una ocultación. La duración de una aparición de luz entre dos grupos no debe ser inferior a tres veces la duración de la aparición de luz en un grupo. En un grupo de dos ocultaciones, la duración acumulada de una ocultación y de la aparición de luz en el grupo no debe ser inferior a 1 s. En un grupo de tres o más ocultaciones, la duración acumulada de una ocultación y una aparición de luz en el grupo no debe ser inferior a 2 s.	Una luz amarilla de grupos de ocultaciones indica una marca especial.
2.3. Luz de grupos complejos de ocultaciones	ej: Gp OcQz+1	OcQz+1	Luz semejante a la de grupos de ocultaciones salvo en que los grupos sucesivos de un mismo periodo tienen diferente número de ocultaciones.	No se recomienda la utilización de esta clase de luces rítmicas que son difíciles de reconocer.	
3. LUZ ISOFASE	Iso	Iso	Luz en la que las duraciones de luz y de oscuridad son claramente iguales.	Conviene que el periodo no sea nunca inferior a 2 s., y preferentemente que no sea inferior a 4 s. para evitar el riesgo de confusión con luces de ocultaciones o de destellos de los mismos periodos.	Una luz blanca isofase indica una marca de aguas navegables.
4. LUZ DE DESTELLOS			Luz en la que la duración total de luz en un periodo es más corta que la duración total de oscuridad y en la que las apariciones de luz (destellos) tienen habitualmente la misma duración.	Luz en la que la duración total de luz en un periodo es claramente más corta que la duración total de oscuridad y en la que todos los destellos son de igual duración. Ver igualmente la Introducción, párrafo 2.5.	
4.1. Luz de destellos aislados	D	Fl	Luz en la que los destellos se suceden regularmente (a una frecuencia inferior a 50 destellos por minuto).	La duración de un intervalo de oscuridad entre dos destellos sucesivos no debe ser inferior a tres veces la duración de un destello. El periodo no debe ser inferior a 2 s (ó a 2,5 s. en los países en que se utilice el ritmo centelleante de 50 destellos por minuto).	Una luz amarilla de destellos aislados indica una marca especial.
4.2. Luz de destellos largos	DI	LFI	Luz de destellos aislados en la que las apariciones de luz de una duración de 2 s. como mínimo (destellos largos) se suceden regularmente.	Los intervalos de oscuridad entre los destellos de un mismo grupo son de igual duración y esta claramente más corta que la duración del intervalo de oscuridad entre dos grupos sucesivos. El número de destellos de un grupo no debe exceder de cinco en general, y no llegar a seis más que excepcionalmente. La duración del intervalo de oscuridad en un grupo no debe ser inferior a la duración de un destello. La duración del intervalo de oscuridad entre dos grupos no debe ser inferior a tres veces la duración del intervalo de oscuridad en un grupo. En un grupo de dos destellos, la duración acumulada de un destello y del intervalo de oscuridad en el grupo no debe ser inferior a 1 s. En un grupo de tres o más destellos, la duración acumulada de un destello y un intervalo de oscuridad en el grupo, no debe ser inferior a 2 s. (ó inferior a 2,5 s. en los países en que se utilice el ritmo centelleante de 50 destellos por minuto).	Una luz blanca de destellos largos, con un periodo de 10 s., indica una marca de aguas navegables.
4.3. Luz de grupos de destellos	ej: Gp D (3)	Fl (3)	Luz en la que los grupos, de un número dado de destellos, se suceden regularmente.	Una luz blanca de grupos de dos destellos, con un periodo de 5 s. ó de 10 s., indica una marca de peligro aislado. Una luz amarilla de grupos de cuatro, cinco o (excepcionalmente) seis destellos, indica una marca especial.	

Tabla 11.14. Clasificación de los ritmos de las luces (continua)

Clase	Abreviatura Española	Abreviatura Internacional	Descripción General	Especificación de la AISM	Utilización particular en el Sistema de Balizamiento Marítimo de la AISM
4.4. Luz de grupos complejos de destellos	Gp; Cp DQ(2+1)	F1 (2+1)	Luz semejante a la de grupos de destellos, salvo en que dos grupos sucesivos en un mismo periodo tienen diferente número de destellos.	Conviene que los ritmos utilizados se limiten en general a (2+1) destellos, constituyendo (3+1) destellos solamente como excepción.	Una luz roja o verde de grupos complejos de destellos (2+1) indica una marca lateral modificada (canal a tomar preferentemente). Una luz amarilla de grupos complejos de destellos indica una marca especial.
5. LUZ CENTELLEANTE			Luz en la cual los destellos (centelleos) se suceden con una frecuencia comprendida entre 50 y 80 destellos por minuto.	Luz en la cual los destellos idénticos se suceden con la frecuencia de 60 (ó 50) destellos por minuto. Es preferible la frecuencia más rápida.	Una luz blanca centelleante continua, indica una marca cardinal Norte. Una luz blanca de grupos de tres centelleos con un periodo de 10 s., indica una marca cardinal Este. Una luz blanca de grupos de nueve centelleos con un periodo de 15 s., indica una marca cardinal Oeste. Una luz blanca compuesta por un grupo de seis centelleos seguido por un destello largo de al menos 2 s., con un periodo de 15 s. indica una marca cardinal Sur.
5.1. Luz centelleante continua	Ct	Q	Luz centelleante en la cual los destellos se suceden regularmente.		
5.2. Luz de grupos de centelleos	Gp Ct (3)	Q (3)	Luz centelleante en la cual los grupos de un número dado de destellos se suceden regularmente.	Conviene que el número de destellos de un grupo sea tres o nueve. Una característica de luz excepcional está reservada en el Sistema de Balizamiento Marítimo de la AISM para indicar una marca cardinal Sur.	
ej:	Gp Ct (9)	Q (9)			
	Gp Ct (6)+DL	Q (6)+LFI			
5.3. Luz centelleante interrumpida	ICt	IQ	Luz centelleante en la cual la sucesión de destellos se interrumpe regularmente por largos intervalos de oscuridad de igual duración.	El número de destellos por periodo debe ser igual o superior a ocho. La duración de un intervalo largo de oscuridad no debe ser inferior a 3 s.	No se deberá utilizar una luz centelleante interrumpida.
6. LUZ CENTELLEANTE RAPIDA			Luz en la cual los destellos (centelleos) se suceden con una frecuencia comprendida entre 80 y 160 destellos por minuto.	Luz en la cual los destellos idénticos se suceden con una frecuencia de 120 (ó 100) destellos por minuto. Es preferible la frecuencia más rápida.	
6.1. Luz centelleante rápida continua	Rp.	VQ	Luz centelleante rápida en la cual los destellos se suceden regularmente.		Una luz blanca centelleante rápida indica una marca cardinal Norte.
6.2. Luz de grupos de destellos rápidos	Gp Rp (3)	VQ (3)	Luz centelleante rápida en la que los grupos de un número dado de destellos se suceden regularmente.	Conviene que el número de destellos en un grupo sea tres o nueve. Una característica de luz excepcional está prevista en el Sistema de Balizamiento Marítimo de la AISM para indicar una marca cardinal Sur.	Una luz blanca de grupos de tres centelleos rápidos con un periodo de 5 s., indica una marca cardinal Este. Una luz blanca de grupos de nueve centelleos rápidos, con un periodo de 10 s., indica una marca cardinal Oeste. Una luz blanca de grupos de seis centelleos rápidos seguido de un destello largo de al menos 2 s., con un periodo de 10 s., indica una marca cardinal Sur.
ej:	Gp Rp (9)	VQ (9)			
	Gp RQ(6)+DL	VQ(6)+LFI			
6.3. Luz centelleante rápida interrumpida	RpI	IVQ	Luz centelleante rápida en la cual la sucesión de los destellos se interrumpe regularmente por largos intervalos de oscuridad de la misma duración.	El número de destellos por periodo debe ser igual o superior a ocho. La duración de un intervalo largo de oscuridad no debe ser inferior a 3 s.	
7. LUZ CENTELLEANTE ULTRA-RAPIDA			Luz en la cual los destellos (centelleos) se suceden con una frecuencia de 160 destellos por minuto como mínimo.	Luz en la cual los destellos se suceden con una frecuencia comprendida entre 240 y 300 destellos por minuto.	
7.1. Luz centelleante ultra-rápida continua	LQ	LQ	Luz centelleante ultra-rápida en la cual los centelleos se suceden regularmente.		
7.2. Luz centelleante ultra-rápida interrumpida	IUQ	IUQ	Luz centelleante ultra-rápida en la cual la sucesión de los destellos es interrumpida regularmente por intervalos largos de oscuridad de igual duración.	Luz centelleante ultra-rápida en la cual la sucesión de los destellos es interrumpida regularmente por intervalos largos de oscuridad de igual duración. Puede especificarse la duración aproximada de la sucesión de destellos. El número de destellos por periodo debe ser igual o superior a 25. La duración de un intervalo largo de oscuridad no debe ser inferior a 3 s.	

Tabla III.14. Clasificación de los ritmos de las luces (continúa)

Clase	Abreviatura		Descripción General	Especificación de la AISM	Utilización particular en el Sistema de Balizamiento Marítimo de la AISM
	Española	Internacional			
8. LUZ DE SEÑALES MORSE	ej: Mo(L)	Mo(L)	Luz en la cual las apariciones de luz tienen dos duraciones claramente diferentes y están agrupadas para formar una o varias letras del alfabeto Morse.	Los ritmos utilizados deben estar limitados en general a una sola letra del alfabeto Morse, constituyendo dos letras solamente una excepción. La duración de un "punto" debe ser del orden de 0,5 s. y la duración de una "raya" al menos tres veces la duración de un "punto".	Una luz blanca de señales Morse con el carácter aislado de la letra "A" indica una marca de aguas navegables. Una luz amarilla de señales Morse que no tenga el carácter aislado de las letras "A" o "U" indica una marca especial.
9. LUZ FIJA VARIADA POR DESTELLOS.	ej: FD	FFI	Luz compuesta por una luz fija combinada con una luz de destellos de mayor intensidad.	Conviene no utilizar este ritmo de luz más que con prudencia porque la componente fija de la luz puede no ser siempre visible a la misma distancia que la componente rítmica.	
10. LUZ ALTERNATIVA	Alt	Al,WR	Luz que muestra colores distintos alternativamente.	Conviene no utilizar esta clase de ritmo de luz más que con prudencia y esforzarse en asegurar que los diferentes colores son igualmente visibles para un mismo observador.	

Tabla III.14. Clasificación de los ritmos de las luces (conclusión)

Tomadas de la Recomendación de la IALA/AISM de abril de 1982

Notas:

Una luz de señales Morse mostrando la letra "U" solo, está afectada a la señalización de plataformas en el mar.
Una luz simple fija no deberá utilizarse en una marca del Sistema de Balizamiento Marítimo de la AISM, porque podría no ser reconocida como una luz de señalización marítima.

Significado de las siglas en inglés:

F = fixed. (fija)
Oc = occultation. (de ocultaciones)
Iso = isophase. (isofase)
Fl = flash. (de destellos)
L Fl = long flash. (de destellos largos)
Q = quick. (rápida)
I = interrupted. (interrumpida)
VQ = very quick. (muy rápida)
Mo = Morse.
Al WR = alternate white and red. (alternativa blanca y roja)

recomendaciones:

1ª) Una luz debe, en determinada demora, presentar una sola y determinada apariencia.

2ª) Una luz que presenta apariencias diferentes (en particular, colores diferentes) según las diferentes partes de interés para la navegación se llama luz de "sectores".

3ª) La intensidad de una luz (con o sin sectores) puede ser diferente según las demoras.

4ª) Una luz que ilumina un sector muy estrecho y que está destinada a señalar una dirección a seguir, se llama luz de "dirección".

5ª) Dos o más luces pueden asociarse para formar una o varias enfilaciones; en este caso se llaman luces de "enfilación".

Es práctica habitualmente seguida para la determinación cuantitativa para las fases de luz y de oscuridad en las instalaciones con destellador, el disponer que, cuando menos, la fase de luz de cada uno de los grupos de destellos sea seguida de una fase de oscuridad igual o superior en duración a la fase de luz; a fin de que los grupos de destellos sean perfectamente apreciables, la fase de oscuridad que separa dichos grupos ha de ser igual o superior a tres veces la fase de oscuridad que separa dos destellos del mismo grupo.

En las ópticas giratorias no se presenta de hecho problema alguno en relación con la determinación de las fases de oscuridad toda vez que con los destellos relámpagos las duraciones de éstos normalmente no exceden los 0,5 segundos.

En todo caso, es decir, tanto con destellos producidos por intermitencia en el encendido y apagado de la fuente luminosa, como en el caso de utilizar ópticas giratorias, es regla generalmente aceptada no complicar la apariencia con complejos grupos de destellos; así prácticamente las apariencias frecuentes se adaptan a los tipos reseñados en la tabla III.15.

CARACTERISTICA DE LA LUZ	Apariencia durante un período total	Período total (segundos)		Núm. de destellos o grupos de destellos por minuto	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
1. Centelleante. 	Muchos destellos rápidos a un ritmo de por lo menos 60 por minuto. . . .	0,2	1	60	300
2. Destellos aislados cortos. $0,5 + 4,5 = 5 \text{ seg.}$ 	Un destello corto seguido de un eclipse largo	3	6	10	20

Tabla III.15. Apariencias frecuentes en señales luminosas (continúa)

CARACTERISTICA DE LA LUZ	Apariencia durante un período total	Período total (segundos)		Núm. de destellos o grupos de destellos por minuto	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
3. Grupos de destellos cortos $0,5 + \underline{1} + 0,5 + \underline{1} + 0,5 + \underline{11,5} = 15 \text{ seg.}$ 	Grupos de dos o más destellos cortos. Los eclipses entre los destellos son bastante más cortos que los eclipses entre grupos . .	—	20	3	—
4. Grupos de destellos cortos compuestos $0,5 + \underline{0,5} + \underline{0,5} + \underline{0,5} + \underline{0,5} + \underline{2} + \underline{0,5} + \underline{0,5} + \underline{0,5} + \underline{2} = 15 \text{ seg.}$ 	Diferentes grupos de destellos. Los eclipses entre grupos sencillos son bastante más cortos que entre los grupos compuestos . .	—	30	2	—
5. Destellos aislados largos $3 + \underline{12} = 15 \text{ seg.}$ 	Un destello largo seguido de un eclipse más largo . .	—	20	3	7,5
6. Grupos de destellos largos $2 + \underline{2} + 2 + \underline{9} = 15 \text{ seg.}$ 	Definición análoga a 3 . .	12	60	1	5
7. Destellos de revolución $0,4 + \underline{7,1} = 7,5 \text{ seg.}$ 	Destellos producidos por la revolución de un sistema de lentes	5	15	4	12
8. Grupos destellos revolución $0,4 + \underline{2,1} + 0,4 + \underline{2,1} + 0,4 + \underline{9,6} = 15 \text{ seg.}$ 	Grupos de dos o más destellos producidos por la revolución de un sistema de lentes	—	40	1,5	—
9. Intermitente $3 + \underline{3} = 6 \text{ seg.}$ 	Destellos largos separados por eclipses de igual duración	3	8	7,5	20
10. Ocultaciones aisladas. $6 + \underline{2} = 8 \text{ seg.}$ 	Un destello largo seguido de una ocultación bastante más corta	2	10	6	30

Tabla III.15. Apariencias frecuentes en señales luminosas (continúa)

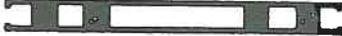
CARACTERÍSTICA DE LA LUZ	Apariencia durante un período total	Período total (segundos)		Núm. de destellos o grupos de destellos por minuto	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
11. Grupos de ocultaciones. $0 + \underline{1} + 2 + \underline{1} = 12 \text{ seg.}$ 	Destellos largos de desigual duración separados por eclipses cortos de igual duración	—	30	2	—
12. Código morse $1 + \underline{0,5} + 0,3 + \underline{0,5} + 3 + \underline{2,4} = 15 \text{ seg.}$ 	Destellos y eclipses de desigual duración para producir una letra Morse.	—	—	—	—
13. Fija y de destellos $13 + \underline{0,75} + 0,5 + \underline{0,75} = 15 \text{ seg.}$ 	Una luz constante interrumpida por un destello aislado de mayor intensidad .	—	—	—	—

Tabla III.15. Apariencias frecuentes en señales luminosas (conclusión)

Estas apariencias podrán conseguirse con destelladores salvo las 7, 8 y 13.

Las señales de características 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, en que la duración de los destellos es menor que la de los eclipses se denominan señales de destellos.

Las señales de características 9, 10 y 11, en que la duración de los destellos es igual o mayor que la de los eclipses, se denominan señales de ocultaciones.

Las señales de características 12 y 13 son casos particulares especiales.

El navegante estima mejor las apariencias sencillas ya que le permiten una más fácil identificación de la señal.

La IALA/AISM recomienda limitar los periodos según la tabla III.16.

Clase	Periodo máximo
Luz isofase	12 s.
Luz de ocultaciones aisladas Luz de destellos aislados Luz de grupos de destellos rápidos Luz centelleante rápida interrumpida Luz centelleante ultra-rápida interrumpida	15 s.

Tabla III.16. Periodos máximos recomendados por la IALA/AISM (continúa)

Clase	Periodo máximo
Luz de grupos de dos ocultaciones Luz de destellos largos Luz de grupos de dos destellos Luz de grupos de centelleos Luz centelleante interrumpida	20 s.
Luz de grupos de tres o más ocultaciones Luz de grupos de tres o más destellos Luz de grupos complejos de destellos Luz de señales Morse	20 s.

Tabla III.16. Periodos máximos recomendados por la IALA/AISM (conclusión)

Las apariencias normalizadas, su abreviación en siglas internacionales y las marcas o señales a que se refieren pueden observarse en la tabla III.14.

En cuanto a la duración de los periodos hay que hacer notar la conveniencia de que sean lo más cortos posibles, pero sin detrimento de las fases de luz, puesto que el movimiento del buque y las crestas del oleaje impiden que muchas observaciones puedan ejecutarse completas con el consiguiente riesgo de falsear la identificación de la señal.

Los destellos de muy corta duración, fugaces, sólo son aceptables si se repiten constantemente como es el caso de las luces centelleantes, adoptadas siempre en señales de mediano o pequeño alcance solamente.

III-1.6.- Destelladores

III-1.6.1.- Destelladores eléctricos

Influyen en el tipo de destellador, además de la característica, la tensión y clase de corriente eléctrica y la potencia de la lámpara (que influye a causa de la mayor o menor intensidad que se produce).

Las inercias al apagado y encendido del filamento son causa también de limitación de la duración del destello, en especial para los casos de corrientes eléctricas de baja tensión con intensidades relativamente altas. Para tensiones de 24 voltios y 32 voltios y corrientes de 20 amperios (24 voltios, 500 vatios), la duración mínima de destello será de 1 seg. En los casos más usuales de lámparas de 6 y 32 voltios las duraciones mínimas prácticas de los destellos son los de la tabla III.17.

Voltios	6				32		
	Vatios	5	8,5	12	30	125	250
Duración, segundos	0,5	0,5	0,5	1,0	0,8	1,2	1,8

Tabla III.17. Duraciones mínimas prácticas de los destellos

No es conveniente en las luces de destellos disponer lámparas eléctricas de potencia superior a 1.000 watios.

III-1.6.2.- Destelladores para quemadores de acetileno

Van alojados en la misma linterna de la óptica, por lo que deberá comprobarse si el destellador elegido es compatible con la óptica que con él se combina. (Las ópticas de horizonte de Φ 100 milímetros sólo son compatibles con destellos simples de pequeño consumo).

Los destelladores dependerán:

- 1º) Del tipo de apariencia.
- 2º) Del consumo del quemador.
- 3º) De las duraciones máximas o mínimas del destello.
- 4º) De la relación entre la duración de cada destello y la de la oscuridad subsiguiente, así como del número de relaciones diferentes que existen en cada periodo.

Al proyectarse el destellador se tendrán en cuenta estas circunstancias que limitan las duraciones de las fases de luz y de oscuridad u ocultación.

III-1.6.2.1.- De llama abierta o desnuda

Existen en el mercado diez tipos de destelladores para estas instalaciones, que corresponden a las apariencias o características y máximos y mínimos quemadores que se expresan en la tabla III.18.

Las características se agrupan en cuatro tipos A, B, C y D definidos del siguiente modo:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| A: Destellos simples. | Destellos de igual duración - separados por intervalos de - igual duración. |
| B: Grupos de destellos simples. | Destellos de igual duración - separados por intervalos de - desigual duración. |
| C: Destellos complejos. | Destellos de diferente duración separados por intervalos de igual duración. |
| D: Grupos de destellos complejos. | Destellos de desigual duración separados por intervalos de desigual duración. |

Tipo de destellador	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Caracts. posibles	A	A	A	B	C	D	A	B	C	D
Quemador (Lts/h.)	5 y 8	10 a 25	15 a 120	15 a 120	15 a 120	15 a 120	100 a 250	100 a 250	100 a 250	100 a 250

Tabla III.18. Tipos de destelladores para quemadores de gas acetileno de llama abierta o desnuda

Las duraciones máximas y mínimas de los destellos vienen dadas por la tabla III.19.

El mínimo de duración de la ocultación es igual al destello más corto, excepto para los destelladores 3 y 7, en que la ocultación mínima puede ser más corta que el destello si la duración de este último es superior a un segundo; y para los destelladores 1 y 2, en que la ocultación más corta es igual a la mitad del periodo total.

El máximo de duración de la ocultación puede ser tan largo como sea necesario en la práctica.

QUEMADOR — <i>Litros por hora</i>	D E S T E L L A D O R									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0,1 2,0	0,1 6,0	—	—	—	—	—	—	—	—
8	0,1 1,2	0,1 4,0	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	0,1 3,0	0,4 6,5	0,5 6,5	0,7 6,5	0,7 6,5	—	—	—	—
15	—	0,1 2,5	0,3 5,5	0,4 5,5	0,7 5,5	0,7 5,5	—	—	—	—
20	—	0,15 1,8	0,2 4,5	0,3 4,5	0,5 4,5	0,5 4,5	—	—	—	—
25	—	0,2 1,5	0,2 3,0	0,3 3,0	0,5 3,0	0,5 3,0	—	—	—	—
30	—	—	0,2 3,0	0,3 3,0	0,5 3,0	0,5 3,0	—	—	—	—
50	—	—	0,3 2,0	0,3 2,0	0,3 2,0	0,3 2,0	—	—	—	—
60	—	—	0,3 1,6	0,3 1,6	0,3 1,6	0,3 1,6	0,7 15,0	0,7 15,0	0,7 15,0	0,7 15,0
75	—	—	0,3 1,4	0,3 1,4	0,3 1,4	0,3 1,4	0,6 12,0	0,6 12,0	0,6 12,0	0,6 12,0
90	—	—	0,3 1,2	0,3 1,2	0,3 1,2	0,3 1,2	0,5 9,0	0,5 9,0	0,5 9,0	0,5 9,0
100	—	—	0,3 1,0	0,3 1,0	0,3 1,0	0,3 1,0	0,5 7,0	0,5 7,0	0,5 7,0	0,5 7,0
120	—	—	0,5 0,8	0,5 0,8	—	—	0,5 5,5	0,5 5,5	0,5 5,5	0,5 5,5
150	—	—	—	—	—	—	0,5 4,5	0,5 4,5	0,5 4,5	0,5 4,5
200	—	—	—	—	—	—	0,5 3,5	0,5 3,5	0,5 3,5	0,5 3,5
250	—	—	—	—	—	—	0,5 3,0	0,5 3,0	0,5 3,0	0,5 3,0
300	—	—	—	—	—	—	0,5 2,4	0,5 2,4	0,5 2,4	0,5 2,4

Tabla III.19. Duraciones máximas y mínimas de los destellos, en llama desnuda

III-1.6.2.2.- De capillos incandescentes

La relación entre el tipo de destellador, que en este caso es también mezclador, con la apariencia o característica y los quemadores de consumos máximos y mínimos, se expresa en la tabla III.20, que corresponde a los ocho tipos usuales en el mercado.

Tipo de destellador mezclador. . . .	1	2	3	4	5	6	7	8
Caracts. posibles. . . .	A	B	C	D	A	B	C	D
Quegador (Lts/h.) . . .	15 a 50	15 a 50	15 a 50	15 a 50	35 a 100	35 a 100	35 a 100	35 a 100

Tabla III.20. Tipos de destelladores para quemadores de gas acetileno de capillos incandescentes

Las duraciones máximas y mínimas de los destellos vienen dadas por la tabla III.21.

El mínimo de duración de la ocultación en general es igual al destello más corto posible, excepto para los destelladores 2, 3 y 4, con quemador de 15 litros, y 5, 6, 7 y 8, con quemador de 35 litros, en los cuales este mínimo puede ser de 0,8 segundos.

El máximo de duración de la ocultación puede ser tan largo como se necesite en la práctica.

QUEMADOR Litros por hora	DESTELLADOR							
	1	2	3	4	5	6	7	8
10	1,0 5,0	—	—	—	—	—	—	—
15	0,8 3,0	1,0 3,0	1,0 3,0	1,0 3,0	—	—	—	—
20	0,8 2,5	0,8 2,5	0,8 2,5	0,8 2,5	—	—	—	—
25	0,8 2,0	0,8 2,0	0,8 2,0	0,8 2,0	—	—	—	—
35	0,8 1,4	0,8 1,4	0,8 1,4	0,8 1,4	1,0 7,0	1,0 7,0	1,0 16,0	1,0 16,0
50	0,8 1,0	0,8 1,0	0,8 1,0	0,8 1,0	0,8 5,0	0,8 5,0	0,8 5,0	0,8 5,0
75	—	—	—	—	0,8 3,0	0,8 3,0	0,8 3,0	0,8 3,0
100	—	—	—	—	0,8 2,5	0,8 2,5	0,8 2,5	0,8 2,5

Tabla III.21. Duraciones máximas y mínimas de los destellos, en capillos incandescentes

III-1.7.- Forma de los destellos

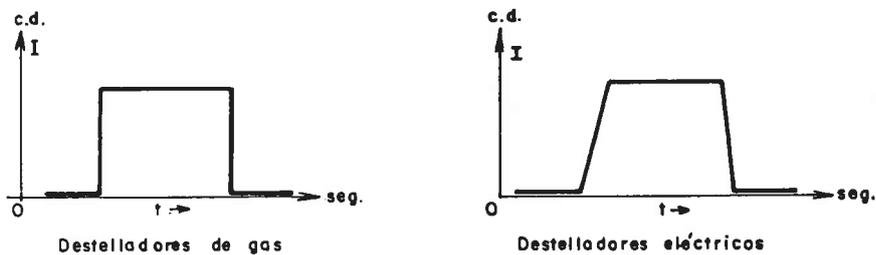
La forma de un destello, esto es, la función intensidad luminosa respecto al tiempo en un destello, depende de las características de la fuente luminosa y también de la óptica. En la figura III.11 se dan algunos tipos de destellos.

La justificación de la forma acampanada en los destellos producidos por ópticas giratorias es como sigue.

Si se considera un rayo S que saliendo del foco F incide en I en una lente de Fresnel (figura III.12.a.) y emerge en I' de dicha lente de modo que S', rayo emergente, se dirija al horizon-

te, el fenómeno habrá ocurrido como si se hubiera producido a través de un prisma (figura III.12.b.) cuyo ángulo en el vértice A es igual al que forma la tangente en I' (figura III.12.a) con la cara plana de la lente.

OPTICAS DE HORIZONTE



OPTICAS GIRATORIAS

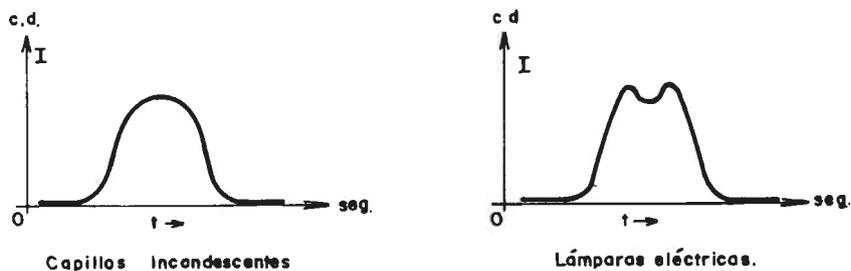


Figura III.11. Distribución de la intensidad luminosa según la clase de destello

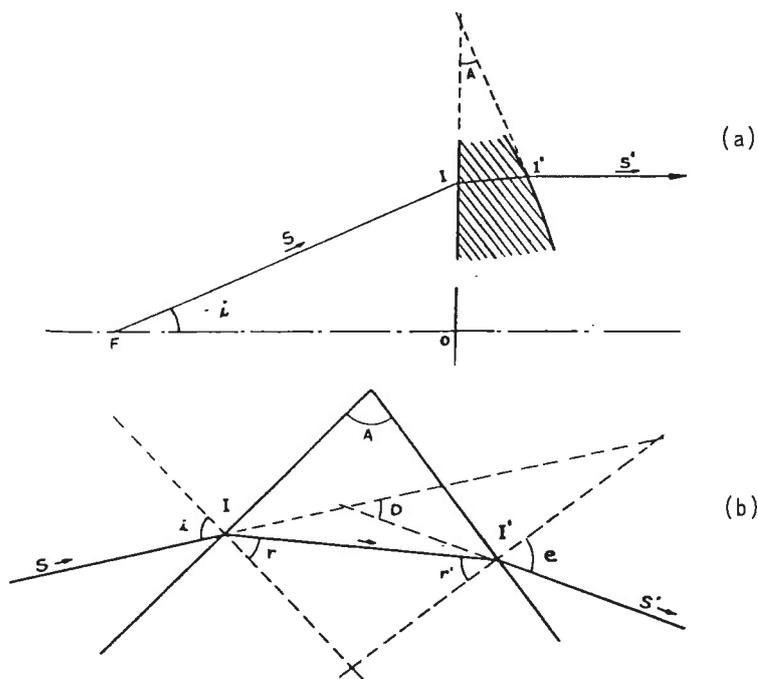


Figura III.12. Refracción de un rayo luminoso en una lente de Fresnel (a) y en un prisma genérico (b)

Si varía el ángulo i del rayo S se variará también e , pudiéndose considerar constante durante la variación diferencial el ángulo A .

Se conoce por "coeficiente de divergencia" la relación de elementos diferenciales de los ángulos emergente e e incidente:

$$\frac{d e}{d i}$$

De las leyes de la óptica se extraen las relaciones siguientes (figura III.12.b.).

$$D = e + i - (r + r')$$

$$A = r + r'$$

$$\text{sen } i = n \text{ sen } r \quad \text{sen } i' = n \text{ sen } r'$$

diferenciando en las tres últimas:

$$dr + dr' = 0$$

$$\cos i \, di = n \cos r \, dr$$

$$\cos i' \, di' = n \cos r' \, dr'$$

Se obtiene:

$$\frac{d e}{d i} = - \frac{\cos i \cos r'}{\cos i' \cos r} = - \frac{\cos i \cos (A - r)}{\cos (D + A - i) \cos r}$$

Puesto que en la figura III.12.a. A es vertical y S es un rayo focal, sucede $D = i$ y:

$$\frac{d e}{d i} = - \frac{\cos i \cos (A - r)}{\cos A \cos r}$$

El signo (-) es debido a la inversión de imágenes.

En la lente plano convexa con $n = 1,53$ (vidrio Saint Gobain), resultan los valores tomados de C. Ribiere que se ofrecen en la tabla III.22.

Obsérvese que para grandes semiaberturas del orden de 30° , la diferencia entre el valor de $-\frac{de}{di}$ y su aproximación, $\frac{1}{\cos i}$, es inferior al 5%.

Así pues, en lentes de FRESNEL y en el sentido radial desde el centro óptico, se cumple:

$$\frac{d e}{d i} \approx - \frac{1}{\cos i}$$

mientras que en sentido perimetral e se mantiene constante.

α ángulo de abertura	A ángulo vértice	$-\frac{d e}{d i}$	$\frac{1}{\cos i}$
0°	0°	1.00000	1.0000
1°	1° 53' 11"	1.00022	1.0002
5°	9° 22' 42"	1.00559	1.0038
10°	18° 27' 33"	1.02247	1.0154
15°	26° 59' 48"	1.05738	1.0353
20°	34° 50' 41"	1.08973	1.0642
25°	41° 56' 10"	1.14032	1.1084
30°	48° 16' 3"	1.20172	1.1547

Tabla III. 22. Comparación de los valores del coeficiente de divergencia y de $1/\cos i$. A depende de la lente

Por otro lado (atendiendo a la figura III.13) en un punto a distancia g del foco la fuente de luz se observa bajo un ángulo " 2δ " siendo:

$$\operatorname{tg} 2\delta = \frac{d}{g}$$

d = diámetro de la fuente de luz.

En consecuencia los haces emergentes elementales más periféricos, producidos por un elemento diferencial d A de superficie de la óptica, tiene menor divergencia en sentido perpendicular al radio que los próximos al centro óptico (ver parte superior derecha de la figura III.13); en cada elemento d A la divergencia en el sentido radial desde el centro óptico O vale pues:

$$\operatorname{tg} 2\delta = \frac{d}{g} \frac{1}{\cos i} = \frac{d}{f} = \text{constante}$$

mientras que en sentido del arco (perpendicular al radio) no juega la curvatura de la lente y el valor es:

$$\operatorname{tg} 2\delta = \frac{d}{g}$$

función del ángulo " i " y tanto menor cuanto mayor sea " g ", es decir la distancia al centro óptico O. (Figura III.13.b.).

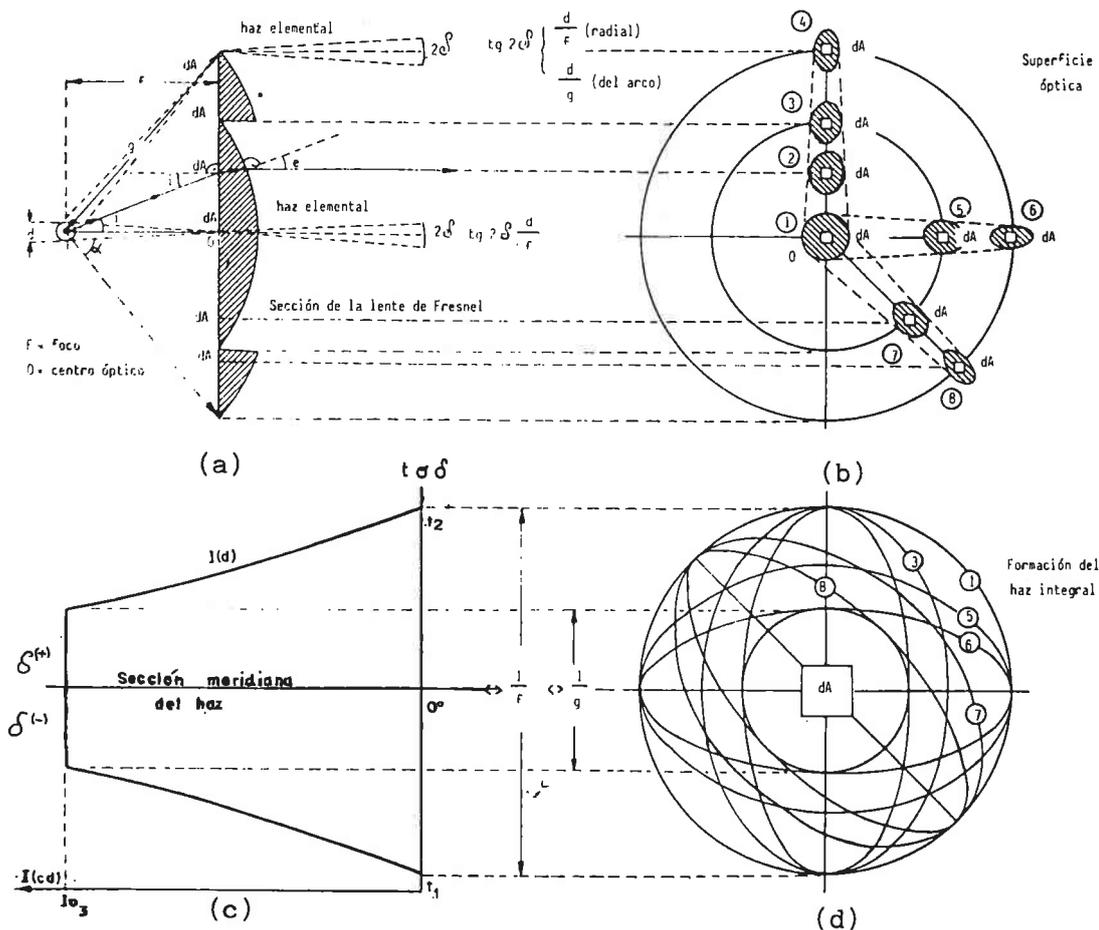


Figura III.13. Formación del destello debido a la variación de la divergencia de los haces elementales emergentes según su distancia al centro óptico

Si se consideran diversos puntos 1,2,38 con sus elementos diferenciales de superficies dA , cada uno producirá pues un haz diferencial que, cortado por un plano vertical perpendicular al eje óptico, dará lugar a secciones sensiblemente elípticas cuyos ejes mayor y menor serán proporcionales respectivamente a $1:f$ y a $1:g$. (Figura III.13.c.y 13.d.).

Al integrarse a cierta distancia de la óptica todos estos conos de los haces de los elementos diferenciales de superficie producirán la intensidad luminosa del aparato óptico conforme se observa en la parte inferior derecha de la figura III.13 con un círculo central -de intensidad máxima I_0 - común a todas las elipses y un círculo envolvente -de intensidad nula- que corresponde al borde del haz elemental del centro óptico que es circular; entre ambos círculos -que caracterizan los citados valores $1:g$ y $1:f$ respectivamente- la intensidad decrece en función del ángulo de divergencia, o, lo que es lo mismo, en función del tiempo que pasa el destello si la óptica es giratoria.

Por ello el haz total integrado tiene una distribución de intensidad de tipo campaniforme. (Figura III.13.c.).

III.2.- INTENSIDAD EFICAZ

La intensidad eficaz de una señal luminosa es un concepto que adquiere sentido cuando se está tratando con una luz rítmica.

Se puede definir como la intensidad luminosa de una luz fija ficticia que, en relación con la luz rítmica, aparentemente tiene su misma intensidad, es decir produce la misma respuesta en los órganos sensitivos de la visión humana.

La reducción aparente de la intensidad de una luz rítmica es subjetiva y debida a la naturaleza de la respuesta del ojo del observador.

El símbolo que se usará para designarla es I_e , la unidad será la candela. I_e es función de la variación de la intensidad luminosa con el tiempo, de las condiciones de observación, del nivel de iluminancia en el ojo, de la luminancia del fondo, del valor de la divergencia horizontal resultante del foco luminoso, etc.

La intensidad eficaz de una señal luminosa es el valor que habrá de utilizarse para calcular el alcance de la luz en cualesquiera que sean las condiciones atmosféricas dadas.

Tal como establece la Recomendación de la IALA/AISM de diciembre de 1977 (esta Recomendación se sigue en todo el epígrafe III.2) la intensidad de una señal luminosa debe determinarse por uno de los tres procedimientos siguientes, y por orden de preferencia:

- 1º) Medición directa de las características fotométricas.
- 2º) Técnicas de semejanza.
- 3º) Métodos de cálculo directo (en el caso de luces de destellos la intensidad eficaz se determinará con estos métodos a partir de los datos fotométricos).

III.2.1.- Conceptos relacionados con su determinación

Conceptos que se relacionan con la intensidad eficaz son:

III.2.1.1.- Intensidad estacionaria o de pico.

La intensidad estacionaria es la intensidad luminosa del conjunto fuente luminosa y sistema óptico en su haz emergente, pero considerando que la óptica está en reposo (cuando sea de tipo giratorio) o que la luz de la fuente se mantiene fija (cuando la óptica sea de horizonte). Coincide con la intensidad luminosa máxima en una luz rítmica, por ello recibe también el nombre de intensidad "de pico". Interviene en el cálculo de la intensidad eficaz, y se designará por I_o .

III.2.1.2.- Divergencia horizontal

Es el ángulo definido por los rayos emergentes que limitan el haz luminoso: esta divergencia es función del ángulo de llenado (figura III.13.a.) que se define como el ángulo desde el que se ve la fuente luminosa en el punto de la óptica considerado; este ángulo será tanto menor cuanto mayor sea la distancia de observa-

ción y, por consiguiente, máximo en el centro óptico y mínimo en el anillo catadióptrico más alejado. El concepto de divergencia horizontal se utiliza para el cálculo de la duración del destello en las inmediaciones del faro (duración máxima). Si:

b = diámetro de la fuente de luz.

f = distancia focal.

$2\delta_h$ = divergencia horizontal en radianes.

resulta:

$$2 \delta_h = \frac{b}{f}$$

y si n es el número de vueltas por minuto en las ópticas giratorias, la duración del destello τ máxima será:

$$\tau = \frac{2 \delta_h \cdot 60}{2 \pi} \cdot \frac{1}{n} = \frac{60 \delta_h}{\pi \cdot n} \text{ segundos}$$

III.2.1.3.- Divergencia vertical

El ángulo de divergencia horizontal se cuenta en el plano focal; si consideramos un plano vertical que pasa por el eje óptico, se entenderá como divergencia vertical la que corresponde al formado por los rayos extremos del haz emergente (figura III.14.b.).

Cabe repetir aquí lo que ya se ha expresado para la divergencia horizontal en relación con el ángulo de llenado; únicamente es preciso añadir que así como la divergencia horizontal no tiene significación con las ópticas de horizonte, si tiene siempre su significado la divergencia vertical. Se utiliza este concepto en el cálculo del deslumbramiento y centrado de focos. Si:

b = altura de la fuente de luz.

f = distancia focal

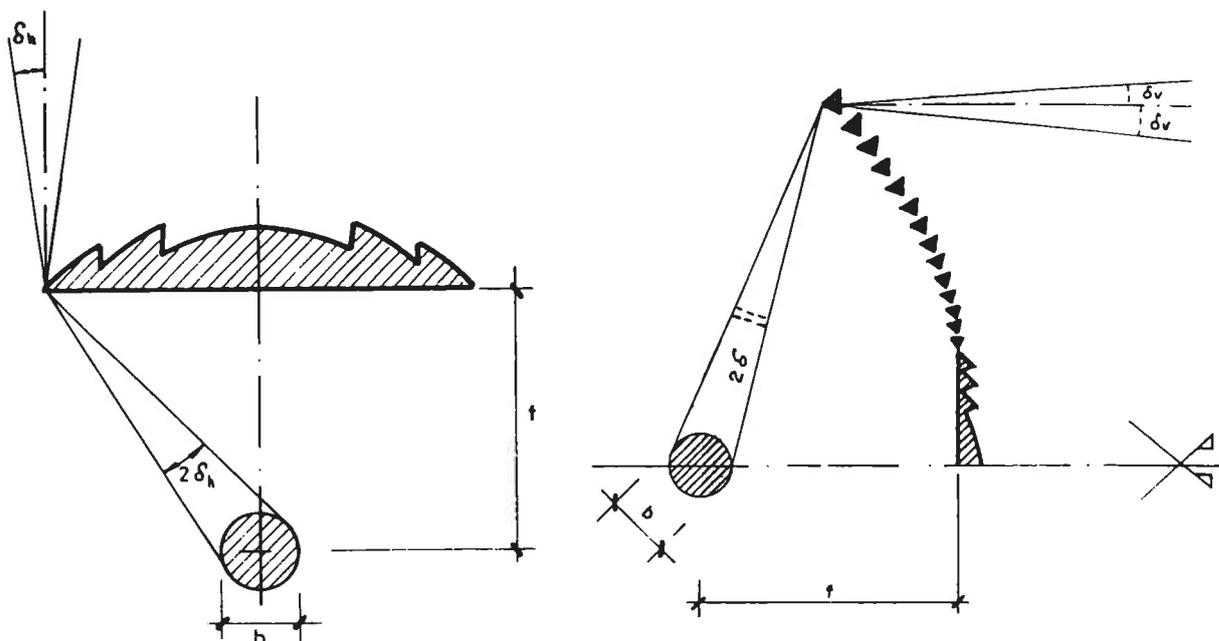
$2 \delta_v$ = divergencia vertical en radianes, será

$$2 \delta_v = \frac{b}{f}$$

III.2.2.- Determinación por métodos de cálculo directo

Para determinar la intensidad eficaz de un destello hay que conocer la ley de variación de su intensidad luminosa instantánea en función del tiempo.

Más adelante se ofrecen tres métodos de cálculo de la intensidad eficaz, la diferencia en el alcance luminoso entre los tres no es importante en la mayoría de aplicaciones prácticas. En cambio, cuando hay que calcular la intensidad luminosa necesaria para conseguir el alcance fijado por una cierta prescripción las diferencias entre los valores obtenidos por la aplicación de uno u otro método pueden tener cierta importancia. Se recomienda (Recomen-



a) Planta de una óptica unidireccional

b) Perfil de una óptica de horizonte

Figura III.14. Divergencias horizontal y vertical y ángulo de llenado, con una fuente de luz esférica

Notación: $2\delta_h$ = divergencia horizontal; $2\delta_v$ = divergencia vertical; 2δ = ángulo de llenado; b = diámetro de la fuente de la luz y f = distancia focal

dación de diciembre de 1977 de la IALA/AISM), que cada Servicio emplee solamente uno sistemáticamente, y que el método aplicado esté perfectamente definido.

En España se ha estado utilizando el tercero de los métodos (Método III. BLONDEL-REY-DOUGLAS) y así se realiza la determinación en la práctica habitual.

En las tablas III.23 (a y b) pueden apreciarse las diferencias entre los resultados obtenidos aplicando estos tres métodos a ciertas formas típicas de destello, que son las que más se aproximan a las que se encuentran en la práctica. Los rectángulos y los trapecios representan aproximadamente los destellos producidos por ocultación de la luz; las curvas en seno cuadrado y en campana de Gauss se aplican a los destellos de haces giratorios. Las curvas de la tabla III.23.b. corresponden a los destellos producidos por conmutación de luces eléctricas o por quemadores de capillo, cuya duración viene medida por la constante de tiempo térmica del filamento, esto es, el tiempo que consume el filamento en alcanzar una temperatura igual al 63,2% de su valor en condiciones estacionarias.

Los métodos de cálculo mencionados emplean constantes de tiempo del sistema visual denominadas C en el Método I, A en el Método II y a en el Método III. (Debe observarse que en el Método I la constante de tiempo es en realidad C/F , donde F es un

Duración del destello en segundos	Rectangular	Trapezoidal		En seno cuadrado	En curva de Gauss
	Método	Método		Método	Método
	I II III				
.001	.004973 .004988 .004975	.003736 .003741 .003731	.004562 .004572 .004561	.002494 .002494 .002488	.002912 .002908 .002895
.002	.009901 .009950 .009901	.007444 .007463 .007426	.009083 .009121 .009076	.004973 .004976 .004952	.005806 .005793 .005747
.005	.02439 .02469 .02439	.01840 .01852 .01829	.02240 .02263 .02236	.01235 .01235 .01221	.01439 .01433 .01407
.01	.04762 .04877 .04762	.03614 .03639 .03573	.04383 .04471 .04366	.02439 .02442 .02388	.02837 .02820 .02729
.02	.09091 .09316 .09091	.06977 .07143 .06829	.08397 .08726 .08339	.04762 .04779 .04593	.05518 .05476 .05163
.05	.2000 .2212 .2000	.1579 .1666 .1511	.1864 .2031 .1839	.1111 .1124 .1028	.1274 .1268 .1131
.1	.3333 .3933 .3333	.2727 .2995 .2554	.3143 .3628 .3082	.2000 .2053 .1774	.2260 .2275 .1910
.2	.5000 .6321 .5000	.4286 .4964 .3944	.4783 .5901 .4674	.3333 .3509 .2829	.3687 .3804 .2981
.5	.7143 .9179 .7143	.6322 .8000 .6000	.6962 .8889 .6825	.5556 .6103 .4553	.5935 .6400 .4692
1	.8333 .9933 .8333	.7895 .9545 .7387	.8209 .9774 .8094	.7143 .7992 .5880	.7449 .8187 .5978
2	.9091 ~ 1 .9091	.8824 .9975 .8433	.9016 .9998 .8939	.8333 .9230 .7044	.8338 .9307 .7127
5	.9615 ~ 1 .9615	.9494 ~ 1 .9283	.9382 ~ 1 .9344	.9259 .9849 .8208	.9359 .9861 .8253
10	.9804 ~ 1 .9804	.9740 ~ 1 .9622	.9786 ~ 1 .9766	.9615 .9961 .8810	.9669 .9964 .8846

a) Formas simétricas

τ Duración del cierre del circuito, en segundos	Curvas de encendido y apagado					
	Constante de tiempo térmica del filamento τ ₀					
	τ ₁ = 2 τ ₀			τ ₁ = 5 τ ₀		
	Método			Método		
	I II III	I II III	I II III			
.001	.005749	.005694	.005667	.005009	.004995	.004978
.002	.01143	.01125	.009949	.009967	.009926	.009860
.005	.02810	.02730	.02672	.02455	.02440	.02400
.01	.05466	.05240	.05033	.04793	.04862	.04616
.02	.1037	.09799	.09120	.09147	.09133	.08619
.05	.2243	.2106	.1835	.2011	.2058	.1824
.1	.3664	.3500	.2847	.3348	.3574	.2951
.2	.5363	.5344	.4056	.5017	.5684	.4349
.5	.7430	.7874	.5694	.7157	.8540	.6243
1	.8526	.9116	.6781	.8343	.9655	.7434
2	.9204	.9643	.7658	.9096	.9933	.8317
5	.9666	.9871	.8499	.9618	.9983	.9065
10	.9830	.9935	.8938	.9805	.9992	.9402

b) Formas asimétricas

Tabla III.23. Relaciones I_e/I₀ para diversas formas de destellos, según el Método I de Schmidt-Clausen, el Método II de Allard y el Método III de Blondel-Rey-Douglas

factor de forma menor que la unidad para todos los destellos no rectangulares; la constante de tiempo es igual a C solamente cuando los destellos son rectangulares). Estas constantes están estrechamente relacionadas con la constante de tiempo "a" de la conocida fórmula de Blondel-Rey para calcular la intensidad eficaz de I_e de los destellos de forma rectangular:

$$\frac{I_e}{I_0} = \frac{\tau}{a + \tau}$$

en la que I₀ es igual a la

intensidad máxima del destello y τ su duración. En general, estas constantes de tiempo dependen del color de la luz, del nivel de luminancia, del fondo sobre el que se ve la luz y del diámetro aparente de la fuente luminosa. En observaciones nocturnas hechas en las condi-

ciones de referencia especificadas anteriormente se recomienda tomar C, A y a iguales a 0,2 segundos. No se considera necesario tener en cuenta las variaciones de la constante de tiempo al variar los colores de las luces para calcular la intensidad eficaz utilizada en las aplicaciones marítimas corrientes. Se recomienda tomar C, A y a iguales a 0,1 segundos en observaciones diurnas con niveles de luminancia de fondo superiores a 100 cd/m².

III.2.2.1.- Método I. Schmidt-Clausen

La ley de variación de la intensidad luminosa instantánea I durante el destello en función del tiempo se representa por la función I (t). Su valor máximo I₀ se denomina "intensidad de pico" del destello (que es la anteriormente definida "intensidad estacionaria" de la luz).

La intensidad integrada del destello, o sea la integral de la intensidad instantánea en función del tiempo calculada entre los límites correspondientes al principio y final del destello, es:

$$J = \int I(t) \cdot dt$$

duración del destello

Según Schmidt-Clausen, la intensidad eficaz I_e del destello viene dada por:

$$I_e = \frac{J}{C + \frac{J}{I_0}}$$

donde C es una constante de tiempo de la visión, que debe tomarse igual a 0,2 seg. en observaciones nocturnas y a 0,1 seg. en observaciones diurnas.

El método así expuesto es cómodo para calcular la intensidad eficaz de destellos cortos producidos por lámparas de destellos electrónicos*, pues el valor J en este caso puede medirse directamente. Recuérdese que también hay que medir (o en su defecto, calcular según el apartado III.2.2.4.) la intensidad de pico (o estacionaria) I₀.

Cuando los destellos son más largos, como los producidos por ópticas giratorias, puede ser más sencillo expresar la intensidad eficaz en la forma siguiente:

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

* Lámpara de destello electrónico. Es una lámpara de descarga que trabaja con un equipo electrónico dando una emisión luminosa intensa casi instantánea y susceptible de repetición.

τ = duración total del destello

F = factor de forma de Schmidt-Clausen definido por

$$F = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I(t) \cdot dt}{t_2 - t_1} \quad \text{donde:}$$

t_1 = instante en el que comienza el destello

t_2 = instante en el que finaliza el destello

y por tanto:

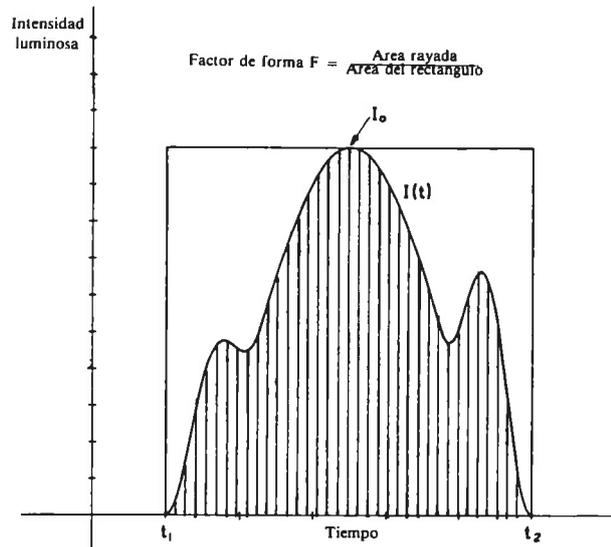
$$\tau = t_2 - t_1$$

Si se dibujan la curva de la intensidad instantánea y el rectángulo circunscrito cuya base tiene por longitud $t_2 - t_1$ y cuya altura es igual a la intensidad de pico del destello, el factor de forma es el cociente entre las áreas limitadas por la curva y por el rectángulo (figura III.15).

Figura III.15. Cálculo de la intensidad eficaz por el Método I de Schmidt-Clausen
Para $C = 0,2$ s. y una duración de destello

$$\tau = t_2 - t_1 = 0,5 \text{ s}$$

$$\frac{I_e}{I_0} = \frac{F \tau}{C + F \tau} = 0.600$$



La elección exacta de los límites t_1 y t_2 no tiene mucha importancia siempre que correspondan a instantes de intensidad nula que precedan y sigan al destello respectivamente. Cuando estos instantes no existen, como puede ocurrir con destellos giratorios cuya intensidad puede no anularse totalmente, bastará generalmente escoger unos instantes en los que la intensidad instantánea sea suficientemente débil (por ejemplo 5% de la intensidad luminosa de pico del destello). Esto equivale a calcular la intensidad eficaz del destello considerado como si estuviese superpuesta a una intensidad luminosa constante igual a la intensidad en los instantes t_1 y t_2 .

En el caso de destellos muy cortos, τ es despreciable en comparación con C/F y la primera expresión se simplifica.

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

Si se toma $C = 0,2$ esta ecuación puede utilizarse para destellos de duración inferior a $0,05$ seg. En este caso la intensidad eficaz se obtiene multiplicando por 5 el valor de la intensidad integrada si la unidad de tiempo es el segundo.

III.2.2.2.- Método II. Allard.

Este método parte también de la ley de variación de la intensidad luminosa instantánea I en función del tiempo t representada por la función $I(t)$. La intensidad eficaz instantánea correspondiente viene definida por una función $i(t)$

Según la teoría de Allard estas funciones están ligadas por la ecuación diferencial:

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

donde A es la constante de tiempo de la visión. En este caso A está asociada al tiempo necesario para que la vista responda a un estímulo luminoso y mide la denominada "inercia de la visión".

Para cálculos prácticos en condiciones normales de observación nocturna se adoptará como valor de A $0,2$ segundos.

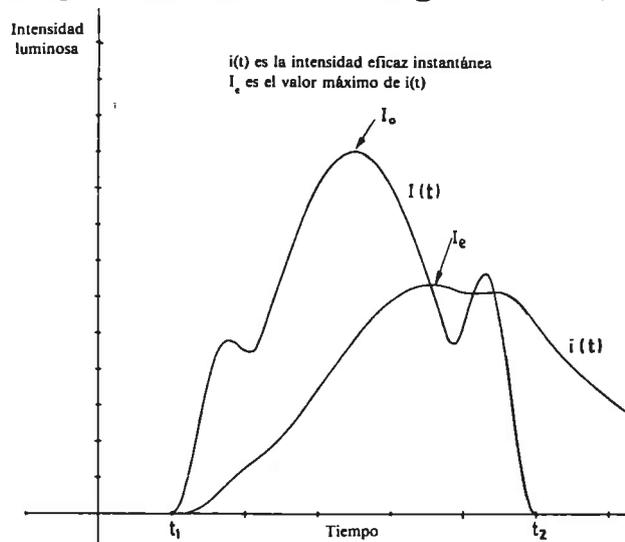
Las soluciones de la ecuación dan los valores de $i(t)$ en cada instante y durante y después del destello (figura III.16).

Figura III.16. Cálculo de la Intensidad eficaz por el Método II de Allard

En el ejemplo dado, $i(t)$ se ha calculado para $A = 0,2$ s. y una duración de destello

$$\tau = t_2 - t_1 = 0,5 \text{ s.}$$

$$\text{Se obtiene } \frac{I_e}{I_0} = 0,632$$



Suponiendo que la impresión visual es proporcional al estímulo luminoso y admitiendo que el ojo del observador permanece

en un estado constante de adaptación durante las variaciones de intensidad del destello, la ecuación relaciona la intensidad instantánea $I(t)$ durante el destello con la intensidad luminosa $i(t)$ de una luz fija que produjese la misma respuesta visual del ojo que la que estaba produciendo $I(t)$ en ese instante. La hipótesis de adaptación constante es razonable en las condiciones de observación liminar de las luces por un observador adaptado a la luz ambiental en el puente de un barco. La intensidad eficaz I_e , es el valor máximo de $i(t)$ durante la duración del destello.

La solución explícita de la anterior ecuación es:

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

donde t_1 es un instante que precede al comienzo del destello. En el caso de ópticas giratorias y otras luces de destellos cuya intensidad luminosa no sea nula, el instante inicial t_1 se considerará aquel en el cual la intensidad luminosa no es superior al 5% de la intensidad luminosa de pico del destello.

Se deduce que para destellos muy cortos la intensidad eficaz viene dada por:

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

donde J es la intensidad integrada definida en el apartado anterior (III.2.2.1.). Si la constante de tiempo A se iguala a la C del Método I se comprueba que los dos métodos dan intensidades eficaces idénticas para destellos muy breves.

El método de Allard puede aplicarse a grupos de destellos rectangulares. En la tabla III.24 se dan los resultados obtenidos en grupos de 1 a 10 destellos, con dos relaciones distintas entre la duración del destello y el periodo. Se indican también los valores límites correspondientes a grupos de infinitos destellos.

III.2.2.3.- Método III. Blondel-Rey-Douglas

Blondel y Rey propusieron, para el caso de destellos no rectangulares, generalizar su sencilla ley:

$$\frac{I_e}{I_0} = \frac{\tau}{a + \tau}$$

bajo la expresión siguiente:

$$I_e = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I(t) \cdot dt}{a + t_2 - t_1} \quad \text{en la que:}$$

τ Duración del destello en segundos	Relación entre la duración del destello y el periodo: 1/10							
	Número de destellos del grupo							
	1	2	3	4	6	8	10	∞
.001	.004988	.009732	.01425	.01854	.02651	.03372	.04024	.1023
.002	.009950	.01895	.02710	.03447	.04718	.05758	.06609	.1046
.005	.02469	.04392	.05889	.07056	.08671	.09651	.1025	.1116
.01	.04877	.07835	.09629	.1072	.1178	.1217	.1231	.1240
.02	.09516	.1302	.1431	.1478	.1502	.1505	.1505	.1505
.05	.2212	.2394	.2408	.2410	.2410	.2410	.2410	.2410
.1	.3935	.3961	.3961	.3961	.3961	.3961	.3961	.3961
.2	.6321	.6321	.6321	.6321	.6321	.6321	.6321	.6321
.5	.9179	.9179	.9179	.9179	.9179	.9179	.9179	.9179
1	.9933	.9933	.9933	.9933	.9933	.9933	.9933	.9933
2	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1
5	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1
10	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1

τ Duración del destello en segundos	Relación entre la duración del destello y el periodo: 1/2							
	Número de destellos del grupo							
	1	2	3	4	6	8	10	∞
.001	.004988	.009925	.01481	.01965	.02919	.03854	.04770	.5013
.002	.009950	.01970	.02926	.03863	.05682	.07430	.09109	.5025
.005	.02469	.04818	.07052	.09177	.1312	.1669	.1992	.5063
.01	.04877	.09290	.1328	.1690	.2312	.2822	.3240	.5125
.02	.09516	.1731	.2369	.2891	.3669	.4190	.4539	.5250
.05	.2212	.3554	.4367	.4861	.5342	.5519	.5584	.5622
.1	.3935	.5382	.5915	.6111	.6209	.6223	.6224	.6225
.2	.6321	.7177	.7297	.7308	.7311	.7311	.7311	.7311
.5	.9179	.9241	.9241	.9241	.9241	.9241	.9241	.9241
1	.9933	.9933	.9933	.9933	.9933	.9933	.9933	.9933
2	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1
5	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1
10	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1	~ 1

Tabla III.24. Relaciones I_e/I_0 calculadas para grupos de destellos rectangulares según el Método II - Método Allard

I (t) es la ley de variación de la intensidad luminosa instantánea I en función del tiempo t.

a es la constante de tiempo de Blondel-Rey.

t₁ y t₂ son los instantes inicial y final, cuya determinación es ambigua.

Douglas sugirió que los límites t₁ y t₂ se escojan de modo que la intensidad eficaz resulte máxima, y demostró que el máximo se alcanza cuando I (t₁) = I (t₂) = I_e.

En el caso de destello simple la ecuación puede escribirse así:

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

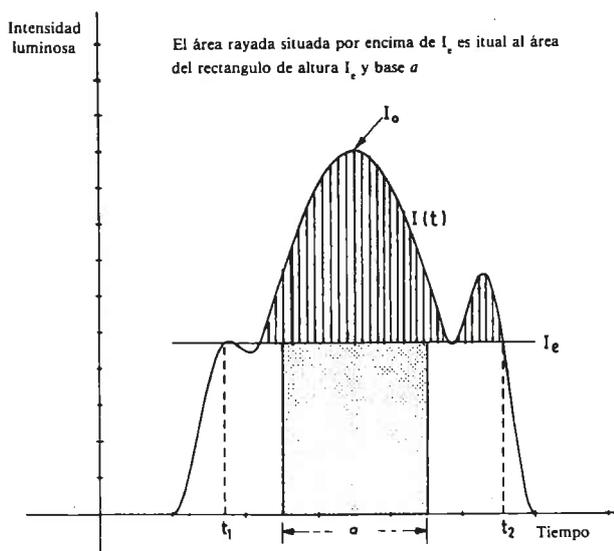
siendo t₁ y t₂ los instantes en los que la intensidad instantánea

supera y vuelve a ser inferior respectivamente a la intensidad eficaz I_e . Como t_1 y t_2 son también funciones de I_e , y en la última ecuación I_e es una función de t_1 y t_2 , hay que recurrir normalmente a métodos iterativos para determinar I_e .

Figura III.17. Cálculo de la intensidad eficaz por el Método III de Blondel-Rey-Douglas
Para $a = 0,2$ s. y una duración de destello

$$\tau = 0,5 \text{ s.}$$

$$\frac{I_e}{I_0} = 0,472 \text{ y } t_2 - t_1 = 0,385 \text{ s.}$$



La figura III.17 muestra una representación gráfica de la última ecuación aplicada a una forma particular de destello. La parte sombreada tiene un ancho a , e I_e se determina de modo que las dos zonas sombreada y rayada respectivamente tengan la misma superficie. Esto se puede hacer ensayando sucesivamente varios valores de I_e y calculando las áreas contando cuadrados o con un planímetro. Después de dos o tres ensayos se obtiene generalmente un resultado suficientemente exacto.

La generalización de este método, sugerida por Douglas para el caso de grupos de destellos, no se considera con validez general, por lo que no procede su empleo.

III-2.2.4.- Cálculo aproximado de la intensidad estacionaria

Cuando no sea posible determinar la intensidad estacionaria I_0 por medición directa o por técnicas de semejanza podrá realizarse el cálculo aproximado con las fórmulas que se ofrecen en este apartado.

Cuando las fuentes de luz sean prácticamente esféricas el error que se cometerá será como máximo del orden del 20%; ahora bien, será notablemente superior en el caso de lámparas de filamento o de descarga de arco corto.

Las fórmulas corresponden a ópticas con perfil Fresnel, si bien, pueden emplearse con razonable exactitud para otros perfiles.

El soporte teórico de las fórmulas ofrecidas está en la definición de luminancia (ver III.1.3.4.).

Siendo L la luminancia en cd/cm^2 , considerando emisión normal ($\vartheta = 0$) a la superficie óptica de área dA :

$$L = \frac{d^2 \Phi}{d \Omega dA} = \frac{dI}{dA} \quad \text{luego}$$

$$I_o = \int L \cdot dA \quad \text{cd}$$

Ahora bien, la luminancia L en cada dA del panel es distinta a la de la fuente por el hecho de que el elemento de área dA está más alejado. Debido a ello la intensidad estacionaria aparece como el producto de la luminancia B de la fuente de luz, un área A del panel y un coeficiente corrector o "coeficiente de óptica" K función del ángulo α de abertura del panel.

En las ópticas giratorias o/y "ojos de buey" (enfilaciones) la expresión es:

$$I_o = K \cdot L \cdot A \quad \text{c. d.}$$

En las ópticas de horizonte la expresión es:

$$I_o = K \cdot L \cdot b \cdot h \quad \text{c.d.}$$

siendo:

- A = superficie neta de la óptica en cm^2 .
- b = diámetro de la fuente luminosa, en cm .
- h = altura del dióptrio o catadióptrio, en cm .
- L = luminancia de la fuente luminosa, en cd/cm^2 . (stilbs)

Los valores de L vienen dados por los catálogos de las casas fabricantes; los de K por el British Standard y, aproximadamente, valen, para ópticas de aberturas normales:

- $K = 0,80$ para los catadióptrios (valor fijo) unidireccionales.
- $K =$ de $0,7$ a $0,4$ para α de 30° a 85° en catadióptrios de horizonte.
- $K =$ de $0,8$ a $0,5$ para catadióptrios (valor fijo) unidireccionales según sean cromados o plateados.
- $K =$ de $0,9$ a $0,6$ para catadióptrios de horizonte de 0° a 90° .
- $K = 0,89 \cos \alpha$ para dióptrios de horizonte de Fresnel o equiangulares.
- $K = 0,85 \cos \alpha$ para dióptrios unidireccionales de Fresnel.

El ángulo α corresponde, en relación con el eje óptico, al elemento más alejado o de máxima abertura angular.

Los valores propios de las ópticas vienen también abaqueados habiéndose generalizado el uso de los determinados por el British Standard 942 : 1949 que son los preconizados en las Normas Técnicas Españolas de 1967, y que se recogen en las figuras III.18 a III.21. y que se expresan en los párrafos III.2.2.4.1. y III.2.2.4.2.

En el caso de que un haz sea desviado sin alteración de su divergencia la intensidad final es:

$$I_f = I_o \cdot 0,88 n$$

donde:

I_f = intensidad final en c.d.

I_o = intensidad antes de las desviaciones en c.d.

n = número de cambios de dirección.

En las fórmulas de los dos párrafos que siguen:

a) El término "neto" identifica exclusivamente la parte (altura o superficie) del proyector realmente iluminada en su pupila de salida (con excepción de las bases de los prismas, que deben incluirse aunque generalmente estén debilmente iluminadas). Se excluirá cualquier parte no iluminada por causa de los montantes o cualquier otra obstrucción, tanto si se encuentra entre la fuente luminosa y la óptica o entre la óptica y el observador. También se excluirán las superficies o espacios oscuros debidos a las aberturas practicadas en los catóptrios o a las separaciones entre prismas en los proyectores catadióptricos.

b) El término "superficie vertical" define una superficie plana normal al eje óptico que pasa por el foco del proyector del haz. En general, los haces de las luces de señales marítimas están inclinados ligeramente sobre el horizonte, pero la inclinación es tan pequeña que no justifica emplear otra denominación para identificar a dicha superficie.

III-2.2.4.1.-Proyector de haz plano o de horizonte (Fan beam)

Se ha considerado el proyector con simetría de revolución respecto al eje vertical. (Fan beam)

Si sólo hay elementos catóptricos (reflectantes) la intensidad estacionaria o de pico es:

$$I_o = h_1 \cdot b \cdot L \cdot k_1 \cdot c_1$$

donde:

h_1 = altura neta de los reflectores, en cm., proyectados sobre una superficie vertical, menos la altura, medida también en proyección, de todo otro obstáculo que no sea la fuente luminosa, excepto cuando ésta esté también ocultada.

b = ancho horizontal de la fuente luminosa, en cm.

L = luminancia de la fuente luminosa, en cd/cm². (Stilbs).

k_1 = factor de corrección que depende de los ángulos en el centro ϑ_1 y ϑ_2 del espejo dibujados en la figura III.18. Cuando no hay ninguna obstrucción en el haz, como pueden ser el bulbo de una

lámpara eléctrica o de un quemador, se toma $\hat{\nu}_1 = 0$

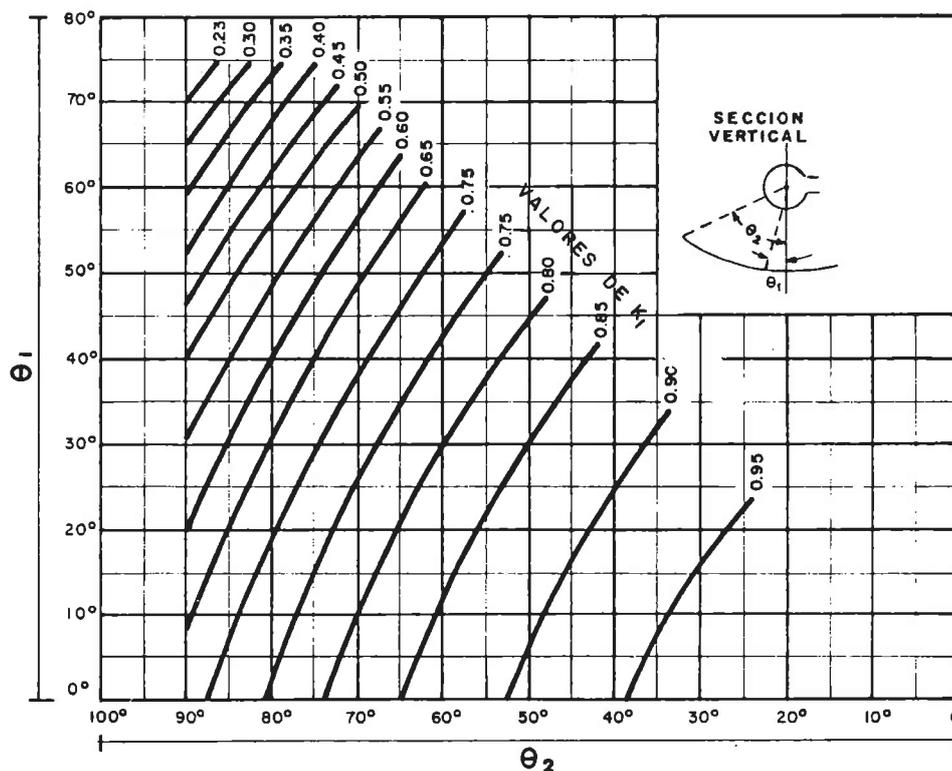


Figura III.18. Valores de k_1 . Factor de corrección en catóptrios de horizonte

c_1 = factor eficaz de reflexión, o reflectancia, que en esta fórmula se tomará igual a:

0,9 para plata vaporizada o aluminio.

0,8 para espejos de cristal plateado.

0,75 para espejos metálicos con superficie de plata lacada y espejos de aluminio anodizado pulidos electrolíticamente.

0,70 para espejos recubiertos con lámina de estaño, cromo o rodio.

0,60 para espejos recubiertos con lámina de níquel.

Si sólo hay elementos dióptricos y catadióptricos la intensidad estacionaria o de pico es:

$$I_o = h_2 b L k_2 + h_3 b L k_3 + h_4 b L k_4 \quad \text{donde:}$$

h_2 = altura neta de los refractores, en cm. medida en proyección sobre una superficie vertical.

h_3 = altura neta de los reflectores superiores, en cm. proyectados sobre una superficie vertical.

h_4 = altura neta de los reflectores inferiores, en cm. proyectados sobre una superficie vertical.

b = ancho horizontal de la fuente luminosa en centímetros.

L = luminancia de la fuente luminosa, en cd/cm².

k_2 = factor de corrección medio que depende del ángulo en el centro de los refractores definido en la figura III.19.

k_3 = factor de corrección medio dependiente de los ángulos límites en el centro ϑ_1 y ϑ_2 correspondientes a los reflectores superiores medidos de acuerdo con la figura III.20.

k_4 = factor de corrección medio que depende de los ángulos límites ϑ_3 y ϑ_4 de los reflectores inferiores calculados de acuerdo con la figura III.20.

Nota (1): los factores de corrección k_1 a k_4 tienen en cuenta las variaciones del ancho de la superficie iluminada debidas a la variación de la distancia focal a lo largo de una sección de la óptica.

Nota (2): la fórmula anterior es apropiada para ópticas de tambor cuyos anillos catadióptricos están retrasados. Cuando los anillos catadióptricos inferiores de una óptica de tambor tienen el mismo radio el valor de k_4 debe reducirse en un 20%.

Nota (3): en el caso de pequeñas ópticas de tambor (solamente dióptricas, con distancia focal igual o inferior a 250 mm.) se tomarán los siguientes valores de k_2 :

Ópticas de tambor de cristal (o plástico) moldeado	0,45
Ópticas de tambor de cristal tallado y pulimentado	0,55
Ópticas acrílicas moldeadas	0,60

III.2.2.4.2.- Proyectores de haz direccional (Pencil beam).

Con elementos catóptricos, la intensidad estacionaria es:

$$I_o = a_1 L c_1 \quad \text{donde}$$

a_1 = superficie neta del espejo, en cm²., proyectada sobre un plano normal a la dirección del haz, de la cual se restará la superficie, también proyectada, de todo obstáculo que no sea la fuente luminosa, excepto cuando ésta misma esté ocultada.

L = luminancia de la fuente luminosa en cd/cm². (Stilbs).

c_1 = factor eficaz de reflexión, o reflectancia, que en esta fórmula, será el mismo que el dado en el apartado anterior (III.2.2.4.1.).

Con elementos dióptricos y catadióptricos, la intensi-

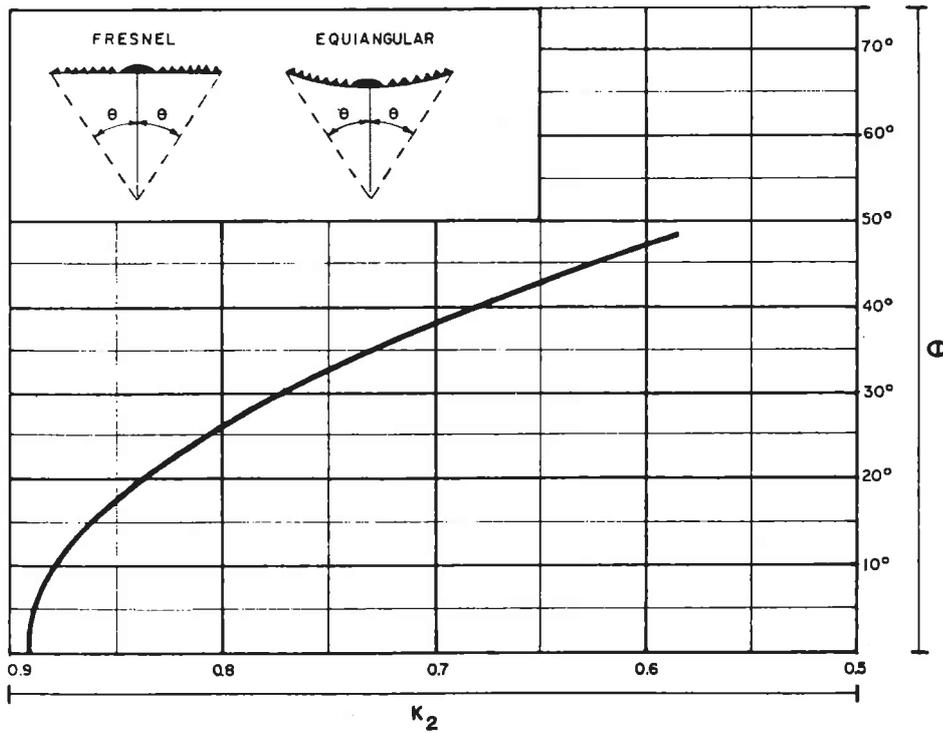


Figura III.19. Valores de k_2 . Factor de corrección en perfil de Fresnel y equiangular en dióptrios de horizonte

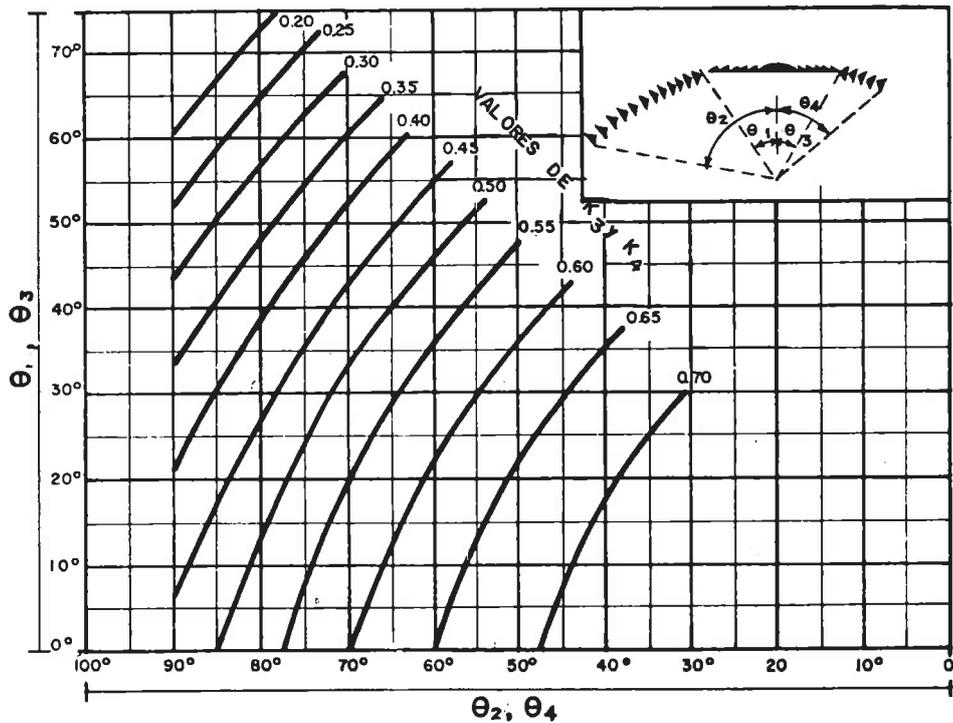


Figura III.20. Valores de k_3 . Factor de corrección en catadióptrios de horizonte

dad estacionaria es:

$$I_o = a_2 L c_2 + a_3 L c_3 \quad \text{donde:}$$

a_2 = superficie neta de los refractores, en cm^2 ., proyectada sobre un plano normal a la dirección del haz.

a_3 = superficie neta de los reflectores, en cm^2 ., proyectada sobre un plano normal a la dirección del haz.

L = luminancia de la fuente luminosa, en cd/cm^2 . (Stilbs).

c_2 = factor de corrección dependiente del ángulo en el centro de los refractores medido según la figura III.21.

Cuando el panel es asimétrico las partes derecha e izquierda de los refractores deben considerarse separadamente y las superficies de cada parte se multiplicarán por el valor apropiado de c_2 . La suma de estas dos cantidades multiplicadas por L corresponde al primer término del segundo miembro de la ecuación.

$$c_3 = \begin{cases} 0,85 & \text{para anillos catadióptricos} \\ & \text{retrasados.} \\ 0,70 & \text{para anillos catadióptricos} \\ & \text{colocados en un mismo plano} \\ & \text{vertical} \end{cases}$$

Nota: las fórmulas anteriores se aplican con precisión razonable a las fuentes luminosas esféricas uniformes o a los grandes capillos incandescentes. Para adaptarlas a ciertos tipos de lámparas de filamento habituales en luces de señales marítimas, conviene aplicar los factores de corrección suplementarios indicados a continuación. Estos factores se aplican a la parte de la intensidad luminosa que proviene de los anillos catadióptricos y tienen en cuenta la reducción de la intensidad luminosa de la fuente en la dirección de los anillos.

La fórmula se transforma en la siguiente:

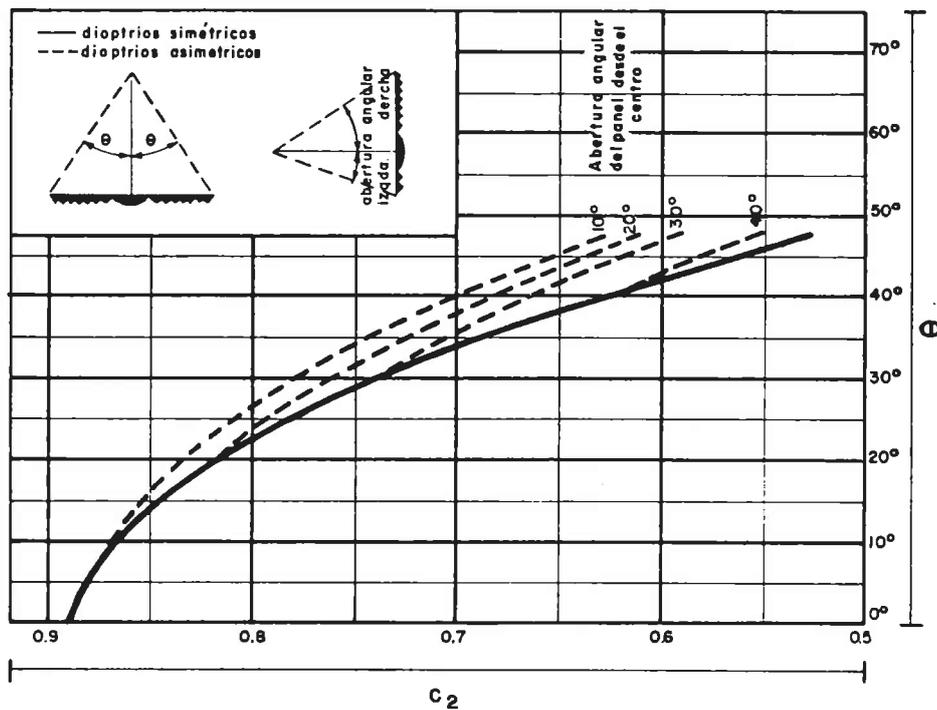
$$I_o = a_2 L c_2 + a_3 p_f L c_3 \quad \text{donde}$$

$$p_f = \begin{cases} 0,9 & \text{para filamentos en doble espiral.} \\ 0,8 & \text{para los filamentos planos.} \\ 0,7 & \text{para los filamentos cilíndricos,} \\ & \text{filamentos troncocónicos incom-} \\ & \text{pletos y filamentos cruciformes.} \end{cases}$$

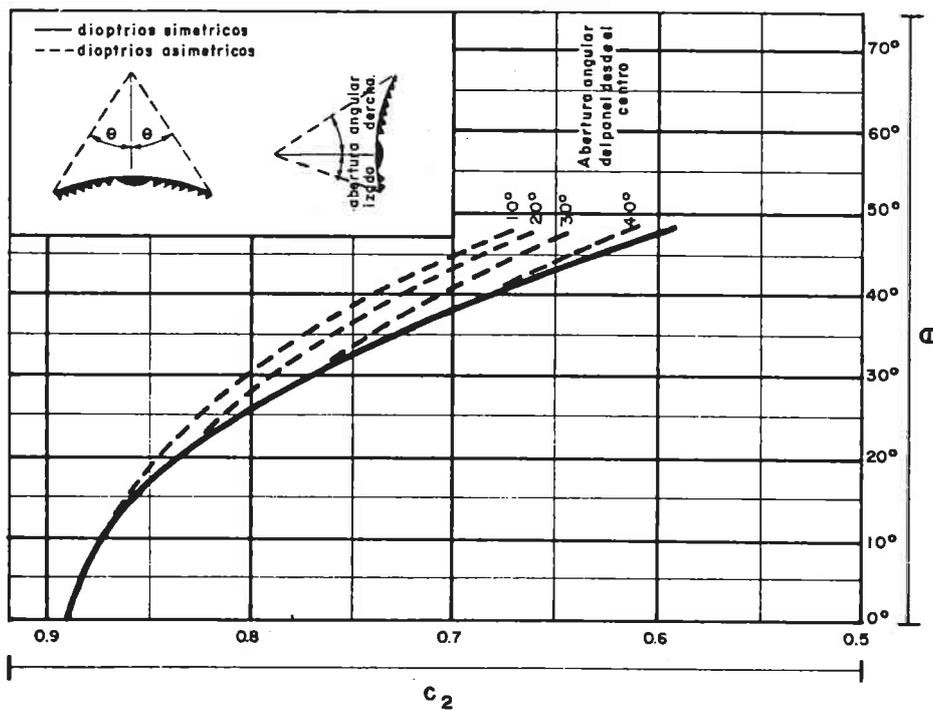
Para todo otro tipo de fuentes, incluidas las de filamentos biespirales lineales, las de filamentos de estructura más compleja y todas las lámparas de descarga, se tomará $p_f = 0,5$.

Nota: se entiende por "filamento en doble espiral" una estructura de filamento consistente en un hilo enrollado según una hélice de pequeño paso, que a su vez está enrollada en una hélice

de mayor paso, presentando el conjunto una forma compacta aproximadamente cilíndrica.



a) Perfil de Fresnel



b) Perfil equiangular

Figura III.21. Valores de c_2 . Factor de corrección en dióptrios unidireccionales

III.2.2.4.3.- Determinación experimental grosera

La intensidad estacionaria (I_0) también puede estimarse con el siguiente método experimental si se dispone de un fotómetro para fotografía de alguna precisión (modelo Sixtomat de la casa Gossen; Ikophot de la casa Zeiss Ikon; etc.) elemento que se posee con frecuencia o que resulta facil encontrar.

Con el auxilio del fotómetro hay que situarse a poca distancia de la fuente luminosa, sobradamente superior a la precisa para que la fuente de luz pueda considerarse puntiforme y se realiza la medición de la intensidad luminosa en candelas decimales, con la precaución de disponer un paño negro de fondo para evitar luz reflejada. Para ello basta conocer que el denominado en fotografía "valor de luz" (números rojos) no es, en definitiva, mas que un número dependiente del valor de la iluminación de la ventanilla del fotómetro; si se cubren las lentes alveolares de ésta con el filtro o cristal traslúcido y se hace coincidir el índice móvil de la escala de sensibilidades con el valor 15 DIN queda entonces preparada la escala de valores de luz para medir iluminaciones de modo que si v es el valor de luz y E la iluminación, existe la relación:

$$E \text{ (lux)} = 19 \cdot 2^{v - 1}$$

relación que también se ofrece en la figura III.22.

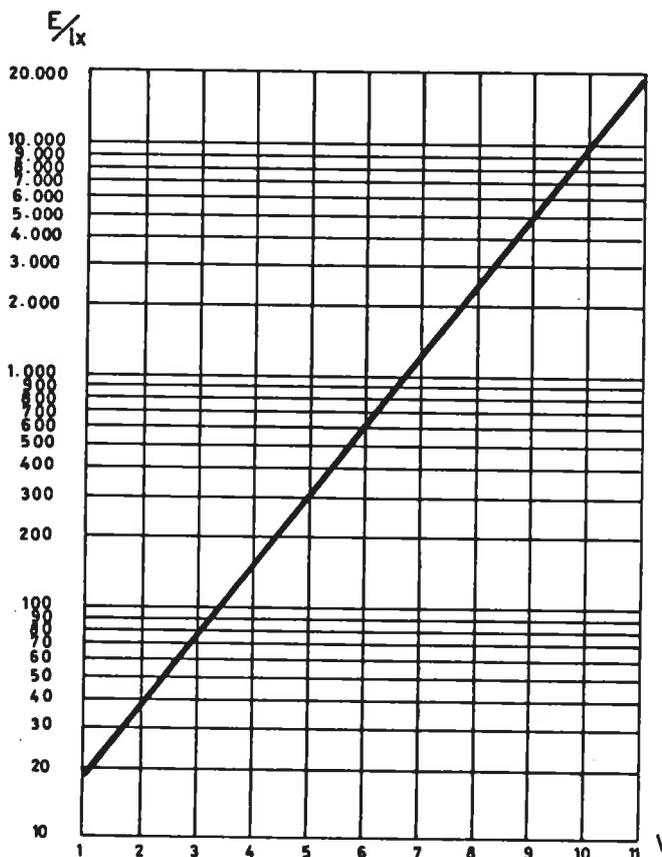
Puesto que para distancias muy pequeñas puede admitirse $A = 1$ en la fórmula de Allard (ver IV.1.2.1.) la intensidad estacionaria se obtendrá con la expresión:

$$I_0 = E D^2 \quad \text{donde}$$

E = iluminancia en lux, determinada mediante el fotómetro.

D = distancia entre la fuente de luz y la ventanilla del fotómetro en metros.

Figura III.22.
Relación entre la iluminancia (o nivel de iluminación) E y el valor de luz fotométrica v (para 15^o DIN y cortina traslúcida puesta)



III.2.3.- Determinación por técnicas de semejanza

Cuando sea imposible hacer medidas "in situ" y ensayos tipo se intentará obtener una intensidad eficaz aproximada por comparación con las medidas obtenidas en una óptica similar y fuente de luz diferente o viceversa.

III.2.3.1.- Ópticas fijas (diópticas y catadiópticas)

a) La óptica es la misma y la fuente de luz es distinta.

Se trata de encontrar la intensidad luminosa de un haz plano producido por una óptica fija con una fuente de luz de luminancia L y de ancho b . Se supone que se ha medido la intensidad luminosa de una óptica fija idéntica con una fuente de luz de luminancia L' y de ancho b' .

La intensidad de la luz auxiliar es, de acuerdo con el apartado III.2.2.4.1.:

$$I' = h_2 b' L' k_2 + h_3 b' L' k_3 + h_4 b' L' k_4$$

La intensidad buscada es :

$$I = h_2 b L k_2 + h_3 b L k_3 + h_4 b L k_4$$

De la comparación de las dos expresiones resulta:

$$\frac{I}{I'} = \frac{b L}{b' L'}$$

b) La fuente de luz es la misma y la óptica es distinta.

En este caso se supone que se ha medido la intensidad de una fuente de luz idéntica con una óptica fija de distancia focal y dimensiones diferentes, pero cuyas relaciones de superficie y ángulos en el centro de la parte dióptica y anillos catadiópticos, superiores e inferiores, son iguales o casi iguales. Los coeficientes k_2 , k_3 y k_4 se mantienen prácticamente inalterables y las alturas de las diferentes partes de la óptica desconocida pueden considerarse proporcionales a las alturas correspondientes de la óptica ensayada, siendo la relación de proporcionalidad (p).

$$\frac{I}{I'} = \frac{h_2 b L k_2 + h_3 b L k_3 + h_4 b L k_4}{h'_2 b L k_2 + h'_3 b L k_3 + h'_4 b L k_4} = p$$

que expresa que la intensidad es directamente proporcional a las dimensiones lineales de la óptica fija.

III.2.3.2.- Ópticas giratorias (diópticas y catadiópticas)

a) La fuente de luz es distinta y el panel óptico es

el mismo.

La intensidad de la luz auxiliar será, de acuerdo con el apartado III.2.2.4.2.:

$$I' = a_2 L' c_2 + a_3 L' c_3$$

y la intensidad buscada es:

$$I = a_2 L c_2 + a_3 L c_3$$

de donde resulta:

$$\frac{I}{I'} = \frac{L}{L'}$$

que indica la proporcionalidad entre la intensidad y la luminancia de la fuente.

b) La fuente es la misma y la dimensión del panel óptico es distinta, pero las relaciones de superficies y ángulos en el centro de la parte dióptrica y de los anillos catadióptricos son aproximadamente iguales. (Este caso corresponde a paneles de distancia focal diferente con todas sus dimensiones proporcionales, o a paneles de la misma sección pero que se extienden en diferentes escalas de ángulos acimutales).

Si se cumplen las condiciones anteriores c_2 y c_3 se mantienen prácticamente inalterables y las superficies de las diferentes partes del panel pueden considerarse proporcionales a las superficies correspondientes del panel de ensayo, siendo la relación de proporcionalidad(q).

$$\frac{I}{I'} = \frac{a_2 L c_2 + a_3 L c_3}{a'_2 L c_2 + a'_3 L c_3} = q$$

que expresa que la intensidad es directamente proporcional a la superficie del panel.

III.2.3.3.- Observaciones

1ª) Las intensidades luminosas a que se refieren los cálculos anteriores son intensidades luminosas no corregidas de luces fijas correspondientes exclusivamente a la combinación fuente luminosa-óptica dada y a la tensión nominal de la lámpara. No tienen en cuenta las pérdidas debidas a la parte acristalada, las posibles variaciones de la tensión de alimentación o los efectos visuales de las luces de destellos.

2ª) La aplicación de las técnicas de semejanza a sistemas ópticos de forma ligeramente diferente en los que los coeficientes

k y c no permanecen constantes, es posible dentro de ciertos límites y siempre que se eviten cuidadosamente aproximaciones demasiado groseras.

III.2.4.- Determinación por medida directa

Siempre que sea posible, las medidas fotométricas se tomarán sobre el equipo completo que deba instalarse, incluida la linterna que protege el sistema óptico, por lo que son deseables las pruebas "in situ".

En otro caso (por ejemplo, que se hagan las medidas sin linterna, o sin filtros de color) habrá que hacer las correcciones debidas a los elementos no considerados en la medición.

En principio la intensidad luminosa debería medirse en el conjunto de direcciones que constituyen la zona de utilización; ahora bien, en la práctica el número de direcciones puede reducirse tras una evaluación juiciosa de las simetrías de la radiación luminosa.

En las luces de destellos puede medirse directamente la ley de variación de la intensidad luminosa en función del tiempo en cada una de las direcciones que presenten interés (para una posterior interpolación de valores). La intensidad eficaz en las direcciones principales se determinará con uno de los métodos del apartado III.2.2.

La medida de la intensidad luminosa de las luces de señales marítimas no requiere una precisión extraordinaria, ya que el alcance luminoso varía lentamente en función de la intensidad luminosa, excepto cuando la visibilidad es muy buena.

III.2.5.- Determinación en la práctica habitual

Habitualmente la intensidad eficaz (I_e) se obtiene a partir de la intensidad estacionaria (I_o) mediante ábacos o mediante fórmulas más simples que las expuestas anteriormente.

III.2.5.1.- Aparatos giratorios dioptrio-catadióptricos

Para la determinación de la intensidad eficaz en este tipo de luminarias se suele utilizar el ábaco que se reseña en la figura III.23. donde la parte a) corresponde a la clave de aplicación de la parte b).

τ_o = duración máxima (teórica) del destello

τ = duración del destello en el límite del alcance

b = diámetro de la fuente luminosa

g = distancia del foco al anillo catadióptrico más alejado

f = distancia focal

x = f/g

T = periodo de rotación de la óptica (en s)

2δ = la divergencia del haz (teórica) en función de f y g

En la confección de dicho ábaco se han tenido en cuenta las circunstancias del apartado III.1.6. que explican la causa de que tanto la duración del destello como la intensidad eficaz partiendo de la intensidad estacionaria, dependan del desarrollo catadióptrico del sistema óptico y, también, de la abertura angular del dioptrio.

La duración del destello que da el ábaco de la figura III.23. es por consiguiente, la correspondiente al alcance inherente a la intensidad eficaz; para menores alcances la duración del destello será mayor. Esta circunstancia es de vital importancia ya que el hecho de que fisiológicamente no sea recomendable descender a duraciones del destello inferiores a 0,2 segundos, limita extraordinariamente las posibilidades de los sistemas ópticos cuando no puede acelerarse el giro de las ópticas (apariencias complejas).

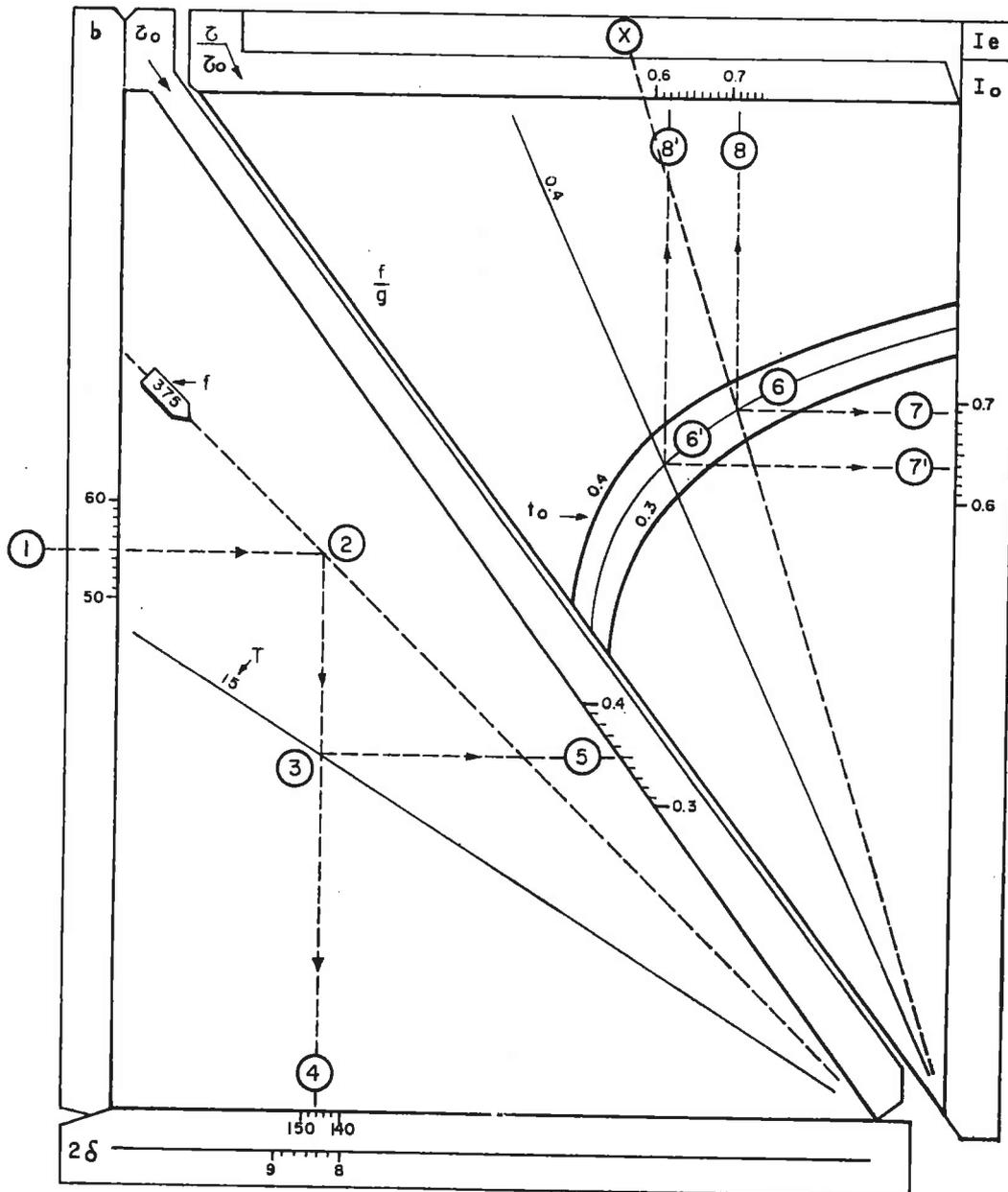


Figura III.23.a. Clave del ábaco de la figura III.23.b.

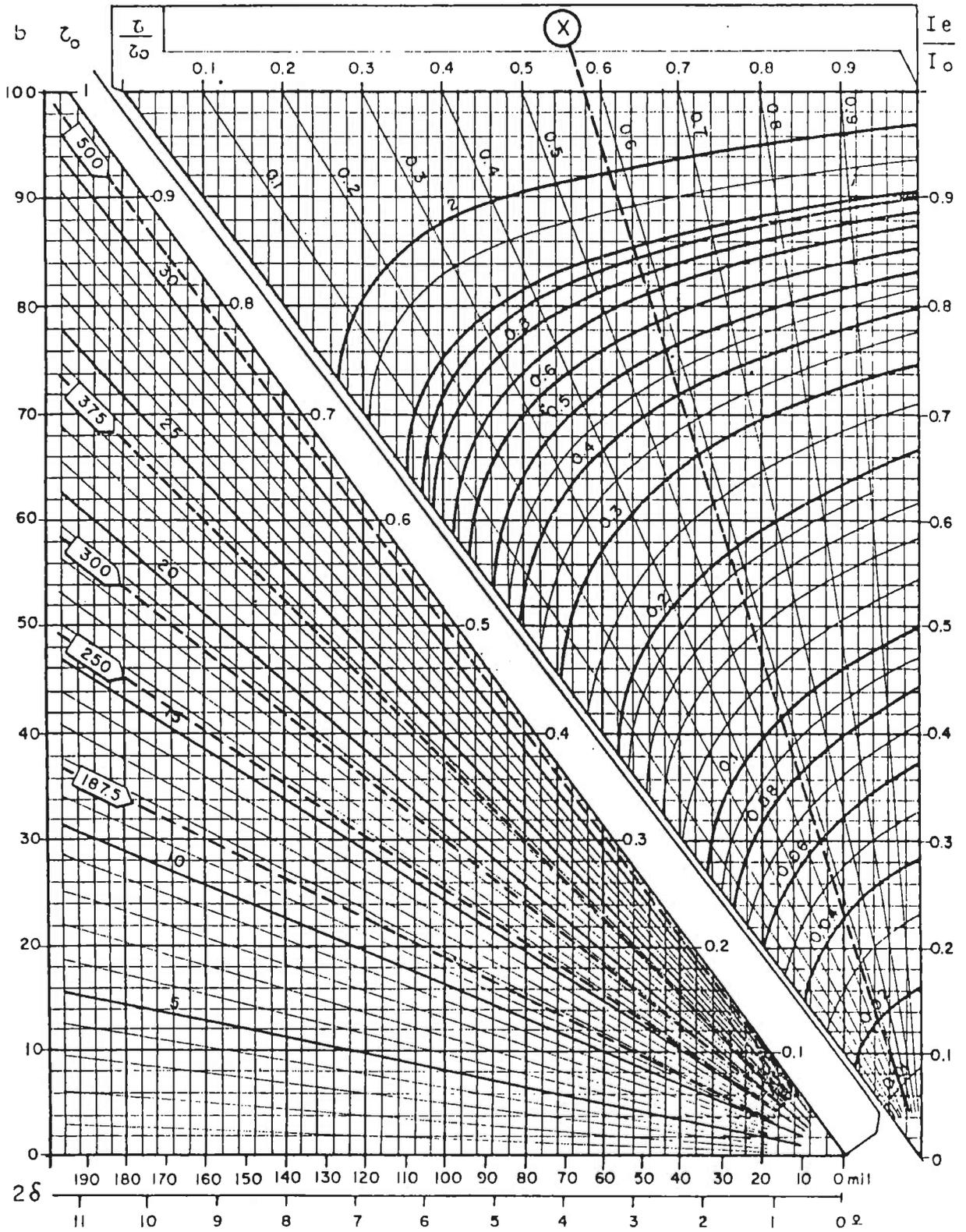


Figura III.23.b. Relación entre la intensidad eficaz (I_e) y la estacionaria (I_0) y la duración del destello (τ) correspondiente en ópticas giratorias

III-2.5.2.- Aparatos giratorios catóptricos

La determinación de la intensidad eficaz y la duración del destello se realizan partiendo de la denominada "constante característica de la repartición de la intensidad luminosa" K.

Si se dispone de la curva real que relaciona la intensidad luminosa y el ángulo del haz el valor K se puede obtener tal como se indica en "L'intensité efficace des feux à éclats en signalisation maritime", U.S.C.G. (Sixième conférence internationale des services de signalisation maritime).

Si no se dispone de la curva real el procedimiento a seguir puede ser el siguiente:

El ángulo ϕ de un haz luminoso entre los puntos cuya intensidad instantánea es el 15% de la intensidad máxima viene dado por la expresión:

$$\phi = 1,57 \frac{b}{f} \text{ radianes,} \quad \text{donde:}$$

b = ancho efectivo de la fuente luminosa en centímetros.

f = distancia focal de la óptica en centímetros.

La U.S.C.G. ha obtenido el coeficiente 1,57 a partir del análisis de las curvas reales de intensidad luminosa disponibles.

El reparto angular de la intensidad luminosa viene dado aproximadamente por:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-K\phi^2}$$

Como para los puntos en los que la intensidad instantánea es el 15% de la máxima se cumple:

$$I/I_0 = 0,15 \quad \text{y} \quad \phi = 1,57 \frac{b}{f}$$

se tiene que:

$$0,15 = e^{-K\phi^2}$$

obteniéndose:

$$\sqrt{K} = 0,875 \frac{f}{b}$$

Se calcula el valor:

$$n \cdot \sqrt{K} \quad \text{donde:}$$

n = número de revoluciones por minuto del catóptrio.

que nos permite entrar en las curvas de las figuras III.24 y III.25 (U.S.C.G., Sixième conférence internationale des services de signalisation maritime) y obtener la intensidad eficaz y la duración del destello.

Este método también es aplicable a aparatos dióptrico-catadióptricos siempre que se utilicen ópticas pequeñas.

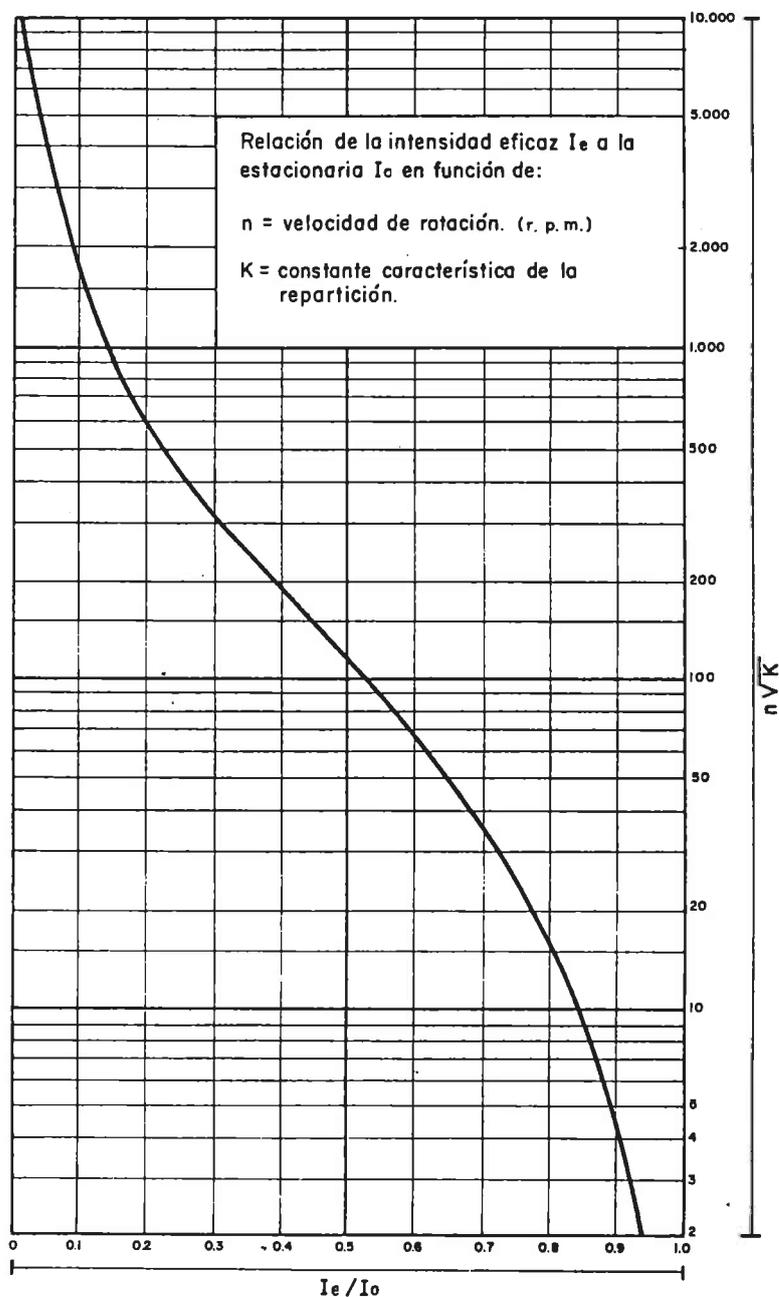


Figura III.24. Curva del U.S.C.G. Relación entre la intensidad eficaz (I_e) y la estacionaria (I_o) en catóptrios giratorios

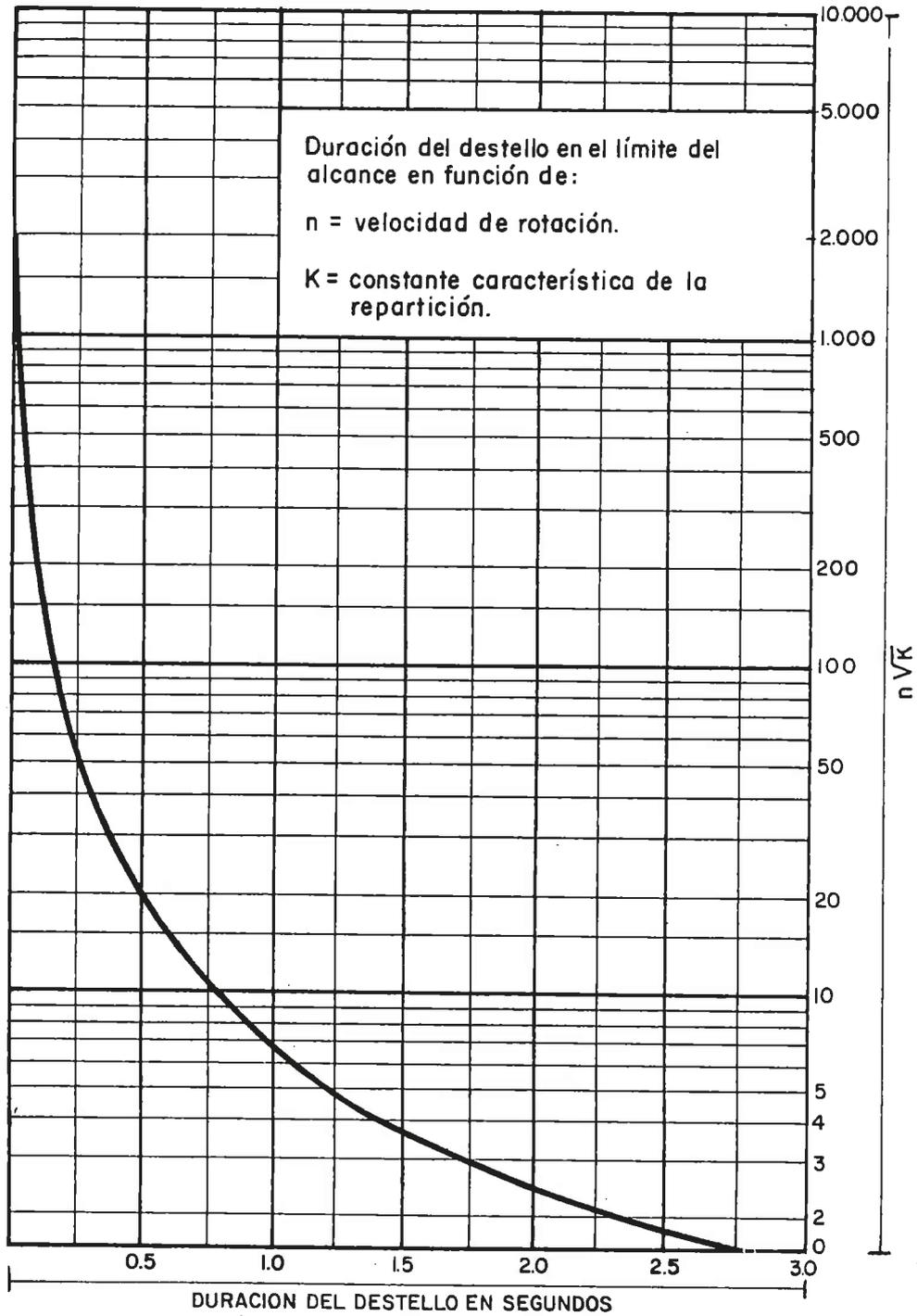
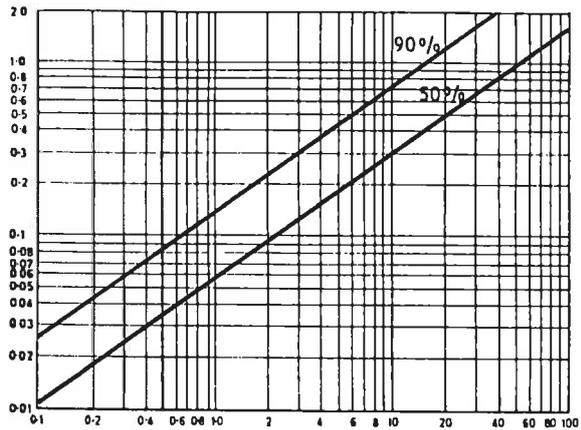


Figura III.25. Curva del U.S.C.G. Duración del destello en catóptrios giratorios

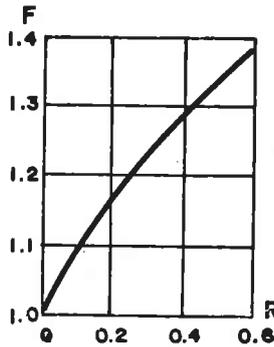
III-2.5.3.- Opticas de horizonte con lámparas eléctricas

En los faros, donde la apariencia se consigue por medio de destelladores, si se trata de lámparas eléctricas, donde existe cierta inercia en el encendido y apagado (figura III.26.) la onda luminosa tiene sensiblemente forma trapecial y entonces la Ley de Blondel Rey interviene de modo más sencillo llegándose a curvas sensiblemente hiperbólicas, función del amperaje, según se indica en la figura III.27.



Intensidad de corriente en el filamento, en A

En la figura III.26.a. se observa la diferencia entre el retardo de encendido y el retardo de apagado de lámparas de incandescencia para determinados porcentajes de la intensidad máxima, que son los habitualmente utilizados para convenir los instantes que limitan el destello.



a) Diferencia, en segundos, entre el retardo de encendido y el retardo de apagado

b) Factor de corrección por la resistencia del circuito

$$R = \frac{\text{Resistencia del circuito}}{\text{Resistencia de la lámpara en caliente}}$$

Figura III.26. Inercias de encendido y apagado

El modo de empleo es: conocida la intensidad de corriente en el filamento en ampere la diferencia entre los retardos de encendido y extinción es igual al valor de la ordenada medida sobre la curva 90% correspondiente a la abcisa que represente dicha intensidad.

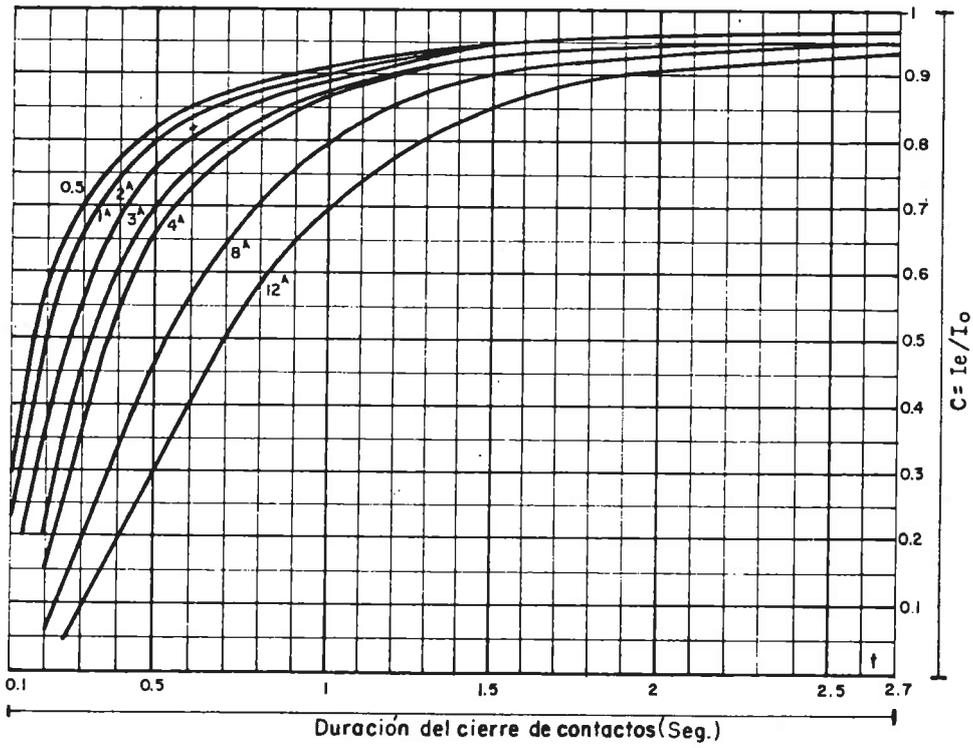
El tiempo de cierre del circuito no deberá ser inferior a este valor.

Léase en la curva que corresponde al 50% de intensidad constante la ordenada correspondiente a la abcisa anterior, y réstese el valor de dicha ordenada del tiempo de cierre del circuito. La duración calculada por este procedimiento puede servir para calcular la intensidad eficaz aproximada.

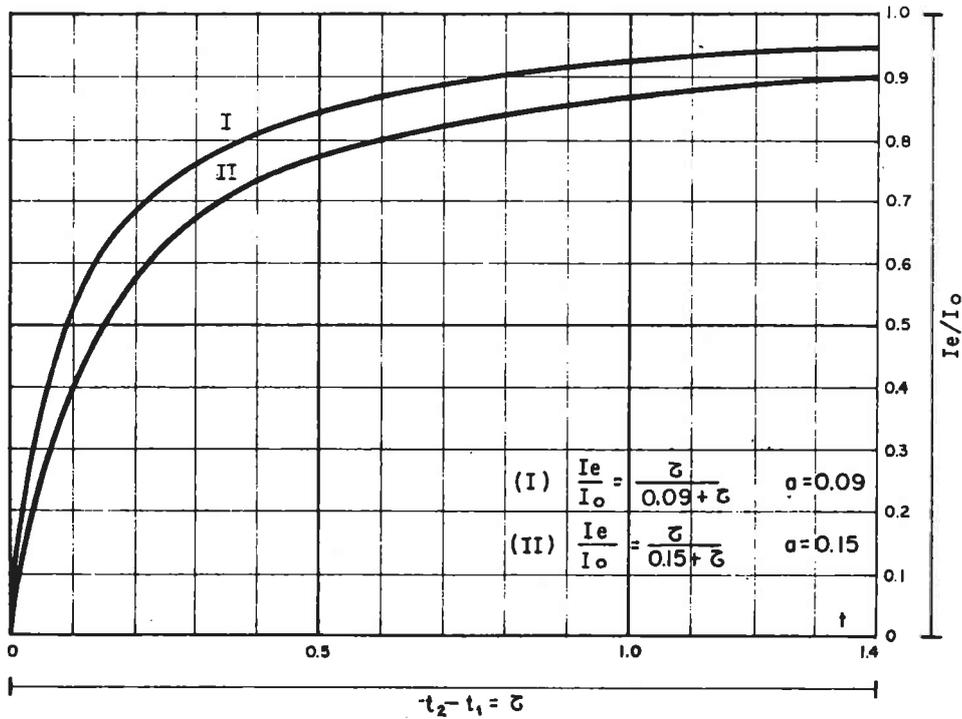
En la figura III.26.b. se da el factor de corrección cuando en el circuito existen resistencias apreciables. En ella R es el cociente entre la resistencia del circuito y la resistencia de la lámpara en caliente.

III-2.5.4.- Opticas de horizonte con quemadores de gas

En las luces con destelladores de gas acetileno, en



a) Lámparas eléctricas



b) Quemadores de gas

Figura III.27. Relación entre la intensidad estacionaria (I_o) y la eficaz (I_e) en ópticas de horizonte

que la onda luminosa es sensiblemente rectangular, la Ley de Blondel Rey adopta una fórmula netamente hiperbólica de tal modo que la intensidad eficaz se relaciona con la intensidad estacionaria del siguiente modo:

$$I_e = \frac{\tau}{\tau + A} I_o$$

donde:

I_e = intensidad eficaz.

I_o = intensidad estacionaria.

τ = duración del destello exactamente igual al tiempo transcurrido entre apertura y cierre de válvulas.

A = constante de Schmidt Toulmin o de Allard que vale de 0,09" a 0,15".

III-2.5.5.- Ópticas mixtas

Siendo el caso habitual el de las ópticas mixtas es preciso determinar para cada uno de los sistemas la intensidad resultante y sumar los resultados finales para encontrar la intensidad estacionaria. Cuando se trata de instalaciones eléctricas debe tenerse en cuenta la variación de la luminancia en relación con el ángulo de elevación de los elementos catadióptricos a fin de no incurrir en errores de consideración. En lámparas eléctricas de incandescencia puede admitirse que la intensidad máxima corresponde al plano focal y que en sentido vertical varía el $\cos i$.

III-3.- INTENSIDAD DE CALCULO

A la intensidad eficaz obtenida en los cálculos o por medición en el laboratorio habrá que aplicarle los coeficientes de corrección respecto a todos los conceptos que no se hayan tenido en cuenta, a saber:

III-3.1.- Corrección por linternas y envejecimiento de lámparas

Por pérdidas debidas a la linterna, cuando ésta está en buen estado, se tomará un coeficiente de 0,85. Por pérdidas debidas a las condiciones de servicio (suciedad, empañamiento de la linterna, envejecimiento, etc.) se podrá tomar un coeficiente de 0,75. (Si se aplica este último coeficiente deberá indicarse).

III-3.2.- Correcciones por filtros de color

Por pérdidas debidas a los filtros de color se tomarán como coeficientes el factor de filtro correspondiente.

El factor de filtro se define como la transmitancia del filtro, esto es, la relación existente entre la intensidad luminosa coloreada y la correspondiente a la luz blanca de la fuente de que procede y que, tendría lugar si no existiese el filtro. La tabla III.25 da los valores de este factor para distintas fuentes luminosas.

Los filtros de color que se usan son los verdes, los rojos y los amarillos. Ultimamente se introduce el violeta.

Fuente luminosa	Color				
	Rojo			Amarillo	Verde
	Selenio	Dorado	Cobrizo		
Llamas de petróleos 1.900° K 2.100° K	0,30 0,27	0,25 0,22	0,20 0,17	0,70 0,65	0,12 0,15
Llamas de acetileno Lámparas de vacío: 2.360° K	0,25	0,20	0,15	0,60	0,20
Capillos incandescentes 2.720° K	0,22	-	-	0,55	0,20
Lámparas de gas 2.848° K	0,20	-	-	0,50	0,20

Tabla III.25. Factores de filtro

III-3.3.- Corrección del umbral de percepción

También se tomará un coeficiente debido a la luminancia del fondo: 1,00 si éste es oscuro y 0,20 si hay alumbrado público o luces de ciudad detrás de la señal.

III-3.4.- Valor de la intensidad para el cálculo de alcances

Determinado I_e según se ha explicado, su valor se minora con los tres coeficientes que anteceden y se llega así al valor de la intensidad de cálculo I_c a utilizar en la determinación de los alcances luminosos.

III-4.- TABLAS DE INTENSIDAD Y DIVERGENCIAS VERTICALES CON DISTINTAS COMBINACIONES DE OPTICAS Y FUENTES LUMINOSAS

III-4.1.- Ópticas de horizonte

d_i mm.	QUEMADORES SIMPLES 1/h.							QUEMADORES COMPUESTOS 1/h.										
	5	8	10	15	20	25	30	50	60	75	90	100	120	150	200		250	300
140	25 7,5	50 9	70 11,5	100 15	130 19	150 24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	I d_v
200	35 5	65 6,5	90 8	130 10,5	170 13	200 16,5	240 21	350 22,5	400 23	480 23,5	550 23,5	—	—	—	—	—	—	I d_v
300	50 3,5	100 4	140 5,5	200 7	250 9	300 11	350 14	520 15	600 15,5	700 15,5	800 15,5	900 16	1.050 16	—	—	—	—	I d_v
375	—	—	190 4,5	270 5,5	350 7	430 9	500 11	730 12	860 12	1.000 12,5	1.150 12,5	1.250 12,5	1.500 13	1.800 13	2.300 13	2.800 13	3.300 13,5	I d_v
500	—	—	250 3,5	370 4	470 5,5	570 6,5	670 8,5	980 9	1.150 9	1.300 9	1.550 9,5	1.700 9,5	2.000 9,5	2.400 10	3.100 10	3.800 10	4.400 10	I d_v
800	—	—	—	—	—	—	—	1.550 5,5	1.800 5,5	2.100 6	2.450 6	2.650 6	3.150 6	3.800 6	4.900 6	6.000 6,5	7.000 6,5	I d_v
1.000 b_e 820	—	—	—	—	—	—	—	1.700 4,5	2.050 4,5	2.350 4,5	2.750 4,5	3.000 5	3.550 5	4.300 5	5.500 5	6.700 5	7.850 5	I d_v
1.000 b_e 910	—	—	—	—	—	—	—	1.850 4,5	2.150 4,5	2.500 4,5	2.900 4,5	3.200 5	2.750 5	4.550 5	5.850 5	7.100 5	8.300 5	I d_v

d_i = diámetro interior de la lente.

Tabla III.26. Intensidades de haz, estacionarias (I), en candelas y ángulos de divergencia vertical d_v para distintas combinaciones de quemadores de llama desnuda con ópticas de horizonte dióptricas pulidas (instalaciones suecas, AGA)

d_i mm.	QUEMADORES SIMPLES l/h.							QUEMADORES COMPUESTOS l/h.										I d_v	
	5	8	10	15	20	25	30	50	60	75	90	100	120	150	200	250	300		
70	10	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	I d_v
	15	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
105	15	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	I d_v
	10	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
150	20	45	60	90	110	130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	I d_v
	7	8,5	10,5	14	17,5	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
200	25	50	75	110	130	160	190	280	330	380	440	—	—	—	—	—	—	—	I d_v
	5,5	6,5	8	10,5	13,5	17	21	22,5	23	23	23,5	—	—	—	—	—	—	—	
300	40	80	110	160	200	240	280	420	490	570	660	720	850	—	—	—	—	—	I d_v
	3,5	4	5,5	7	9	11	14	15	15	15,5	15,5	15,5	16	—	—	—	—	—	
375	—	—	150	220	280	340	400	580	690	800	930	1.000	1.200	1.400	1.850	2.250	2.600	—	I d_v
	—	—	4,5	5,5	7	9	11	12	12	12,5	12,5	12,5	13	13	13	13,5	13,5	—	

d_i = diámetro interior de la lente.

Tabla III.27. Intensidades de haz o estacionarias en candelas y ángulos de divergencia vertical d_v para distintas combinaciones de quemadores de llama desnuda con ópticas de horizonte dióptricas moldeadas (instalaciones suecas, AGA)

	lit/h. Optica	QUEMADORES SIMPLES						QUEMADORES MULTIPLES						
		5	10	15	20	25	30	45	60	75	90	100	125	150
107	90 M	16	40	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	140 T	30	70	100	120	160	190	—	—	—	—	—	—	
108	150 M	24	55	80	95	125	150	—	—	—	—	—	—	
	200 M	—	65	100	130	170	200	290	—	—	—	—	—	
122	200 T	—	85	130	170	210	260	360	—	—	—	—	—	
	300 T	—	—	200	250	320	390	500	700	800	—	—	—	
164	375 T	—	—	300	400	500	610	790	1.050	1.250	1.450	—	—	
	500 T	—	—	370	470	600	740	1.050	1.280	1.450	1.750	1.900	2.150	2.000

M = Ópticas prensadas.
T = Ópticas talladas.

Tabla III.28. Intensidades luminosas en el eje, en candelas, para fanales dióptricos de horizonte (instalaciones francesas, BBT)

d_1 mm.	QUEMADOR INCANDESCENTE 1/h.								I d_v
	10	15	20	25	35	50	75	100	
140	340 13	480 14	—	—	—	—	—	—	I d_v
200	450 9	630 10	760 10,5	—	—	—	—	—	I d_v
300	670 6	930 6,5	1.130 7	1.300 7,5	1.700 8	—	—	—	I d_v
375	940 5	1.300 5	1.600 5,5	1.850 6	2.400 6,5	3.000 7	—	—	I d_v
500	—	1.750 4	2.100 4	2.500 4,5	3.200 5	4.000 5,5	5.100 6	6.100 7	I d_v
800	—	—	—	—	5.000 3	6.300 3,5	8.100 4	9.700 4,5	I d_v
1.000 $b_e = 820$	—	—	—	—	5.600 2,5	7.000 2,5	9.100 3	10.900 3,5	I d_v
1.000 $b_e = 910$	—	—	—	—	6.000 2,5	7.500 2,5	9.700 3	11.600 3,5	I d_v

a) Ópticas dióptricas

300	860 6	1.200 6,5	1.450 7	1.700 7,5	2.100 8	—	—	—	I d_v
375	—	1.600 5	1.950 5,5	2.250 6	2.900 6,5	3.600 7	—	—	I d_v
500	—	—	—	3.250 4,5	4.200 5	5.200 5,5	6.700 6	8.100 7	I d_v
800	—	—	—	—	6.400 3	8.000 3,5	10.400 4	12.500 4,5	I d_v

b) Ópticas catadióptricas

Tabla III.29. Intensidades de haz o estacionarias (I) en candelas y ángulos de divergencia vertical d_v para distintas combinaciones de quemadores de capillo incandescente con ópticas de horizonte pulidas dióptricas y catadióptricas (instalaciones suecas, AGA)

LAMPARAS		6 VOLTIOS						12 VOLTIOS					
Potencia - Vatios		5		8,5		12		30		18		24	
Diámetros de ampolla - Milímetros		25,4		25,4		25,4		34		25,4		34	
Opticas - Diámetro - Milímetros		lc	dv	lc	dv	lc	dv	lc	dv	lc	dv	lc	dv
M = moldeada	90 M	50	15°	75	15°	—	—	—	—	60	15°	—	—
	150 M	75	12°	180	12°	160	12°	300	12°	160	12°	180	12°
	200 M	90	19°	200	19°	180	19°	—	—	180	19°	200	19°
	200 M	120	3°	300	3,8°	260	5°	600	3°	250	5°	300	3,8°
T = rallada	140 T	180	3,3°	350	3,5°	330	4,3°	800	3°	300	4,3°	350	3,5°
	200 T	220	3°	500	3,3°	450	4°	1.100	2,5°	450	4°	500	3,3°
	300 T	—	—	700	2°	650	3°	1.400	2°	650	3°	700	2°
	375 T	—	—	—	—	—	—	—	—	680	2,5°	750	1,5°
	500 T	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabla III.30. Divergencia vertical (d_v) en intensidades luminosas con dióptrios de horizonte y lámparas eléctricas de baja tensión (instalaciones francesas, BBT)

LAMPARA		LENTE MOLDEADA DE Ø 150 mm.	
Varios	Voltios	c.d.	d_v
25	110	127	15
	220	105	17
40	110	255	10
	220	212	19
60	110	340	11
	220	255	20
100	110	680	16
	220	595	22
100	110	840	13
	220	590	15
LENTE MOLDEADA DE Ø 300 mm.			
100	110	1.600	6,5
	220	1.010	7
250	110	3.780	10
	220	2.690	11
500	110	6.980	14
	220	5.200	16
1.000	110	12.800	18
	220	8.820	20
LENTE MOLDEADA DE Ø 375 mm.			
100	110	2.180	5
	220	1.260	6
250	110	5.200	8
	220	3.700	9
500	110	9.500	11
	220	7.050	13
1.000	110	17.200	14
	220	11.800	16

Tabla III.32. Intensidad estacionaria y ángulo vertical de divergencia (instalaciones suecas con fuentes luminosas eléctricas en tensión normal, AGA)

Opticas Ø milímetros	LAMPARAS DE		
	125 vatios	250 vatios	500 vatios
140 T	2.870	—	—
200 M	3.200	5.850	—
200 T	3.760	6.900	—
300 T	5.600	10.300	18.000
375 T	7.900	14.500	26.000
500 T	—	19.200	35.000
750 T	—	—	50.000
1.000 T	—	—	62.000

T = rallada y pulida.
M = moldeada.

Tabla III.31. Intensidades estacionarias en el eje en candelas para lámparas M.T. de 32 voltios (instalaciones francesas con fuentes luminosas eléctricas de tensión normal, BBT)

III-4.2.- Opticas de dirección (ojos de buey)

OPTICAS	QUEMADOR l/h.					
	—	5 /		—	8 /	:
89 E I d_v d_h	270 7,5 6,5	380 7,5 6	800 7,5 5	400 9,5 8,5	550 9,5 7	1.200 9,5 5,5
89 A J d_v d_h	60 7,5 31	— — —	— — —	110 9,5 31	— — —	— — —
127 E I d_v d_h	650 5,5 4,5	900 5,5 4	1.900 5,5 3,5	700 7 6	1.400 7 5	2.900 7 4

Opticas	QUEMADOR 1/b.														
	—	10 /		—	15 /		—	20 /		—	25 /		—	30 /	
89 E I d_v d_h	600 11 8,5	850 11 7	1.800 11 4,5	700 13,5 12	1.000 13,5 9	2.200 13,5 5	800 16 15	1.100 16 11,5	2.400 16 6	900 19 17,5	1.300 19 13	2.700 19 7	950 21 20	1.300 21 15	2.900 21 8
89 A I d_v d_h	130 11 31	— — —	— — —	230 13,5 33	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
127 E I d_v d_h	1.500 7,5 6	2.100 7,5 5	4.200 7,5 3	1.700 9,5 8,5	2.500 9,5 6,5	5.200 9,5 3,5	2.000 11,5 10,5	2.700 11,5 8	5.900 11,5 4	2.200 13 12	3.000 13 9	6.500 13 5	2.300 15 14	3.300 15 10,5	7.000 15 5,5
127 A I d_v d_h	330 7,5 27	— — —	— — —	550 9,5 28	— — —	— — —	700 11,5 30	— — —	— — —	900 13 30	— — —	— — —	1.000 15 31	— — —	— — —
102 E I d_v d_h	1.300 9,5 7,5	1.800 9,5 6	3.900 9,5 3,5	1.500 12 10,5	2.200 12 8	4.600 12 4	1.700 14 13	2.400 14 10	5.200 14 5	1.900 16 15	2.700 16 11,5	5.800 16 6	2.100 18,5 17,5	2.900 18,5 13	6.200 18,5 7

a) Opticas moldeadas

115 I d_v d_h	1.900 8,5 6,5	2.600 8,5 5,5	5.600 8,5 3,5	2.200 10,5 9,5	3.200 10,5 7	6.700 10,5 4	2.500 12,5 11,5	3.500 12,5 8,5	7.500 12,5 4,5	2.800 14,5 13,5	3.900 14,5 10	8.400 14,5 5,5	3.000 16,5 15,5	4.200 16,5 12,5	9.000 16,5 6
187,5 I d_v d_h	5.500 5 4	7.700 5 3,5	16.000 5 2	6.500 6,5 6	9.100 6,5 4,5	19.500 6,5 2,5	7.400 7,5 7	10.500 7,5 5,5	22.000 7,5 3	8.200 9 8	11.500 9 6	24.000 9 3,5	8.800 10 9,5	12.500 10 7	26.000 10 4

b) Opticas pulidas

Tabla III.33. Intensidades de haz o estacionarias (I) en candelas y ángulos de divergencia vertical d_v y horizontal d_h para distintas combinaciones de quemadores de llama abierta con ópticas de ojo de buey moldeadas o talladas o pulidas (instalaciones suecas, AGA)

Las ópticas se indican por su distancia focal en milímetros seguida de la letra que indica si es ancha (A) o estrecha (E). Las intensidades dadas son válidas con reflector. (— llama paralela a la lente; / llama a 45° con la lente; | llama perpendicular a la lente)

Optica	Luz/h.	QUEMADORES SIMPLES													
		5	dh	10	dh	15	dh	20	dh	25	dh	30	dh	60	dh
122	100 M	660	5°	880	8°	1.050	10°	1.080	13°	1.080	16°	1.080	20°	—	—
	100 MD	130	25°	250	28°	330	30°	440	33°	480	35°	540	40°	—	—
	100 T	830	5°	1.100	8°	1.320	10°	1.360	13°	1.360	16°	1.360	20°	—	—
	150 T	1.900	3°	2.550	5°	3.050	6°	3.150	8°	3.150	11°	3.150	13°	—	—
	150 M	725	3°	970	5°	1.160	6°	1.200	8°	1.200	11°	1.200	13°	—	—
	150 MD	120	18°	240	20°	330	21°	410	23°	500	28°	500	28°	—	—
	187,5 T	3.100	25°	4.100	4°	4.950	5°	5.100	8,5°	5.100	8,5°	5.100	11°	6.950	13°

Tabla III.34. Intensidades luminosas en candelas decimales y ángulos de divergencia horizontal dh para fanales lenticulares de enfilación (instalaciones francesas, AGA)

Las intensidades indicadas habrán de ser multiplicadas por 1,6 si los fanales llevan reflectores

CAPITULO CUARTO

ALCANCE DE LAS SEÑALES LUMINOSAS. SEÑALES ESPECIALES

Para la redacción de los textos y para la selección de figuras, ábacos y tablas del presente Capítulo se han utilizado las publicaciones que, en la anexa reseña bibliográfica, figuran con las siglas:

A.6	A.9	A.12		
B.7	B.8	B.12		
C.4	C.7	C.17	C.22	C.36



IV.- ALCANCE DE LAS SEÑALES LUMINOSAS. SEÑALES ESPECIALES

IV-1.- ALCANCES Y CLASIFICACION DE LAS SEÑALES

La zona en que una señal es visible está determinada por condiciones de tipo geográfico, como son: la esfericidad de la Tierra (alcance geográfico) y la presencia de obstáculos en determinados sectores (islotos o cabos). Y también por condiciones de tipo luminoso, como son: la intensidad eficaz de la señal, el estado de transparencia de la atmósfera y las condiciones de observación (alcance luminoso).

Así pues, el alcance de una señal luminosa será el mínimo de los valores del alcance geográfico y del alcance luminoso, y quedará confinado por los sectores de ocultación (islotos o cabos). Sin embargo, en los faros existe una instrucción para que, en todo caso, los alcances luminosos superen a los geográficos salvo en casos de alturas excepcionales.

En cuanto a la clasificación, históricamente fue realizada en seis "órdenes" según su distancia focal. Hoy día está en desuso.

Existen tres categorías de señal luminosa: faro, baliza y luz de puerto.

Los faros son aquellas señales luminosas que poseen un "alcance nominal" (ver IV.1.2.3.) superior a 10 millas náuticas y cuya principal función es ofrecer un punto de referencia al navegante, para que éste pueda conocer su posición respecto a la costa.

Las balizas son aquellas señales luminosas con un alcance nominal menor que 10 millas náuticas y cuya función es la señalización de elementos concretos en la costa (islotos, bajos, puntos avanzados de la costa, puntos de recalada y entrada en los puertos, bahías o canales navegables) para que el navegante pueda acceder a los puntos costeros con seguridad.

Las luces de puerto son aquellas señales luminosas cuya función es la señalización de las diversas obras de abrigo y de atraque dentro del puerto para que se pueda navegar con seguridad.

El Plan de Señales Marítimas 1985-1989 establece que a una altura de observación de 16 m. sobre el nivel del mar y a una distancia de la costa de 20 mn debe divisarse, en tiempo medio, al menos un faro en la costa. Y a una altura de 4 m y a 12 mn de distancia debe divisarse, en tiempo brumoso, al menos dos faros. Con ello se puede definir el número de faros y balizas complementarias necesarios a lo largo de la costa, en la tabla IV.1 se ofrece el número de faros y balizas que es necesario establecer.

IV.1.1.- Conceptos relacionados con el alcance

IV.1.1.1.- Coeficiente de transmisión atmosférica

Llamado también de "transparencia atmosférica". Se define como el tanto por uno de energía luminosa (o sea de flujo o intensidad en consecuencia) que pasa por un punto del haz a otro más alejado situado a la distancia unidad. Debe expresarse, por tanto, la unidad para la que se toma, que, generalmente, es la milla náutica o eventualmente el kilómetro.

Tradicionalmente se determinaba dicho coeficiente para tres estados de la atmósfera:

Tiempo claro.- Se denomina así a aquel estado de la atmósfera cuya transparencia se presenta estadísticamente durante un mes durante el año, sin sobrepasarla (siglas TC).

Tiempo medio.- Es aquel estado de transparencia de la atmósfera que se presenta estadísticamente durante seis meses del año (siglas TM).

Tiempo brumoso.- Es aquel estado de la atmósfera cuya transparencia es estadísticamente igual o superior durante once meses al año (siglas TB).

Por ser las tres definiciones anteriores de carácter estadístico pueden variar los valores según el periodo; en el tiempo medio y en el tiempo brumoso se subdividen a su vez en tiempo oceánico y tiempo mediterráneo, con las siguientes siglas TMO, TMM, TBO y TBM, los valores son los que se expresan por milla náutica en la tabla IV.2.

Señal luminosa	Existentes	Número de señales de nuevo establecimiento
Faros	163	56
Balizas	76	40

Tabla IV.1. Señales luminosas en la costa española

Tipo de tiempo	Valor	Claro	Medio	Brumoso
Océano	Estandar	0.940	0.827	0.583
	Medio resultante	0.784	0.678	0.331
Mediterráneo	Estandar	0.940	0.866	0.784
	Medio resultante	0.844	0.737	0.488

Tabla IV.2. Comparación entre coeficientes medios por milla náutica (T) estandar y los resultantes de las observaciones del Servicio Meteorológico Nacional en el periodo 1965-1974 en 18 estaciones sobre el litoral español

Cuando se elige como unidad la milla náutica (mn) se designa por "T" y cuando la unidad sea el km se designa por "A". Por ello existe una relación entre T y A

$$T = A^{1,852}$$

En la figura IV.1 se ofrecen valores de T para diversos puntos del litoral español (los valores provienen de la tabla IV.3).

IV.1.1.2.- Relación visibilidad meteorológica y transmisión atmosférica

La visibilidad meteorológica "V" está directamente relacionada con la transmisión atmosférica "T" según la fórmula:

$$T = 0.05^{1/V}$$

A partir de la definición de visibilidad meteorológica (ver

OBSERVATORIO	OBSERVACIONES	TB		TM		TC	
		VALORES		VALORES		VALORES	
		V	T	V	T	V	T
S. SEBASTIAN	crepuscular	4.16	0.264	19.29	0.750	36.27	0.858
	mediodía	4.41	0.284	19.46	0.752	37.20	0.861
SANTANDER	crepuscular	2.95	0.153	8.11	0.505	22.28	0.780
	mediodía	3.03	0.160	8.67	0.527	22.73	0.783
LA CORUÑA	crepuscular	5.63	0.373	12.21	0.635	20.78	0.766
	mediodía	5.87	0.389	12.68	0.646	21.94	0.777
VIGO	crepuscular	5.43	0.360	18.66	0.743	22.77	0.784
	mediodía	5.86	0.388	10.55	0.753	22.85	0.882
HUELVA	crepuscular	4.98	0.328	10.35	0.585	14.11	0.675
	mediodía	5.22	0.346	10.65	0.594	14.44	0.681
CADIZ	crepuscular	15.70	0.702	21.28	0.770	25.90	0.807
	mediodía	16.17	0.710	21.35	0.771	26.09	0.808
CEUTA	crepuscular	7.86	0.494	20.94	0.763	31.66	0.839
	mediodía	8.11	0.505	20.79	0.766	31.99	0.840
MALAGA	crepuscular	5.98	0.396	17.74	0.731	28.43	0.823
	mediodía	6.19	0.408	18.46	0.740	30.00	0.831
ALMERIA	crepuscular	8.28	0.511	20.15	0.759	33.45	0.847
	mediodía	8.56	0.523	21.23	0.770	39.27	0.868
ALICANTE	crepuscular	13.80	0.663	23.21	0.787	34.02	0.850
	mediodía	14.06	0.674	23.90	0.793	36.89	0.860
VALENCIA	crepuscular	4.26	0.272	10.77	0.598	25.65	0.805
	mediodía	4.52	0.293	11.47	0.616	27.45	0.817
BARCELONA	crepuscular	3.14	0.171	11.80	0.625	50.74	0.896
	mediodía	3.14	0.171	12.02	0.630	47.67	0.890
MAHON	crepuscular	8.39	0.516	17.89	0.733	32.65	0.844
	mediodía	8.77	0.531	19.00	0.746	37.06	0.861
PALMA DE MCA.	crepuscular	10.65	0.594	20.52	0.763	31.42	0.838
	mediodía	11.69	0.622	21.63	0.773	33.80	0.848
IBIZA	crepuscular	12.01	0.630	25.44	0.804	39.09	0.868
	mediodía	12.20	0.635	25.98	0.808	39.17	0.868
S.C. TENERIFE	crepuscular	20.13	0.759	24.99	0.801	39.33	0.868
	mediodía	20.08	0.759	25.00	0.801	39.55	0.869
LAS PALMAS	crepuscular	8.48	0.520	21.91	0.776	41.12	0.874
	mediodía	8.54	0.522	22.72	0.783	42.98	0.879
FUERTEVENTURA	crepuscular	12.10	0.632	19.68	0.754	31.15	0.837
	mediodía	12.70	0.646	21.03	0.768	32.63	0.844

Tabla IV.3. Valores de la visibilidad meteorológica (V) y de la transmisión atmosférica (T) para tiempo brumoso (TB), tiempo medio (TM) y tiempo claro (TC)
(V en Km) (T para millas náuticas)

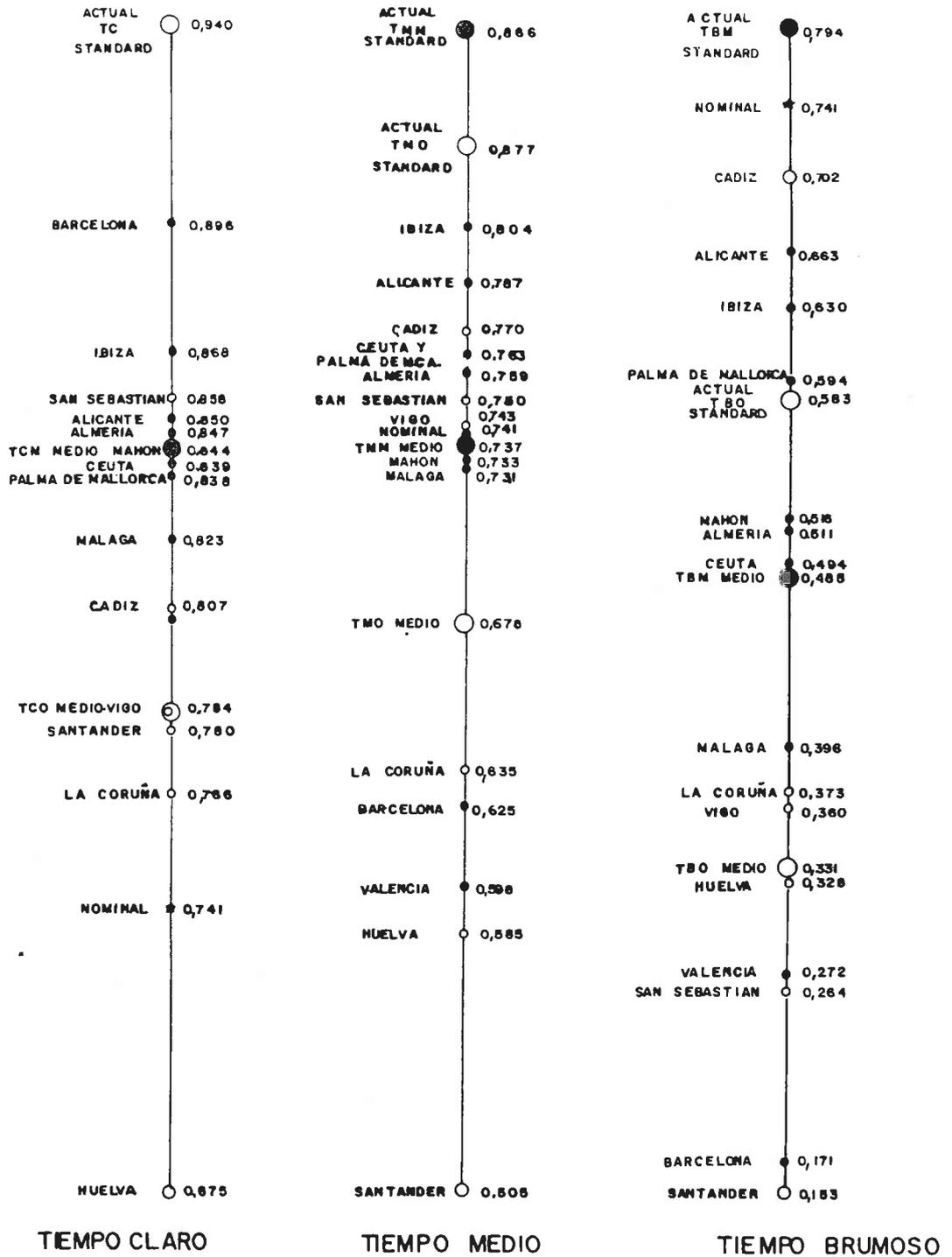


Figura IV.1. Valores de la transmisión atmosférica (T) tomados de diversos puntos del litoral español. Los valores son crepusculares. (T para millas náuticas)

II.2.2.) se justifica la anterior expresión razonando de la siguiente manera.

A distancia nula el objeto negro mate tiene luminancia nula, luego el contraste vale la unidad; a medida que el objeto se aleja adquiere cierta luminancia aparente por cuanto el flujo luminoso no transmitido entre observador y objeto (reflejado por las partículas de la atmósfera) causa el efecto de un flujo ficticio procedente de este objeto; a la distancia de una milla será, pues, $C = T$ (contraste igual a transmisión atmosférica); a la distancia de dos millas $C = T^2$, y, extendiendo el razonamiento, a la distancia de visibilidad $C = T^V$. Puesto que la Organización Meteorológica Mundial fija como umbral de contraste $C = 0.05$ queda justificada la anterior fórmula.

En la tabla IV.3 se dan los pares de valores "V", "T" para distintos puntos del litoral español deducidos con datos de la década 1965-1974 recogidos por el Servicio Meteorológico Nacional.

La visibilidad meteorológica determinada por los distintos centros del Servicio Meteorológico Nacional se refiere a la visibilidad horizontal; la información se da en clave por radio para las distintas zonas en que está convenido realizar observaciones. Se expresa en metros o kilómetros y corresponde a diez bandas, numeradas de cero a nueve, que se refieren a las visibilidades de la tabla IV.4.

Designación	Amplitud de la banda (m)	Designación	Amplitud de la banda (m)
0	menos de 50	5	de 2.000 a 4.000
1	de 50 a 200	6	de 4.000 a 10.000
2	de 200 a 500	7	de 10.000 a 20.000
3	de 500 a 1.000	8	de 20.000 a 50.000
4	de 1.000 a 2.000	9	más de 50.000

Tabla IV.4. Designación de las 10 bandas de visibilidad meteorológica. Corresponden al código 4.300 de la OMM (Organización Meteorológica Mundial)

IV.1.1.3.- Umbral de percepción de la luz

Llamado también límite inferior de percepción de la luz. Es aquel nivel de iluminación mínimo que permite una respuesta fisiológica en la visión. Este valor ha sido fijado en las Conferencias Internacionales de Faros estimándose en $0,2 \times 10^{-6}$ lux. como valor práctico.

Este valor supone que el observador ve el objeto sobre un fondo negro y dispone de tiempo ilimitado para realizar la observación. Si no se dan estas condiciones, como ocurre en las balizas de los morros de puertos, donde, llegando desde el mar se observa la señal sobre cierta claridad debida al alumbrado de la población, debe aumentarse el límite. Está convenido establecer 1 microlux.

En observaciones diurnas se toma 1×10^{-3} lux (Recomendación de la IALA/AISM de abril de 1974).

El umbral de iluminancia depende, en general, del diámetro aparente de la señal luminosa, de la luminancia del fondo sobre el que se observa, de un factor de adaptación y de un factor de debilitamiento debido a condiciones de observación.

Los dos últimos factores suelen determinarse empíricamente y quedan incluidos en las constantes de las fórmulas.

Hecht demostró que, en el umbral de visión, para un diámetro aparente de un segundo (1") la iluminancia "E" y la luminancia del fondo "L" podían relacionarse con la siguiente fórmula empírica.

$$E = a (1 + \sqrt{b L})^2$$

Para las constantes pueden admitirse los valores:

$$\begin{aligned} a &= 1.5 \cdot 10^{-9} \text{ lux} \\ b &= 4.000 \text{ m}^2/\text{cd} \end{aligned}$$

en el dominio de la visión escotópica (entiéndase, nocturna) y,

$$\begin{aligned} a &= 7 \cdot 10^{-8} \text{ lux} \\ b &= 0.4 \text{ m}^2/\text{cd} \end{aligned}$$

en el dominio de la visión fotópica (entiéndase, diurna); $L = 0.01 \text{ cd/m}^2$ es el valor de luminancia que separa ambos dominios de visión (según la fórmula), tal como se observa en la figura IV.2.

Sin embargo en la Recomendación de la IALA/AISM de abril de 1974 se toman los valores:

$$\begin{aligned} a &= 0.242 \cdot 10^{-6} \text{ lux} \\ b &= 0.4 \text{ m}^2/\text{cd} \end{aligned}$$

para la determinación del alcance luminoso diurno (apartado IV.1.2.4.)

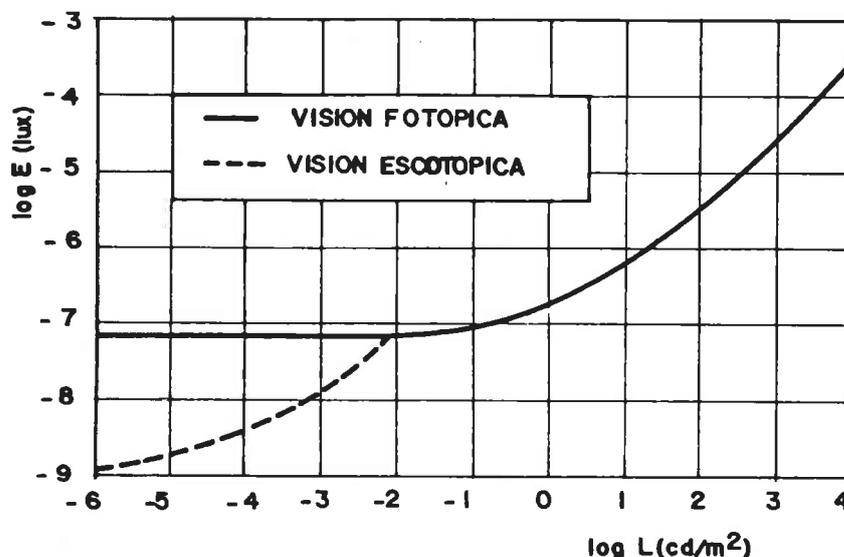


Figura IV.2. Relación entre el umbral de iluminancia y la luminancia del fondo.

La diferencia entre visión fotópica y la escotópica se debe a la acción del iris del ojo y a la distribución de las terminaciones nerviosas sensibles a la luz (conos y bastones en la retina). A grandes niveles de iluminación el iris se cierra y los rayos luminosos inciden sobre la parte central de la retina (fóvea) donde hay mayor densidad de conos, muy sensibles al color y menos a la intensidad luminosa. A pequeños niveles de iluminación el iris se abre y los rayos luminosos se reparten sobre toda la retina donde, en su periferia, hay mayor densidad de bastones, muy sensibles a la intensidad luminosa y poco al color.

El umbral varía también en función del color de la luz, aumentando del orden de $0,1 \cdot 10^{-6}$ lux en luces verdes (para L menor o igual que 0.001 cd/m^2).

IV.1.1.4.- Ley del inverso del cuadrado

Relaciona la iluminancia (E) producida en un elemento de superficie plana (dS) a una distancia dada (X) de una fuente de luz, con la intensidad luminosa (I_{θ_1}) de la fuente en la dirección del elemento de superficie.

Si se observa la figura IV.3. para ilustrar, resulta que

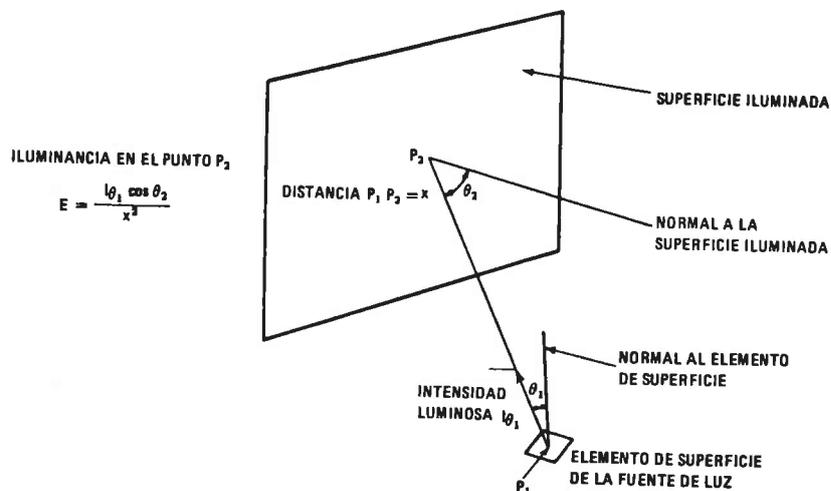


Figura IV.3. Ley del inverso del cuadrado

el elemento de superficie (dS) está situado en P_2 la fuente de luz está en P_1 y emite un flujo ($d\Phi$) cuya intensidad en la dirección θ_1 es I_{θ_1} que incide con ángulo θ_2 sobre la superficie iluminada.

Por ello se tiene:

$$E = \frac{d\Phi}{dS}, \quad d\Phi = \frac{I_{\theta_1}}{d\Omega}, \quad d\Omega = \frac{dS \cos \theta_2}{X^2}$$

por tanto resulta la "Ley del inverso del cuadrado":

$$E = \frac{I \vartheta \cos \vartheta_2}{X^2} \quad \text{lux}$$

IV.1.2.- Alcance luminoso

El alcance luminoso de los faros se define como aquella distancia en la que el nivel de iluminación en un plano vertical normal a la dirección de la señal es igual al umbral inferior de percepción de la luz.

IV.1.2.1.- Fórmula de Allard

Los alcances se determinan con la fórmula de Allard. que se deduce de la aplicación de la Ley del inverso del cuadrado considerando que P_2 es el ojo del observador con $\vartheta_2 = 0$; que P_1 es el panel óptico del faro que emite con $\vartheta_1 = 0$ y que en cada unidad de recorrido de la luz pasa un flujo expresado en tanto por uno igual a G (es decir se pierde por obstrucción de corpúsculos un tanto por uno igual a $1 - G$).

Si por convención internacional se fija el umbral E_0 resulta:

$$E_0 \cdot D^2 = I_c \cdot c^D \quad \text{donde}$$

E_0 = umbral de percepción de la luz, en lux

D = alcance expresado en metros

I_c = intensidad de cálculo en candelas

c = coeficiente (por metro) de transparencia atmosférica del lugar.
Este valor está relacionado con T y A :

$$T = c^{1852} \quad A = c^{1000} \quad (\text{A por Km, T por milla})$$

Los valores de esta fórmula suelen venir abaqueados para su cómoda y rápida aplicación (figura IV.4). En estos ábacos se entra con la intensidad de cálculo y se determina el alcance en función del coeficiente de transmisión atmosférica.

Cuando el fondo sea de luminancia elevada hay que entrar en los ábacos con $1/5$ de la intensidad de cálculo (lo que equivale a tomar $E_0 = 1 \cdot 10^{-6}$ lux).

IV.1.2.2.- Limitaciones de la fórmula de Allard

La utilización de la fórmula anterior para el cálculo del alcance luminoso supone algunas limitaciones ya que, por un lado, la fórmula de Allard no recoge los casos siguientes:

1º) Dos luces de intensidad equivalente, una situada en

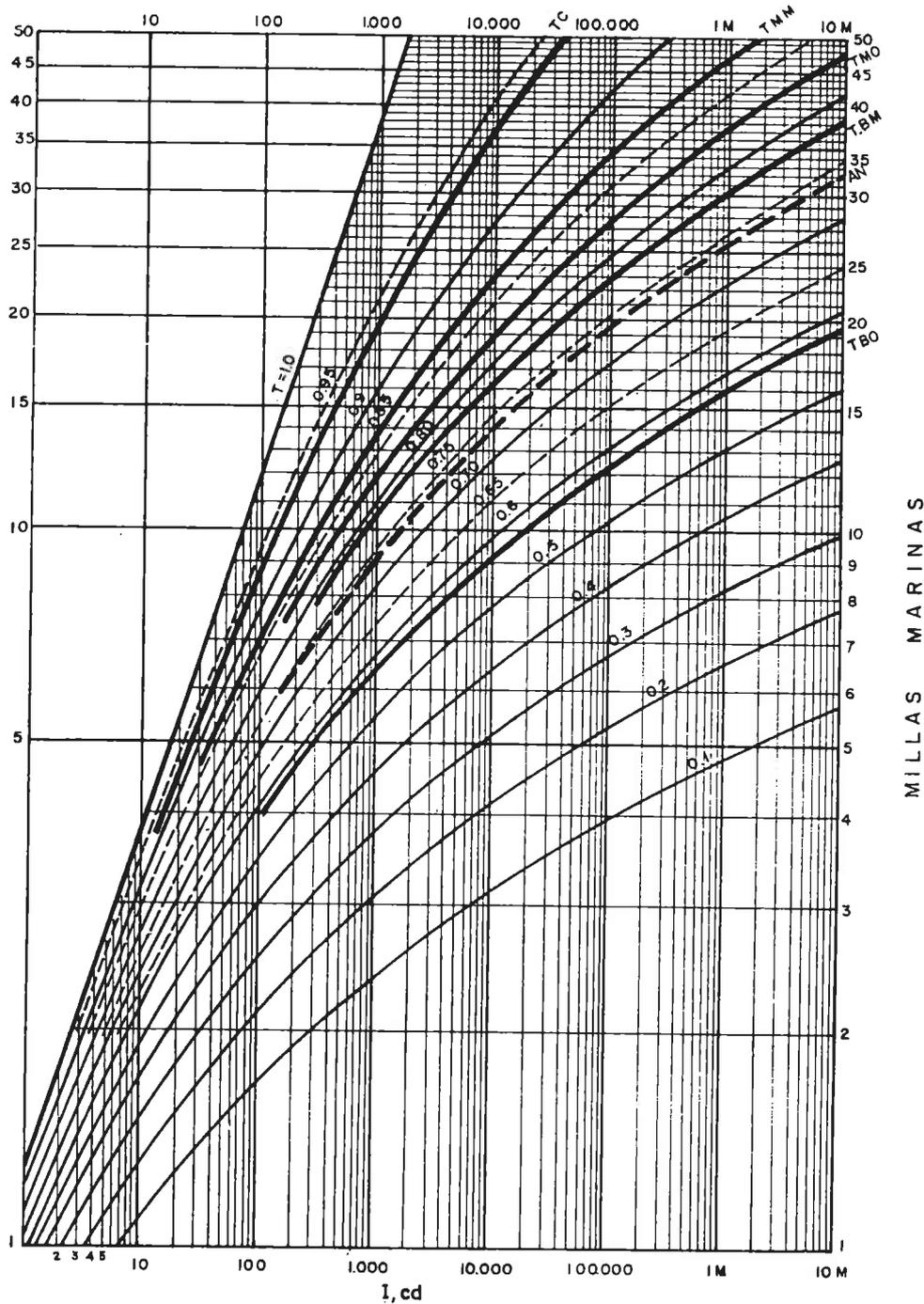


Figura IV.4.a. Abaco para la fórmula de Allard. Para $E_0 = 0,2 \times 10^{-6}$ lux un lugar alto sin bruma y observada desde otro punto elevado, y la otra en un lugar más bajo, de tal modo que sólo puede percibir los rayos luminosos a ras del mar, tienen alcances luminosos distintos (mayor en la luz elevada).

2º) La configuración y la orientación del litoral puede influir sobre el alcance luminoso en ciertos azimuts.

3º) Es distinto el alcance luminoso de una señal si se observa en el Este o en el Oeste (el caso de las desembocaduras de los ríos).

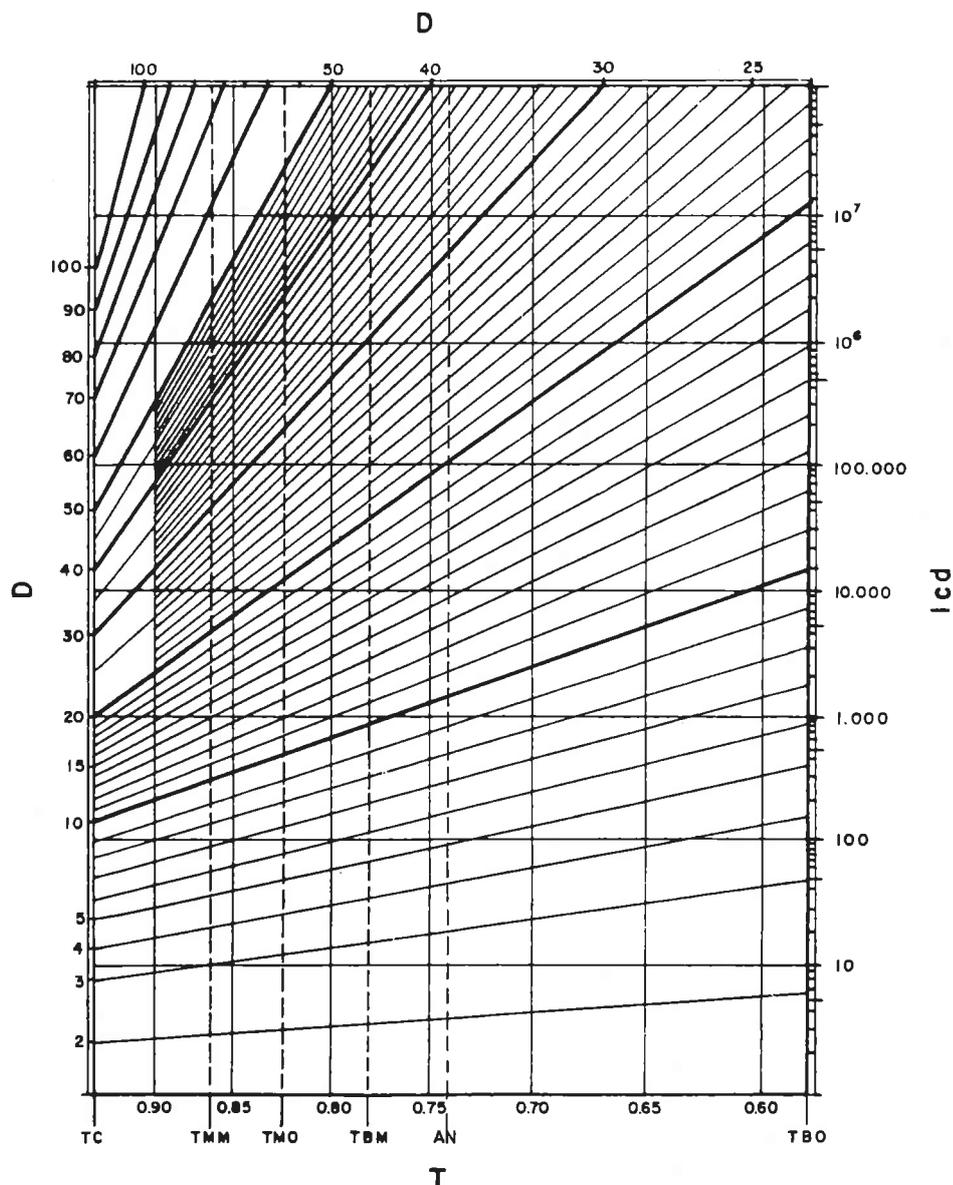


Figura IV.4.b. Alcances luminosos D (millas náuticas) e intensidades luminosas I (cd) para cada valor de transmisión atmosférica T (por milla náutica). El ábaco está construido para un umbral: $E_0 = 0,2 \times 10^{-6}$ lux.

Por otro lado, cuando se aumenta la intensidad luminosa de la señal, el aumento del alcance luminoso, que tiene lugar en la realidad, es menor que el que se deduce utilizando la fórmula de Allard.

Y finalmente, se hace indispensable que en los Libros de Faros se especifiquen los alcances reales, para determinado tiempo o transparencia resultado de continuas observaciones de las señales.

IV-1.2.3.- Alcance nominal nocturno

Cuando no se especifica, los alcances luminosos se sobreentienden nocturnos.

Tradicionalmente los estados de la atmósfera considerados eran los citados "claro", "medio" y "brumoso". Pero como ello depende de la localidad y sólo es conocido por los navegantes locales hoy

se determina el "alcance nominal" que es el que figura en los Libros de Faros, que corresponde a una visibilidad meteorológica de 10 m.n.

El alcance nominal (nocturno) de una señal luminosa se define como el alcance luminoso correspondiente a un coeficiente de transmisión atmosférica por milla náutica igual a $T = 0,74113$.

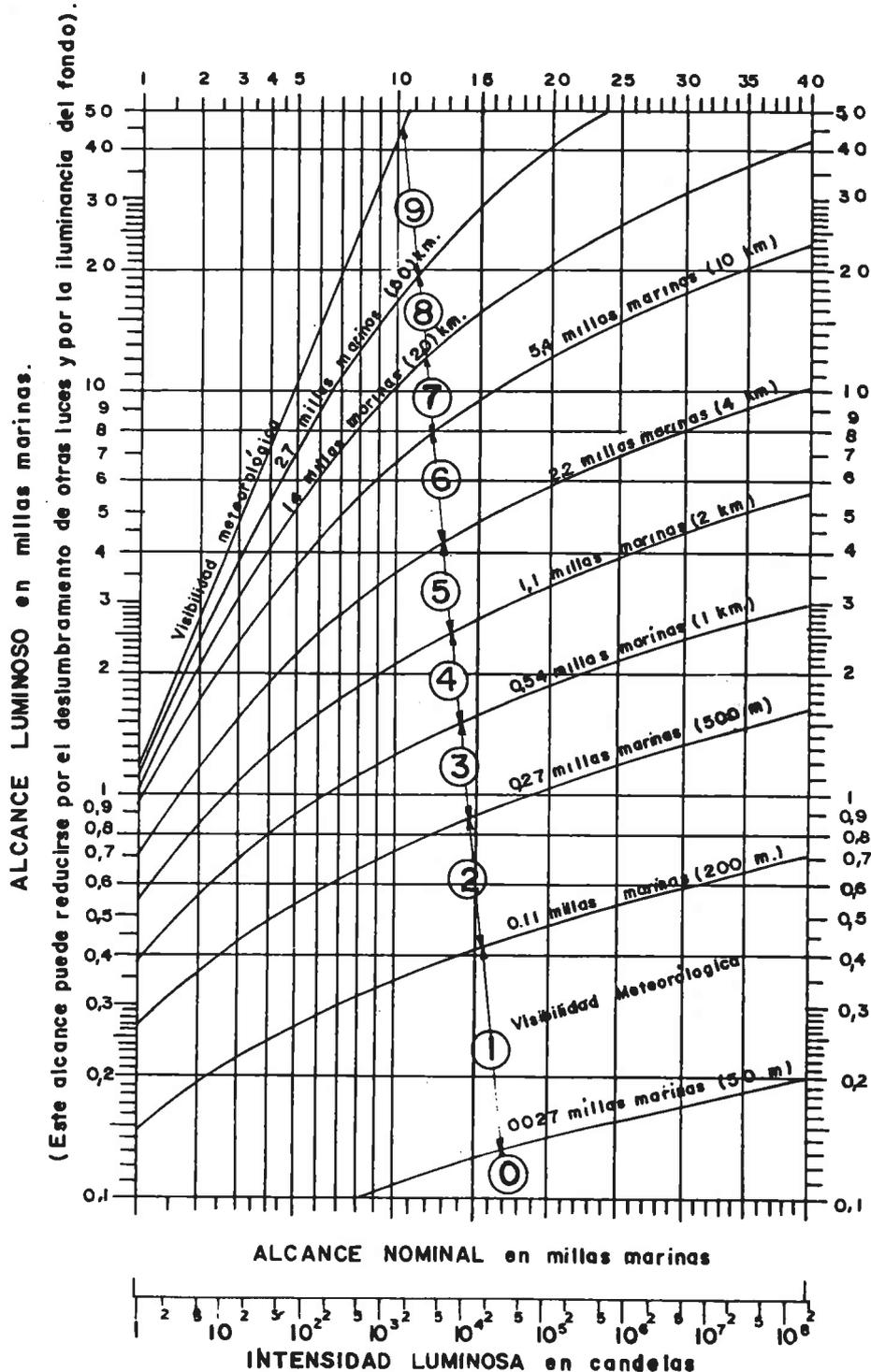


Figura IV.5. Alcance luminoso en función de la visibilidad meteorológica (V) y de la intensidad luminosa de cálculo (I_c) o del alcance nominal.
Nota.- Las cifras encerradas por circunferencias corresponden a las del código 4300 de la OMM (Organización Meteorológica Mundial).

La Recomendación de la IALA/AISM (Noviembre de 1966) establece que en los Libros de Faros debe publicarse un ábaco como el de la figura IV.5, que permite determinar el alcance luminoso a partir del alcance nominal en millas náuticas, o bien, de la intensidad luminosa en candelas y de la visibilidad meteorológica de cálculo.

Con la figura IV.6 se puede convertir fácilmente el tradicional alcance para tiempo medio Océano o medio Mediterráneo en alcance nominal.

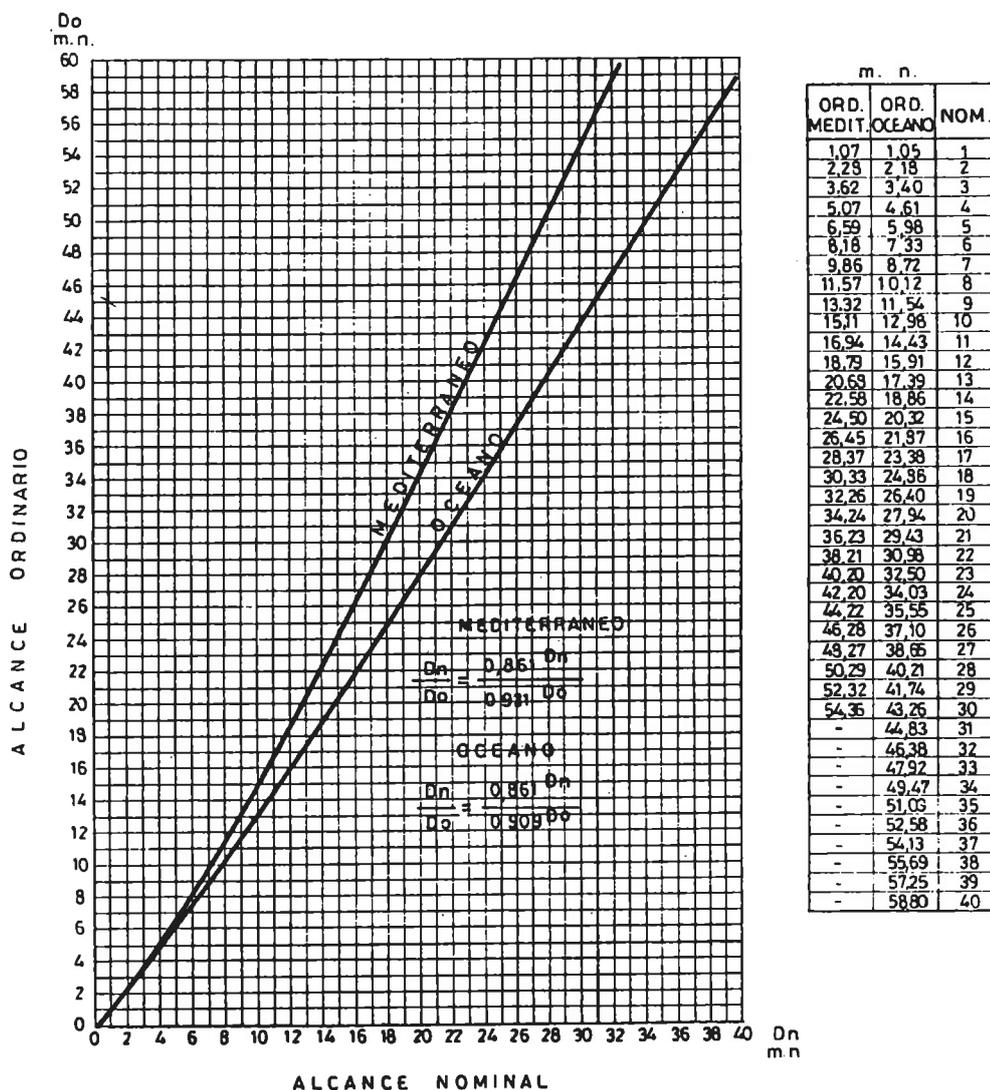


Figura IV.6. Conversión del alcance medio Océano o medio Mediterráneo (D₀) en alcance nominal D_n (en mn)

Finalmente se adjuntan los gráficos de la figura IV.7 que permiten, con una simple ojeada, determinar los órdenes de magnitud del alcance nominal para cada tipo de instalación luminosa.

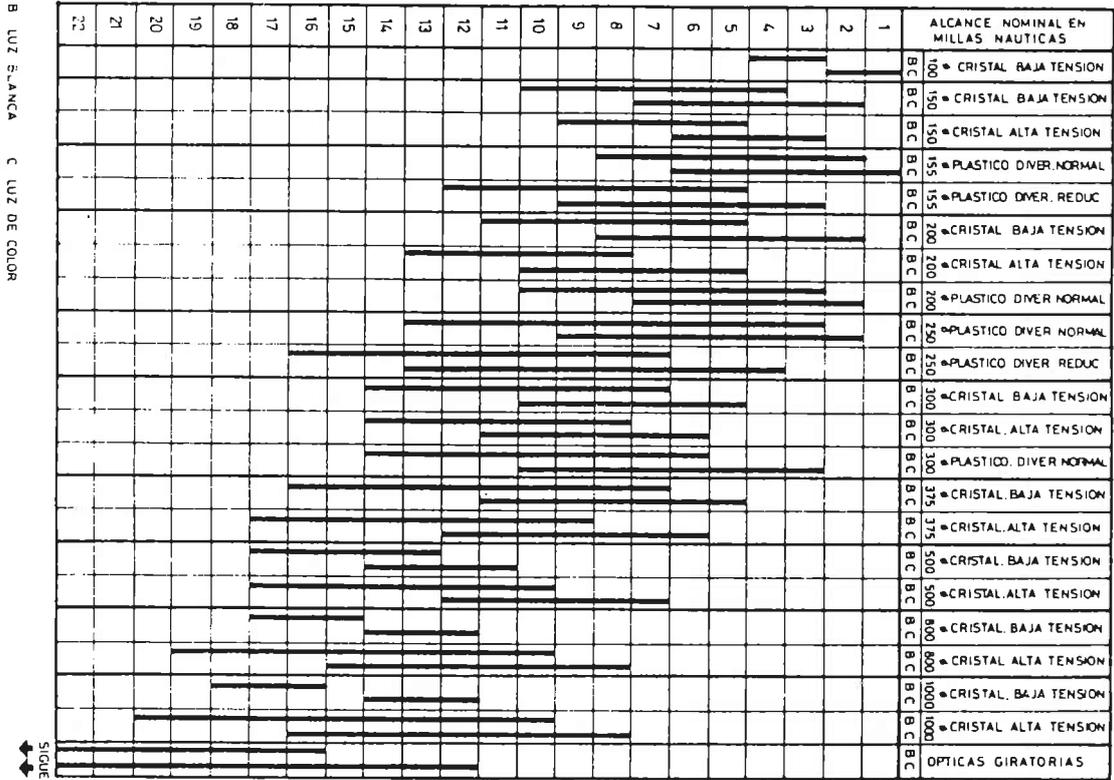


Figura IV.7.a. Alcances nominales en instalaciones eléctricas y ópticas de horizonte

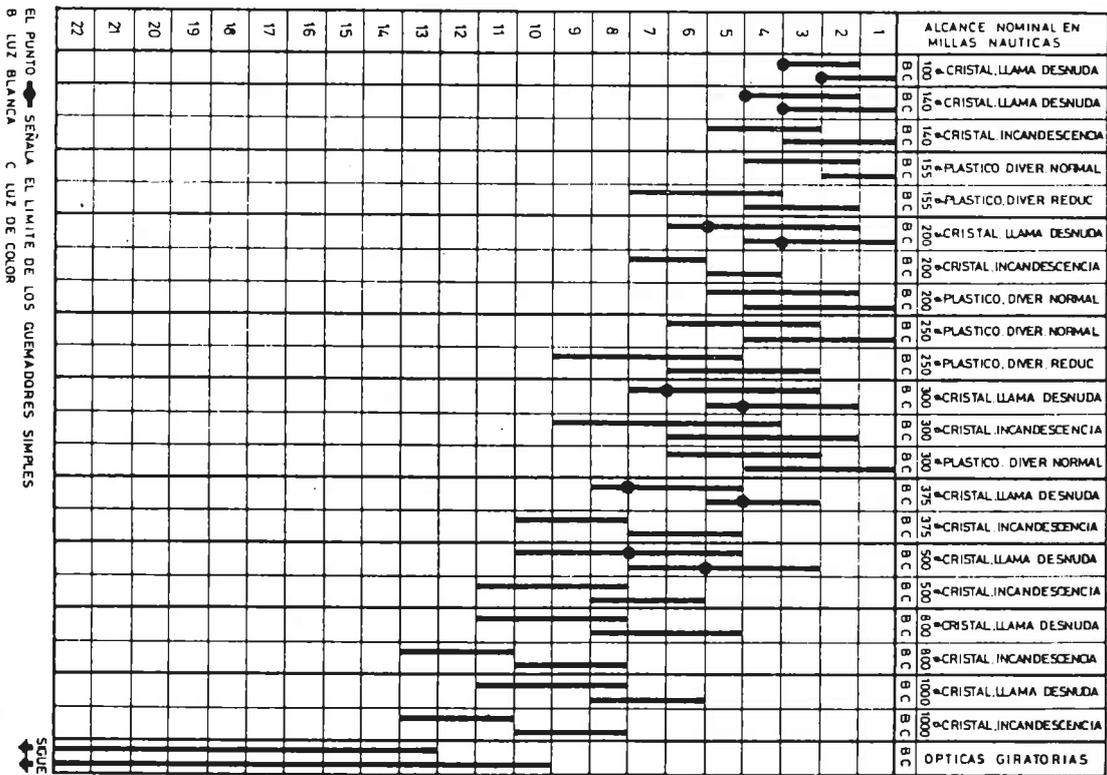


Figura IV.7.b. Alcances nominales en instalaciones de acetileno y ópticas de horizonte

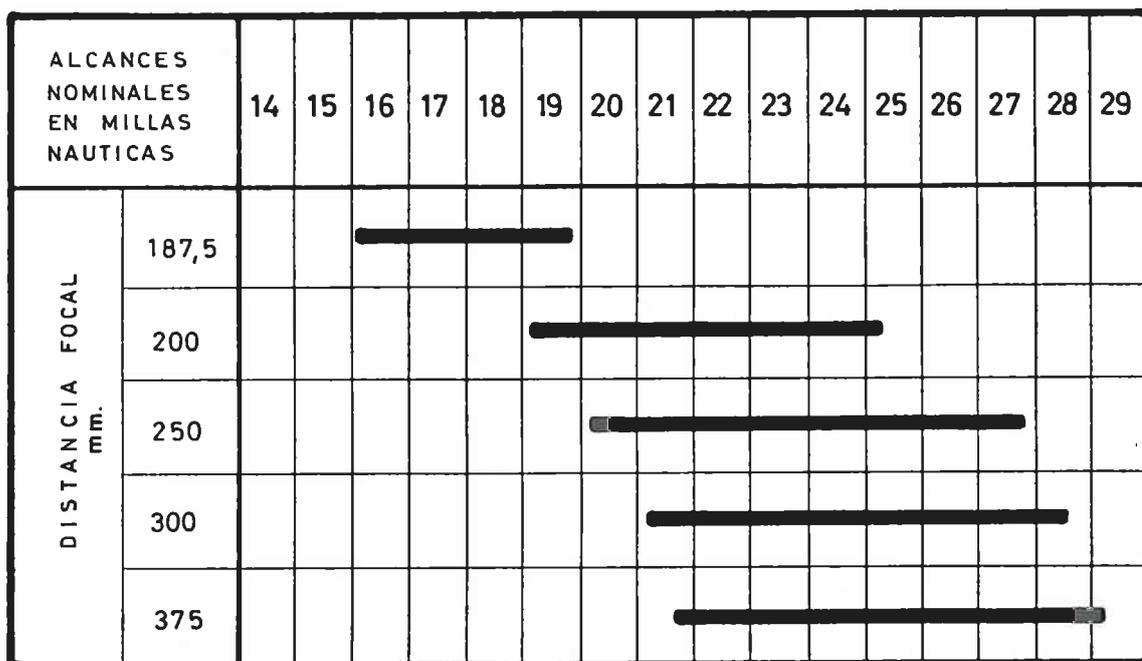


Figura IV.7.c. Alcances nominales en instalaciones eléctricas en luces blancas en función de las distancias focales en m.m. de las ópticas giratorias.

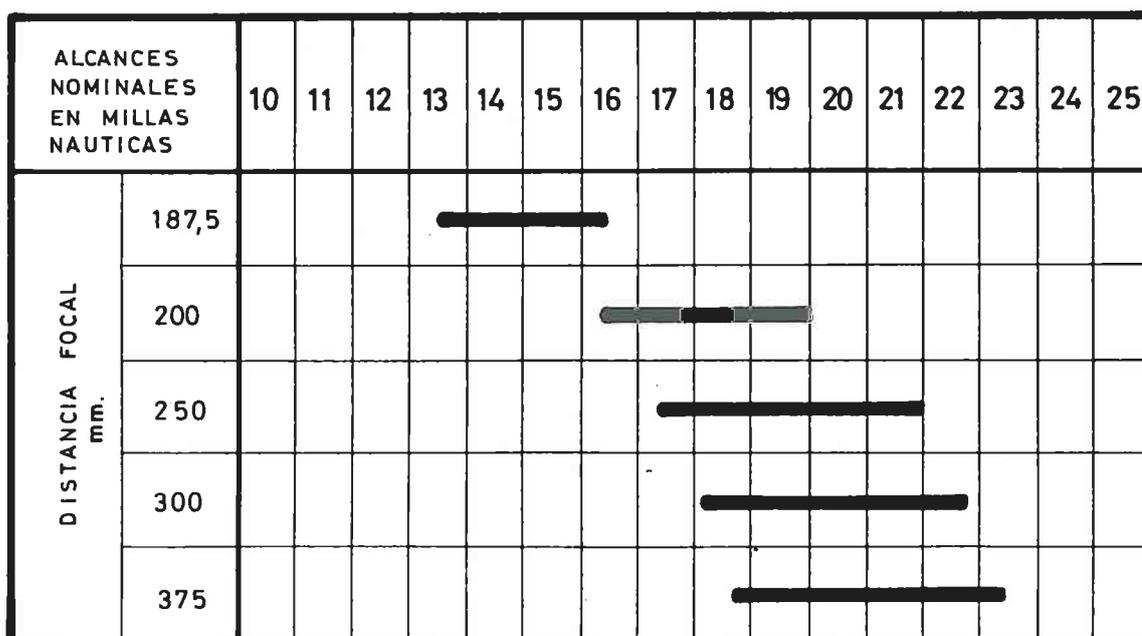


Figura IV.7.d. Alcances nominales en instalaciones de acetileno de incandescencia en luces blancas en función de las distancias focales en m.m. de las ópticas giratorias.

IV.1.2.4.- Alcance nominal diurno

Según la Recomendación de la IALA/AISM de abril de 1974, se define alcance nominal diurno de una señal luminosa como la distancia en millas náuticas a la que la luz sola presenta una iluminancia sobre el ojo del observador de $1 \cdot 10^{-3}$ lux en una atmósfera homogénea con visibilidad meteorológica de 10 millas náuticas.

También se recomienda publicar en los Libros de Faros un ábaco como el de la figura IV.8 que permite determinar el alcance luminoso diurno a partir de la visibilidad meteorológica y de la intensidad luminosa o del alcance nominal diurno.

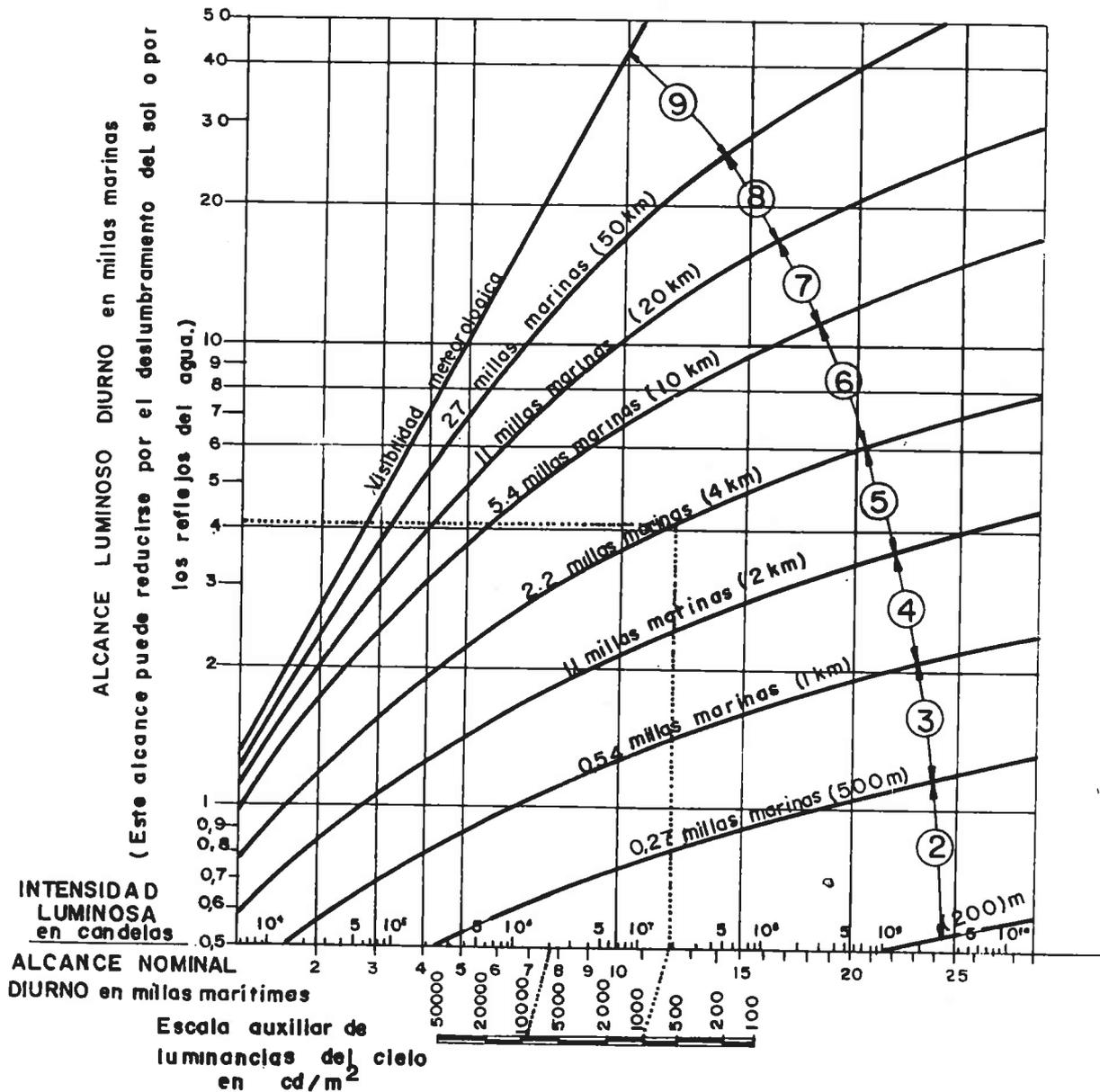


Figura IV.8. Abaco para el alcance luminoso diurno

El ábaco se ha construido admitiendo un umbral de contraste de 0.05 y que el umbral de iluminación (E en lux) producido por una señal luminosa depende de la luminancia del cielo (L en cd/m²) según la fórmula del apartado IV.1.1.3. Con ello el umbral de iluminación de 1.10^{-3} lux supone una luminancia del cielo de 10.000 cd/m², que es la que se considera cuando se utiliza el ábaco sin la escala de luminancias auxiliar.

En el ejemplo se determina el alcance luminoso para $V = 22$ millas marinas, intensidad luminosa $2 \cdot 10^6$ lux y luminancia del cielo 1000 cd/m². Para ello se utiliza la escala auxiliar del siguiente modo: se une con una recta el valor de la intensidad y el valor 10.000 cd/m² de luminancia. Se traza una paralela a la anterior por el valor de luminancia dado (1.000 cd/m²), con ello se obtiene otro valor de intensidad ($2 \cdot 10^7$ lux) con el que se termina el alcance para la visibilidad dada (2.2 mn).

Las cifras encerradas en los círculos corresponden a las del código 4.300 de la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.)

Las luminancias del cielo pueden estimarse con ayuda de la tabla IV.5.

Estado del cielo	Luminancia (cd/m ²)
Cubierto muy oscuro	100
Cubierto oscuro	200
Cubierto normal	1.000
Cubierto luminoso, cielo claro sin sol	5.000
Despejado brillante, cielo claro con sol	10.000
Despejado muy brillante	20.000
Despejado deslumbrante	50.000

Tabla IV.5. Luminancias del cielo que se pueden introducir en el ábaco de la figura IV.8 a través de la escala auxiliar

IV.1.3.- Alcance geográfico

Los alcances geográficos de los faros son aquellos que responden a la posibilidad de visión teniendo en cuenta solamente la esfericidad de la tierra. Dependen, por tanto de la altura del observador como de la altura del plano focal al que se encuentra situado en el sistema óptico. Así, el alcance geográfico del faro para el barco, en la figura IV.9 es el valor del arco FN.

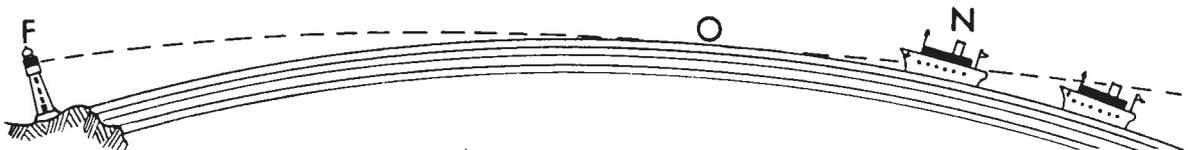


Figura IV.9. Alcance geográfico de un faro

Estos alcances resultan distintos según las diferentes hipótesis que se adopten, de propagación recta o propagación curva.

El cálculo del alcance en propagación recta es muy simple

pues basta aplicar el teorema de la potencia en la circunferencia; la realidad, sin embargo es distinta pues la propagación de la luz es curva.

IV.1.3.1.- Propagación recta de la luz.

Razonando sobre la figura IV.10, supongamos un punto P situado a la altura H sobre el nivel del mar. Evidentemente un nadador observador situado a nivel 0 en el límite del casquete esférico en que es visible el punto P distará de P:

$$OP^2 = (R + H)^2 - R^2 = H^2 + 2 R H$$

siendo OP el alcance D_2 y R el radio de la Tierra.

Como en los estudios de faros el valor H es despreciable en comparación con el de $2 R H$ ya que H frecuentemente no alcanza los 100 m. y, aunque los supere, nunca deja de ser del orden de los centenares, se toma,

$$D_2 = \sqrt{2R} \sqrt{H}$$

Si el observador está situado a la altura h en el punto Q, evidentemente resultará:

$$D_1 = \sqrt{2R} \sqrt{h}$$

luego el alcance será:

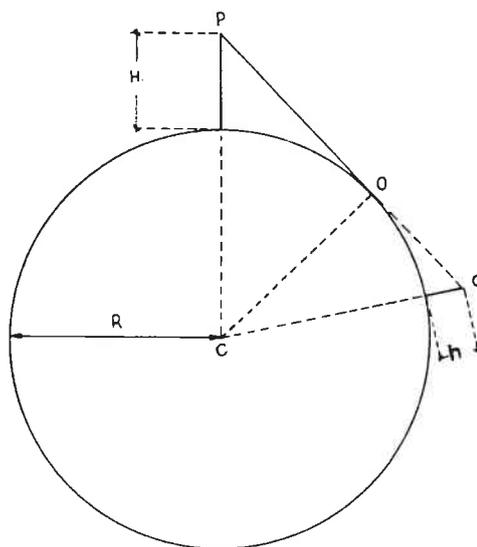


Figura IV.10. Propagación recta de la luz

$$D = D_1 + D_2 = \sqrt{2R} (\sqrt{h} + \sqrt{H})$$

que puede ponerse en la forma:

$$D = K (\sqrt{h} + \sqrt{H})$$

siendo K una constante que, además del valor $\sqrt{2R}$ puede englobar el factor de conversión de unidades; así en el caso más corriente:

$$D = 1,927 (\sqrt{h} + \sqrt{H})$$

donde :

D = alcance en millas.

h = altura en metros del observador.

H = altura en metros de la luz.

1,927= factor que resulta de considerar el diámetro medio de la Tierra= 12.735.297 km. y el valor de la milla marina = 1.852 m.

IV.1.3.2.- Propagación curva de la luz

La propagación curva, debida a la refracción, aumenta algo los alcances. Calcularemos éstos en la hipótesis de que la trayectoria es curva con radio nR siendo:

n = factor a determinar experimentalmente.

R = radio de la Tierra.

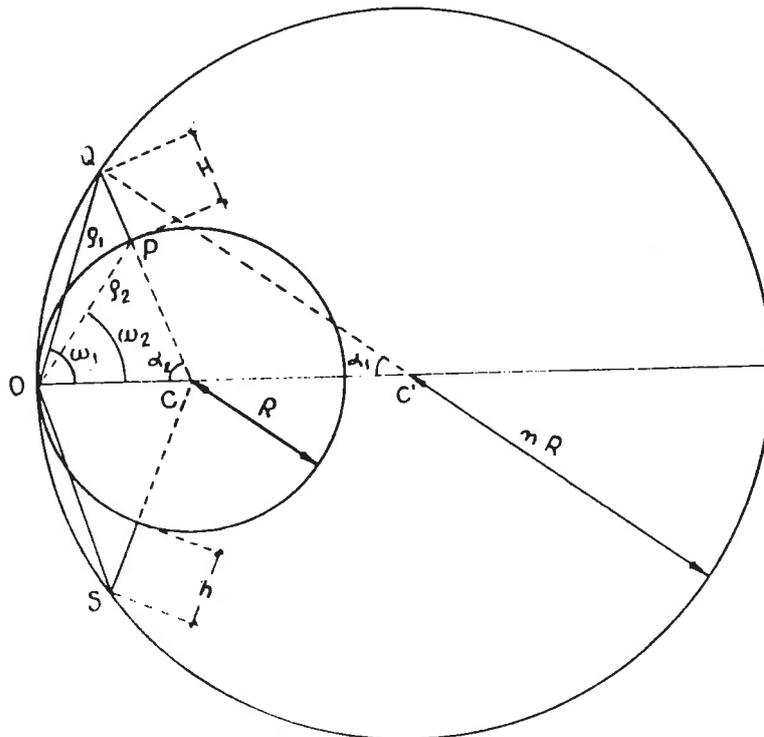


Figura IV.11. Propagación curva de la luz

Razonando sobre la figura IV.11 supongamos un punto Q situado a una altura H sobre el nivel del mar y un nadador-observador en el borde O del casquete esférico desde el que es visible Q . La luz se propagará según el arco OQ de la circunferencia (C') de radio nR tangente en O a la esfera terrestre (C). Con un sistema de coordenadas polares con polo en O y eje OC resulta:

$$\text{Circunferencia (C)} : \rho_2 = 2 R \cos \omega_2$$

$$\text{Circunferencia (C')} : \rho_1 = 2nR \cos \omega_1$$

y como:

$$H = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2 \cos(\omega_1 - \omega_2)}$$

Aún en las aplicaciones prácticas más desfavorables es despreciable el error cometido al tomar como alcance D_2 :

$$D_2 = \rho_1 = \rho_2 \quad \text{luego}$$

$$H = \sqrt{2 D_2^2} \sqrt{1 - \cos(\omega_1 - \omega_2)}$$

y como para estos pequeños valores angulares:

$$\omega_1 - \omega_2 = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} = \frac{\alpha_2}{2} \left(1 - \frac{1}{n}\right) = \frac{D_2}{2R} \left(1 - \frac{1}{n}\right) = \beta$$

$$\cos \beta = 1 - \frac{\beta^2}{2} + \frac{\beta^4}{4} \dots\dots$$

del que, dado el pequeño valor de β , tomaremos sólo los dos primeros valores:

$$1 - \cos \beta = \frac{\beta^2}{2} = \frac{(n-1)^2 D_2^2}{8 n^2 R^2} \quad \text{por lo que}$$

$$H = \sqrt{2 D_2^2} \frac{(n-1) D_2}{2 n R} \cdot \frac{1}{2}$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{2 R n}{n-1}} \sqrt{H}$$

si el observador está situado a una altura h en S el alcance D será: $OS + OQ$ luego:

$$D = \sqrt{\frac{2 R n}{n-1}} (\sqrt{h} + \sqrt{H})$$

fórmula que, podemos poner en la forma:

$$D = K (\sqrt{h} + \sqrt{H})$$

incluyendo en K el factor de conversión para expresar D en millas y h y H en metros

Cuando la transmisión es recta es infinito el valor de n variando el coeficiente:

$$K = \sqrt{2R}$$

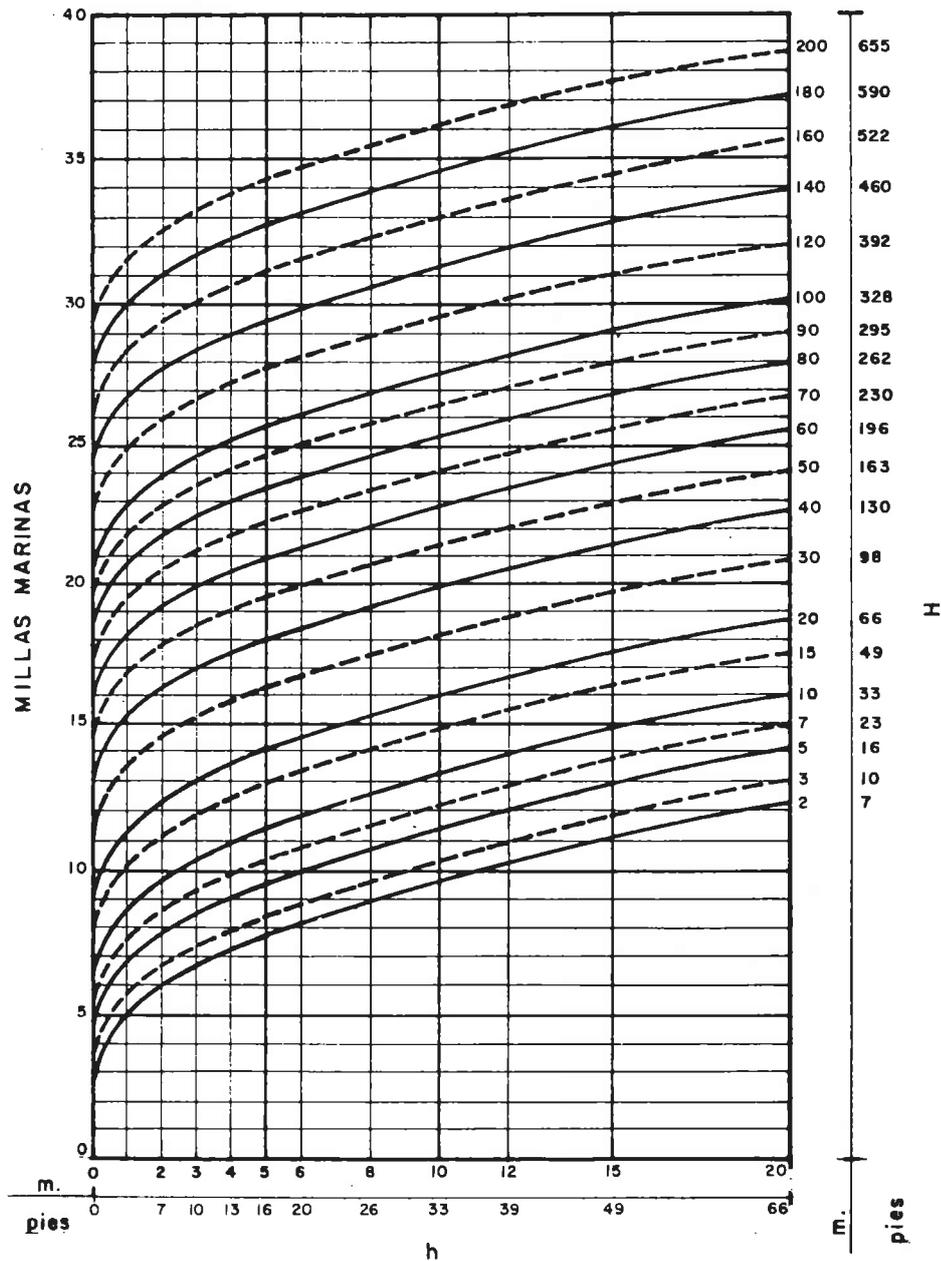


Figura IV.12.a. Abaco para la fórmula $D = 2,08 (\sqrt{h} + \sqrt{H})$

La experiencia demuestra que el valor de n varía entre las cifras del cuadro que se expone a continuación, calculado para el diámetro medio de la Tierra, de 12.735.297 m.; en España se utiliza para faros marítimos el valor $n = 7$ ($K = 2,08$); para aerofaros es frecuente adoptar $n = 9$ ($K = 2,04$). En todo caso la variación que experimentan los alcances por tomar un valor u otro vemos que es pequeña:

$$K = \sqrt{\frac{2Rn}{n-1}} = 1,927 \sqrt{\frac{n}{n-1}} \quad (\text{dividido por } 1.852)$$

n =	7	8	9	10	11	12	13	14	∞
K =	2,08	2,06	2,04	2,03	2,02	2,01	2,00	2,00	1,927

La fórmula generalmente usada es:

$$D = 2,08 (\sqrt{h} + \sqrt{H})$$

donde:

D = alcance en millas náuticas.

h = altura en metros del ojo del observador sobre el nivel del mar.

H = altura en metros del plano focal sobre el nivel del mar.

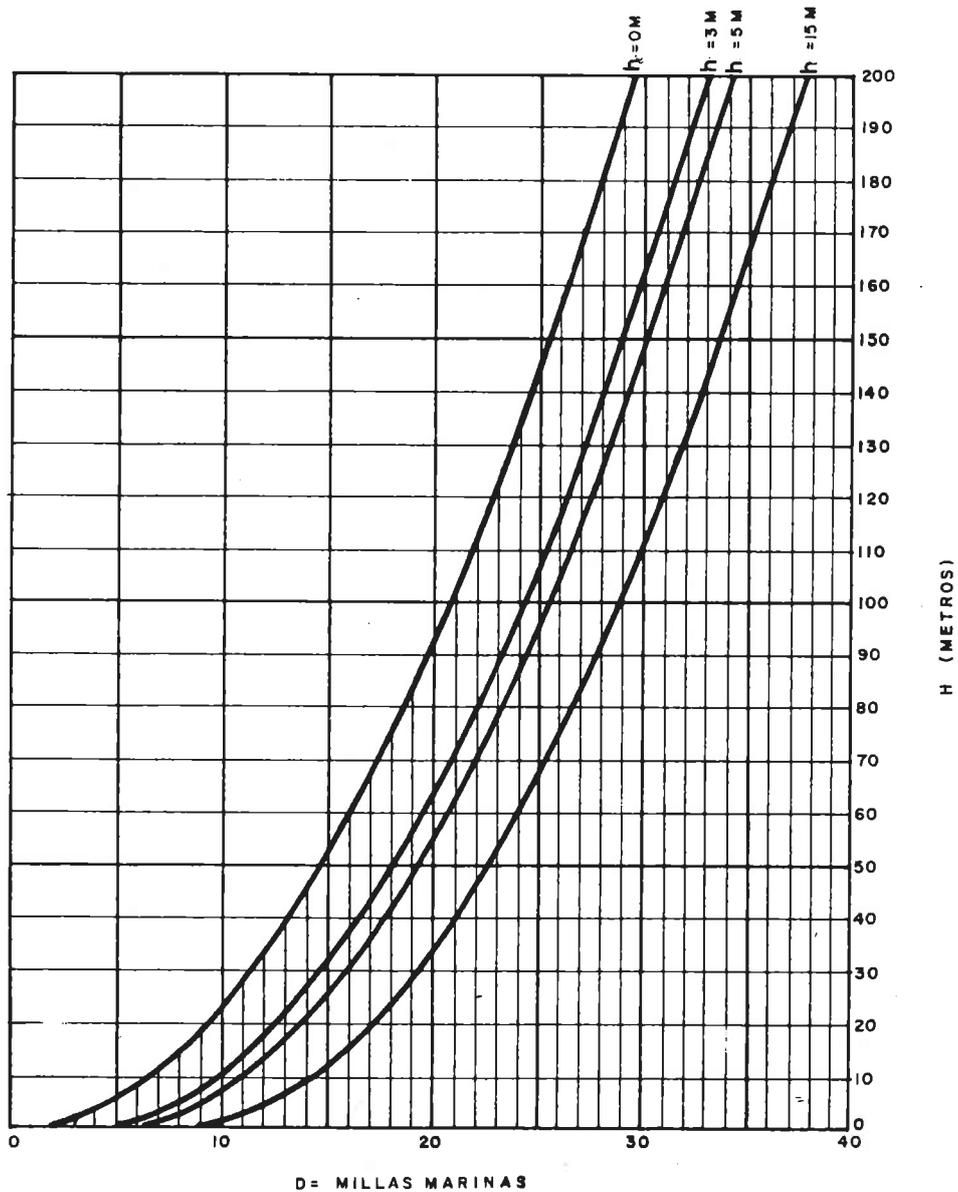


Figura IV.12.b. Abaco para la fórmula $D = 2,08 (\sqrt{h} + \sqrt{H})$

Distintos ábacos desarrollan esta fórmula según la altura del observador a tenor del porte de la embarcación para el que se considere el alcance (figuras IV.12.a. y IV.12.b.).

En las costas bajas quedan fuertemente limitados los alcances geográficos pues el disponerlos de alguna consideración obligaría a la construcción de muy altas torres que, en la práctica, tienen su altura limitada a los 50 metros, y aún ésta es excepcional.

IV.1.4.- Demoras de sectores de ocultación

Además de la esfericidad de la Tierra existe otra causa de carácter geográfico que delimita la zona de visibilidad de una señal, se trata de la presencia de cabos, colinas o accidentes geográficos que pueden impedir la visión de la señal desde el horizonte en determinados azimuts; son los "sectores de ocultación".

IV.1.4.1.- Consignación en documentos náuticos

Los sectores de ocultación dependen de la ubicación en el litoral de la señal, por ello en la casilla de "Observaciones" de los Libros de Faros y Señales de Niebla se consignan los sectores en que los faros quedan ocultos por los accidentes geográficos, definidos, dichos sectores, por las correspondientes demoras al Norte verdadero.

La demora de una señal "A" (figura IV.13) en un barco "B" es el ángulo medido en sentido horario entre el Norte verdadero NV y la dirección definida por los puntos "A" y "B".

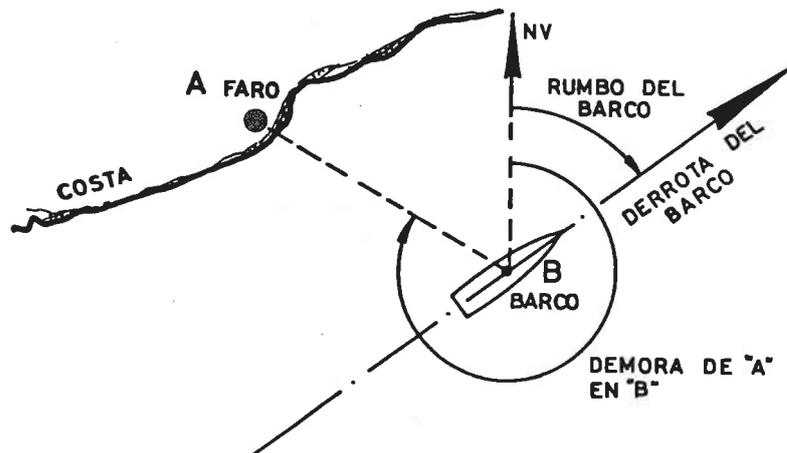


Figura IV.13. Demora de un faro en un barco

Las demoras de los sectores de ocultación son unos datos muy apreciados por los navegantes por constituir cierta suerte de enfilación y, cuando se carece de ellos, no faltan las ocasiones en que se solicitan directamente de los Servicios.

IV.1.4.2.- Determinación

Su determinación -con el auxilio de un taquímetro- instrumento de normal utilización en los Servicios de Obras Públicas- debe realizarse con todo cuidado para no incurrir en errores.

La única dificultad que se ofrece es la fijación "in situ" del Norte verdadero; los procedimientos basados en la orientadora del taquímetro son rechazables por dos motivos: por una parte el de no conocerse con precisión el valor de la declinación magnética en el lugar y día, y, por otra parte, el de estar sujeta la orientadora a desviaciones producidas por masas metálicas próximas (barandillas, linternas, basamento, etc.) o por la propia naturaleza del terreno.

El sistema basado en los vértices Lambert, con el auxilio de la Cartografía Militar, es aceptable pero enojoso y sujeto a la eventualidad de que en las proximidades del faro no se disponga de vértices adecuados; parece pues que el sistema más recomendable es el del cálculo astronómico, según se expondrá, si bien adolece del inconveniente de no poderse utilizar, cómoda y directamente, los días de viento o nublados.

IV.1.4.2.1.- Al pasar el sol por el meridiano

El sistema consiste en poner el taquímetro en estación en el balconcillo del faro con la plomada óptica o de cuerda montada y tomar la dirección de la sombra, o mejor, la dirección del sol (si se dispone de un filtro negro para su observación) cuando éste pase por el meridiano del lugar, momento en que define el Norte verdadero.

Todo se reduce, pues, a fijar exactamente el momento de la lectura; para ello tendremos en cuenta:

Tiempo Universal (t_u) = el que corresponde al sol medio, con las 0 h en el Meridiano inferior de Greenwich (12 h a 0° de longitud).

Tiempo Verdadero (t_v) = el que corresponde al sol verdadero.

La diferencia $e = t_v - t_u$ a lo largo del año viene dada por la "ecuación de tiempo" que publican los almanaques náuticos.

Por consiguiente, teniendo en cuenta que la hora legal en España va 1 h (ó 2 h) adelantada con la de los husos horarios del tiempo universal, si λ es la longitud del faro en relación con el meridiano de Greenwich (positiva hacia del E, negativa hacia el W) y e el valor de la ecuación de tiempo, tomada del almanaque náutico, deberá observarse la sombra de la plomada a la siguiente hora:

$$1 \text{ h (ó 2 h)} + 12 \text{ h} + e - \frac{\lambda^\circ}{15^\circ}$$

Los valores de e se anulan el 15 de abril; 14 de junio, 1 de septiembre y 24 de diciembre; para el grado de exactitud que se requiere en nuestro caso y acorde con el sistema empleado basta aproximar el valor de e hasta el minuto. Los almanaques dan los valores de e , o bien de $12 \text{ h} + e$, (P.M.G.) para cada día del año, aproximados a décimas de minuto (véanse tablas del apéndice).

El punto de la costa para el que debe hacerse la lectura del ángulo de la demora es el definido por la intersección del horizonte (línea que separa el mar del cielo) con el perfil de la costa (véase figura IV.14); cuando ésta es muy baja salen más las puntas, cuando es perfectamente acantilada coincide el punto más saliente con el de la lectura.

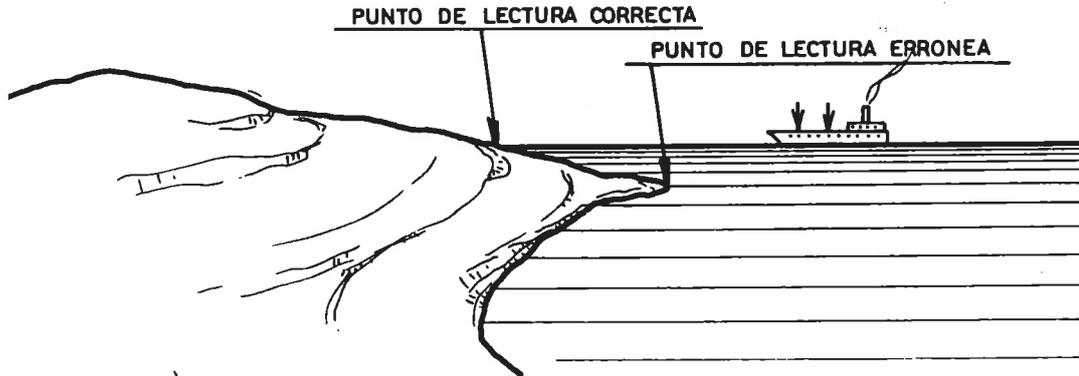


Figura IV.14. Punto de lectura para determinar las demoras de ocultación

IV.1.4.2.2.- A cualquier hora

En el caso de que se tome la dirección del Sol en una hora cualquiera del día podrá hacerse la determinación del Norte verdadero de forma analítica del siguiente modo

Observando la figura IV.15. donde:

N = polo norte celeste

S = polo sur celeste

N_H = polo norte del horizonte racional

S_H = polo sur del horizonte racional

NBSA = meridiano del lugar (que coincide con el plano del papel)

φ = latitud del lugar

Z_e = zenit del lugar

N_a = nadir del lugar

O_1 = centro de la circunferencia de la órbita aparente del Sol

O = centro de la Tierra

α = declinación del Sol

D = punto donde se encuentra el Sol en el momento de hacer la observación con la plomada (en la dirección vertical, OZ), sobre el plano del horizonte racional.

C = punto del horizonte racional en la dirección del Sol cuando éste está situado en D .

F = punto de intersección del meridiano del lugar y la circunferencia de órbita aparente del Sol.

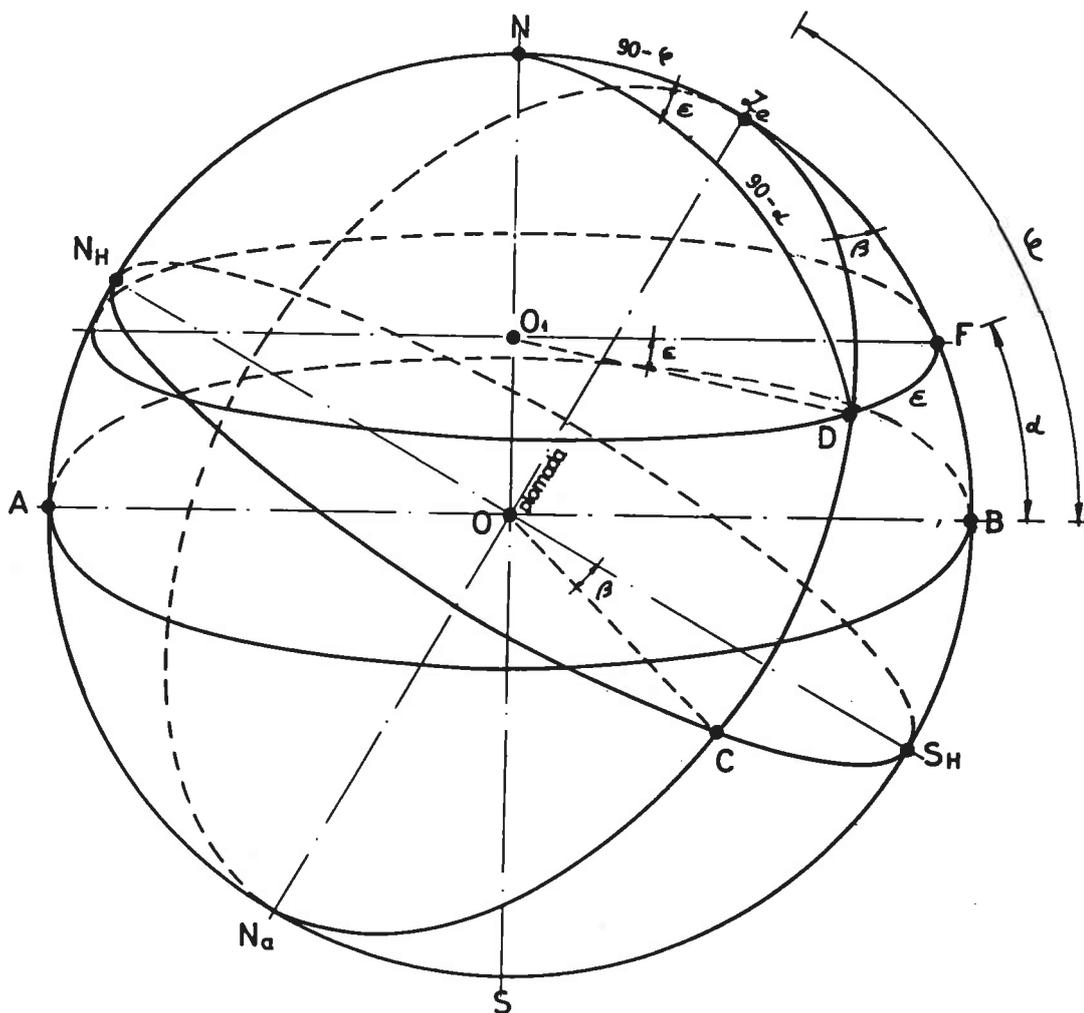


Figura IV.15. Determinación del Norte verdadero de forma analítica

interesa determinar el ángulo que la sombra de la plomada forma con el meridiano del lugar

$$\beta = \widehat{C O S_H}$$

que es el que da la dirección del Norte verdadero.

Atendiendo al triángulo esférico $NZ_e D$ donde se conoce:

$$\widehat{N Z_e} = 90^\circ - \varphi$$

$$\widehat{N D} = 90^\circ - \alpha$$

$$\widehat{Z_e N D} = \varepsilon^\circ$$

siendo ε el arco $\widehat{D F}$ de órbita aparente que precede, o sigue, al mediodía en el momento de realizar la observación; si t es la diferencia de tiempo del momento de la observación al mediodía medida en horas (osea reduciendo los minutos y segundos a horas) será evidentemente:

$$\varepsilon = \frac{t}{15}$$

En el triángulo citado se calcula el ángulo $\widehat{N Z_e D}$ cuyo suplementario es β . Resulta así:

$$\frac{\text{sen}(90^\circ - \alpha)}{\text{sen}(180^\circ - \beta)} = \frac{\text{sen} \widehat{Z_e D}}{\text{sen} \varepsilon}$$

$$\text{sen} \beta = \frac{\cos \alpha \text{sen} \varepsilon}{\text{sen} \widehat{Z_e D}} \quad \text{donde } \widehat{Z_e D} \text{ resulta de:}$$

$$\cos \widehat{Z_e D} = \cos(90^\circ - \varphi) \cos(90^\circ - \alpha) + \text{sen}(90^\circ - \varphi) \text{sen}(90^\circ - \alpha) \cos \varepsilon$$

$$\cos \widehat{Z_e D} = \text{sen} \varphi \text{sen} \alpha + \cos \varphi \cos \alpha \cos \varepsilon$$

resultando así:

$$\text{sen} \beta = \frac{\cos \alpha \text{sen} \varepsilon}{\sqrt{1 - (\text{sen} \varphi \text{sen} \alpha - \cos \varphi \cos \alpha \cos \varepsilon)^2}} \quad \text{donde}$$

ε ha de considerarse partiendo del valor que el almanaque (se trata del náutico que edita el Instituto Hidrográfico de la Marina o bien otro) da para el paso del Sol por el Meridiano, es decir t es la diferencia entre dicho valor horario del almanaque y la hora que se efectúa la observación.

IV.2.- ENFILACIONES

Las enfilaciones están constituidas por un conjunto de dos luces, una anterior y otra posterior siendo más bajo el plano focal correspondiente a la luz anterior. Constituyen un excelente sistema de guía de los buques a lo largo de canales, pasos navegables o zonas litorales con escollos. El problema que se plantea al Ingeniero, en estos casos, es el de determinar la distancia que debe haber entre las dos luces, denominada base, y la diferencia de cota de planos focales; también, y de acuerdo con los métodos que ya se han tratado en temas anteriores, debe determinar las intensidades luminosas.

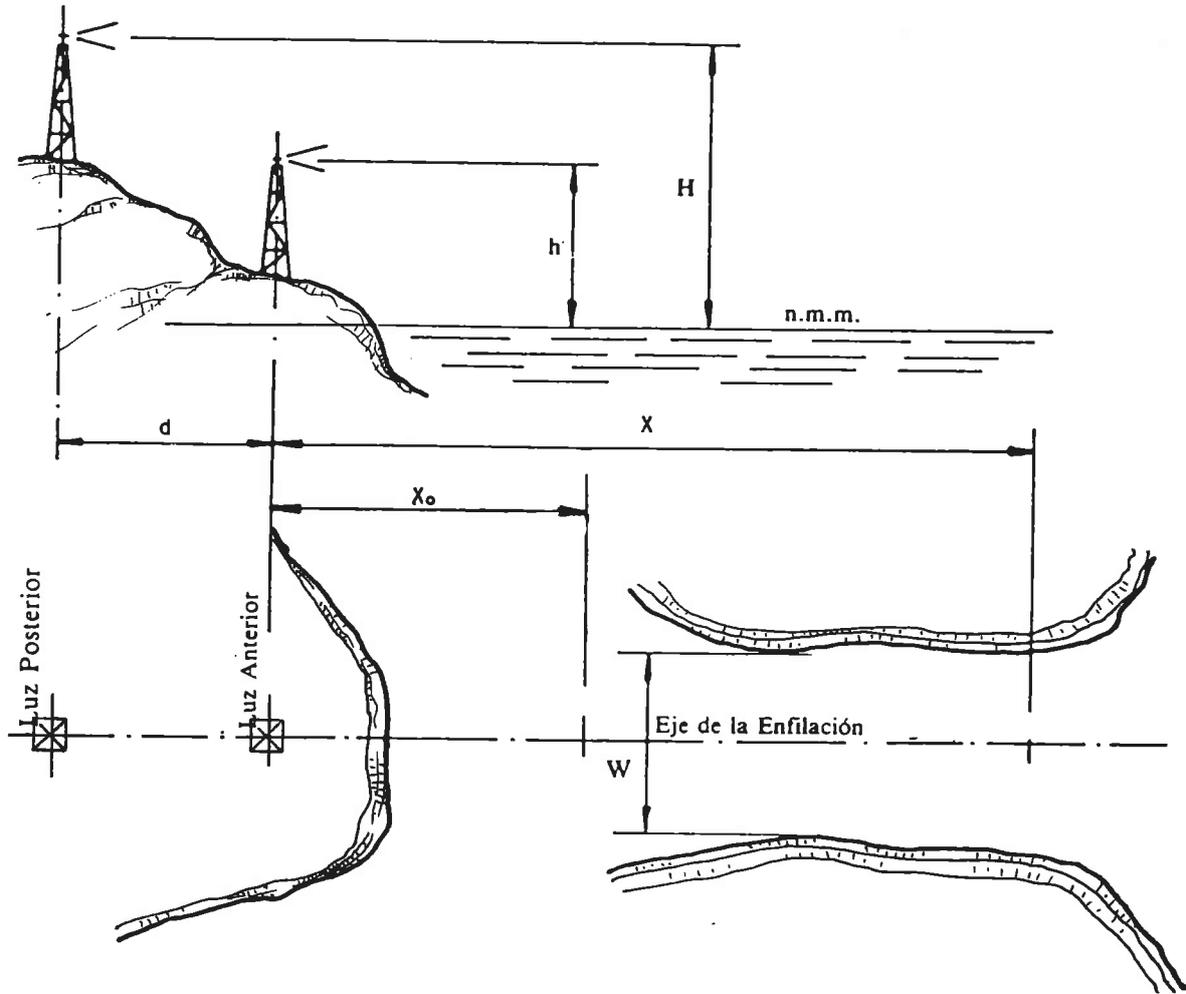
La proyección horizontal de la línea que une las dos luces es el "eje de enfilación".

La luz que se encuentra más cerca del buque cuando éste usa la enfilación se llama "luz anterior", y la otra se llama "luz posterior".

La zona donde el buque busca la enfilación, en la cual percibe una de las luces al menos, por mala visibilidad, se llama "zona de adquisición".

El tramo del canal de entrada, a lo largo del cual los buques son guiados por la enfilación es el "segmento de uti-

lización" ($X - X_0$ en la figura IV.16) o "longitud útil de la enfilación".



- X = distancia desde la luz anterior al extremo anterior de la enfilación (límite del alcance).
 X_0 = distancia desde la luz anterior al extremo posterior de la enfilación.
 d = distancia desde la luz anterior a la luz posterior.
 H = altura de la luz posterior.
 h = altura de la luz anterior.
 W = ancho del canal.

Figura IV.16. Luces de enfilación

IV-2.1.- Cálculo de la base

La base se determina partiendo de las hipótesis de que el "ángulo náutico de visión distinta" desde las dos luces (δ) sea:

$$\delta = \frac{1}{1.000} \text{ radianes en puertos o pasos en que el canal es utilizado por buques de gran tonelaje, lentos en obedecer al timón o en los que existan corrientes que desvíen a los buques de su ruta.}$$

$\delta = \frac{1,25}{1.000}$ cuando alguna razón especial aconseje aumentar este ángulo.

$\delta = \frac{1}{2.000}$ se puede admitir este valor en los restantes casos.

Obsérvese la figura IV.17 : si el buque va navegando por el punto A y se considera que no puede acercarse, por razones de seguridad o por la batimetría, a distancia inferior a "R" de la costa, resultará que la máxima desviación admisible de la ruta se tendrá en el punto A desviándose una distancia "a".

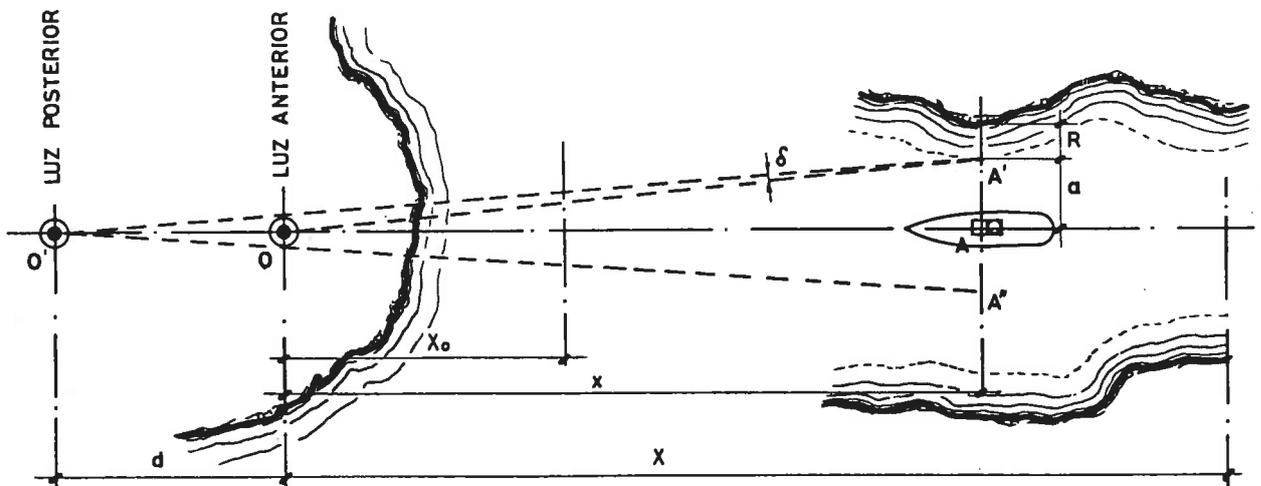
En estas condiciones, aproximando los arcos por las tangentes, se tiene:

$$\delta = A' O A - A' O' A = \frac{a}{x} - \frac{a}{x + d} = \frac{a \cdot d}{x (x + d)}$$

$$\delta = \frac{a \cdot d}{x (x + d)}$$

$$a = \delta \frac{x (x + d)}{d}$$

Debe cumplirse esta condición a lo largo de la ruta que debe seguirse con la enfilación. Para comprobarla se siguen estos dos métodos.



- d = distancia entre las dos luces
- x = distancia de la luz anterior al extremo posterior de la enfilación
- x⁰ = distancia de la luz anterior al extremo anterior de la enfilación

Figura IV.17. Ángulo máximo de visión en una enfilación

IV.2.1.1.- Primer método

Se fija a estima una base d y se dibuja el límite de la banda náutica de seguridad de ancho R que puede tomarse, a partir del obstáculo o batimétrica mínima igual al resguardo señalado en el tratado "Obras Marítimas" del Profesor Iribarren (parágrafo 113), es decir, media eslora.

Dibujado el eje de la enfilación se pueden trazar las curvas:

$$\delta = \frac{a d}{x (x + d)}$$

tomando para cada x la a máxima posible que da el gráfico (figura IV.18).

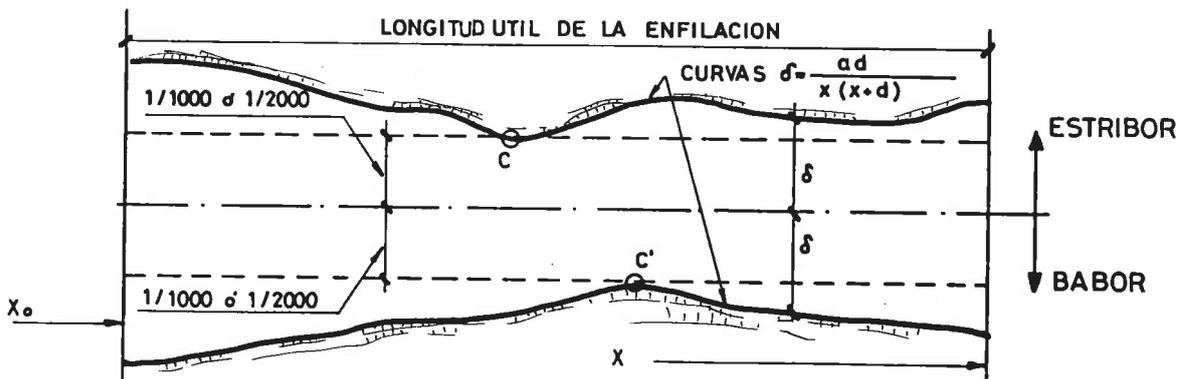


Figura IV.18. Curvas $\delta = \frac{ad}{x(x+d)}$ en la longitud útil de la enfilación

Dibujadas las curvas de babor y de estribor pueden darse tres casos:

1º) Que las dos o una de las curvas δ corten a las líneas de resguardo.

2º) Que las dos o una de las curvas sean a lo sumo tangentes a las de resguardo.

3º) Que las curvas δ estén en todo punto comprendidas entre las de resguardo.

En el primer caso la base adoptada d es inadecuada; en el segundo (caso de la figura IV.18) la base estará exactamente determinada ya que se consigue la tangencia en ambas bandas en C y C' ; en el tercero la base supone una banda náutica de seguridad mayor que la admitida lo cual implica, como veremos, una altura para el plano focal de la luz posterior superior a la necesaria por lo que en muchos casos, por cuestiones de índole económica, tampoco será aceptable la base supuesta d .

La aplicación del método supone el tanteo de varias solucio-

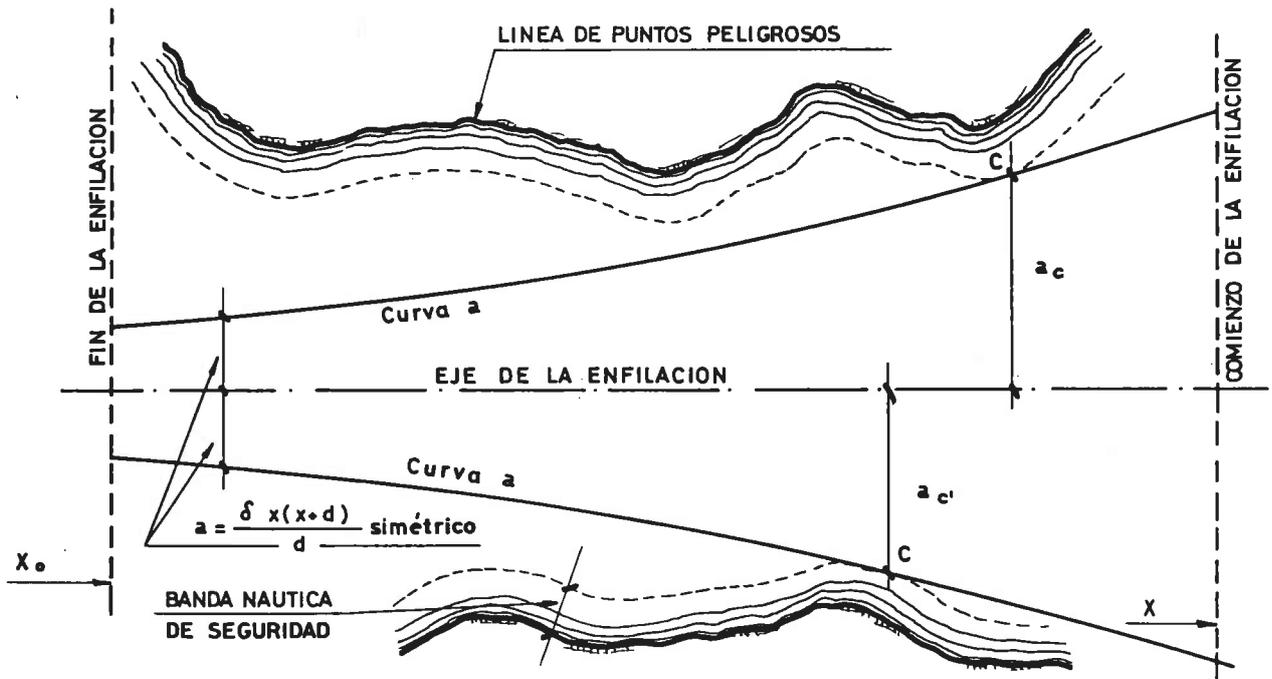


Figura IV.19. Curva $a = \frac{\delta x(x+d)}{d}$ en la longitud útil de la enfilación

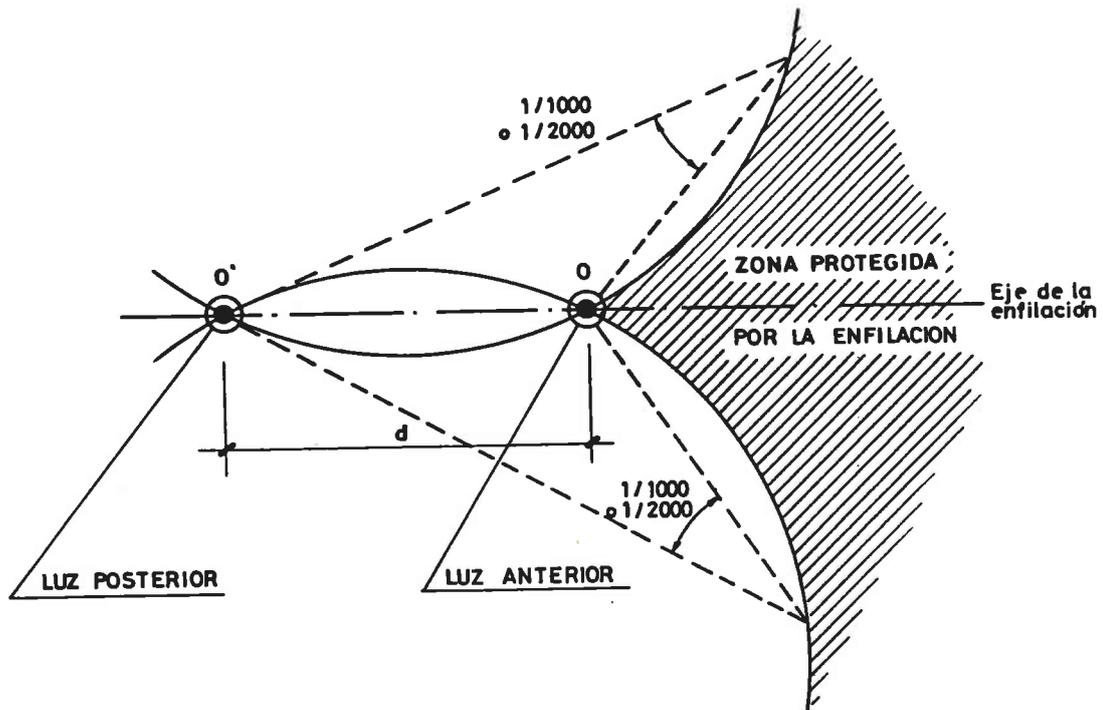


Figura IV.20. Zona protegida por una enfilación

nes hasta llegar a la adecuada; cuando existen por ambos márgenes respectivamente, sólo dos puntos claramente adelantados que puedan ser rebasados por la curva de los δ cabe resolver el problema mediante dos curvas de error: una para la determinación de la base d y otra para la de la alineación óptima.

La primera curva de error corresponde a la que tiene por abscisas los valores de la base d y por ordenadas el error máximo $\delta - \delta_c$ para el punto más desfavorable de una margen; el valor adecuado provisional de d_f será el que corresponde a $\delta - \delta_c = 0$.

La segunda curva de error corresponde a la que tiene por abscisas diferentes d_f correspondientes a desplazamientos r paralelos del eje de enfilación y por ordenadas el error máximo $\delta - \delta_c$, para el punto más desfavorable de la otra margen; el valor final adecuado de d_f será el que corresponde a $\delta - \delta_c = 0$ que irá ligado a cierto valor de r .

De este modo queda definido d y la paralela óptima de alineación; en general en estos tanteos es invariable el valor de X_0 . Se supone que la orientación de la enfilación, predeterminada, no experimenta variación; no obstante en un estudio muy detallado cabría hallar las diferentes d correspondientes a varias enfilaciones y obtener el mínimo por una tercera curva de error.

IV.2.1.2.- Segundo método

Si en el método anterior se han comparado los valores de δ calculados para determinadas d con los mínimos supuestos, en este segundo método se comparan los valores de a para ciertos valores d , también predeterminados, con los teóricamente óptimos.

Según se ha visto:

$$a = \delta \frac{x(x+d)}{d}$$

por lo que el procedimiento será el siguiente:

Supuestas varias d se trazan las curvas (figura IV.19), obteniéndose para cada d cierto error mínimo " $a - a_c$ ". Se construye la curva de error tomando como abscisas los valores d y como ordenadas " $a - a_c$ "; el valor d que corresponde a " $a - a_c = 0$ " será el provisionalmente adecuado.

A continuación se deben repetir las operaciones dibujando nuevos ejes de enfilación paralelos y separados r del primero y siendo para cada d determinado, como anteriormente se ha expuesto, el error " $a - a_c$ "; dibujamos otra curva de error tomando como abscisas los valores d provisionalmente hallados y como ordenadas los " $a - a_c$ "; para " $a - a_c = 0$ " obtendremos el valor d óptimo que, a su vez, corresponderá a un valor r que nos determinará la alineación más adecuada.

Las curvas a no son sino los arcos de circunferencia correspondientes a los arcos capaces de δ (0,001 ó 0,0005 según se adopte) (figura IV.20).

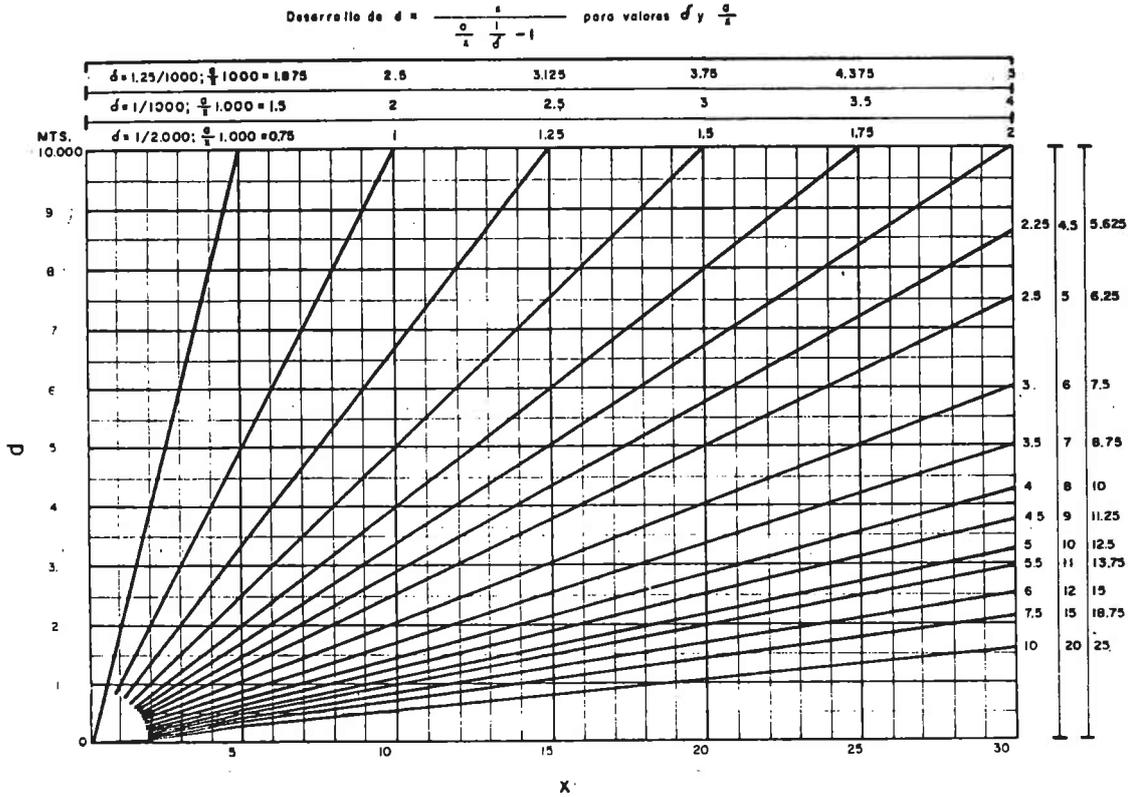


Figura IV.21. Abaco para la determinación de:

- d = valor de la base
- x = distancia desde el punto de observación en el lugar donde está el paso a la luz anterior, en la misma unidad de d .
- a = semiancho del paso en el punto más angosto.
- δ = ángulo (radianes) que para el observador forman las dos luces en el momento en que se percibe de su separación de la enfilación.

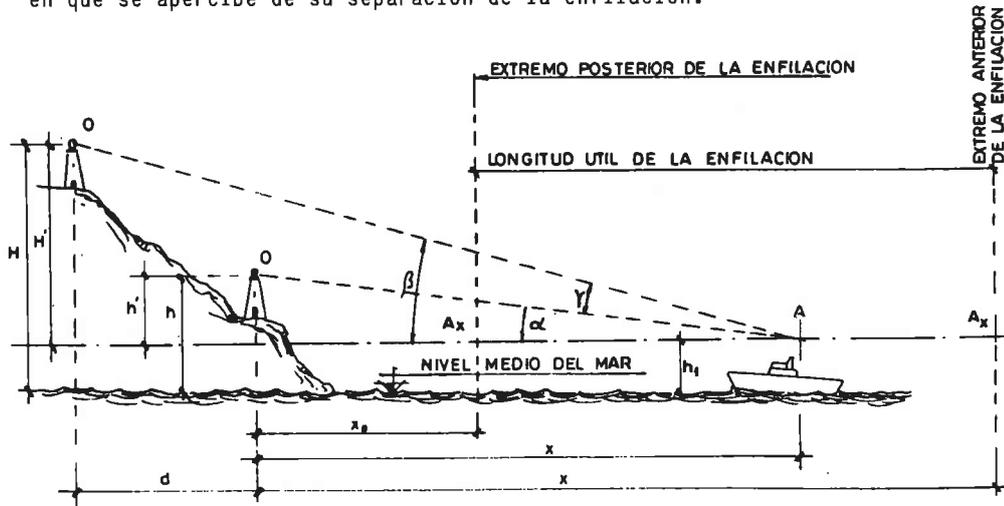


Figura IV.22. Altura de los planos focales de las luces de la enfilación

En las enfilaciones de corto alcance, inferior a las nueve millas, esta altura -determinada por aquella condición- es excesivamente pequeña por razones de seguridad y de otra índole, por lo que en estos casos se adopta un mínimo de $h = 5$ metros. Como nivel O del mar se cuenta el nivel medio del mar en reposo.

El valor de a dado por la fórmula y obtenido en el supuesto de considerar el valor del arco igual al de su tangente es función de 2º grado de x que representa la parábola tangente al círculo en O y en O' ; en efecto

1º) El eje es perpendicular a OO'

2º) para $x = 0$ $a = 0$ y derivando a con relación a x

$$\frac{da}{dx} = \frac{2\delta}{d} x + \delta$$

para $x = 0$ $\frac{da}{dx} = \delta$ (luego es tangente en O)

3º) Para $x = d$ $a = 0$ y de la derivada resulta:

para $x = -d$ $\frac{da}{dx} = -\delta$ (luego es tangente en O')

IV.2.1.3.- Base fija

Si las condiciones topográficas limitan la longitud de la base d sólo cabe determinar las curvas a y si quedan obstáculos dentro de la zona señalada como segura por la enfilación, disponer luces o balizamientos complementarios.

Otro caso puede darse en que la base quede fijada directamente: aquel en que se conoce exactamente la separación a para la distancia x (por ejemplo un canal dragado). En este caso deduciendo d resulta:

$$d = \frac{x}{\frac{a}{x} \frac{1}{\delta} - 1}$$

fórmula que puede desarrollarse en ábacos para valores de δ como los de la figura IV.21. Estos ábacos facilitan la labor de los métodos expuestos en los apartados anteriores; en dichos ábacos se admite que las curvas a se transforman en rectas, al hacer depender linealmente a de x .

IV.2.2.- Cálculo de la altura de los planos focales

Para lo que se expone en el presente apartado se siguen las notaciones que se señalan en la figura IV.22.

La altura h_1 es discrecional, si bien los Servicios de Faros suelen admitir actualmente la de 5 metros.

IV.2.2.1.- De la luz anterior

La altura h se determina con la condición de que el alcance geográfico sea igual o superior al de la enfilación.

IV.2.2.2.- De la luz posterior

Se determina con la condición de que el ángulo vertical y de visión de las dos luces sea, en todo el recorrido de la enfilación, igual, como mínimo al "ángulo náutico de visión distinta" de las dos luces, pudiendo variar entre 2' y 8' a lo largo de la enfilación. El valor que se toma habitualmente en los cálculos es el de 1 : 1.000 radianes que equivale a unos 3,5'. Las equivalencias son:

<u>Minutos</u>	<u>Tangentes</u>	<u>Minutos</u>	<u>Tangentes</u>
1	0,00029	6	0,00175
2	0,00058	7	0,00204
3	0,00087	8	0,00233
4	0,00116	9	0,00262
5	0,00145	10	0,00291

Evidentemente se tiene:

$$H' = (x + d) \operatorname{tg} \beta = (x + d) \operatorname{tg} (\alpha + \gamma)$$

$$H' = (x + d) \frac{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \gamma}{1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \gamma} \quad \text{y como:} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{h'}{x}$$

$$H' = (x + d) \frac{h' + x \operatorname{tg} \gamma}{x - h' \operatorname{tg} \gamma}$$

y si se adopta $\operatorname{tg} \gamma = 1 : 1.000$

$$H' = (x + d) \frac{1000 h' + x}{1000 x - h'}$$

que debe cumplirse en el campo de variación:

$$X_0 < x < X$$

Conocidos, como son, d y h' se calcula el valor de H' para $x = X_0$ y $x = X$, adoptando el máximo. Si para los puntos A_{X_0} y A_X que corresponden a estos dos valores, se cumple -estricta o sobradamente- la condición expresada por la fórmula, también se cumplirá para los intermedios; en efecto: como la altura de la visual horizontal en todo el segmento de utilización se mantiene por encima del arco capaz del ángulo que subtiende $O O'$ (γ) -cuya ecuación es la fórmula anterior-, si en ambos puntos A_{X_0} y A_X se cumple $\gamma > 1 : 1000$, para todos los ángulos intermedios γ_i será

$$\gamma_i > \gamma > 1 : 1000$$

IV.2.3.- Sensibilidad lateral

La sensibilidad lateral de una enfilación es una caracterís-

tica de la misma que mide la rapidez de apertura del ángulo de las luces cuando el buque se aparta del eje. Pone de manifiesto la rapidez con que el navegante puede apercibirse de cualquier desviación de la ruta.

Por lo expuesto en apartados anteriores se ha visto que, hasta alcanzar las condiciones mínimas, pueden adoptarse muchas soluciones para una enfilación, en general limitadas por motivos económicos al resultar torretas altas. En estos casos el coeficiente de sensibilidad lateral S constituye un excelente criterio para la determinación de la solución definitiva; al final se incluye este criterio, según las prescripciones de "United States of America Coast Guard".

Si W es el ancho del canal o del paso navegable:

$$X = 2 a$$

y se define como emplazamiento de un buque, situado a la distancia y del eje, a la relación y/W y por otra parte se admite que la "sensibilidad de reconocimiento" de la enfilación (apercibimiento de que las dos luces no están en la vertical) depende de la relación de ángulos δ/γ se define como "coeficiente de sensibilidad lateral" S el límite de la relación:

$$S = \lim \frac{d \left(\frac{\delta}{\gamma} \right)}{d \left(\frac{y}{W} \right)} \quad \text{cuando } d \left(\frac{y}{W} \right) \rightarrow 0$$

Según se ha visto en IV.2.1.:

$$\delta = \frac{y \cdot d}{x(x+d)} \quad (1)$$

y de la expresión de H' de IV.2.2.2. se deduce:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\frac{H'}{x+d} - \operatorname{tg} \alpha}{\frac{H' \operatorname{tg} \alpha}{x+d} + 1} \quad (2)$$

que, teniendo en cuenta: $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h'}{x}$ se transforma en:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\frac{H'}{x+d} x - h'}{\frac{h' H'}{x+d} + x} \quad (3) \text{ donde,}$$

dados los pequeños valores de los ángulos, se puede admitir que $\text{tg } \gamma = \gamma$.

De las primera y tercera expresiones resulta:

$$\frac{\delta}{\gamma} = \frac{y \cdot d \left(\frac{h' H'}{x + d} + x \right)}{H' x^2 - h' x (x + d)} \quad \text{y derivando con } y = W \frac{y}{W}:$$

$$S = \frac{d \left(\frac{\delta}{\gamma} \right)}{d \left(\frac{y}{W} \right)} = \frac{W \cdot d}{x} \frac{x^2 + d x + H' h'}{(H' - h') x^2 + (d H' - 2 d h') x - h' d^2}$$

teniendo en cuenta que, dada la gran diferencia de valores de d , H' y h' con relación a x , que es relativamente muy superior, la relación última se reduce prácticamente a la de los coeficientes de los términos de 2º grado, por lo que se puede admitir la aproximación:

$$S = \frac{W \cdot d}{x} \frac{1}{(H' - h')}$$

Finalmente teniendo en cuenta que:

$$H' - h' = H - h$$

se obtiene:

$$S = \frac{W \cdot d}{x (H - h)}$$

Esta expresión corresponde a la que fue presentada en el interesante estudio del Ingeniero del USCG Sr. Cicolella en la Conferencia Internacional de Señales Marítimas de Scheveningen de 1955.

El criterio de elección a que se ha hecho referencia, conociendo el valor de S , es el de la siguiente tabla IV.6.

Para tanteos previos o resolución de casos sencillos son muy útiles las tablas IV.7.a. y IV.7.b., que dan el valor de la base d , la diferencia de alturas de planos focales $H - h$ y la separación máxima a en función del coeficiente de sensibilidad lateral, en los supuestos de $d = x : 10$ y $d = x : 6$

Las cifras de las dos tablas mencionadas resultan de:

$$H - h = (x + d) \text{tg } \gamma + h' \frac{d}{x}; \quad a = \frac{S x}{2 (H - h) d} \quad \text{donde:}$$

- H = altura de la luz posterior sobre el nivel del mar.
 h = altura de la luz anterior sobre el nivel del mar.
 h' = altura de la luz anterior sobre el nivel del ojo del observador.
 d = distancia del observador a la luz anterior.
 γ = ángulo vertical que forman las dos luces para el observador en el eje = $4'$
 a = semiancho del canal navegable según la enfilación.
 S = sensibilidad lateral.

Valor de S	Calidad de la enfilación	Observaciones
menor de 0,6 0,6 a 0,1	Inutilizable Mala	La enfilación debe ser mejorada La enfilación debe mejorarse si es materialmente posible, aunque se necesiten grandes gastos.
1,0 a 1,5	Regular	La enfilación debe mejorarse si el gasto necesario es moderado.
1,5 a 2,5	Buena	La enfilación debe mejorarse sólo si el gasto necesario es muy pequeño.
2,5 a 3,5	Muy buena	Es inútil hacer el menor gasto para mejorar la enfilación.
3,5 a 4,5	Excelente	Límite máximo por encima del cual sería contraproducente aumentar la sensibilidad, pues podría inducir a los navegantes al error de que las partes laterales del canal no son navegables

Tabla IV.6. Criterios de calidad de una enfilación, en función de su sensibilidad lateral S

x Millas Metros	Pies	$d = 1/10x$					$d = 1/6x$				
		d Metros-pies	H - h Metros	a Metros			d Metros-pies	H - h Metros	a Metros		
				S = 1,5	S = 2,0	S = 2,5			S = 1,5	S = 2,0	S = 2,5
1 1.850	6.075	185 610	2,9	22	29	36	310 1.010	3,3	15	20	25
2 3.700	12.150	370 1.220	5,2	39	52	65	620 2.030	5,8	26	35	44
3 5.560	18.230	555 1.820	7,6	57	76	95	930 3.040	8,4	37	50	63
4 7.410	24.300	740 2.430	10,0	75	100	125	1.240 4.050	10,9	49	65	81
5 9.260	30.380	925 3.040	12,3	93	123	154	1.550 5.060	13,4	70	80	100
6 11.110	36.450	1.110 3.650	14,7	110	147	184	1.850 6.060	15,9	71	95	119
7 12.960	42.520	1.295 4.250	17,0	128	170	212	2.160 7.090	18,4	83	110	137
8 14.820	48.600	1.480 4.860	19,3	145	193	241	2.470 8.100	20,9	94	125	156
9 16.670	54.670	1.665 5.470	21,7	162	217	272	2.780 9.110	23,4	105	140	175
10 18.500	60.750	1.850 6.080	24,1	180	240	300	3.090 10.100	25,9	116	155	194

Tabla IV.7.a. Valores de "H - h" y de "a" con h = 5 metros (16,4 pies)

x Metros Millas Pies	d = 1/10x						d = 1/6x					
	d Metros-pies	H - h Metros	a Metros			d Metros-pies	H - h Metros	a Metros				
			S = 1,5	S = 2,0	S = 2,5			S = 1,5	S = 2,0	S = 2,5		
1.850 1 6.075	185 610	3,3	25	33	42	310 1.010	4,2	19	25	32		
2 3.700 12.150	370 1.220	5,7	42	57	71	620 2.030	6,7	30	40	50		
3 5.560 18.230	555 1.820	8,1	60	81	100	930 3.040	9,2	41	55	69		
4 7.410 24.300	740 2.430	10,5	73	105	130	1.240 4.050	11,7	53	70	87		
5 9.260 30.380	925 3.040	12,8	96	128	160	1.550 5.060	14,2	64	85	106		
6 11.110 36.450	1.110 3.650	15,2	114	152	190	1.850 6.060	16,7	75	100	125		
7 12.960 42.520	1.295 4.250	17,5	132	175	219	2.160 7.090	19,2	86	115	144		
8 14.820 48.600	1.480 4.860	19,9	149	198	248	2.470 8.100	21,7	98	130	162		
9 16.670 54.670	1.665 5.470	22,2	167	222	277	2.780 9.110	24,2	109	145	181		
10 18.500 60.750	1.850 6.080	24,6	184	245	306	3.090 10.100	26,7	120	160	200		

Tabla IV.17.b. Valores de "H - h" y de "a" con h = 10 metros (32,8 pies)

Si W es el ancho total del paso o del canal, deberá tenderse a que:

$$a = \frac{W}{4} \text{ para los canales estrechos}$$

$$a = \frac{W}{3} \text{ para los grandes canales (muy anchos)}$$

IV-2.4.- Cálculo de la instalación luminosa

IV-2.4.1.- Peculiaridades

Este cálculo es el correspondiente a una señal marítima normal del que ya se ha tratado.

Para el cálculo del alcance luminoso pueden utilizarse los ábacos expuestos anteriormente o bien los de la figura IV.23 que se

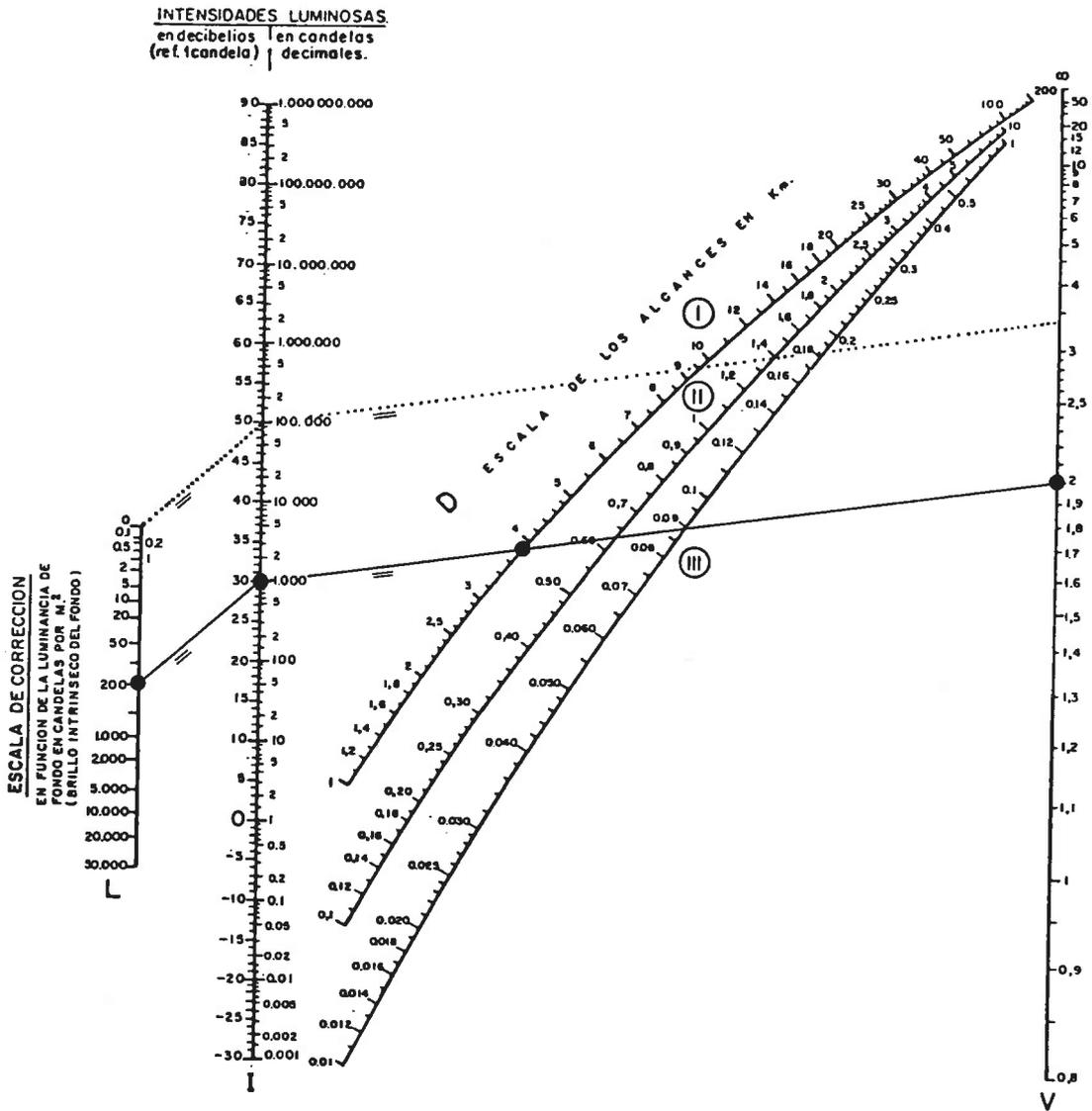


Figura IV.23. Abaco triple de puntos alineados para el cálculo del alcance de las luces. En el ejemplo $L = 200 \text{ cd/m}^2$; $I = 100.000 \text{ cd}$; $V = 2.000 \text{ m}$. Ello supone $D = 3,8 \text{ Km}$. (leído en la escala I).

Se une el cero de la escala de corrección con el valor de la intensidad luminosa. Se traza una paralela a esta recta a partir del valor de la luminancia y el punto de intersección con la escala de intensidades luminosas se une con el valor de la visibilidad meteorológica, obteniéndose el valor del alcance

refieren también a la fórmula de Allard puesta en la forma :

$$E_o \cdot D^2 = I \cdot C^{D/V}$$

donde:

- D = alcance en kilómetros.
 E_o = límite inferior de percepción de la luz ($0,2 \cdot 10^{-6}$ lux)
 I = intensidad luminosa en c.d. (también se expone una escala en decibelios, es decir, diez veces el logaritmo decimal del número de candelas).
 C = contraste estricto apreciable de día, cuyo valor se ha normalizado a $C = 0,05$ con $\log C = -1,3$.
 V = distancia de visibilidad meteorológica según las informaciones MAFOR de previsión para la navegación marítima.

El ábaco tiene una aplicación general, permitiendo la escala auxiliar la determinación de los alcances de las luces durante el día.

La máxima intensidad luminosa práctica de las luces es de 57 d B, ya que el halo que se produce con valores superiores no permite la distinción perfecta de las dos luces.

Respecto al límite inferior de percepción de la luz hay que decir que $0,2 \cdot 10^{-6}$ lux no es apropiado para las enfilaciones.

La AISM recomienda tomar $1 \cdot 10^{-6}$ lux (el umbral usado en señalización aeronáutica) para la "zona de utilización" y $0,2 \cdot 10^{-6}$ lux para la "zona de adquisición".

Ello ha de tenerse en cuenta al manejar los ábacos.

Este límite permite, de acuerdo con las tendencias modernas, que funcione la enfilación incluso durante el día cuando las condiciones de visibilidad disminuyen no permitiendo una clara percepción de la enfilación diurna (torretas o rombos).

En cuanto a la apariencia luminosa, el Reglamento para Balizamiento de las Costas Españolas, aprobado por Decreto de 22 de abril de 1949 (hoy derogado), establecía en su artículo 23 que en las enfilaciones "las luces serán blancas y los ritmos de tal forma que mientras aparezcan dos destellos en la luz anterior dure encendido el destello de la posterior". Posteriormente se derogó la exigencia de la luz blanca.

Las luces no pueden ser fijas ya que, por existir en los puertos otras luces de viviendas, alumbrados públicos, etc., hay posibilidad de confusión.

IV-2.4.2.- Equilibrado de las iluminaciones

Es recomendable que las intensidades luminosas que corresponden a las luces anterior y posterior se calculen de tal modo que el observador las contemple con una cierta equiparación; a este objeto debe dotarse de más intensidad la luz posterior. El coeficiente de mayoración que se adopta, K, da una intensidad, media geométrica, entre las dos exactamente equiparables de cada extremo.

$$K = \frac{X (X_0 + d)}{X_0 (X + d)}$$

donde las cantidades que intervienen en la fórmula tienen la significación que se indica en la figura IV.22.

La deducción de la fórmula resulta según sigue. Sean:

$I'p$ = intensidad luminosa que debe tener la luz posterior para que en el origen (extremo de dentro) de la enfilación el ojo del observador esté con igual nivel de iluminación con la luz anterior y con la luz posterior.

I_p = igual concepto para el final de la enfilación (la de cálculo).

I_a = intensidad luminosa de la luz anterior (la de cálculo).

Evidentemente, (IV.1.2.) igualando iluminaciones, resulta:

$$\frac{I'p \frac{c^{X_0 + d}}{(X_0 + d)^2}}{c^{X_0} X_0^2} = \frac{I_a c^{X_0}}{X_0^2} \text{ y } \frac{I_p \frac{c^{X + d}}{(X + d)^2}}{c^X X^2} = \frac{I_a c^X}{X^2}$$

y de ambas expresiones se deduce:

$$\frac{I'p}{I_p} = \frac{c^{X_0} (X_0 + d)^2}{c^{X_0 + d} X_0^2} : \frac{c^X (X + d)^2}{c^{X + d} X^2} = \frac{X^2 (X_0 + d)^2}{X_0^2 (X + d)^2}$$

y como por definición:

$$K = \frac{\sqrt{I'p I_p}}{I_p} = \sqrt{\frac{I'p}{I_p}}$$

queda la fórmula expuesta.

IV-3.- SECTORES ESPECIALES

IV-3.1.- Deslumbramiento

El deslumbramiento puede producirse, en general, en aquellos faros ubicados en las bocas de los puertos o bien en puntos muy acusados del litoral, donde la navegación tiene lugar en sus inmediatas proximidades. Es un inconveniente difícil de combatir por regla general y que impide, a veces, conseguir grandes alcances en estos faros.

En señales marítimas se admite que se produce deslumbramiento cuando el nivel de iluminación en la vista del navegante alcanza valores superiores a los 0,1 lux; la distancia d_2 a que se produce dicha iluminación se denomina distancia de deslumbramiento y vale:

$$d_2 = \sqrt{\frac{I_e}{0,1}}$$

donde:

I_e = intensidad eficaz en candelas.

d_2 = distancia de deslumbramiento en metros.

que se deduce de la fórmula de Allard con $T = 1$ (válido para cortas distancias).

Para que se produzca deslumbramiento es preciso, obviamente, que la vista del observador se encuentre a suficiente altura sobre el nivel del mar para que alcance el haz luminoso, que depende de la divergencia vertical; por consiguiente, si d_1 es la distancia en que el ojo del observador se encuentra situado en el borde inferior del haz luminoso, se tendrá:

$$\Delta H = \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{f} \cdot d_1$$

Esta fórmula, cuyos símbolos tienen el significado que se expresa en el ábaco de la figura IV.24, permite estudiar el deslumbramiento; en efecto, si d_1 es mayor que d_2 en caso alguno podrá producirse deslumbramiento ya que el nivel de iluminación será inferior al máximo admisible, en todo caso; por el contrario si d_2 fuera mayor que d_1 habrá que estudiar como combatirlo. El deslumbramiento tiene mayor importancia en las ópticas de horizonte que en las giratorias, toda vez que en las primeras, donde se utilizan destelladores, las fases de luz son mucho más largas que en las segundas con destellos relámpagos.

IV-3.2.- Apantallamientos

Para evitar el deslumbramiento, sólo caben dos posibilidades; o disminuir la intensidad luminosa si las exigencias de alcance lo permiten, sea con apantallamiento de la señal o sustituyendo la fuente luminosa por otra de inferior luminancia; o elevar la cota del plano focal, para aumentar la distancia d_1 , procedimiento las más de las veces, impracticable por exigir alturas de torre desmesuradas, con los consiguientes efectos económicos desfavorables. El apantallamiento debe realizarse dejando inoperante parte de la óptica, hasta conseguir que la intensidad luminosa sea igual o inferior a la que produce el deslumbramiento.

En las ópticas de horizonte se apantallan los elementos cata-dióptricos y los anillos extremos del dioptrio, dejando sólo operante la parte de lente próxima al plano focal; la pantalla lleva pues una ranura y puede montarse en la propia óptica o en la linterna; en las ópticas giratorias, el apantallamiento tiende a disminuir superficie y no altura como en las de horizonte; y se ha de montar en la linterna.

Los apantallamientos sólo pueden constituir una solución cuando la recta de entrada en el punto, o bien la derrota seguida en

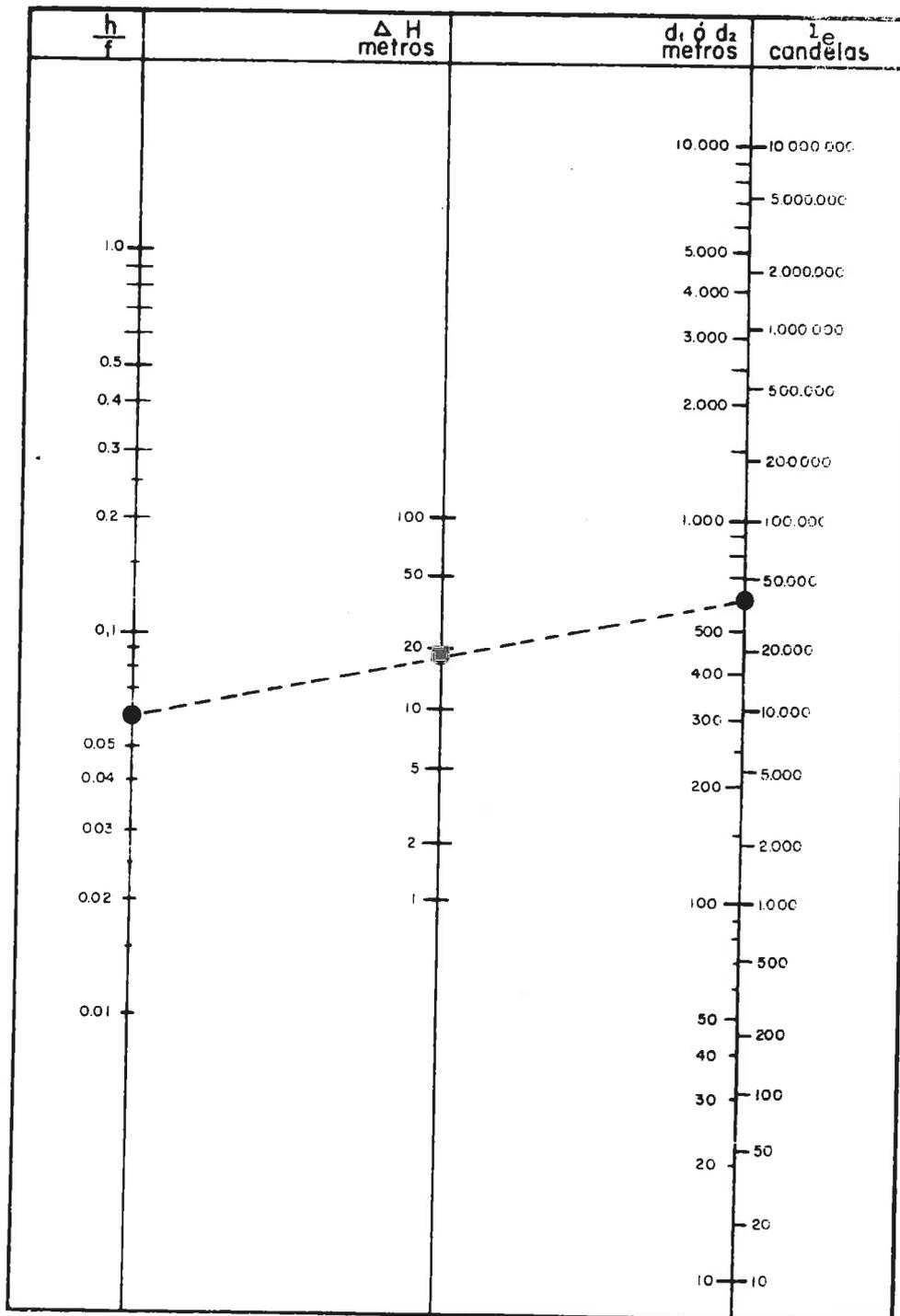


Figura IV.24. Abaco de puntos alineados de: $\frac{h}{f}$, ΔH , d_1 ó d_2 e I_e

donde:

- d_1 = distancia a la cual la vista del observador se aparta del haz luminoso.
- h = altura de la fuente luminosa.
- f = distancia focal de la óptica.
- ΔH = diferencia de altura que debe darse a la luz sobre la vista del navegante más elevado para que el haz luminoso no se reciba a una distancia inferior a d . (Se supone el centro de la fuente luminosa a la altura del foco)
- d_2 = distancia de deslumbramiento en metros.
- I_e = intensidad eficaz en candelas.

la zona donde pudiera producirse deslumbramiento, se encuentra situada en un sector cuyas demoras no coinciden con las correspondientes al sector del horizonte donde el faro ha de tener sus máximos alcances. Tal sucede en los puertos donde la boca se toma sensiblemente de modo paralelo a una costa cóncava en cuya dirección son menores las exigencias de alcance del faro.

Cabe también sustituir la fuente de luz por otra de luminancia análoga pero de menor altura, con lo que disminuye la divergencia vertical; este procedimiento, sin embargo, puede adolecer del inconveniente de exigir quemadores o lámparas no standard.

IV-3.3.- Coloración de sectores

También puede dotarse un faro de sectores de color (rojo, verde) para balizar bajos en recaladas, cuidando de disponer filtros de correcta situación en relación con las demoras determinadas con el auxilio del taquímetro, de las señales horarias y del almanaque náutico que recoge la hora de paso del sol por el meridiano (norte verdadero) según se expone en IV-1.4.2.

El "ángulo de indeterminación" del sector con iluminación solo parcial o de color mezclado viene dado evidentemente en ópticas de horizonte por la distancia de la pantalla, o filtro, al foco y por el ancho de la fuente de luz; y en ópticas giratorias por el ángulo de divergencia horizontal del haz.

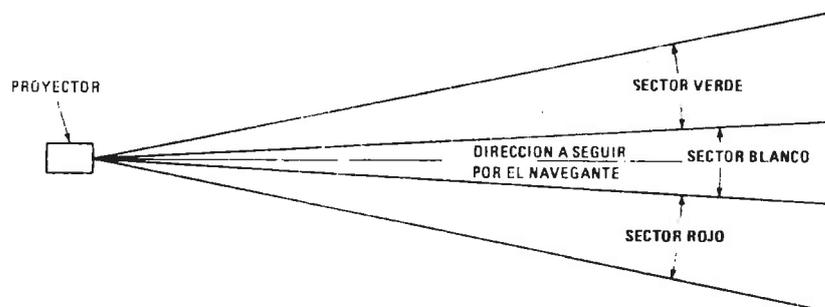


Figura IV.25. Luz direccional de sectores

IV-4.- SEÑALES AEROMARITIMAS

Las señales aeromarítimas que estuvieron en boga durante el principio de la navegación aérea, han ido perdiendo interés a medida que se han generalizado los sistemas de navegación por medio de señales radioeléctricas y el aumento de la velocidad y porte de los aviones.

Las señales marítimas reportan escasa utilidad para la navegación aérea a causa de los valores relativamente pequeños de las divergencias verticales de los haces; por ello los faros marítimos, si bien son perfectamente perceptibles en el horizonte por los aviones, pronto se pierden de vista ya que la aeronave no tarda en alcanzar cotas superiores al haz marítimo. Por esta circunstancia, si se quiere que las señales marítimas puedan al propio tiempo prestar servicio a la navegación aérea es necesario complementar los haces marítimos

con otros haces aéreos superpuestos que lancen cierto flujo luminoso por encima del haz marítimo.

IV.4.1.- Coefficientes de transmisión

Afortunadamente los valores de la transparencia atmosférica en las capas altas de la atmósfera son mayores que en las capas bajas, lo que implica menores exigencias de intensidad luminosa a igualdad de alcance. Esta misma circunstancia aconseja disponer los haces aéreos superpuestos de tal modo que la intensidad luminosa vaya decreciendo con el ángulo de inclinación; la O.A.C.I. (Organización de Aviación Civil Internacional) aconseja que esta distribución siga una Ley proporcional a:

$$\frac{\vartheta}{\gamma^2} \quad \text{donde:}$$

ϑ = ángulo en origen.

γ = ángulo de elevación de la visual.

En navegación aérea la transparencia alcanza el valor $A = 0,966$ (por km.) durante el 50% del año medio; el valor $A = 0,900$ se aproxima a una visibilidad del orden de las 9/10 partes del año; la O.A.C.I. prescribe el valor $A = 0,841$ para tiempo brumoso en los faros de aeropuerto.

A tenor de lo expuesto lo procedente es adoptar en los cálculos el valor $A = 0,966$ si se trata de faros que han de ser utilizados por aeronaves a gran distancia y $A = 0,841$ si los aerofaros han de ser utilizados en las proximidades de un aeropuerto.

IV-4.2.- Métodos de cálculo

De los tres métodos que se han venido utilizando: repartición del flujo luminoso aéreo en un solo sector; repartición en dos sectores, el inferior con mayor intensidad y el superior con menor; y repartición en tres sectores con intensidad decreciente de inferior a superior, elegimos este último por ser el que más se aproxima a las recomendaciones de la O.A.C.I.

Teniendo en cuenta la velocidad de la navegación aérea no es preciso cubrir la totalidad del ángulo comprendido entre el horizonte y el cenit sino sólo un pequeño ángulo inferior que corresponde a la mayor parte de la zona de navegación; efectivamente el ángulo de oscuridad teórica corresponde a un sector de cielo que rápidamente es atravesado por la aeronave, precisamente cuando menor necesidad tiene de la señal, o sea en el espacio aéreo inmediatamente próximo.

El ángulo correspondiente al sector del haz aéreo se ha establecido hasta 15° dividido en tres sectores de hasta cinco grados cada uno de los cuales se da lugar a una intensidad inversamente proporcional al cuadrado del ángulo.

IV-4.2.1.- El panel óptico

La óptica del haz aéreo tendrá tres partes: la primera, co-

respondiente al sector de 0° a 5°; la segunda, del sector de 5° a 10° y, por último, la tercera, del sector de 10° a 15°, que, si resulta de muy escasa cuantía, podrá suprimirse.

Primera parte.- Se dispone en ella un haz aéreo de intensidad:

$$I_{0.5} = \frac{Y}{100} I_0 \quad \text{donde:}$$

$I_{0.5}$ = intensidad, en candelas, en el sector 0° - 5°

I_0 = intensidad estacionaria del panel principal marítimo en candelas.

Y = proporción expresada en tanto por ciento que tiene el valor:

$$Y = \frac{3.000}{\sqrt{I_0}} + 1$$

En caso de que Y resulte superior a 10, se adopta como máximo este último valor: $Y = 10$

Segunda parte.- El haz aéreo se dispone con una intensidad:

$$I_{5.10} = \frac{Z}{100} I_0 \quad \text{donde:}$$

$I_{5.10}$ = intensidad, en candelas, en el sector 5° - 10°

Z = proporción expresada en tanto por ciento que tiene el valor:

$$Z = \frac{Y}{5} = \frac{1}{5} \left(\frac{3.000}{\sqrt{I_0}} + 1 \right)$$

Tercera parte.- La intensidad que se dispone vale:

$$I_{10.15} = \frac{W}{100} I_0 \quad \text{donde:}$$

$I_{10.15}$ = intensidad, en candelas, en el sector 10° - 15°

W = proporción expresada en tanto por ciento, que vale:

$$W = \frac{Z}{5} = \frac{Y}{25} = \frac{1}{25} \left(\frac{3.000}{\sqrt{I_0}} + 1 \right)$$

Conocidas las proporciones Y, Z, W, pueden hallarse las superficies de panel aéreo necesarias para cada una de las tres partes del sector, es decir, para producir las intensidades de los sectores parciales de 5°.

Las superficies del panel del haz aéreo serán:

$$S_{0.5} = \frac{Y}{80} \frac{2\delta_v + 5}{2\delta_v} S \quad \text{donde:}$$

$S_{0.5}$ = superficie del panel del haz aéreo en el sector 0° - 5° expresada en cm², para rendimientos del 80%.

$Y = \frac{3.000}{\sqrt{I_0}} + 1$, siendo I_0 = candelas del haz principal

$2\delta_v$ = Divergencia vertical del haz principal frente al panel del haz aéreo, expresado en grados sexagesimales.

S = superficie total de la óptica del haz marítimo, proyectada sobre un plano perpendicular al eje óptico en cm².

Las superficies de los paneles de los demás sectores serán análogamente:

$$S_{5.10} = \frac{Z}{80} \frac{2\delta_v + 5}{2\delta_v} S$$

$$S_{10.15} = \frac{W}{80} \frac{2\delta_v + 5}{2\delta_v} S$$

El valor de δ_v es precisamente el que tiene el haz principal o marítimo frente al panel, teniendo en cuenta que los paneles de haz aéreo se sitúan frente a los elementos del catadioptrio inferior más elevados o próximos al foco (ver figura IV.26). Se determina con la expresión:

$$2\delta_v = \frac{\sqrt{b^2 + h^2}}{f} \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha_0}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha_1}{2}}$$

En las ópticas de horizonte el haz aéreo se consigue simplemente eliminando el perfil de Fresnel de la lente de la óptica de tambor a partir del plano focal y hacia arriba; de este modo el haz marítimo se genera por medio del perfil escalonado de la óptica de tambor inferior más uno o dos anillos dióptricos que quedan bajo el bastidor

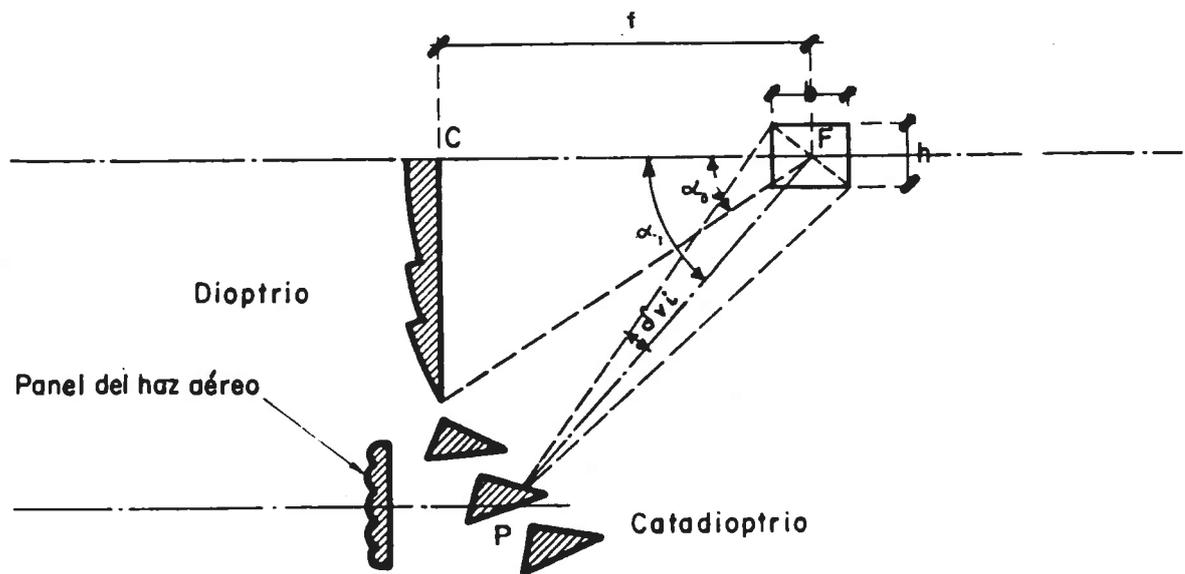


Figura IV.26. Cálculo de la divergencia en el panel aéreo.

superior por no ser aprovechable la zona para el haz aéreo a causa de la ocultación producida por dicho bastidor. Por este procedimiento el flujo luminoso emerge directamente de la lámpara que, si es eléctrica, dada la curva fotométrica habitual en las lámparas eléctricas de faros, tiene también una distribución de intensidad decreciente con el ángulo de observación.

IV-4.2.2.- El alcance

Se utilizará la fórmula:

$$A^D = D \frac{H_2 - H_1}{KK'I_e \cdot \delta_v}$$

donde:

- A = coeficiente de transparencia atmosférica referido a un kilómetro.
- D = alcance en kilómetros.
- H_2 = altura máxima en que es perceptible la señal producida por el haz aéreo en el límite del alcance luminoso, en Kilómetros.
- H_1 = altura mínima en que es perceptible la señal producida por el haz aéreo en el límite del alcance luminoso, en Kilómetros.
- δ_v = divergencia vertical del haz marítimo inherente a la intensidad eficaz, medido en radianes.
- K = relación de flujo de haz aéreo al haz marítimo (que suele ser del orden de 0,1 y que depende de la proporción de superficies de ópticas, sus rendimientos y distribución del brillo de la fuente luminosa).
- K' = rendimiento del panel productor del haz aéreo que se aproxima, generalmente, a 0,8.
- I_e = intensidad eficaz minorada, en cd, del haz marítimo.

Denominando:

$$Y = \frac{KK' I_e \cdot \delta_v}{H_2 - H_1}$$

la expresión toma la forma:

$$A^D = \frac{D}{Y}$$

expresión que está abaqueada en la figura IV.27.

IV-4.3.- Apariencias

Debe hacerse observar, por último, que en lo concerniente a las apariencias, las normas de la O.A.C.I. no pueden en ocasiones ser compatibles con la señalización marítima (luces alternadas blancas y de color, secuencias de fase de luz y de oscuridad, etc.). La apariencia aérea habrá de ser necesariamente igual a la marítima y ésta, acaso, no corresponda a la que es típica de los aerofaros.

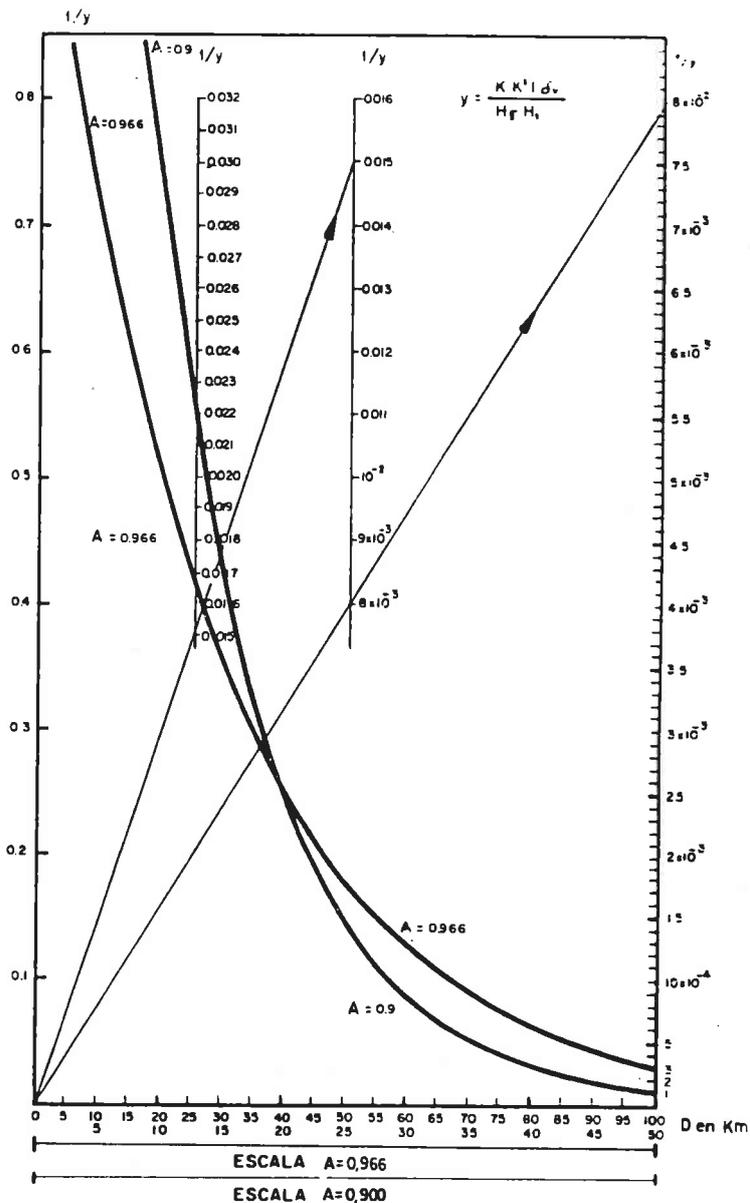


Figura IV.27. Alcance del haz aéreo

IV-5.- TABLA DE ALCANCES CON OPTICAS GIRATORIAS

En la tabla IV.18 se recogen los límites que corresponden a los tipos de torres y linternas normalizados (véase VII.1.2.1. y VII.1.5.1.). En dicha tabla se incluyen los límites habituales de los alcances nominales conseguibles con las instalaciones usualmente ofrecidas por el mercado, con duraciones de destellos comprendidas entre 0,2 y 0,7 segundos e iluminante gas acetileno o energía eléctrica.

APARIENCIAS:		人	+	*	*	*	*	X	X	人	*	*	*	人	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y			
DISTANCIAS FOCALES EN M.	F = 200	LINTERNA	2,25	1,75	1,75	1,75	1,75	3,00	2,25	2,25	2,25	1,75	1,75	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25		
		MAX	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	
		MIN	17,5	17,8	17,7	17,4	16,5	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,8	16,7	16,2	16,3	16,3	16,3	16,2	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
		ACET	15,2	15,2	14,9	14,5	14,0	14,3	14,5	14,0	14,3	13,3	14,0	14,0	14,9	13,6	14,0	14,0	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6
F = 250	LINTERNA	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	3,00	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25		
	MAX	27,7	26,4	25,9	25,2	26,9	26,5	24,8	25,4	25,4	25,4	25,2	25,7	25,7	25,7	25,9	26,7	27,1	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	
	MIN	25,5	21,3	20,8	20,3	21,9	21,4	20,8	20,4	20,4	20,4	20,1	20,6	20,8	20,1	20,6	21,3	21,7	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9
	ACET	21,0	19,9	19,3	18,7	20,2	20,0	18,5	18,9	18,9	18,9	18,7	19,1	18,7	19,3	18,7	19,3	20,0	20,2	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6
F = 300	LINTERNA	3,00	2,25	2,25	2,25	3,00	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	
	MAX	28,4	27,6	26,8	26,3	27,9	27,6	26,4	26,3	26,3	26,3	26,2	26,5	26,5	26,2	26,9	27,5	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1
	MIN	22,9	22,4	21,5	21,1	22,7	22,3	21,6	21,2	21,2	21,2	21,6	21,4	21,4	21,6	21,6	22,4	22,9	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1
	ACET	21,6	20,9	20,1	19,7	21,2	20,9	19,9	19,8	19,8	19,8	19,6	19,9	19,6	19,6	20,2	20,8	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4
F = 375	LINTERNA	3,00	2,25	2,25	2,25	3,00	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	
	MAX	29,1	28,2	27,7	27,1	28,6	28,1	27,3	27,0	27,0	27,0	27,6	27,6	27,6	27,6	28,0	28,6	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9
	MIN	23,9	22,8	22,0	21,9	23,3	23,0	22,3	21,7	21,7	21,7	21,7	22,2	21,7	22,3	23,0	23,3	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8
	ACET	22,2	21,5	20,9	20,4	21,9	21,4	20,6	20,3	20,3	20,3	20,3	20,8	20,3	20,3	20,9	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3

Tabla IV.18.- Relación entre alcances nominales mínimos y máximos en millas náuticas, ópticas giratorias, linternas y tipo del iluminante (acetileno en incandescencia y energía eléctrica) con luces blancas .

1º) - : no se fabrica

2º) + : no cabe, puesto que se exige un espacio mínimo de 60 cm entre óptica y linterna

3º) Duración de los destellos: entre 0,2" y 0,7"

4º) Pérdida de la intensidad luminosa en la linterna: 20 %

CAPITULO QUINTO

SEÑALES RADIOELECTRICAS

Para la redacción de los textos y para la selección de figuras, ábacos y tablas del presente Capítulo se han utilizado las publicaciones que, en la anexa reseña bibliográfica, figuran con las siglas:

A 3	A 5	A 9	A 15	
B 5	B 14	B 15	B 16	B 17
C 7	C 14	C 19	C 34	C 36



V.-SEÑALES RADIOELECTRICAS

V-1.- INTRODUCCION

Prescindiendo de las señales ciegas y de las acústicas, cuya utilización es muy localizada, puede decirse que las señales luminosas cubren una faja costera que alcanza, normalmente, hasta las veinte millas, aunque, excepcionalmente, se consigan las cuarenta y más millas; las radioeléctricas, además de cubrir esta faja, tienen alcances muy superiores -salvo las radiobalizas de puerto y sistemas de radar, cuyo alcance es similar al de las luminosas-, distribuyéndose en radiofaros circulares que cubren entre 100 y 200 millas .

Las señales radioeléctricas permiten, por otra parte, salvar algunas de las dificultades de las ayudas a la navegación tradicionales. Dado que se conoce bien el fenómeno de la propagación de las ondas radioeléctricas y su precisión, se pueden utilizar para determinar un punto, dentro de unos ciertos márgenes de error .

Las condiciones atmosféricas no tienen, en general, influencia negativa sobre las ondas radioeléctricas, por lo que estos sistemas se pueden usar con mal tiempo, sin pérdida apreciable de precisión. Además, normalmente es posible obtener un punto más rápido que por cualquier otro método, de manera que se obtiene ayuda más rápidamente y sin importar las condiciones climáticas .

Al Ingeniero portuario, el problema que se le presenta, en lo que concierne a las señales radioeléctricas, es la elección entre las que se encuentran en el mercado para cumplir la función de ayuda a la navegación, cuyo servicio atiende dicho Ingeniero y, posteriormente, el de su conservación y entretenimiento. También debe realizar algunas obras complementarias en el momento de su montaje, entre las que se encuentran, como más significativas, la disposición de las antenas y tierras, que normalmente no se suministran con los aparatos por las casas constructoras .

Teniendo en cuenta lo que antecede, se desarrolla el presente tema, dando una idea general del funcionamiento de cada una de las ayudas a la navegación de tipo radioeléctrico, subrayando aquellos puntos de vista que interesan al Ingeniero ocupado en el servicio de señalización marítima .

V-2.- LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

V-2.1.- Campos eléctricos

Cuando las cargas eléctricas están en reposo, se ejercen entre sí fuerzas electrostáticas de atracción o repulsión. Estas fuerzas pueden describirse considerando las cargas situadas en un "campo eléctrico". Se define el campo eléctrico como una región de un medio en la cual se ejerza una fuerza sobre cualquier carga que a ella se lleve .

Un campo eléctrico en un punto se caracteriza por una dirección, un sentido y una intensidad. La dirección y el sentido son los de la fuerza que se ejercería sobre la unidad positiva de carga situada en dicho punto. La intensidad del campo eléctrico en un punto es la fuerza por unidad de carga positiva situada en el mismo. Suele medirse en voltios/metro o bien $\mu\text{v}/\text{m}$.

El campo eléctrico se representa, así, por una magnitud vectorial, \vec{E} , de módulo igual a la intensidad del campo y orientada según el mismo en cada punto .

La dirección de los campos eléctricos en distintos puntos puede representarse gráficamente mediante líneas de fuerza o de campo. Una línea de fuerza o de campo es una línea trazada de manera que su tangente, en uno cualquiera de sus puntos, indique la dirección del campo eléctrico en él .

El voltio/metro es la intensidad de aquel campo eléctrico en el cual al desplazarse la carga de un culombio la longitud de un metro a lo largo de una línea de campo, su potencial experimenta una variación de un voltio.

V.2.2.-Campos magnéticos creados por corrientes eléctricas .

Cuando las cargas se hallan en movimiento, siguen ejerciéndose fuerzas electrostáticas pero, además, aparecen fuerzas magnéticas debidas al movimiento .

Se llama campo magnético a una región del espacio en la cual, además de las fuerzas electrostáticas entre cargas, también se ejercería otra fuerza sobre una carga móvil. Esta fuerza depende de la carga q , de su velocidad, v , y de una propiedad vectorial del campo, llamada inducción magnética, \vec{B} .

La dirección de B es aquella en la que desearía moverse la carga, para que la fuerza F que se ejerce sobre ella sea nula, cumpliéndose :

$$\vec{F} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot q$$

La unidad de \vec{B} en el sistema giorgi es el Tesla. Es la inducción magnética que se tiene cuando la densidad de flujo magnético es de un weber por metro cuadrado, siendo el weber la unidad de flujo magnético Φ_m , definido por el flujo magnético cuya disminución hasta anularse, atravesando una sola espira, induce, en ella, un voltaje cuya integral respecto al tiempo vale un voltio-segundo .

Al igual que el campo eléctrico, el magnético se caracteriza por una dirección y un sentido (los de \vec{B}), y una intensidad H , dada por :

$$H = \mu \cdot B$$

donde μ es la permeabilidad magnética del medio .

La unidad de H en el sistema giorgi es el amperio-vuelta por metro. Es la fuerza magnetizante en el interior de un solenoide largo y fino, cuando el solenoide está activado por una densidad de corriente lineal de un amperio por metro de distancia axial .

También aquí se puede hablar de líneas de campo o de inducción, como aquellas tangentes, en cada punto, a la dirección del campo magnético en los mismos. Las líneas de inducción representan el flujo magnético, Φ_m , y la inducción B , la densidad de flujo magnético (análogamente, se define la de cualquier campo). Por tanto, el flujo magnético de un área A se calcula por:

$$\Phi_m = B \times A$$

V.2.3- Ondas electromagnéticas .

De los conceptos anteriores se deduce que existe una relación entre \vec{E} y \vec{H} (o \vec{B}). Esto se traduce en que una variación, con el tiempo, del campo magnético, se asocia a una variación en el espacio de H , y recíprocamente. Esta conexión entre los campos electromagnéticos es el origen de la propagación de ondas .

Se puede ver así, que si en un conductor de longitud infinitamente pequeña l se introduce una corriente eléctrica de intensidad variable, en torno al mismo se creará un campo magnético, también de intensidad variable, que se puede representar por una de sus líneas de campo, H (figura V.1) .

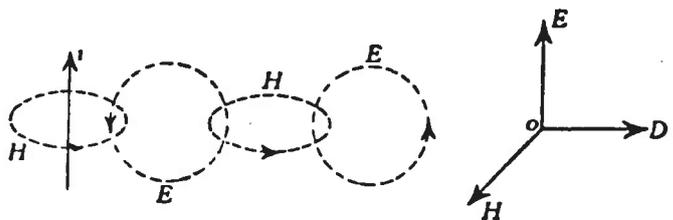


Figura V.1. Proceso de la radiación electromagnética

Si se considera, ahora, que esta línea de fuerza \vec{H} , descompuesta en elementos infinitamente pequeños, en torno a cada uno de ellos por ser, el campo magnético, variable, se creará un campo eléctrico que podemos, también, representar por una línea de fuerza \vec{E} .

Cada línea de fuerza del campo eléctrico es equivalente a una corriente que, a su vez, creará, en torno suyo, un campo magnético, y, así sucesivamente, se propagará la perturbación electromagnética en una especie de cadena, hasta un lugar del espacio en que, al llegar el campo eléctrico, encuentre los electrones libres de un conductor y los ponga en movimiento, engendrándose una nueva corriente eléctrica .

Se ha generado, así, en cada punto del espacio, una perturbación electromagnética que se propaga con una velocidad v , que en el aire es, aproximadamente, de 300.000 kilómetros por segundo .

En cada punto se pueden representar el campo eléctrico y el magnético en relación con el sentido de propagación OD , por tres ejes perpendiculares entre sí, según la figura V.1 .

El esquema final de propagación de la onda o perturbación electromagnética se recoge en la figura V.2 .

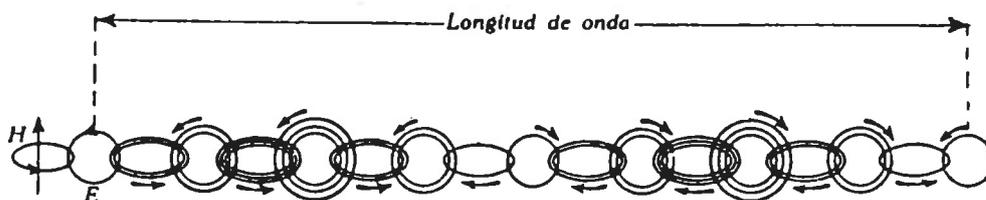


Figura V.2. Formación de la onda electromagnética

Los campos \vec{E} y \vec{H} , que constituyen la perturbación, son perpendiculares entre sí, y proporcionales en la forma:

$$E = Z \cdot H$$

siendo Z la impedancia del medio, que en el aire vale 377Ω .

Presentan, además, sus módulos, una variación sinusoidal

$$E = A \cdot \cos(\omega t - K x)$$

siendo:

A = amplitud

$\omega = 2 \pi f$

f = frecuencia

$K = \frac{2 \pi}{\lambda} =$ número de onda

$\lambda =$ longitud de onda

$c = f \cdot \lambda =$ velocidad de propagación de la onda

Las direcciones de \vec{E} y \vec{H} pueden ser fijas o variables .

V.2.4.- Polarización de las ondas electromagnéticas .

La polarización es una propiedad de una onda electromagnética caracterizada por la dirección del vector campo eléctrico. Se llama plano de polarización al definido, en cada punto, por el vector campo eléctrico y la dirección de propagación, y ángulo de polarización, al formado por el plano de polarización y el plano vertical que contiene la dirección de propagación .

En el caso de que el vector campo eléctrico sea constante, se tiene una polarización lineal. Si fuera variable, puede demostrarse que la trayectoria seguida es una elipse, presentándose una polarización elíptica .

Hay dos casos importantes de polarización lineal: Cuando el vector campo eléctrico es paralelo a la tierra, o polarización horizontal; y cuando es perpendicular, o polarización vertical .

V.3.- PRINCIPIOS DE TRANSMISION POR RADIO

Un sistema de telecomunicación por radio puede estudiarse por el esquema:



En el emisor se generan unas señales en forma de tensiones y corrientes eléctricas proporcionales a la información a transmitir y que la antena emisora transforma en ondas electromagnéticas que se propagarán por el espacio. La antena receptora realiza el camino inverso, convirtiendo las ondas en tensiones y corrientes eléctricas, de los que el receptor, por medio del tratamiento adecuado, extrae la información transmitida .

V.3.1.- El emisor y el receptor .

El emisor y el receptor son los que se encargan de traducir la información en señales eléctricas y viceversa .

Una de las partes fundamentales del emisor es el oscilador, que genera una señal de la forma (figura V.3):

$$y(t) = A \cdot \cos \omega t$$

donde:

A = amplitud de la magnitud que se asocia a la onda

t = tiempo

$$\omega = 2 \pi f = \frac{2 \pi}{T}$$

f = frecuencia

T = periodo

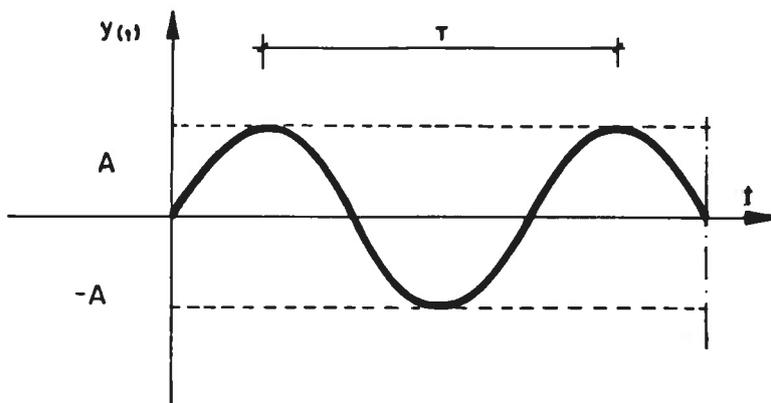


Figura V.3. Señal sinusoidal

Esta señal se denomina "señal portadora", y su frecuencia, f, "frecuencia portadora", porque "transporta" la información, y esto lo puede hacer de dos formas: por modulación de su amplitud (A.M) o de su frecuencia (F.M.) .

En el caso de A.M., la onda tiene frecuencia f constante, pero la amplitud es proporcional a la información a transmitir, obteniéndose una onda del tipo de la figura V.4 .

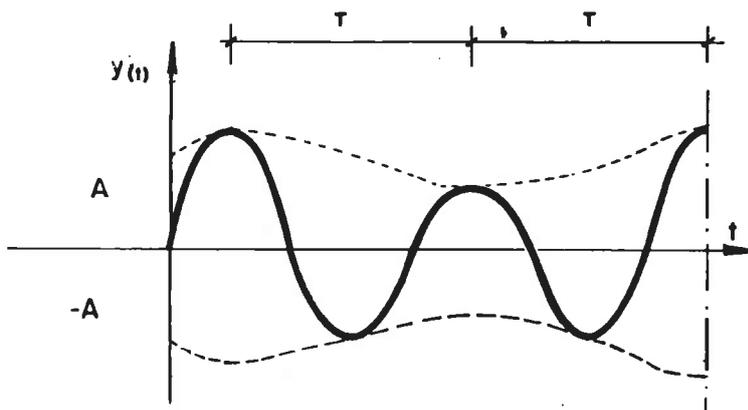


Figura V.4. Señal portadora por modulación de amplitud

En el caso de F.M., se transmite la información variando la frecuencia de la señal, con amplitud constante (Figura V.5) .

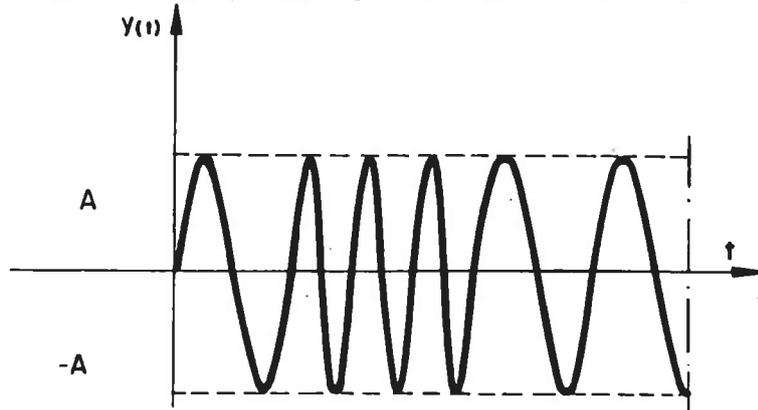


Figura V.5. Señal portadora por modulación de frecuencia

En cuanto al receptor, realiza dos operaciones fundamentales: la sintonía, que consiste en recoger la frecuencia deseada de todas las que llegan a la antena; y la "demodulación", o extracción de la información .

V.3.2.- Propagación de las ondas .

Las ondas electromagnéticas se propagan, a través del vacío, en línea recta. En el espacio libre las trayectorias varían, obteniéndose las posibilidades de la figura V.6:

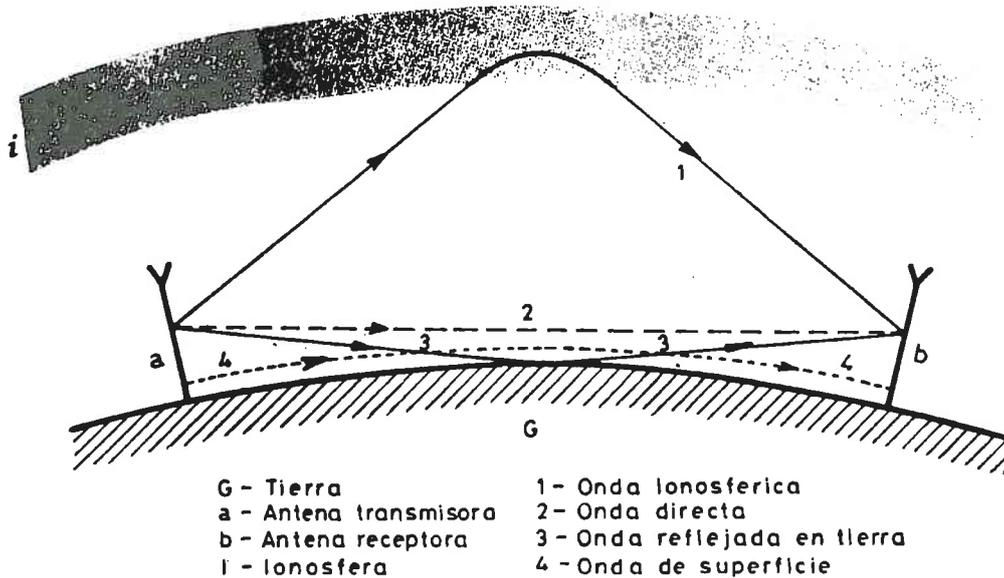


Figura V.6. Distintas trayectorias de propagación de las ondas electromagnéticas irradiadas por una estación transmisora

La energía transmitida por las ondas se puede, así, propagar de dos formas .

La primera, son las ondas que se deslizan sobre la superficie de la tierra, u ondas de superficie. Estas son absorbidas más rápidamente cuanto menor es su longitud, pero dicha absorción no está influida por la luz solar ni por las condiciones climatológicas. Su alcance es, siempre, pequeño .

La segunda forma la constituyen las ondas que se lanzan al espacio, en una dirección más o menos inclinada .

La atmósfera no es homogénea, y sus diferentes capas se encuentran ionizadas en forma creciente con la altura, produciendo en las ondas electromagnéticas, un efecto de refracción con incurvación de la trayectoria .

Si la transición entre dos capas de la atmósfera con gran diferencia de ionización es brusca, se presenta un fenómeno de reflexión, caso de la onda ionosférica, pudiendo obtenerse distancias de alcance muy grandes .

Por otra parte, las diversas capas bajas de la ionosfera sobre las que se producen las reflexiones, experimentan variaciones durante los crepúsculos matutino y vespertino, de tal modo que las intensidades de campo correspondientes a las ondas terrestre e ionosférica son muy distintas de día y de noche. Durante los crepúsculos, es tal la perturbación, que hay zonas en que prácticamente puede quedar la señal fuera de servicio; durante el día la ionosfera tiene escaso poder reflectante y sólo es utilizable la onda terrestre en la parte de menores alcances; durante la noche el alcance aumenta al poderse utilizar la onda ionosférica reflejada (Figura V.7) .

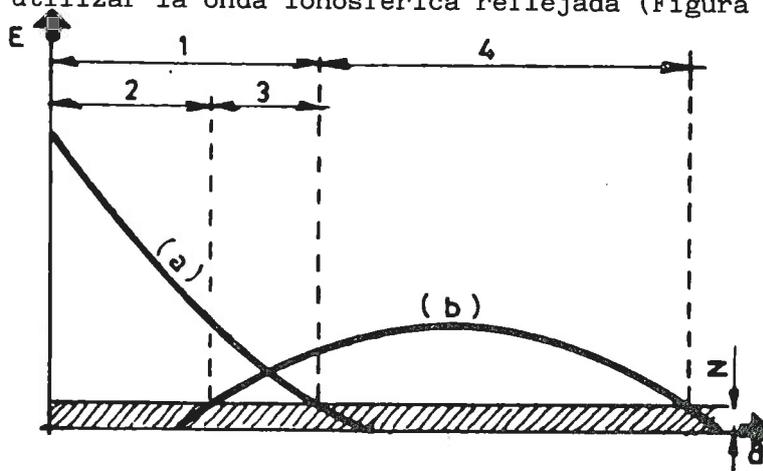


Figura V.7. Intensidades de campo de las ondas ionosféricas y terrestres. Areas de servicio

d = distancias	1 = Area del servicio diurno
E = intensidad de campo	2 = Area del servicio nocturno a corta distancia
(a) = Onda terrestre	3 = Area fuertemente perturbada
(b) = Onda ionosférica	4 = Area del servicio nocturno a gran distancia
N = Nivel estático (parásitos)	

Es importante tener en cuenta que la ionosfera sólo refleja cierta banda de frecuencia, siendo transparente para el resto del espectro de la radiación electromagnética. Análogamente ocurre con la onda reflejada en tierra: Sólo existirá para una cierta parte del espectro .

V.3.3- Antenas .

Las antenas son los aparatos que se encargan de transformar las tensiones y corrientes eléctricas en campos electromagnéticos, y viceversa. Sobre aquéllas actúan los componentes electrónicos del receptor y emisor, mientras que los campos sirven para la transmisión por el espacio libre .

Cualquier conductor recorrido por una corriente variable genera campos electromagnéticos, que se transmiten por el espacio. La antena será, pues, un conductor por el que circule una corriente de cierta frecuencia .

Existen técnicas para aumentar la eficacia de la radiación. Así, en el caso de un mástil radiante, la conexión a tierra duplica la eficacia , siendo como si hubiera dos antenas (Figura V.8) .

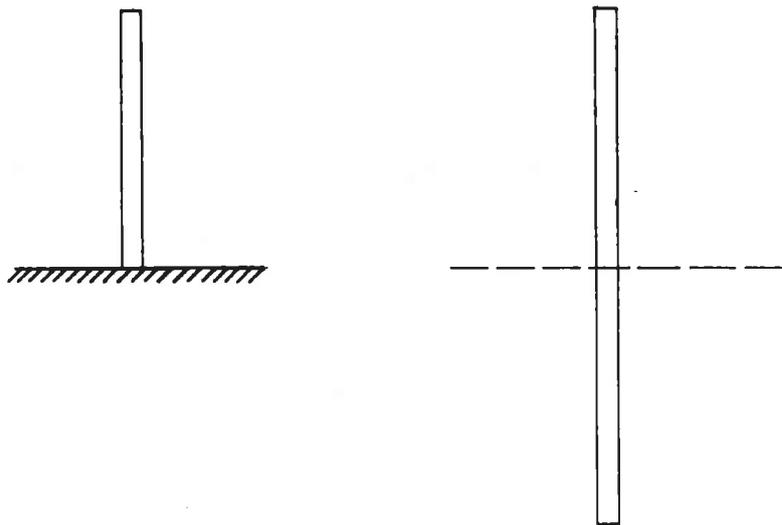


Figura V.8. Aumento de la eficacia de la antena por conexión a tierra

En este caso, la antena ficticia se denomina antena "imagen" o "contraantena" .

La antena determina completamente la polarización de la onda. Así, una antena vertical produce una onda polarizada verticalmente, que se recibe en mejores condiciones cuando la antena receptora es, también, vertical .

Las antenas direccionales, usuales para largas distancias, concentran en una dirección determinada la energía radiada, consiguiendo, así, mayor potencia que las omnidireccionales. Esto se consigue por suma o resta de campos electromagnéticos en una dirección determinada, según sean sus fases .

El tamaño de una antena viene condicionado por la frecuencia de emisión, y, como regla general, se puede decir que, a mayor longitud de onda, mayor antena .

Se define la ganancia de una antena, G , como la relación entre la potencia necesaria a la entrada de una antena de referencia y la potencia suministrada a la entrada de la antena en cuestión para que ambas produzcan, en una dirección dada, el mismo campo a la misma distancia. Se suele expresar en decibelios. La ganancia absoluta se refiere a una antena de referencia isótropa, aislada en el espacio. Si la dirección no está determinada, se toma como función ganancia la de la dirección que presente el valor máximo .

V.4.- ONDAS Y TIPOS DE SEÑALES

Las señales radioeléctricas son de muy diversos tipos y utilizan variadas frecuencias. Según los distintos sistemas, ha sido elegida una determinada frecuencia conforme a la tabla adjunta (Tabla V.1) .

En términos generales, puede indicarse que las ondas largas se adaptan muy bien a la curvatura de la esfera terrestre y se propagan bien sobre los continentes; asimismo, se reflejan totalmente en las capas bajas de la ionosfera, lo que permite un aumento de los alcances de las señales; en cambio, las ondas cortas prácticamente no se reflejan en las capas de la ionosfera y se propagan mal sobre los continentes, especialmente si existen contornos acusados; las ondas muy cortas se comportan en términos muy parecidos a la luz (la luz, en realidad, es una onda muy corta, con longitud inferior a la micra) .

Los dispositivos de ayuda a la navegación que constituyen señales radioeléctricas se pueden clasificar en un orden lógico según tres propiedades fundamentales de la radiación electromagnética:

a) El campo electromagnético está polarizado transversalmente: los dos vectores que lo representan, el campo magnético \vec{E} y el magnético \vec{H} , perpendiculares entre sí, lo son, además, a la dirección de propagación .

Los radiofaros omnidireccionales se basan en la polarización transversal .

b) Las ondas electromagnéticas emitidas por fuentes diferentes pueden interferirse entre ellas: en esto se basan las radioenfiliaciones y los radiofaros direccionales .

c) La velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas es constante en un medio homogéneo e isótropo. En base a esta propiedad, están los sistemas Decca, Loran, Toran, Omega, Transit y Radar .

Se verán, a continuación, los principios de funcionamiento y utilización de los diferentes dispositivos .

V.4.1.- Dispositivos basados en la polarización .

V.4.1.1.- Radiofaros circulares .

Un radiofaro circular es aquél con antena fija omnidireccional, cuya demora puede ser determinada por un móvil equipado con un radiogoniómetro. Está compuesto por un emisor ordinario unido, por una parte, a una bobina de sintonización y a una antena vertical, o en T, y, por otra parte, a una toma de tierra, todo ello establecido

FRECUENCIAS	Siglas	Nombres aprobados	Longitud de onda	Sistemas de señales radioeléctricas	CARACTERISTICAS ESENCIALES Y OBSERVACIONES
30 KHz.	VLF	Very Low Frequency.	10 Km.	Omega. Delirac.	Es la denominada "onda larga". Precisa antenas de transmisión muy grandes. Se transmite bien sobre tierra independientemente de los accidentes geográficos y de la curvatura terrestre.
	LF	Onda kilométrica. Low Frequency.			
300 KHz.	MF	Onda hectométrica. Medium Frequency.	1 Km.	Loran A. Consol. Epi. Hifix. Toran. R. circulares.	Es la denominada "onda media". Precisa antenas de transmisión entre grandes y moderadas. Se transmite bien sobre tierra. Durante la noche se refleja en la capa E de la ionosfera, aumentándose el alcance; la reflexión en las capas E y F de la ionosfera puede aumentar el alcance de día y de noche.
	HF	Onda decamétrica. High Frequency.			
30 MHz.	VHF	Onda métrica. Very High Frequency.	10 m.	Shoran. Hiran. Derveaux.	Es la denominada "onda métrica". Precisa antenas direccionales de dimensiones relativamente pequeñas. Su propagación sobre tierra queda limitada por los contornos de ésta y por la curvatura terrestre. Experimenta una reflexión despreciable sobre las capas de la ionosfera.
	UHF	Onda decimétrica. Ultra High Frequency.			
3 000 MHz.	SHF	Onda centimétrica. Super High Frequency.	10 cm.	Hydrodist. Tellurometer.	Su propagación es similar a la de las ondas de luz en líneas rectas, sin reflexión en las capas de la ionosfera.

NOTA: Capa F, o de Appleton: altura a más de 200 Km. Capa E, o de Kenelly: altura de 80 a 100 Km.

Tabla V.1. Espectro de radiofrecuencias y señales radioeléctricas que corresponden

en forma simétrica, de manera que sea posible producir el mismo campo eléctrico en todos los puntos situados a la misma distancia para cualquier azimut. Se dice, entonces, que la radiación es "circular", o que el radiofaro es "omnidireccional", o "circular" .

Para su utilización, el buque debe llevar un receptor especial denominado "radiogoniómetro", constituido por un cuadro móvil alrededor de un eje vertical, que se conecta al aparato receptor, con un auricular, o altavoz, con el que el observador puede conocer la dirección del radiofaro, pues, según la orientación del plano del cuadro, podrá, éste, confundirse con el plano de polarización de la onda electromagnética perpendicular a la dirección del radiofaro; entonces, la tensión en los bornes del cuadro se anula y, por consiguiente, se anulará la señal recibida .

Obviamente, existen dos direcciones a 180° , en las que se anula la señal; por medio de una antena auxiliar, es posible apreciar cuál de las dos direcciones es la correspondiente .

Cada radiofaro se caracteriza por una señal distintiva, que se compone por letras del alfabeto morse, generalmente dos en las señales marítimas. Las frecuencias asignadas a la señalización marítima son las comprendidas entre los 285 y 315 khz, es decir, longitudes de onda próximas al kilómetro .

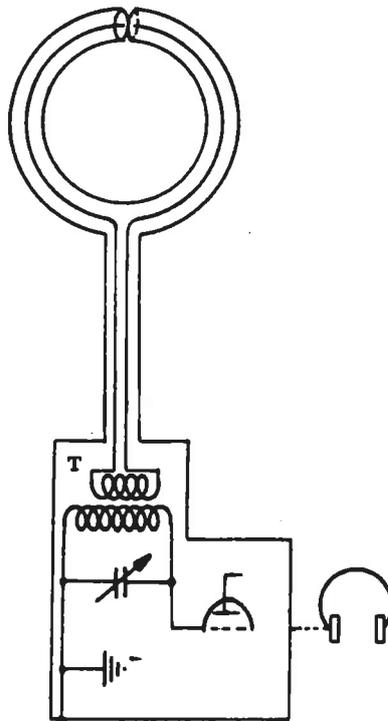


Figura V.9. Esquema de un radiogoniómetro

Tanto los alcances de los radiofaros como sus indicativos vienen determinados en convenios internacionales, que tienden a uniformar criterios y evitar interferencias, repartiendo, por una parte, las diversas bandas de frecuencias para las distintas necesidades de emisión y limitando, por otra, las potencias. En este sentido, se han ido aplicando los acuerdos de las diversas Convenciones de Atlantic City, Ginebra y Paris .

Todos los radiofaros situados al sur del paralelo 46°, en cuya zona están comprendidos todos los españoles, funcionan en grupos conjuntados de tres con la misma frecuencia, durante dos minutos cada uno de ellos. A partir de estos dos minutos de emisión, queda en silencio el radiofaro cuatro minutos, durante los que emitirán, sucesivamente, dos minutos cada uno de los dos restantes radiofaros del mismo grupo, con la misma frecuencia de emisión, los cuales tendrán asignado su distintivo de dos letras. Este es el principio de funcionamiento de los radiofaros conjugados .

Aunque, en general, bastan dos lecturas correspondientes a dos radiofaros para fijar la situación del navío, se utiliza la correspondiente al tercero, para mayor exactitud de la marcación, o para cuando las líneas de demora fijadas se corten según un ángulo muy abierto. Con estas tres demoras el navegante puede situarse sobre la carta náutica .

Los radiofaros circulares constituyen un medio excelente para que los navíos puedan establecer, de forma bastante aproximada, su situación a distancia de la costa, dependiendo del alcance nominal de los radiofaros instalados, pero normalmente inferior a las 100 millas .

Desgraciadamente, la precisión de las demoras radiogoniométricas es baja, pues, tras su emisión, las ondas electromagnéticas son ligeramente desviadas en ciertas direcciones, especialmente si existen construcciones o accidentes en las proximidades de la antena cuyas dimensiones no sean despreciables en relación con la longitud de onda, que es del orden de un kilómetro; al traspasar la línea del litoral la propagación se desvía con un fenómeno análogo al de la refracción de las ondas luminosas a su paso por un dioptrio; por último, el radiogoniómetro está influido, de hecho, por radiaciones secundarias procedentes de los conductores de a bordo .

Aún cuando el operador forme una colección de curvas de errores, el error cuadrático medio alcanza, por lo menos, los 4° a 150 millas, 2° de 150 a 30 millas y 3° a menos de 30 millas .

En España hay instalados, en 1.985, 25 radiofaros circulares, que, con el nuevo Plan de Señales Marítimas de 1.985 a 1.989, se aumentarán a 43 .

V.4.1.2. Radiobalizas .

Las radiobalizas son unos radiofaros circulares de pequeño alcance, normalmente inferior a 20 millas náuticas, que se instalan en aguas navegables, o en los puertos, para servir como señales de recalada, con ocasión de la presentación de las brumas o nieblas .

Generalmente estas señales se alimentan con corrientes de baja tensión, producidas en baterías alojadas en la misma boya que sustenta la instalación, o bien en la misma celda, si se encuentra la radiobaliza en tierra .

Están dotadas de cortas y sencillas antenas, y su funcionamiento es totalmente automático .

V.4.1.3.- Potencia del transmisor según el alcance .-

V.4.1.3.1. Límites inferiores de intensidad de campo electromagnético .

Para el cálculo de los alcances nominales de las estaciones situadas en el hemisferio norte, los Convenios internacionales han definido los alcances como la distancia donde la intensidad de campo electromagnético durante el día y sobre el nivel del mar vale:

50 $\mu\text{V/m}$ al norte del paralelo 43° Norte
 75 $\mu\text{V/m}$ entre los paralelos 43° N. y 30° N.
 100 $\mu\text{V/m}$ al sur del paralelo 30° Norte

Estos valores corresponden a una relación señal/ruido:

$$6 \text{ dB} < \rho < 14 \text{ dB}$$

para las intensidades de campo medias producidas por los parásitos atmosféricos en las regiones consideradas .

La relación ρ se define, en función de la potencia o de la tensión, por:

$$\rho = 10 \log \frac{\bar{W}_A}{\bar{W}_P}, \quad \text{o bien} \quad \rho = 20 \log \frac{U_A}{U_P}, \quad \text{donde:}$$

\bar{W}_A = potencia de salida de la señal en las bornas del altavoz

\bar{W}_P = potencia de salida producida por los parásitos en ausencia de señal en las bornas del altavoz

U_A = tensión producida por la señal en las bornas del altavoz

U_P = tensión producida por los parásitos en las mismas bornas en ausencia de señal

Si el amplificador del receptor es lineal, la relación de tensiones $\frac{U_A}{U_P}$ es igual a la relación de la intensidad de campo de la emisión de señal buscada a la intensidad de campo de los parásitos:

$$\frac{E_A}{E_P}$$

La calidad de recepción viene definida por la relación ρ , según la tabla V.2

	RELACION ρ EN dB	
	Recepción difícil	Recepción fácil
Radiotelefonía	0	16
Radiotelegrafía a la escucha. . .	-14	-6
Radiotelegrafía automática . . .	0	8
Radiogoniometría	6	14

Tabla V.2. Calidad de recepción en función de la relación ρ señal/ruído

V.4.1.3.2. Fórmula de Austin .

El alcance nominal de un radiofaro es la distancia a la que el valor eficaz de la intensidad de campo durante el día sobre el nivel del mar supera un determinado valor "umbral" .

El Ingeniero tiene que tener en cuenta el alcance que le ha sido asignado a la señal y la naturaleza de las tierras y de la antena, para elegir el transmisor adecuado entre los existentes en las diversas casas que se dedican a este mercado .

Para el estudio del alcance de un radiofaro se considera una antena teórica A , constituida por un conductor de longitud dl , infinitamente pequeña y dimensiones transversales infinitesimales de segundo orden, y recorrido por una intensidad I , infinitamente grande, de modo que $I dl$ sea finito cuando dl tiende a cero .

Si en una dirección A_x de propagación se considera el flujo de energía de las ondas electromagnéticas $d\Phi_e$, que pasa a través de una superficie dS infinitamente pequeña, perpendicular a A_x , la "intensidad de campo radioeléctrico", es decir, la densidad superficial del flujo correspondiente p , será:

$$p = \frac{d\Phi_e}{dS} \quad \frac{\text{vatios}}{\text{m}^2}$$

C es un coeficiente que depende sólo de la dirección de A_x y P_e , la "potencia radiada", será:

$$d\Phi_e = C P_e d\Omega \quad \text{vatios}$$

siendo $d\Omega$ el ángulo sólido con vértice en A, definido por dS a la distancia D ; en consecuencia, si no hay pérdidas de transmisión en el aire:

$$p = \frac{C P_e d\Omega}{dS} = \frac{C P_e}{4\pi D^2} \quad \frac{\text{wattios}}{\text{m}^2}$$

Si hay pérdidas en el aire se puede definir un "coeficiente de transmisión" por metro T_1 , de manera que la relación entre la potencia recibida P y la radiada P_r a una distancia x (en metros), sea:

$$\frac{P}{P_r} = T_1^x$$

entonces queda:

$$p = \frac{C P_e}{D^2} = T_1^D$$

Por otra parte, la densidad de flujo electromagnético vale:

$$p = E H$$

siendo E y H las intensidades de campo eléctrico y magnético respectivamente, y éstos son proporcionales en la forma:

$$E = Z H$$

con Z la impedancia del medio .

Si se definen, entonces, los coeficientes:

$$K = \sqrt{C \cdot Z}$$

$$T = \sqrt{T_1}$$

se puede expresar finalmente :

$$\frac{E^2}{Z} = \frac{C P_e}{D^2} T^{2D}$$

El alcance vendrá, entonces, determinado por la fórmula:

$$E = K \sqrt{P_e} \frac{T^D}{D}$$

donde :

E = intensidad de campo radioeléctrico (valor eficaz del módulo del vector de campo eléctrico en v/m)

D = alcance en Km

P_e = potencia total de emisión radiada, en kilovatios

T = coeficiente de transmisión de intensidad de campo por unidad de distancia (inferior a 1)

K = coeficiente = $\sqrt{C Z}$

C = coeficiente que depende de la dirección de la propagación

Z = impedancia del medio (para el aire, 377 Ω)

La forma práctica de dicha fórmula es:

$$E = 300.000 \sqrt{P_e} \frac{T^D}{D} \quad \text{v/m}$$

donde:

$$\log_e T = - 4'6 \cdot 10^{-5} \cdot f^{0'6}$$

expresándose:

P_e en Kw (potencia radiada)

D en Km

f en Khz

determinada por Austin para el cálculo de intensidades de campo a gran distancia, para propagación sobre el nivel del mar, y para frecuencias portadoras f, comprendidas entre 80 KHz y 1.000 KHz .

Según se ha expuesto en V.4.1.3.1., los umbrales admitidos para E son de 75,50 y 100 $\mu\text{v/m}$, según las latitudes, correspondiendo el primero a España .

La fórmula se desarrolla en el ábaco de la figura V.10, que da los valores de la "potencia teórica radiada" en vatios (correspondientes a la emisión de antena de un radiofaro con una frecuencia portadora próxima a los 300 Hz), en función de los alcances en millas .

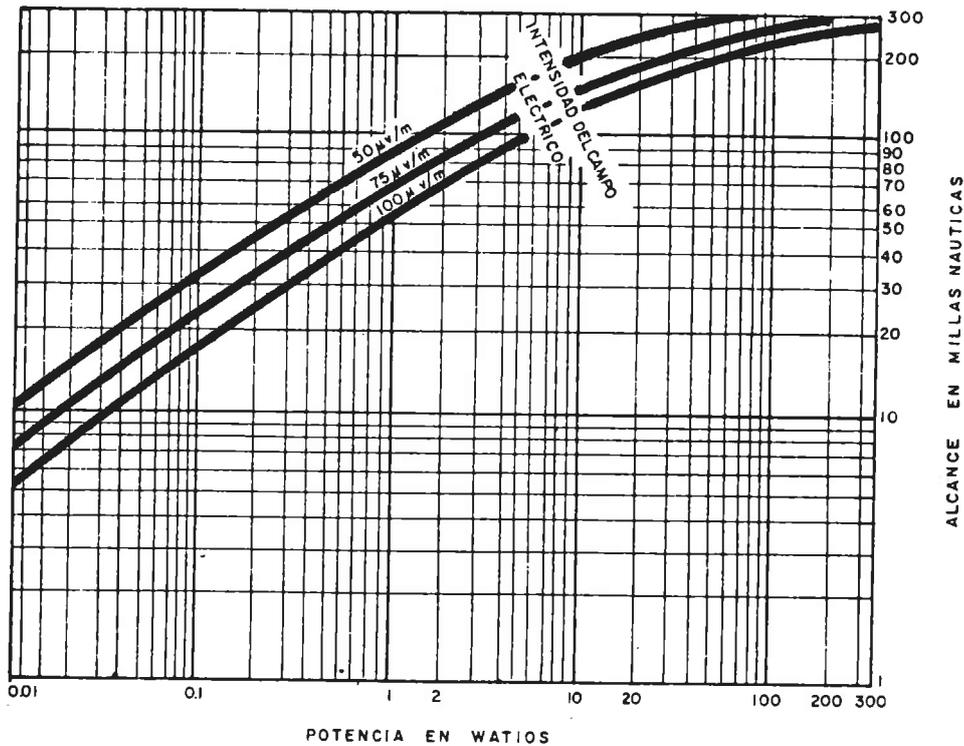


Figura V.10. Relación entre la potencia teórica radiada y los alcances nominales

Sobre este valor teórico, se considera un margen de protección contra los atmosféricos de 10 decibelios, que supone multiplicar por diez la potencia. Con esto se obtiene el valor de la "potencia aparente radiada", P.A.R.

Ya conocida esta Potencia Aparente Radiada, y el rendimiento η , que consiente el sistema radiante (antena y tierra), se pasa, en definitiva, a la potencia P_t que ha de tener el transmisor:

$$P_t = \frac{\text{PAR}}{\eta} \text{ wátios}$$

Pero, frecuentemente, se procede a la inversa, es decir, se parte de un determinado tipo comercial, generalmente de unos 300 w de potencia y se calcula qué rendimiento puede consentirse al sistema radiante, partiendo de determinadas características de la antena y de la tierra. Este es el método que se suele utilizar y que se extracta en el parágrafo siguiente, tomado de tratados especializados .

V.4.1.3.3. Cálculo de antenas y tierras .

Partiendo de las características de la antena a comprobar, se determina su "altura eléctrica" αl^2 y su "aumento de longitud por

efecto de la capacidad terminal", qlv (en los radiofaros marítimos es constante la práctica de utilizar antenas en T). La "altura eléctrica" es el cociente de la longitud l del hilo vertical de la antena a la longitud de onda radiada λ y se expone en grados, haciendo corresponder λ a 360° :

$$\alpha \text{ l}^\circ = 360 \frac{l}{\lambda}$$

El alargamiento o "aumento de longitud" por efecto de la "capacidad terminal" viene expresado por:

$$\text{tg } \alpha \text{ lv} = - \frac{Z}{B_c}, \text{ donde, por una parte:}$$

Z = impedancia característica en ohmios, que vale:

$$Z = 276 \lg_{(10)} \frac{2 l}{d} \quad \Omega$$

siendo, a su vez:

l = longitud de la bajada (línea vertical de la T)

d = diámetro del cable vertical de bajada, expresado en la misma unidad de la l .

y, por otra parte,:

B_c = reactancia condensiva en ohmios, que vale:

$$B_c = - j \frac{1}{2 \pi f C}, \text{ donde:}$$

f = frecuencia de emisión (entre 285 y 315 KHz), en Hz

C = capacidad total en faradios

Esta capacidad total C , a su vez, vale:

$$C = l C_u \quad \text{picofaradios, donde:}$$

l = longitud, en cm., del hilo vertical de la antena en T.

C_u = capacidad unitaria de la capacidad terminal, dada en picofaradios por centímetro (Deducible por ábacos en la figura V.11), donde:

N = número de cables de la hoja de antena

B = distancia entre los extremos y sustentación (unos 2 metros)

l_w = longitud de los hilos horizontales de la antena en T

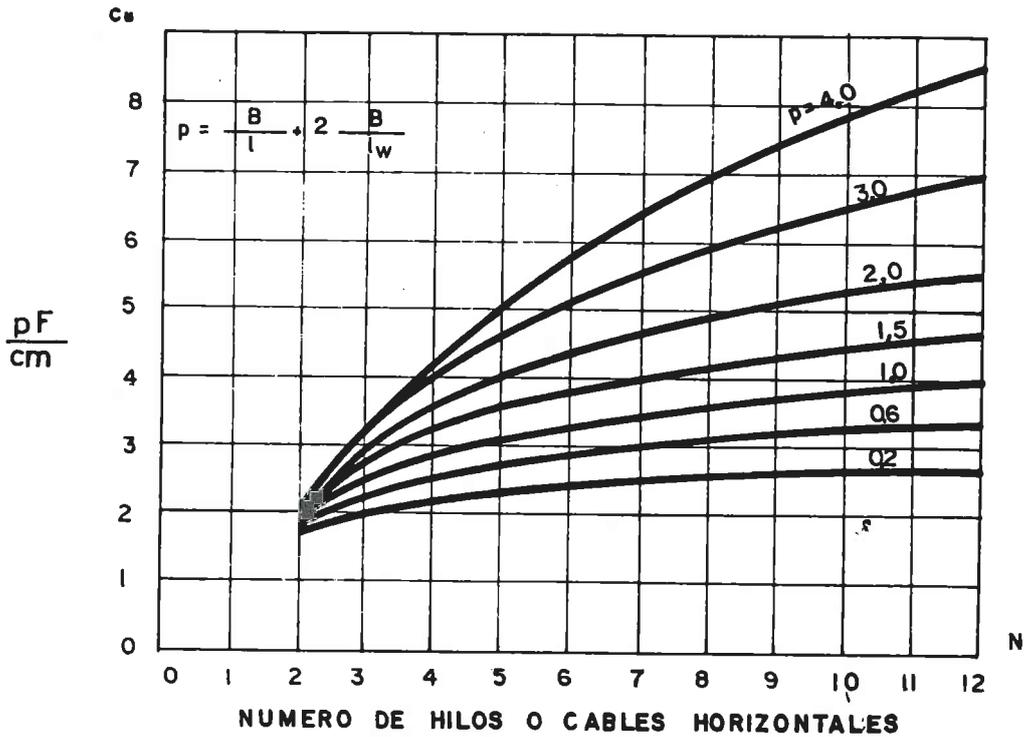


Figura V.11. Capacidad unitaria de la terminal según el número de cables de la hoja de antena

La valoración de los efectos de capacidades terminales de un solo hilo de largo l (con igual diámetro que la bajada) es su propia longitud eléctrica:

$$\alpha l_v = 360^\circ \frac{l}{\lambda}$$

Con estos valores de αl° y αl_v° , se entra en el ábaco que se adjunta para conocer la resistencia de radiación en el pie R_{sf} (Figura V.12) .

Conocido R_{sf} y el rendimiento η , se sabe el límite que puede alcanzar la resistencia de pérdidas de la toma de tierra R_t :

$$R_t \leq \frac{R_{sf}}{\eta} \quad \Omega$$

Para el frecuente caso de toma de tierra radial, con el centro en el pie de la antena, el valor de R_t puede determinarse según el ábaco de la figura V.13, aún cuando normalmente habrá de entender su valor como un límite superior, pues se establecen más de 6 radios en la práctica. Los valores de este ábaco corresponden a suelo co-

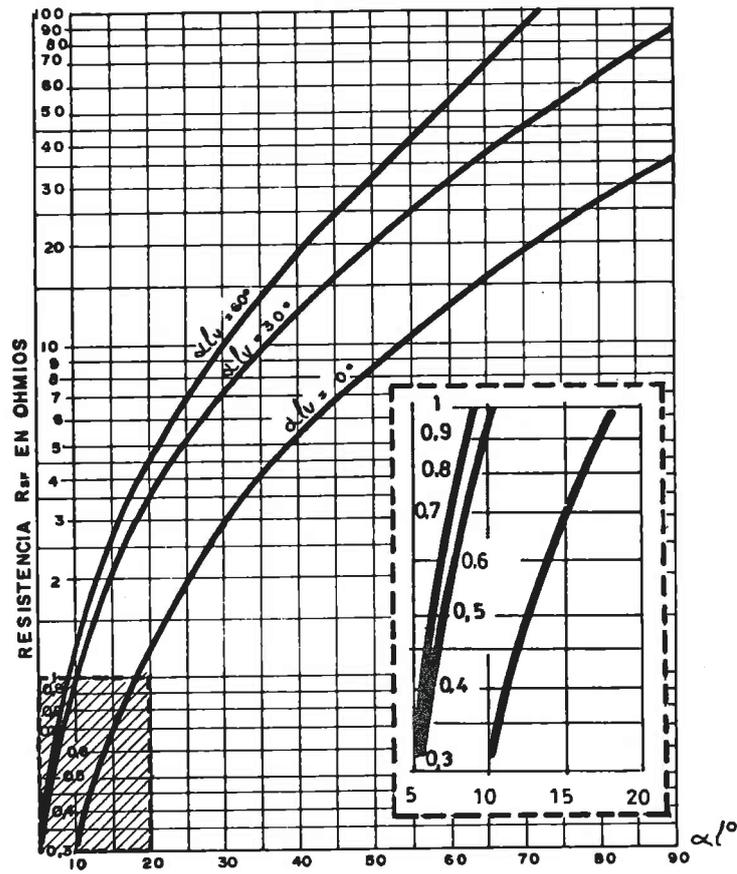


Figura V.12. Resistencia de radiación en el pie de antena R_{SF} en función de su altura eléctrica α y del aumento de longitud por el efecto de la capacidad terminal α_v

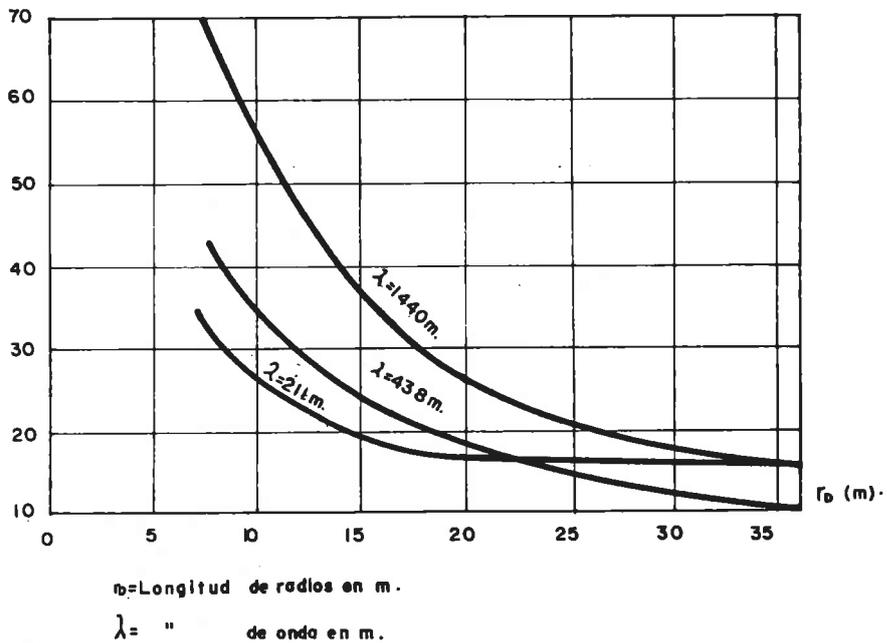


Figura V.13. Resistencia de una toma de tierra radial R_T de 6 radios

rriente, es decir, al de conductividad $\sigma = 3 \cdot 10^{-14}$ unidades c.g.s. (que equivale a $333 \Omega / \text{m}$; $1 \text{ siemens} = 10^{-9}$ unidades c.g.s.); por ello, si la conductividad del terreno fuera diferente, debe corregirse el valor hallado, teniendo en cuenta que la resistencia de pérdidas de una toma de tierra de radiofrecuencia es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la conductividad .

Los valores de la conductividad σ son muy variables, según el terreno, estando normalmente comprendidos entre $4 \cdot 10^{-14}$ y $1 \cdot 10^{-14}$ unidades c.g.s. en terrenos ordinarios; los faros suelen tener, sin embargo, condiciones extremas, oscilando entre:

$$\begin{aligned} \sigma &= 1 \cdot 10^{-15} \text{ en suelos muy secos, y} \\ \sigma &= 1 \cdot 10^{-11} \text{ en contacto con el mar} \end{aligned}$$

Si para R_t se adopta un valor superior al estricto, se puede proceder inversamente para determinar el valor del rendimiento , y, en consecuencia, de la Potencia Aparente Radiada, P.A.R., con el siguiente aumento de alcance .

Las soluciones de continuidad, que en la red radial de tierra, pueden suponer los edificios (en especial si se utiliza la torre del faro como uno de los soportes de la antena en T), son perfectamente admisibles, puesto que sus áreas son regulares y muy inferiores al máximo tolerable de

$$\left(\frac{\lambda}{20}\right)^2$$

habida cuenta que en radiofaros marítimos la longitud de onda es del orden de 1.000 m. y, por consiguiente, la posible dimensión de la discontinuidad es de 50 m., que no alcanzan normalmente las fachadas más largas de los edificios .

V.4.1.4. Distancia entre radiofaros .

El estudio de las características de una estación de radiofaro debe considerar la coexistencia de un gran número de estaciones análogas. Las principales dificultades se deben a la utilización del radiogoniómetro en condiciones desfavorables y a la escasez de frecuencias disponibles para la emisión .

Hay, así, para cada una de las grandes regiones del globo, una convención particular que regula las características de las estaciones. En Europa y Africa del Norte se aplican los acuerdos de la Conferencia de Ginebra de 1.951 .

Según el artículo 11 de dicho acuerdo, pueden establecerse radiofaros marítimos de alcance no superior a 10 millas para entrada de puertos u otras finalidades, según las condiciones que en él se señalan. La distancia mínima entre estos radiofaros y los circulares del Acuerdo u otros similares, se calculará según se indica a continuación .

La distancia mínima D entre dos radiofaros A y B, viene dada por la mayor de las siguientes:

$$D_m = D_{BA} + X_A$$

$$D_m = D_{AB} + X_B \quad , \text{ donde}$$

X_A = alcance nominal del radiofaro A

X_B = alcance nominal del radiofaro B

D_{AB} = distancia de "perturbación" del radiofaro A para la percepción del B

D_{BA} = distancia de "perturbación" del radiofaro B para la perturbación del A

Para calcular la distancia D_{BA} (o D_{AB}), se define la relación de protección ρ del radiofaro A contra el B como:

$$\rho_B = 20 \lg \frac{U_A}{U_B} \text{ dB} \quad , \text{ donde:}$$

U_A = tensión producida por la señal en las bornas del altavoz del radiofaro en estudio

U_B = tensión producida en las mismas bornas por el radiofaro que interfiere

Entonces se define D_{BA} como la distancia que debe existir entre los dos radiofaros para que la relación de protección alcance el valor ρ_p de la tabla V.3:

Diferencia en KHz de las frecuencias portadoras de los radiofaros A y B	$\frac{U_A}{U_B}$	ρ_p en dB
0	31'6	30
2'3	3'5	11
4'6	0'2	14

Tabla V.3. Relaciones de protección entre radiofaros según la diferencia de sus frecuencias

De hecho, estas distancias estudiadas no son siempre respetadas por las convenciones regionales y los valores de las intensidades de campo eficaces son, con frecuencia, diferentes a los convencionales .

Por tanto, el alcance útil de un radiofaro está limitado, además de por la intensidad de campo de los parásitos y la sensibilidad del radiogoniómetro, por las interferencias de otros radiofaros y el poder de selección del radiogoniómetro .

V.4.2.- Dispositivos basados en las interferencias .

V.4.2.1. Radiofaros direccionales .

Se denominan así por marcar una dirección .

Están formados por un emisor similar al del radiofaro circular pero con un sistema de radiación compuesta, por una parte, por una antena en cuadro en forma de rombo, y, por otra, una antena dispuesta sobre la diagonal vertical de dicho rombo. De este modo, al alimentar simultáneamente el emisor a la antena y al cuadro, se produce un campo electromagnético, suma de los producidos por la antena vertical y la de cuadro, cuyo diagrama no es circular a causa de la interferencia de ambas ondas. Por consiguiente, a un lado del eje se percibe con tal preponderancia uno de los campos que el otro queda anulado prácticamente; ello es el fundamento del sistema, ya que uno de los diagramas corresponde a una determinada emisión y el otro a su complementaria, de tal modo que la suma de las dos da una emisión continua; ello puede conseguirse, por ejemplo, con rayas en un diagrama y puntos en el otro, o, mejor aún, con letras complementarias del alfabeto Morse, por ejemplo la E y la T, la A y la N ó la S y la L (Figuras V.14 y V.15) .

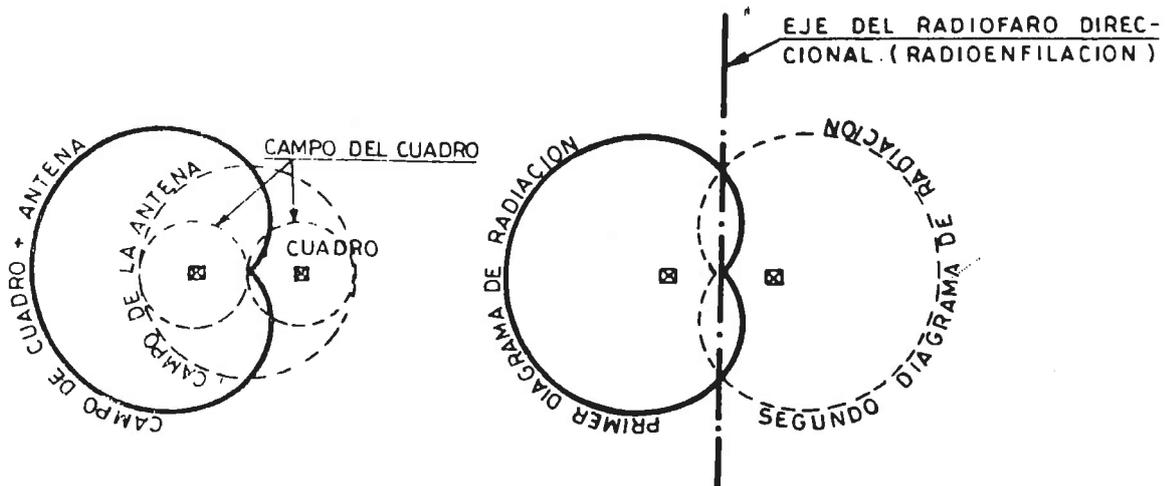


Figura V.14. Eje de un radiofaro direccional

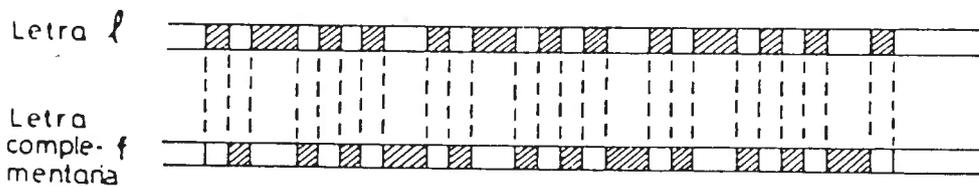


Figura V.15. Un tipo de señales de radiofaro direccional

De la disposición cualitativa de los diagramas de la figura, se desprende que un navegante provisto de un simple receptor de radio, sintonizado con la frecuencia de emisión del radiofaro oye a través del altavoz con más intensidad una u otra letra según que se encuentra a uno u otro lado del eje; en el eje que corresponde a la dirección que marca el radiofaro oirá ambas señales con igual intensidad y, por consiguiente, al ser complementarias, una señal continua. Si se encuentra fuera de la dirección podrá conocer en qué lado se encuentra, según la letra que oiga .

Este dispositivo es de gran precisión, y puede alcanzar los 25 m. de ancho de eje a una distancia de 10 millas del emisor. Las frecuencias utilizadas son análogas a las de los radiofaros circulares, sobre los 300 Hz. Tiene, sin embargo, el inconveniente de ser muy sensible a la existencia, en sus proximidades, de conductores o semiconductores y a los desniveles de terreno, de tal manera que únicamente es aplicable en lugares excepcionalmente despejados .

V.4.2.2. Sistema Consol .

Se expone aún cuando no se incluye entre las ayudas de los Servicios de Señales Marítimas de España .

El Sistema Consol, llamado al principio "sol eléctrico", fue inicialmente aplicado por los alemanes en la guerra de 1.939 a 1.945 para guiar a los submarinos, siendo después descubierto por los británicos. Actualmente es utilizado para la navegación civil, tanto aérea como marítima .

Se basa, también, en las interferencias de ondas .

Consiste en un abanico de radioenfiliaciones definido por trazos o puntos, que gira sincronizado con una rotación continua, de manera que el navegante, provisto de un simple receptor de radio ordinario, puede conocer la demora del radiofaro contando el número de trazos y de puntos que recibe en un ciclo, normalmente de medio minuto .

Para conseguir esta señal, se dispone un emisor ligado a dos antenas idénticas verticales, A y B en la figura V.16, por los que circulan corrientes de igual intensidad y fase. Sus radiaciones producen, en un receptor en un punto P, una fuerza electromotriz de la forma:

$$e = E_m \left[\text{sen } 2\pi f \left(t - \frac{PA}{v} \right) + \text{sen } 2\pi f \left(t - \frac{PB}{v} \right) \right]$$

donde v es la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío ($v \approx 300.000 \text{ Km/s}$) .

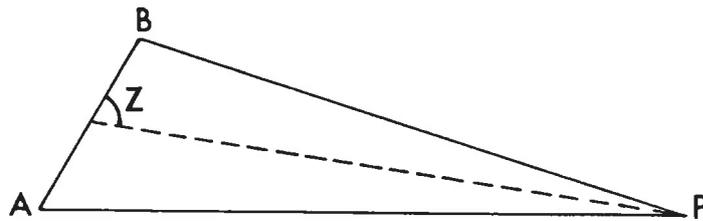


Figura V.16. Disposición del emisor del Sistema Consol

Esta fuerza electromotriz se anulará para los ángulos que cumplan:

$$2 \pi f \frac{PA - PB}{v} = (2K + 1) \pi$$

y como:

$$\frac{v}{f} = \lambda$$

será:

$$PA - PB = (2K + 1) \frac{\lambda}{2}$$

o, aproximadamente, si:

$$PA \gg AB$$

$$PB \gg AB$$

se puede poner:

$$AB \cos Z = (2K + 1) \frac{\lambda}{2}$$

Por tanto, el campo es nulo en ciertos azimutes y máximo en otros, dando lugar a un diagrama lobulado de la forma que indica la figura V.17 .

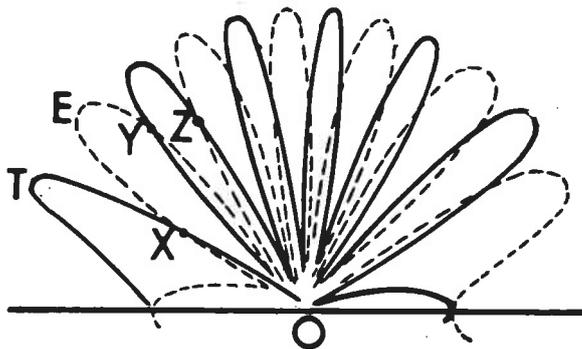


Figura V.17. Diagrama de la emisión del Sistema Consol

En la práctica el emisor está conectado a una antena central y a dos antenas exteriores, situadas entre sí a una distancia de 3λ ; las tres tienen la misma frecuencia de corriente, pero el desfase de las exteriores con respecto a la central es de $\pm\phi$. Por esto aparecen en la figura V.17 dos diagramas, uno de trazo lleno y otro discontinuo, que corresponden a la inversión de los desfases entre las antenas exteriores.

Con el primer diagrama, se emiten rayas y, con el segundo, puntos precisamente intercalados entre las rayas del primero; de este modo, en las zonas T se oye un trazo, y, en las E, un punto; sobre los puntos de intersección X, Y, Z, se definen los ejes OX, OY, OZ, en los que se superponen, con igual intensidad, rayas y puntos intercalados, por lo que la señal es continua.

La estación emisora está dotada de un dispositivo que hace variar progresivamente el ángulo de fase ϕ y hace girar en determinado ciclo -de veintiocho segundos, por ejemplo- la posición de los ejes, de tal modo que, al terminarse el ciclo, cada uno de los ejes ha barrido un sector y alcanzado el lugar que ocupaba el vecino al comenzar el ciclo. Existen, así, 22 ejes giratorios, que barren los 22 sectores durante el ciclo.

Un navegante situado en determinada dirección oye sucesivamente: una señal de identificación de la estación Consol, después, un cierto número de rayas (o puntos), luego una señal continua correspondiente al paso, por su dirección, de uno de los ejes giratorios, y, por último, cierto número de puntos o rayas terminando el ciclo.

El número total de señales de un ciclo es de 60, y, con el auxilio de una carta Consol, puede conocerse la dirección en que se halla dentro del sector. Si, por ejemplo, ha contado 16 rayas y 40 puntos, y ha perdido 4 señales con el paso del eje de señal continua, puede leer, sobre la carta o tabla, la demora que corresponde a:

$$16 + \frac{4}{2} = 18 \text{ rayas}$$

De este modo, se conoce la situación dentro de un sector, pero se presenta ambigüedad de cuál de los 22 sectores es el que corresponde; esta ambigüedad debe resolverla el navegante por otros medios, sea por estima de la situación groseramente aproximada de dónde se halla, pues la amplitud del orden de 10 a 25° le permite localizarla, sea con el auxilio de un radiogoniómetro que le permita tomar una demora aproximada relativa a la antena central.

Dos radiofaros Consol, o mejor tres, permiten fijar la posición.

Las frecuencias usadas son del orden de 300 KHz. Los alcances máximos son del orden de las 1.500 millas, sin disminución importante sobre los continentes. La precisión oscila entre 0'6° en la perpendicular al plano de las antenas y 1° cuando hay una separación de 50° en relación con esta perpendicular. Esta excelente precisión, cinco veces superior a la de los radiofaros ordinarios, es la causa de que el sistema haya alcanzado cierta extensión. Con separaciones superiores a 50°, la precisión disminuye rápidamente, y más

allá de los 60°, el sistema es practicamente inutilizable .

El hecho de que sólo requiera un receptor ordinario de radio constituye una gran ventaja del sistema .

V.4.3.- Dispositivos basados en la velocidad de propagación.

Estos dispositivos pueden, a su vez, clasificarse en tres grupos:

a) En primer lugar están los sistemas hiperbólicos, que se basan en la medición de la distancia del navegante a dos emisoras fijas, situándole, así, sobre una hipérbola. Esta medida de diferencia de distancia se realiza en base a la constancia de la velocidad de propagación de las ondas y midiendo una diferencia de fases o de tiempos .

b) El sistema de navegación por satélite .

c) Los radorreflectores, o radares que necesitan un emisor y un receptor, y que miden el tiempo de ida y de retorno de una onda al reflejarse en un objeto .

V.4.3.1. Sistemas hiperbólicos .

Los sistemas hiperbólicos son de muy moderna implantación y nacieron durante la última guerra mundial .

Se basan en que dos impulsos radioeléctricos emitidos desde dos estaciones diferentes tardan distinto tiempo en llegar al mismo punto; evidentemente los puntos en que la diferencia de tiempo es constante serán hipérbolas; por consiguiente, si se conocen dos familias de hipérbolas correspondiente, una de ellas, a dos estaciones y otra de ellas a otras dos estaciones (es decir, se precisan como mínimo tres estaciones), el punto de intersección de estas hipérbolas dará la situación sobre la carta náutica, midiendo con distintos aparatos receptores diferencias de tiempo o fase, y teniendo, a su vez, la carta náutica correspondiente al sistema .

V.4.3.1.1.- Sistema Decca .

El sistema Decca es una ayuda radioeléctrica a la navegación de corto y medio alcance, destinado a la navegación costera .

Fue utilizado, por primera vez, para conducir algunos barcos de pequeño porte a través del Canal de la Mancha la noche que precedió al desembarco aliado del 6 de Junio de 1.944 (Normandía) .

El dispositivo se basa en la constancia de la velocidad de propagación de las ondas y se ha puesto a punto por la firma inglesa del mismo nombre, durante los años subsiguientes a la guerra, para la navegación civil .

Una estación "maestra", A, y otra "esclava", B, radían ondas sincronizadas, que recoge el receptor del buque, produciendo unas fuerzas electromotrices, e:

$$e_a = K_A \operatorname{sen} 2\pi f_A \left(t - \frac{d_A}{v} \right)$$

$$e_b = K_B \operatorname{sen} 2\pi f_B \left(t - \frac{d_B}{v} \right)$$

donde K es constante, f es la frecuencia, t el tiempo transcurrido desde la emisión, d la distancia emisor-receptor y v la velocidad de propagación .

El receptor contiene un dispositivo que multiplica las frecuencias por los factores:

$$a = \frac{f}{f_a} \quad ; \quad b = \frac{f}{f_b}$$

haciendo comparables las fuerzas electromotrices:

$$v_A = C_A \operatorname{sen} 2\pi f \left(t - \frac{d_A}{v} \right)$$

$$v_B = C_B \operatorname{sen} 2\pi f \left(t - \frac{d_B}{v} \right)$$

y, midiendo la diferencia de fase:

$$\varphi = 2\pi \frac{d_A - d_B}{\lambda}$$

Esta medida la realiza un fasómetro, dando los resultados en una escala de 0 a 100, que corresponde a los 2π radianes de la vuelta completa .

En consecuencia, el lugar geométrico de los puntos donde la diferencia de fase de las ondas recibidas de A y B, es un número entero de veces 2π (suponiendo la tierra plana), es una familia de hipérbolas con focos en A y B (Figura V.18) .

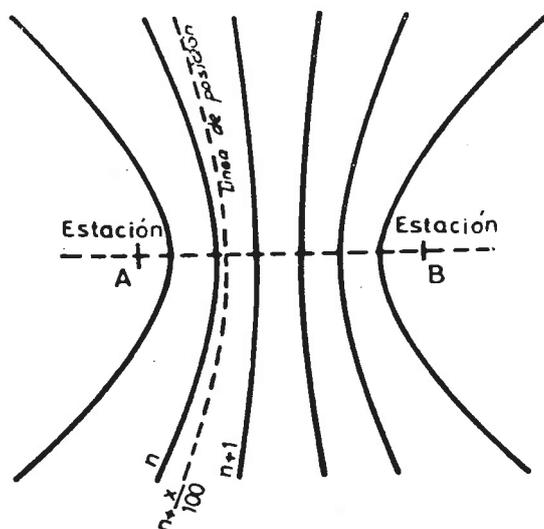


Figura V.18. Haz de hipérbolas

Esta familia de hipérbolas se traza sobre una carta, con los números de orden de cada una de ellas. La aguja del receptor Decca del buque se dispone de tal modo que coincide con el cero de la escala cada vez que pasa sobre una de las hipérbolas .

En la práctica, hay tres estaciones esclavas, B, C y D, que dan lugar a tres familias de hipérbolas sobre la carta; para distinguir las claramente se dibujan en tres colores diferentes: rojo, verde y púrpura. Del mismo modo, el receptor tiene tres cuadrantes. El punto de situación del navío se encuentra en la intersección de las tres hipérbolas interpoladas .

Una de las principales características del receptor es su total automatismo y, una vez sintonizados aquéllos con una cadena, de una manera continua van dando situaciones sin necesidad de más operaciones que llevar las lecturas sobre las cartas Decca .

Para obtener una situación, sólo es preciso utilizar dos de los tres haces hiperbólicos, llamados en las cartas Decca por las correspondientes letras, siendo práctica normal elegir aquellos dos cuyas líneas de posición presenten mejores ángulos de corte en la zona en que navega el barco .

Este sistema hiperbólico de navegación, al emplear el procedimiento de diferencia de fase para la medida de distancias, solamente puede utilizar la onda de tierra, o bien la llamada "onda directa", de tal manera que su alcance es de unas 400 millas náuticas durante el día, y de unas 300 millas náuticas durante la noche. Su exactitud es muy elevada en su línea de base (es decir, unión recta entre estación magistral y estaciones esclavas), donde se alcanzan los 10 metros de precisión en la determinación de una situación a corta distancia; en distancias de 250 millas el error máximo es de unos 150 metros, y, a las distancias de 100 millas éste se reduce a unos 30 metros .

El receptor tiene una elevada relación señal/ruido y el limitador de amplitud incorporado proporciona una casi total protección contra interferencias .

En la actualidad, existen dos Cadenas Decca en España: la del Noroeste y la del Sur; se encuentra prevista una tercera cadena en Levante, que cubre el Mar Balear y Sur del Golfo de León .

V.4.3.1.2. Sistema Toran .

El sistema Toran es un dispositivo de radiolocalización más que de radionavegación, y se basa, también, en la comparación de fases de las fuerzas electromotrices a la entrada de un receptor. Se obtienen, así, dos o tres familias de hipérbolas sobre cartas especiales, correspondientes, respectivamente, a cuatro o seis estaciones emisoras en los focos .

En principio son dos emisoras, A y B, de frecuencias ligeramente decaladas, comprendidas en la banda de 1.4 a 2.0 MHz y que, por construcción, cumplen:

$$70 \text{ Hz} \leq f_A - f_B \leq 90 \text{ Hz}$$

y un receptor , C, que recibe una señal de frecuencia $f = f_A - f_B$ y fase φ_C :

$$\varphi_C = \varphi_A - \varphi_B - \frac{2\pi f_A}{v} (AC - BC) - \frac{2\pi f}{v} BC$$

Esta señal se utiliza para modular un emisor en C, llamado de "referencia" de frecuencia f_c , comprendida en la misma banda anterior .

Un receptor a bordo, en un punto H, detecta:

a) Las ondas de los focos emisores en una señal de frecuencia f y fase φ_{M1} :

$$\varphi_{M1} = \varphi_A - \varphi_B - \frac{2\pi f_A}{v} (AM - BM) - \frac{2\pi f}{v} BM$$

b) La onda del emisor de referencia, de frecuencia f y fase φ_{M2} :

$$\varphi_{M2} = \varphi_A - \varphi_B - \frac{2\pi f_B}{v} (AC - BC) - \frac{2\pi f_A}{v} BC - \frac{2\pi f}{v} CM$$

Comparando estas dos señales, por diferencia, se eliminan φ_A y φ_B , mientras que el término:

$$\frac{2\pi f_A}{v} (AC - BC) - \frac{2\pi f}{v} BC$$

es una constante sin importancia, que puede ser eliminada, y el término:

$$\frac{2\pi f}{v} CM$$

es suficientemente pequeño para ser despreciado. La expresión

$$\frac{2\pi f_A}{v} (AM - BM)$$

es el término útil correspondiente a la hipérbola .

El conjunto de emisores A y B y del receptor C constituye un "par" Toran. Una segunda coordenada se obtendría de otro par. Los pares de emisores que dan lugar a los focos de cada hipérbola son independientes entre sí, y ello facilita la ubicación de las estaciones en tierra .

La amplitud de los canales hiperbólicos sobre la línea de los focos es del orden de los 7,5 metros; la precisión instrumental es del orden del 1 por 100 del canal y, la precisión global para la posición del receptor de a bordo, es superior a los 5 metros .

La alta banda de frecuencias empleadas en este sistema es, sin embargo, un obstáculo para su desarrollo, a pesar de la precisión .

En España no se encuentran montadas este tipo de señales .

V.4.3.1.3. Sistema Omega .

El dispositivo Omega es un sistema radioeléctrico de ayuda a la navegación en muy baja frecuencia (VLF), que permite a los navegantes obtener, en cualquier punto del globo, una posición segura con la ayuda de ocho estaciones emisoras. La distribución de estas estaciones Omega, indicada en la figura V.19, es la siguiente:

Noruega (A)	La Reunión (E)
Liberia (B)	Argentina (F)
Hawai (C)	Australia (G, en proyecto)
North Dakota, U.S.A. (D)	Japón (H)

El sistema es hiperbólico y se basa en la comparación de fases, como el Decca, pero todas las transmisiones usan la misma serie de frecuencias a lo largo de una secuencia, repartiendo el periodo de tiempo .

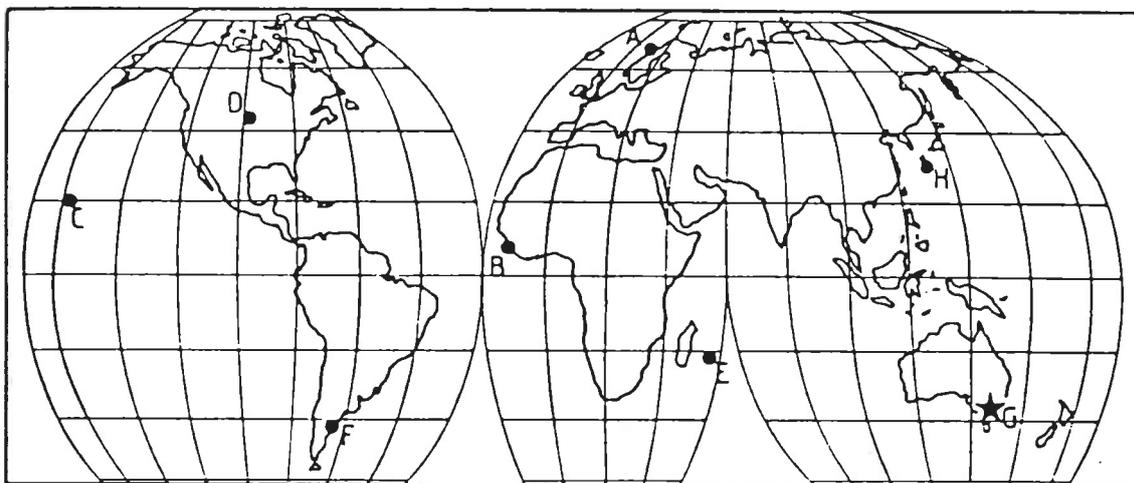


Figura V.19. Distribución de las estaciones Omega

Al igual que en el sistema Decca, existe una antigüedad en relación con el canal hiperbólico que se resuelve con una disposición de frecuencias múltiples; no obstante, como la anchura de los canales hiperbólicos es de 8 a 10 millas, los barcos que navegan a moderada velocidad no precisan la identificación del canal .

La distancia entre estaciones de base es del orden de 5.000

a 6.000 millas, lo que, unido al gran alcance de las ondas VLF, permite a cualquier usuario recibir la señal de, al menos, tres estaciones o más, según su posición y las condiciones. El navegante puede, así, elegir las líneas de posición que le proporcionen la mayor precisión .

Las estaciones exigen grandes antenas, a cuyo objeto se han aprovechado situaciones topográficas especiales donde la configuración de las montañas es favorable para evitar los mástiles o torres altas .

La fiabilidad del sistema Omega se basa en la estabilidad de fase de las ondas VLF, suficientemente previsible a grandes distancias. En estas circunstancias, son necesarias ciertas correcciones para aplicar debidamente las cartas marítimas, que pueden ser previstos con precisión suficiente para determinar la posición con un error inferior a 2 millas en el 68% de los casos .

La frecuencia fundamental, o primaria, del sistema Omega es 10'2 KHz. También se usan las de 11 1/3 y 13,6 KHz. Recientemente se ha introducido la de 11,05 KHz para aplicaciones especiales .

V.4.3.1.4. Sistema Omega Diferencial .

El Sistema Omega Diferencial es un dispositivo para mejorar la precisión del Omega .

Las precisiones vistas en el apartado anterior son suficientes para la navegación oceánica, pero no para la costera, donde se producen, con frecuencia errores prohibitivos, del orden de decenas de millas, debido a variaciones diarias y estacionales de la velocidad de propagación .

El sistema "Omega Diferencial" se basa en que estos errores son iguales en una zona de varios centenares de millas; si se coloca, entonces, un receptor Omega en un lugar fijo y se efectúa la diferencia entre las medidas de fase realizadas y las teóricas correspondientes a las coordenadas del lugar, que figuran en las cartas, se obtiene la corrección de propagación o error que se produce en la zona. Este valor, retransmitido al navegante, debe ser restado de la medida del receptor para determinar la posición con ayuda de las cartas Omega .

Hay varias formas de efectuar esta retransmisión. Así, a lo largo del tiempo, se ha pasado de la simple comunicación vocal radio telefónica al proceso automático actualmente utilizado .

Una estación Omega Diferencial, asociada a un radiofaro marítimo, constituye, pues, un sistema con dos objetivos:

- a) Emitir una señal identificable para uso de los navegantes mediante el radiogoniómetro;
- b) transmitir las correcciones Omega Diferencial, utilizando la onda portadora del radiofaro sin degradar su calidad

La ubicación de una estación Omega Diferencial no estará justificada económicamente para mejora de precisión del Sistema Omega, salvo en superficies grandes o zonas particularmente sensibles .

En la figura V.20 se recogen las estaciones emisoras de co-

recciones Omega Diferencial, tanto en funcionamiento (cuadrado), como en proyecto (círculo) en Enero de 1.981 .

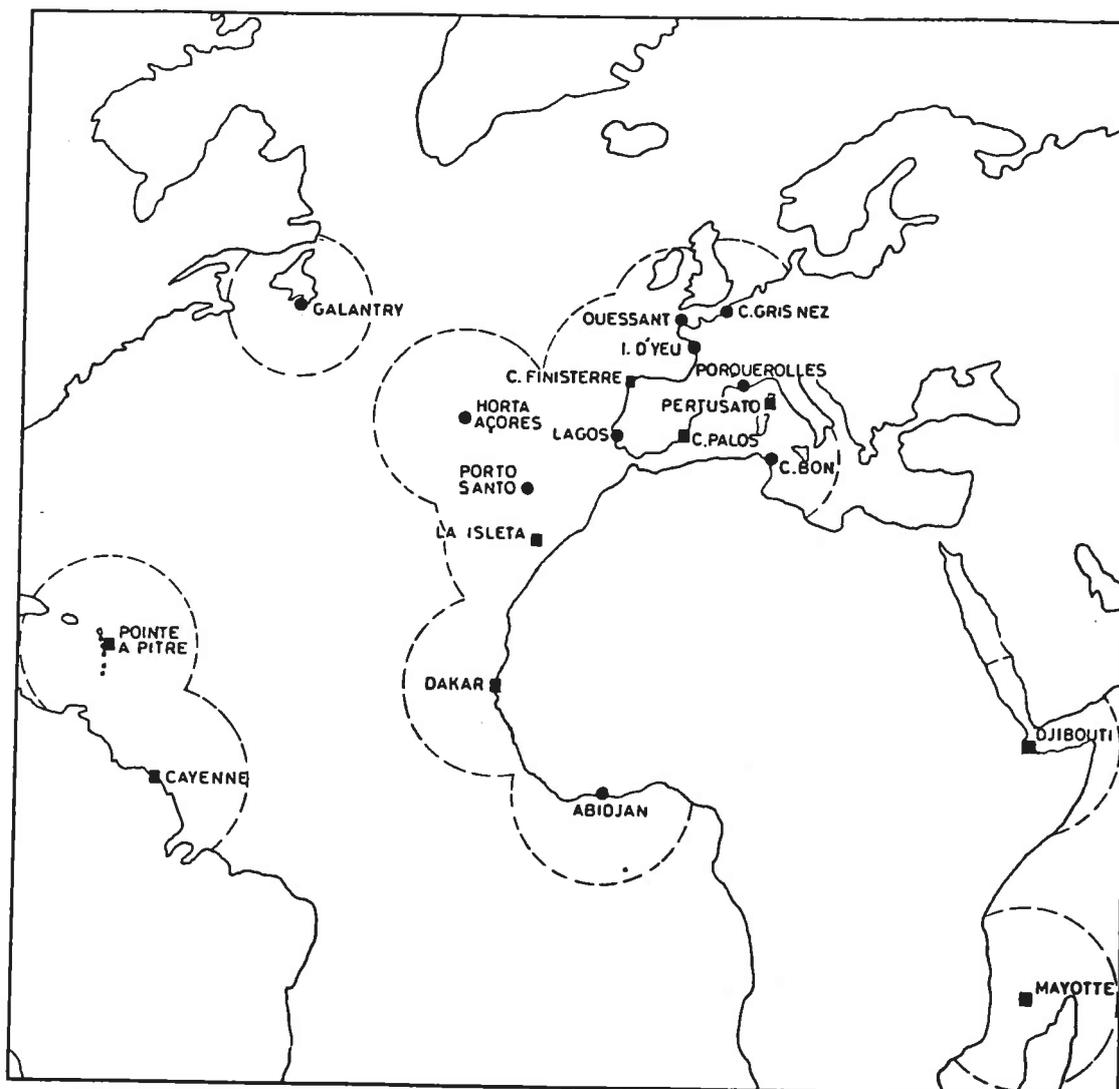


Figura V.20. Actual distribución de las estaciones del Sistema Omega Diferencial y cobertura que proporcionan

En España hay, en la actualidad, tres estaciones asociadas a radiofaros en funcionamiento .

V.4.3.1.5. Sistema Loran .

Este sistema cubre el Atlántico Norte y el Pacífico, y fue instalado entre 1.942 y 1.945, para el servicio de los buques y aviones de los Estados Unidos de América. La denominación procede de "Long Range Navigation", o sea, navegación a gran distancia .

El fundamento del sistema es que, para velocidad de onda de radio prácticamente constante, la medida de la diferencia entre los instantes de llegada de impulsos radioeléctricos que provienen de estaciones emisoras sincronizadas, proporcionan una línea de situación

hiperbólica. La intersección de dos líneas de posición determina un punto .

Se mide, así, la diferencia de tiempo consumido por cada impulso de los puntos A y B, para llegar al M:

$$t_B - t_A = \frac{M_B - M_A}{v}$$

y el proceso de posicionamiento es análogo al resto de los sistemas hiperbólicos .

Cada cadena emisora se compone de una estación maestra y dos esclavas, que originan dos familias de hipérbolas, recogidas en cortes especiales .

La estación maestra emite a intervalos regulares suficientemente espaciados, y las esclavas, o secundarios, están sincronizadas con ellas .

Hay dos modalidades: Loran A y Loran C .

En el sistema A, se emiten impulsos individuales repetitivos y se mide la diferencia de tiempo en el frente de los mismos. Las frecuencias son del orden de los 2.000 KHz, con intervalos de repetición de 30.000 a 50.000 μ s .

Presenta, el Loran A, el inconveniente de ocupar una amplitud de banda importante en una gama de frecuencias utilizada por los radioteléfonos, mala propagación de día sobre tierra e interferencias sobre mar .

Al objeto de salvar estos inconvenientes, se ha puesto a punto, en los Estados Unidos, el sistema Loran C, basado en el mismo principio pero utilizando ondas largas en la banda de 90 a 110 KHz.

En el Loran C son usuales alcances de 800 a 1.200 millas, según la potencia de las emisoras, sensibilidad de los receptores y pérdidas por propagación. Los errores obtenidos son del orden de 200 a 500 metros, en 200 a 500 millas náuticas .

La identificación de las diversas estaciones emisoras Loran C se realiza según el ritmo de emisión de sus impulsos, utilizando cada emisora la totalidad de la banda para producir impulsos tan rápidos como resulte posible .

El sistema Loran C se implantó, en principio, en los Estados Unidos, donde decidieron, en 1.974, la supresión del Loran A y encomendarle el servicio en la zona costera y de los grandes lagos. Las cadenas nacionales fueron, entonces, suprimidas y cambiadas en un periodo de 10 años .

Entre las cadenas en servicio en otros países, algunas fueron eliminadas en 1.977, mientras que otras han funcionado hasta 1.980 .

Los servicios de señalización marítima española no atienden estaciones de este sistema .

V.4.3.2.- Sistema de navegación por satélite .

La utilización de los satélites para ayudas electrónicas a la navegación ha dado lugar a sistemas que proporcionan una gran precisión en la determinación de la posición y que permiten una cobertura mundial .

El fundamento del sistema, el efecto Doppler dice que, cuando un centro emisor de ondas y un observador se aproximan uno al otro, la frecuencia observada es más elevada que la emitida; por el contrario, si se alejan, la frecuencia observada es más baja. Si se estudia así la observación del paso de una nave por una estación, es posible determinar todos los parámetros concernientes a la órbita del satélite .

El principio en que se basa el sistema es, precisamente, la medición, por parte del navegante, de la variación Doppler de la señal radiodifundida desde el satélite cuando se mueve a lo largo de su órbita .

Por medio del Doppler, se conocen las distancias al satélite, y, como éste, además, informa de su posición mandado por unas estaciones seguidoras, es posible conocer la diferencia de distancias a dos posiciones cuyo lugar geométrico es un hiperboloide de revolución de dos hojas, con focos en las posiciones del satélite. Para la navegación marina bastan dos hiperboloides para situar el barco .

El proceso se recoge en la figura V.21: La estación de seguimiento registra la variación de frecuencias de la señal emitida por el satélite (1), computando, así, la órbita futura (2). A continuación, una estación difunde al satélite los datos relativos a órbita y tiempo (3), que éste vuelve a radiar a tierra cada dos minutos (4). El computador del navegante (5) fija la posición del barco a partir de los datos suministrados por el satélite y su variación de frecuencias .

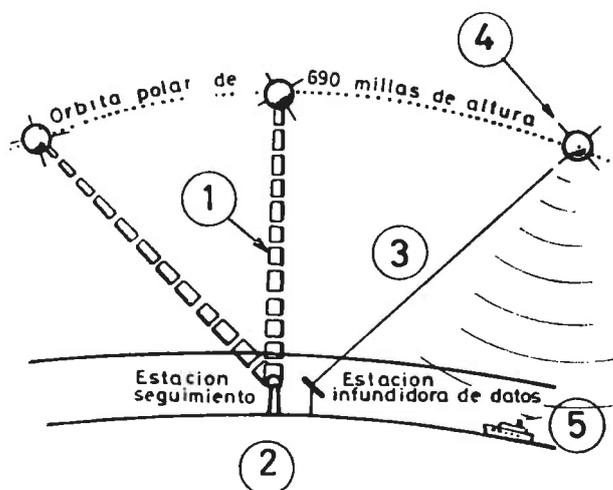


Figura V.21. Esquema del Sistema de Navegación por Satélite

Es preciso captar, por lo menos, tres emisiones procedentes de un satélite para determinar la posición. Los complejos cálculos necesarios son realizados por un ordenador, que obtiene precisiones del orden de 0,1 milla si la velocidad del navío es uniforme y perfectamente conocida .

El sistema sólo es utilizable cuando un satélite se encuentra sobre el horizonte del observador, que depende de la latitud del lugar .

Los servicios españoles de ayuda a la navegación del MOPU no disponen de este sistema .

V.4.3.3.- Sistemas de radar .

V.4.3.3.1. Principio general .

La palabra "radar" proviene del inglés, "Radio Detection And Ranging", es decir, detección y referencia por radio, y es una ayuda radioeléctrica a la navegación muy generalizada en la actualidad .

El principio de su funcionamiento se basa en la detección, tras su reflexión sobre un objeto, de una parte de la energía emitida (fenómeno del eco). Este objeto se designa, generalmente, por el nombre de "blanco" u "objetivo". Los objetivos se presentan de manera que su marcación y su distancia puedan ser conocidos permanentemente. En las frecuencias usuales, la energía no se modifica apreciablemente por las condiciones de visibilidad ni por la niebla, lo que hace al radar especialmente interesante para la navegación marítima .

Hay dos grandes grupos de utilización del radar:

- a) Radar a bordo del navío .
- b) Radar en tierra .

Los sistemas de radar conciernen sólo en parte a los Servicios de ayuda a la navegación del MOPU, ya que solamente corre a cargo de éstos la instalación de adecuados reflectores, para reforzar el eco en puntos caracterizados, como pueden ser, por ejemplo, las boyas que balizan los canales navegables. Estos reflectores pueden ser estáticos o electrónicos .

En principio, la emisora radar emite un impulso muy breve de energía radioeléctrica. Si este impulso encuentra un obstáculo en su trayectoria, parte de su energía vuelve a la fuente y, si su nivel es suficiente, es detectada. El equipo de radar comprende los circuitos que miden el tiempo transcurrido desde la emisión hasta la recepción de la señal de retorno. La velocidad de las ondas radioeléctricas en la atmósfera es sensiblemente constante, por lo que la medida del tiempo es función directa de la distancia al obstáculo .

En las aplicaciones marítimas, un dispositivo de radar (figura V.22) está formado por una antena con reflector (A_e), conectada a una emisora de impulsos (E), sincronizada con otra antena similar de recepción (A_r) y un receptor de impulsos (R). A este último se le conecta un indicador (I), sobre cuya pantalla aparecen los impulsos recogidos. En la pantalla del indicador (A), si el objetivo (H) es único y puntual, aparece una especie de trazo o cresta (O), que re-

presenta el impulso emitido, y otra cresta (m), que representa el impulso del eco; todo ello sobre un diámetro donde aparece la señal conforme al barrido .

La separación δ entre los dos trazos sobre la pantalla es proporcional a la distancia D, que separa al objetivo del radar .

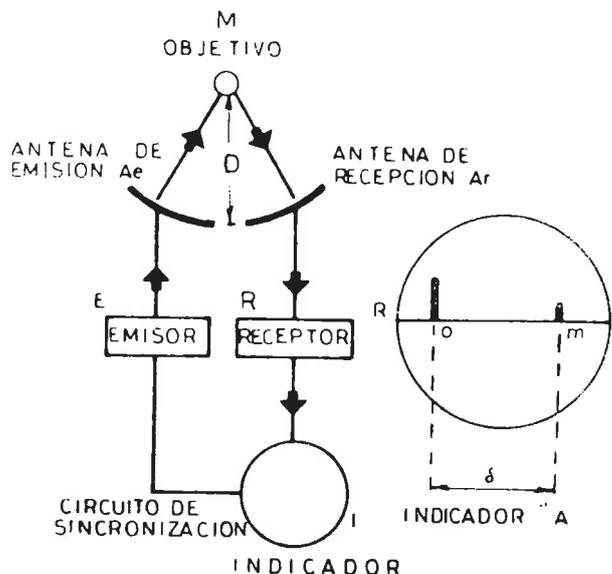


Figura V.22. Esquema del principio del radar

Las condiciones de alcance, poder de selección, tipo de objetivos detectables, insensibilidad a las condiciones meteorológicas, y, en fin, las diversas características de un equipo de radar varían mucho de unos a otros tipos; pero, en la práctica, los alcances propios de un radar para la navegación son de 300 millas náuticas para un objetivo constituido por un buque de 100 m. de eslora y 3 millas náuticas para una simple boya; todo ello en la hipótesis de que las antenas se hallen a suficiente altura .

V.4.3.3.2. Dispositivos particulares de los radares de navegación .

Los radares para la navegación adoptan los siguientes dispositivos particulares:

a) La antena de emisión y de recepción se confunde en una sola, con un dispositivo de conmutación que permite, por una parte, dirigir la energía hacia la antena al emitir un impulso y que impida, por otra parte, el paso de energía al emisor al recibir el impulso del eco .

b) La antena está animada de un movimiento de rotación alrededor de un eje vertical, de forma que barre todo el horizonte, recibiendo el eco de cuantos objetivos se hallan alrededor del buque .

La abertura del haz emitido por la antena tiene una divergencia horizontal del orden de los 2° , y una divergencia vertical del

orden de los 15°. La velocidad de rotación es de 10 a 30 vueltas por minuto, si bien existen equipos que alcanzan las 80 .

De este modo, un objetivo situado dentro del radio de acción del radar recibe, si tiene suficientes dimensiones, numerosos impulsos cuando el haz del emisor se encuentra dirigido hacia él .

Se emplean dos tipos de frecuencia: las próximas a los 3.000 MHz, con longitud de onda de unos 10 cm., y las próximas a 10.000 MHz, con longitud de onda de unos 3 cm., si bien se tiende a la elección de esta última, porque exige a bordo antenas menos voluminosas .

c) El indicador es de tipo "panorámico", es decir, que produce un doble barrido: la línea de barrido rápido se sustituye por una línea que tiene su origen en el centro de la pantalla y está animada por un movimiento de giro sincronizado con la rotación de la antena, de tal modo que produce un doble barrido en coordenadas polares. El impulso del eco que procede del obstáculo puntual se manifiesta por medio de un punto o de una mancha luminosa en la pantalla .

Los ecos de los diferentes objetivos forman sobre la pantalla un conjunto de manchas luminosas, cuyas coordenadas polares se corresponden con las de los puntos del espacio y el conjunto de estas manchas forman, sobre la pantalla del indicador, cierta suerte de carta groseramente aproximada, llamada "imagen panorámica" de los objetivos u obstáculos situados alrededor del barco, así como la costa o litoral .

Un radar de navegación puede dar diferentes escalas sobre una pantalla, ajustada, cada una, a sus correspondientes alcances de: media, una, dos y media, diez, veinte y cincuenta millas. El paso de una a otra escala se realiza con un simple conmutador .

d) El receptor está dotado de un dispositivo especial, que reduce los ecos parásitos, procedentes de las olas, llamados "retornos del mar". Este eco producido por las olas es más sensible con la onda de 3 cm. que con la de 10 cm.

La precisión que corresponde a los radares habituales montados en buques es la siguiente:

Precisión en dirección	1 grado
" " distancia	$\pm 1\%$ a $\pm 3\%$
Discriminación en dirección	de 1 grado a 2 grados
" " distancia....	de 7,5 m a 90 m, según <u>escalas</u>

La potencia de punta está comprendida entre 7 y 60 kw. La potencia absorbida en la red eléctrica es de unos 2 Kw, para los radares clásicos y de $\frac{1}{2}$ Kw para los radares que utilizan semi-conductores .

Estos aparatos facilitan considerablemente la navegación con bruma o niebla y permiten, al navegante, no sólo apereibirse de la presencia de cualquier otro barco u obstáculo existente, sino de su relación con el litoral .

Una navegación segura con radar en las aguas costeras no de-

pende solamente de la potencia del radar del barco, sino que precisa, también, del complemento de unas ayudas que contribuyan a señalar claramente, en la pantalla del radar, la ruta de navegación o el canal. Normalmente, las boyas y balizas son unos blancos de pequeño poder reflector. Para mejorar su colaboración con el radar, deben llevar un complemento, bien del tipo reflector pasivo, estático o simplemente reflector, o bien un dispositivo de tipo activo o electrónico. También se usa la denominación de "baliza radar", pudiendo, igualmente, ser activa o pasiva .

V.4.3.3.3. Conceptos operacionales. Relación alcance/potencia .

Aunque, como se ha dicho, no son objeto de la señalización a cargo del MOPU, se exponen algunos conceptos operacionales de los radares, y, en especial, de los usados en la navegación marítima para mejor comprender el dimensionamiento y funcionamiento de los reflectores activos y pasivos que sí establecen los Servicios del MOPU .

Las principales características son:

a) Alcance: depende de factores del propio aparato, de las pérdidas en propagación por interferencias y por la curvatura terrestre y de las propiedades del objetivo. De este último, interesa su superficie de difusión. Se define el área de difusión como la superficie de un elemento plano, situado en el emplazamiento del objeto y normal a la dirección del radar, que sería atravesada por una potencia tal que esta potencia radiada por una antena isótropa, con una polarización conveniente, daría un eco de la misma potencia que el eco real. La fórmula que da la superficie de difusión es:

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2}$$

donde A es la superficie aparente en metros cuadrados y λ la longitud de onda en metros. El valor de σ se obtiene, así, en metros cuadrados .

Con estos conceptos, la expresión matemática que liga los diversos aspectos de la emisión y la recepción es:

$$P_r = \frac{P_e G_e G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

, donde:

P_r = potencia recibida, en watios

P_e = potencia emitida, en watios

G_e = ganancia de la antena de emisión, en decibelios

G_r = ganancia de la antena de recepción, en decibelios

- λ = longitud de la onda utilizada, en metros
 R = distancia del objeto, en metros (alcance)
 σ = superficie de difusión del objeto, en metros cuadrados

b) Resolución radial, o límite inferior de propagación de distancias, que depende de la duración del impulso .

c) Resolución angular, o límite superior de percepción del ángulo de direcciones, que depende del ángulo de abertura de la antena .

d) Ecos parásitos, debidos a la radiación posterior de la antena del radar .

e) Insensibilidad del radar a las condiciones meteorológicas.

f) Condiciones de instalación, que rigen su comportamiento. Es importante, en este aspecto, situar la antena lo más alta posible, tanto para evitar obstáculos como para aumentar el alcance .

V.4.3.3.4. Reflectores de radar pasivos .

Las balizas pasivas, o reflectores de radar, son dispositivos concebidos para reflejar la energía electromagnética paralelamente a la dirección de incidencia, con el fin de mejorar la radio-detección. Para lograr este objetivo, se intentó aumentar la superficie de difusión aparente de un objetivo, asegurándose, además, que ésta sea constante bajo cualquier dirección .

a) Parámetros y tipos .

En principio, el rendimiento de un "blanco" provisto de un reflector de radar depende de tres parámetros:

- El tipo de reflector
- Sus dimensiones
- Su elevación sobre el nivel del mar

que deben cumplir unas condiciones mínimas .

Desde el punto de vista del radar, un reflector queda suficientemente caracterizado por su área o superficie de difusión aparente, dimensiones, diámetro y ángulo de cobertura .

Hay dos tipos diferentes de reflectores de radar:

- Lente de Lüneberg .
- Conjunto de diedros o triedros .

Su propiedad fundamental es reflejar la energía incidente, concentrándola en la dirección interrogante o incidente, en vez de difundirla en un gran ángulo sólido .

La lentilla de Lüneberg es una lente esférica, formada por esferas concéntricas de material dieléctrico, recubierta por una fina capa protectora de plástico. El elemento reflector es una lámina metálica dispuesta según el ecuador de la esfera (Figura V.23) .

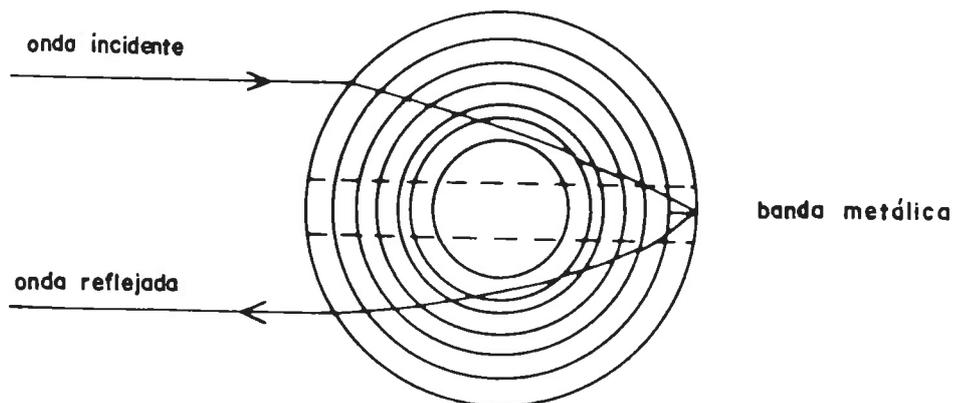


Figura V.23. Funcionamiento de la lentilla de Lüneberg

Los reflectores de diedros y triedros rectángulos metálicos funcionan según el esquema de la figura V.24, y se agrupan en formas diversas (Figura V.25) .

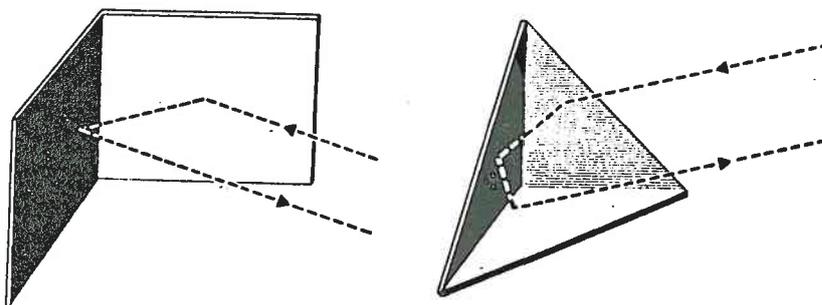


Figura V.24. Funcionamiento de diedros y triedros reflectores

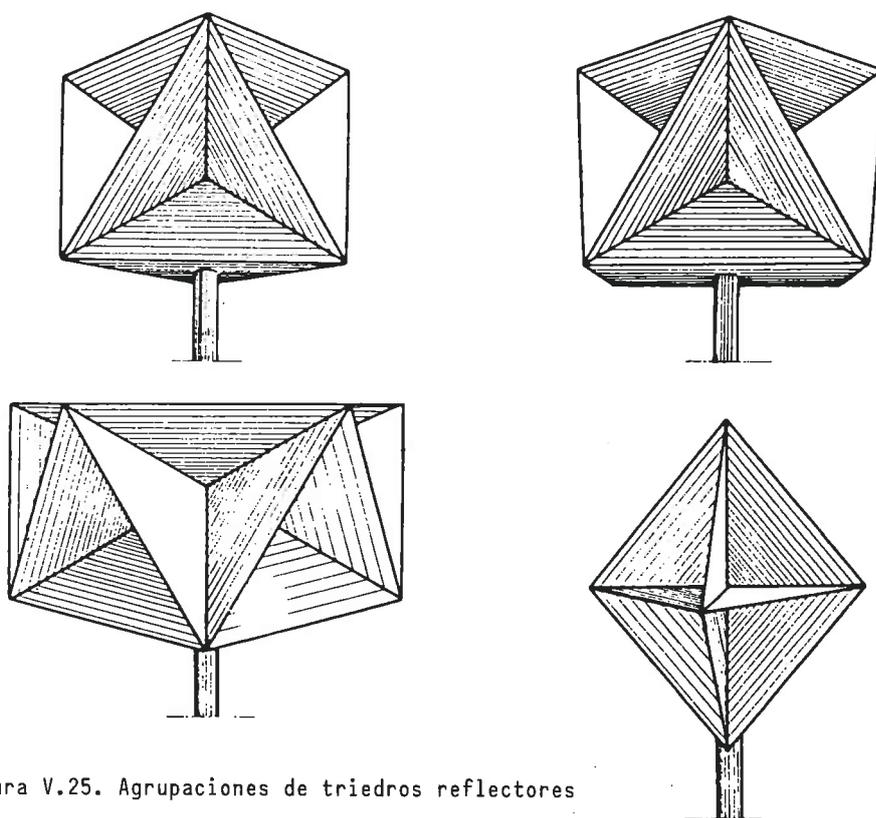


Figura V.25. Agrupaciones de triedros reflectores

El área de difusión aparente (definida en V.4.3.3.3.), para una longitud de onda λ , dependerá de la forma del reflector, siendo algunos valores los siguientes:

Placa rectangular de lados a y b	$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{a^2 b^2}{2}$
Reflector de rectángulos en diedros de lados a y b	$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} 2 a^2 b^2$
Reflector en triedro de arista a:	$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{a^4}{3}$
Lentilla de Lüneberg, con superficie aparente A, altura h y diámetro de la banda d	$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} (A - hd)^2$

Donde a, b, h, d y λ vienen expresados en metros y A y σ en metros cuadrados .

En las figuras V.26 y V.27 y en la tabla V.4 se recogen algunos tipos comerciales de reflectores para boyas suecas (AGA) y francesas (BBT) .

b) Cálculos o comprobaciones a realizar .-

Al ingeniero portuario le corresponderá, concretamente, el establecimiento de las pantallas reflectoras, que debe determinar para conseguir que los ecos tengan los alcances requeridos; por tanto, para determinado tipo, deberá calcular la superficie y la altura del reflector, ya que los demás parámetros son característicos del equipamiento del barco .

Se entenderá como alcance de un reflector, la distancia límite entre él y la antena, para que se produzca un eco visible en la pantalla. Para ello es necesario que las alturas de antena y reflector sean adecuadas y que la superficie reflectora sea suficiente, todo ello con arreglo a la instalación a bordo .

Según se ve en la figura V.28, la onda de radar alcanza, por una parte, directamente, al reflector y, por otra parte, se refleja en el mar antes de llegar a él, regresando ambas al transmisor. Dado que estas dos propagaciones tienen distintas longitudes, las ondas al regresar se interfieren mutuamente produciéndose una intensidad máxima y nula .

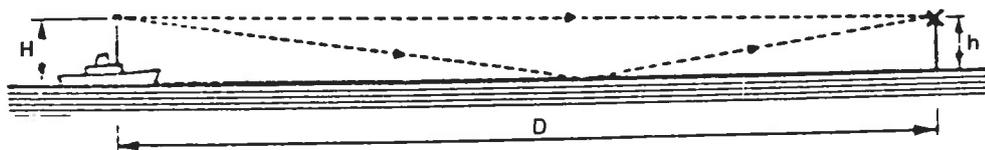


Figura V.28. Propagación de las ondas

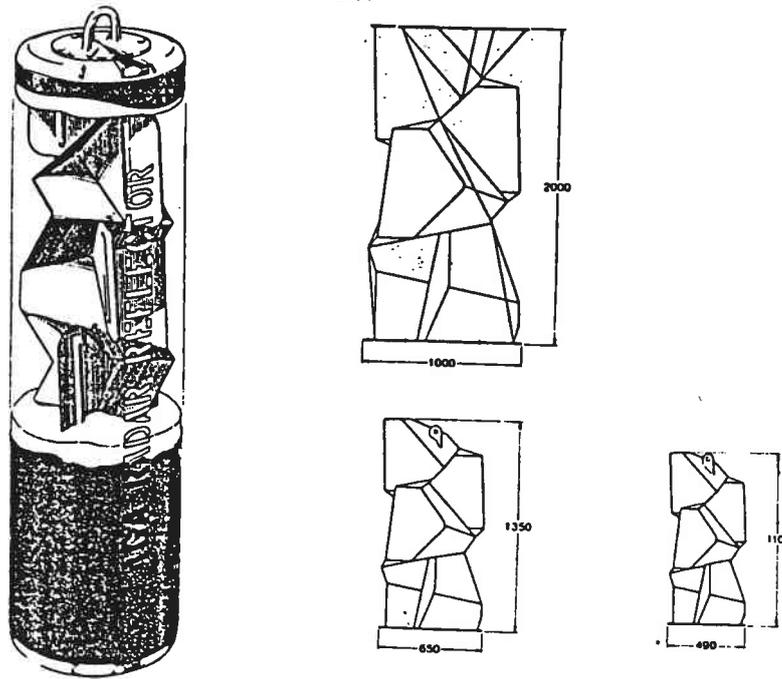


Figura V.26. Reflector de radar

Reflectores de boyas	Núm. de esquinas	Angulo que cubre	Anchura sin bastidor		Altura		Anchura con bastidor		Peso	
			mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	Kg.	Libras
RBSB — 60/10	10	360°	600	23,5	1.340	53	650	25,5	34	75
— 45/10	10	360°	450	17,5	1.075	42,5	490	19	23	50
— 30/10	10	360°	300	12	715	28	364	14	10	22

Reflectores de torres y costa	Núm. de esquinas	Angulo que cubre	Anchura sin bastidor		Altura		Anchura con bastidor		Peso	
			mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	Kg.	Libras
RBSD — 120/10	10	360°	1.200	47	2.660	105	1.320	52	350	770
— 120/8	8	320°	1.200	47	2.235	88	1.320	52	287	630
— 120/4	4	160°	1.200	47	1.800	71	1.320	52	222	485
RBSD — 90/10	10	360°	900	35,5	2.000	79	1.000	39,5	195	430
— 90/8	8	320°	900	35,5	1.675	66	1.000	39,5	163	360
— 90/4	4	160°	900	35,5	1.350	53	1.000	39,5	126	280
RBSD — 60/10	10	360°	600	23,5	1.330	52	675	26,5	61	134
— 60/8	8	320°	600	23,5	1.115	45	675	26,5	53	117
— 60/4	4	160°	600	23,5	950	37,5	675	26,5	45	100
RBSD — 45/10	10	360°	450	17,5	1.075	42,5	500	20	42	93
— 45/8	8	320°	450	17,5	895	35	500	20	35	77
— 45/4	4	160°	450	17,5	740	29	500	20	27	60

a) Reflector de radar standard espiral A.G.A.

Reflectores de boyas y torres	Núm. de esquinas	Angulo que cubre	Anchura sin bastidor		Altura		Anchura con bastidor		Peso	
			mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	Kg.	Libras
RBK — 55/8	8	360°	550	22	550	22	1.400	55	110	245
— 40/8	8	360°	400	16	385	15	1.100	43,5	55	120
— 28/8	8	360°	280	11	280	11	700	27,5	30	66
RBK — 55/1	1	45°	550	22	515	21	—	—	5	11
— 40/1	1	45°	400	16	370	14,5	—	—	2,8	6
— 28/1	1	45°	280	11	260	10	—	—	1,8	4

b) Reflectores de radar standard octogonal y simples A.G.A.

Tabla V.4. Algunos tipos comerciales de reflectores de radar suecos

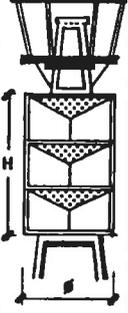
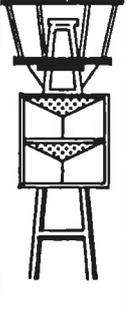
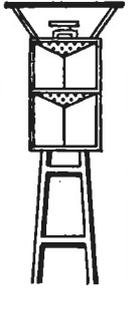
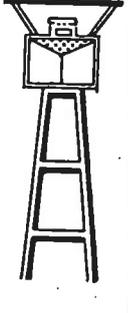
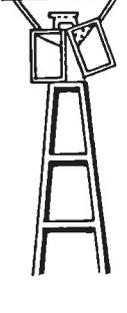
$H_F \dots (4) \dots m$	> 10	> 6	$> 4,6$	$> 2,9$	$> 2,9$
Alojamientos (3)	P + C	P + C	P + C	P	C
					
Tipo (1)	F	F	F	F	M
N(2)	3	2	2	1	1
\varnothing , mm.	1.650	1.650	1.000	1.000	1.000
H, mm.	1.800	1.200	1.200	600	600
E M B A L A J E					
	3,3	2,28	0,83	0,45	0,50
	685	500	275	165	180
O B S E R V A C I O N E S					
<p>(1) F: Fijo. M: Montado mediante bisagra para paso de los acumuladores.</p> <p>(2) N: Número de coronas.</p> <p>(3) P: Alojamiento periféricos. C: Alojamiento centrales.</p> <p>(4) Altura del foco de la luz instalada en la boya.</p>					

Figura V.27. Algunos tipos comerciales de reflectores de radar franceses B.B.T.

Cuando la distancia entre la estación de radar y el reflector aumenta, la amplitud del máximo decrecerá hasta que se llegue a un punto tras el cual no aparecerá ningún máximo y la relación antes citada decrecerá rápidamente (véase figura V.29). Este último máximo se encuentra a una distancia

$$D_h = \frac{4 H h}{\lambda} \left(1 - \frac{H^2 + h^2}{2D^2} + \dots \right), \text{ donde:}$$

D_h = alcance, en metros

H = altura de la antena transmisora, en metros

h = altura del reflector, en metros

λ = longitud de onda del haz de radar (normalmente 3 cm., que puede aumentar excepcionalmente hasta 10 cm.), en metros

Dentro de este radio D_h , se producirán interferencias que anulan la relación P/P_0 , a las distancias $D_h/2$ y otras, según la figura V.29, donde:

P = potencia reflejada, en decibelios

P_0 = potencia correspondiente al máximo más alejado en decibelios.

A = superficie del reflector

K = coeficiente que depende, entre otros factores, de la potencia P_0 del emisor de radar, así como de la calidad, longitud de onda, tamaño del reflector y forma del reflector .

Con esta fórmula se comprueba una condición necesaria -que el alcance no supere a D_h -, pero no suficiente pues habrá que comprobar la superficie y otros extremos según se expone seguidamente .

V.4.3.3.5. Determinación aproximada del alcance .

Para determinar con cierta aproximación el alcance, pueden utilizarse las siguientes fórmulas, válidas para radares de longitud de onda de 3 cm. y para una altura de la antena del emisor de 15 metros, en una situación de perturbaciones de radio atmosféricas normales:

$$h' = 2 \sqrt{A}$$

$$D' = 4 \sqrt{A} \quad , \text{ donde}$$

h' = altura óptima del reflector, en metros

h = altura empírica del reflector, en metros

A = área aparente, en dm^2

D' = alcance, en km, para $h = h'$.

D = alcance, en km ($r : r' = h : h'$)

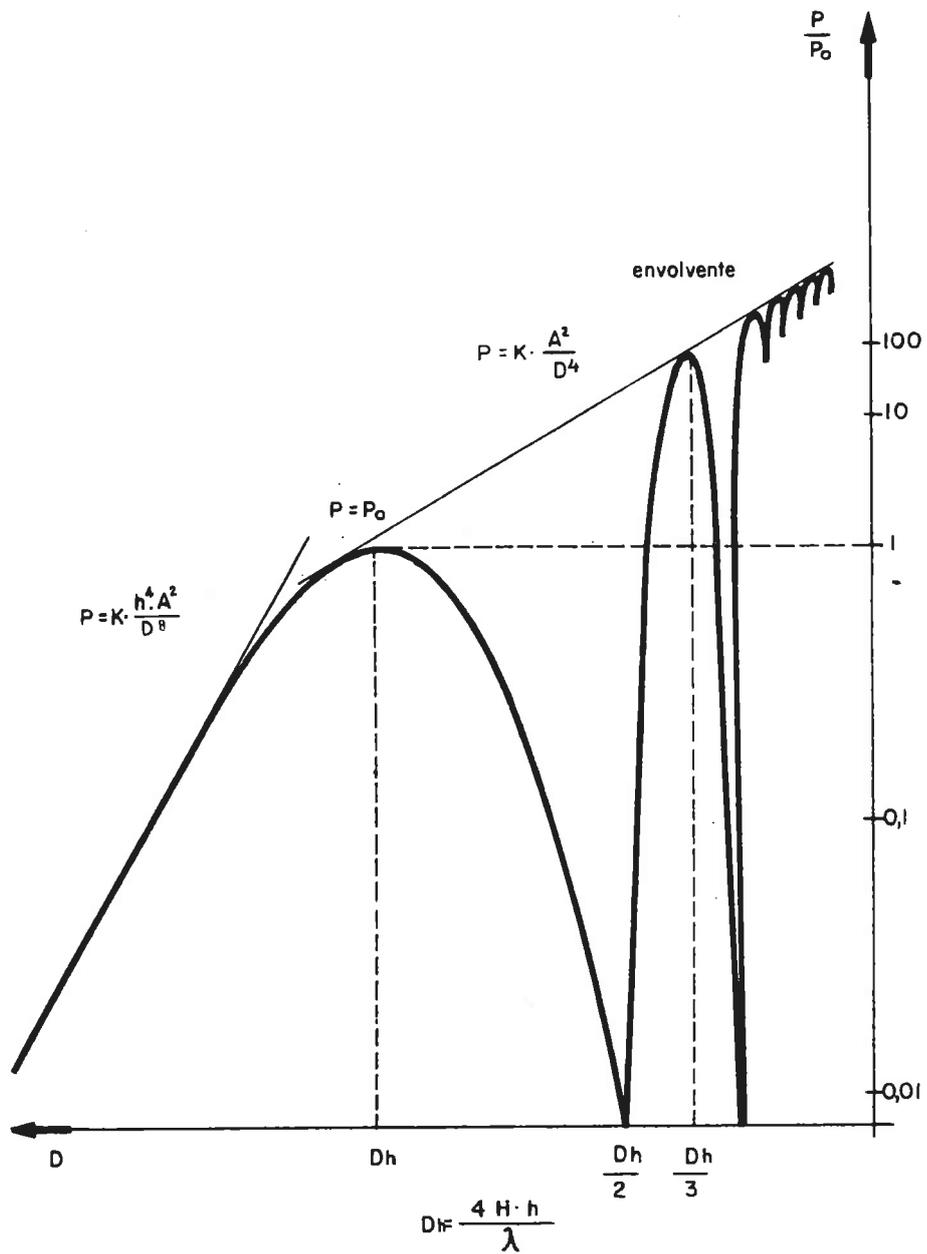


Figura V.29. Relación entre potencia reflejada (P) y emitida (P_0) en función de la distancia (D)

Con reflectores espirales standard A.G.A. se obtienen los valores de la tabla V.5 .

Reflector		A	h'	h	D'		D		Observaciones
Tipo	L/n	dm ²	m	m	km	mn	km	mn	
RBSB	13.5/20	1.5	2.5		4.9	2.6			Reflector peq. balizas
A1	30/10	3.7	3.8		7.7	4.1			Reflector boya BTLA 3545
RBSD	45/10	8.3	6.0	4.0	11.5	6.2	8	4.3	Reflector boya BTLA 4960
"	"	"	"	3.7	"	"	7	3.8	Reflector boya BTLA 3750
RBSD	60/10	15.0	8.0		15.5	8.5			Reflector colocación fija en tierra
"	"	"	"	5.5	"	"	11	6.0	Reflector boya BTWA 12070
"	"	"	"	4.0	"	"	8	4.3	Reflector boya BTLD 6560
RBSD	90/10	33.0	11.5		23.0	12.5			Reflector colocación fija en tierra

L = anchura sin bastidor en cm.

n = número de vértices

Tabla V.5. Valores de la altura del reflector y del alcance

En este tipo de reflectores, el área A viene dada por la expresión:

$$A = 0'41 \left(\frac{L}{10} \right)^2 \frac{n}{10} \text{ dm}^2$$

dependiendo L/n del tipo de reflector (véase tabla V.5) .

Las precipitaciones de lluvia producen una alteración de la potencia del eco, mayor en los radares de longitud de onda de 3 cm. que en los de longitud de onda de 10 cm., tal como se observa en la tabla V.6 .

Los cálculos de alcance se refieran a la zona que sigue al último máximo (véase figura V.29); pero la determinación de los mínimos, especialmente Dh/2, puede tener interés para evitar que coincidan con zonas de interés (pasos de canales, etc.) .

El alcance D_a de un reflector de radar de boya para un "blin scan ratio" del 50% y longitud de onda de 3 cm., está relacionado

3 cm onda

Lluvia mm/h	Disminución en dB por		Reducción de la potencia del eco	Observaciones
	milla n.	10 millas n.		
16	0.75	15.0	32.0 veces	Lluvia pesada
8	0.40	8.0	6.3 "	" fuerte
4	0.15	3.0	2.0 "	" normal
1	0.03	0.6	1.2 "	" ligera

10 cm onda

16	0.0117	0.23	1 vez	Lluvia pesada
----	--------	------	-------	---------------

Tabla V.6. Efecto de las precipitaciones en la potencia

con las superficies reflectoras, por la fórmula empírica:

$$D_a = 3,04 \sqrt{1,4 A_r + K A_b} \quad , \text{ donde:}$$

D_a = alcance, en millas náuticas

A_r = superficie reflectora proyectada, expresada en m^2

A_b = superficie proyectada de las partes emergidas de la boya, expresada en m^2

K = coeficiente que depende de la forma de la boya, y que vale:

0'5 si la forma es cilíndrica;

0,109 si la forma es cónica;

0,25 si la forma es de huso (SPAR) .

La fórmula es consecuencia de ensayos efectuados con reflectores de radar pasivos y boyas de diferentes tipos con antenas emisoras, a unas alturas comprendidas entre 7 y 30 m. sobre el nivel del mar .

El "Blin scan ratio" (o número de veces que una impulsión enviada por un reflector de radar aparece en la pantalla del mismo durante 100 vueltas de la antena), que se utiliza prácticamente para expresar el alcance del reflector, será del 50 por 100 .

V.4.3.3.6. Determinación rigurosa del alcance .

Para cálculos más rigurosos, debe tenerse en cuenta, no solamente el tipo de reflector (diédrico o triédrico), sino también la altura en que se sitúa y las características del sistema de radar; entonces, es de aplicación un procedimiento más enfadoso que el primeramente expuesto .

Las comprobaciones anteriores son suficientes en la generalidad de los casos en que el Servicio no conoce "a priori" las características del radar del potencial usuario. Si se conociesen dichas características y se precisase mayor exactitud en la determinación del alcance, pueden utilizarse los ábacos de las figuras V.30a) y V.30b) para 5 metros o 15 metros de altura de antena emisora, respectivamente, donde:

$Z = X + Y$ dB = constante del radar + constante del reflector, que valen: el valor nominal de X para los aparatos más frecuentemente utilizados es de 135 dB, pero puede calcularse exactamente:

$$X = 10 \log \frac{P_r (4\pi)^3}{P_t G^2 \lambda^2} \text{ dB} \quad , \text{ en que:}$$

P_r = potencia necesaria a la entrada de un receptor de radar para producir un eco visible sobre la pantalla (P.P.I.) expresada en dB, con referencia a 1 W

P_t = potencia de cresta de emisión del radar, expresada en dB, con referencia a 1 W

G = ganancia en veces de la antena del radar, normalmente 30 db (o sea, 1.000 veces) .

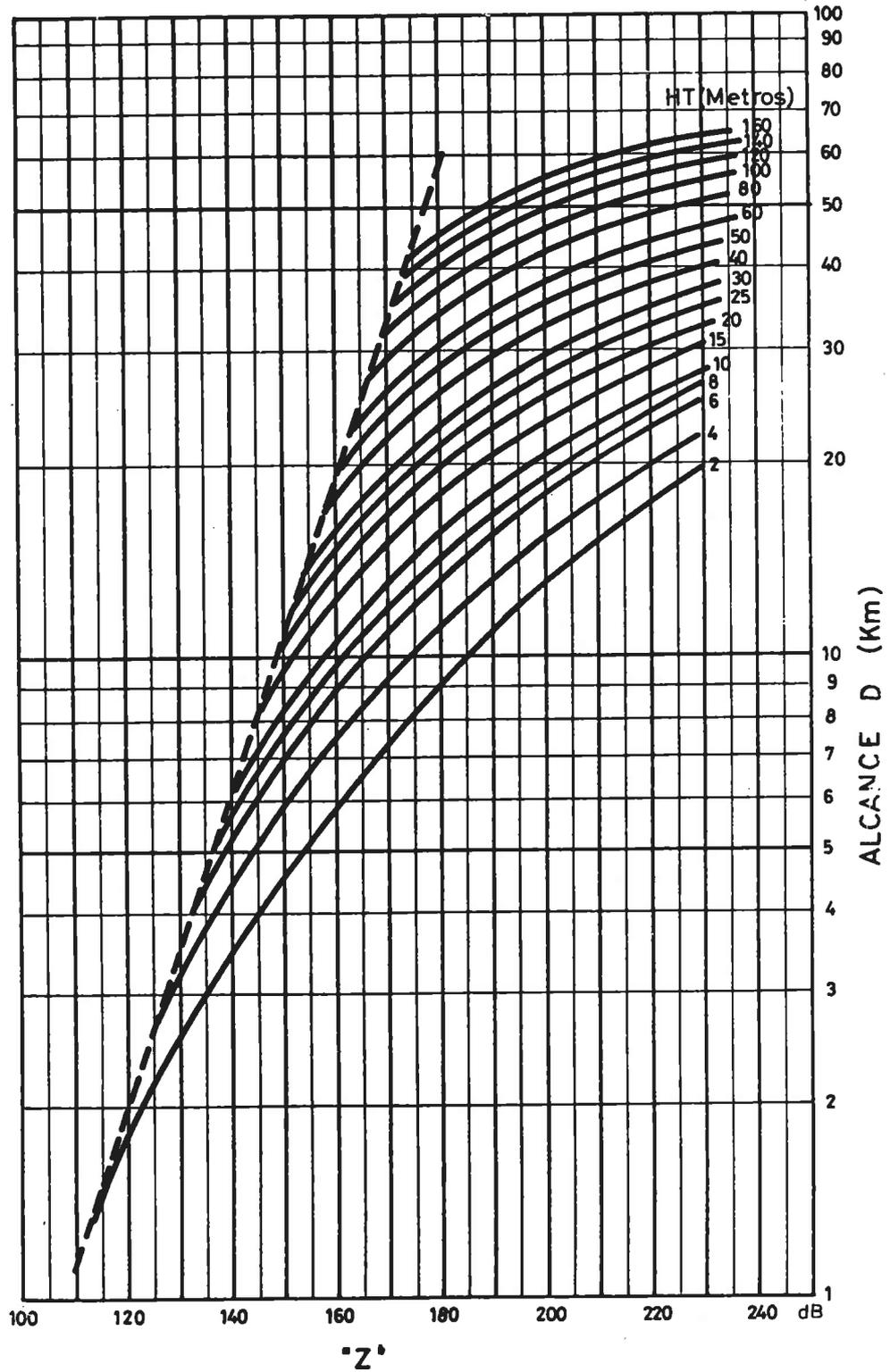
λ = longitud en yardas de onda del radar, normalmente 3,19 cm. (o sea, 0'0348 yardas) .

El valor de P_r se adopta experimentalmente (unos 100 db), pero también puede calcularse sumando, a los db de la potencia del ruido de entrada, los del factor de presentación, los de la pérdida por guía de onda y los del factor de ruido del receptor .

$Y = 10 \log \frac{1}{\sigma}$ dB, en que

σ = superficie de difusión efectiva máxima del reflector, expresada en m^2 que, a su vez, tiene los valores expresados en el parágrafo V.4.3.3.4.

Los valores de X e Y son negativos; su suma Z cambiada de signo aparece en los ábacos. Sus logaritmos son vulgares (base 10)



HT = Altura del reflector sobre el nivel del mar

Figura V.30.a.). Abaco para la determinación del alcance de un reflector de radar para una altura de antena emisora de 5 m. sobre el nivel del mar.

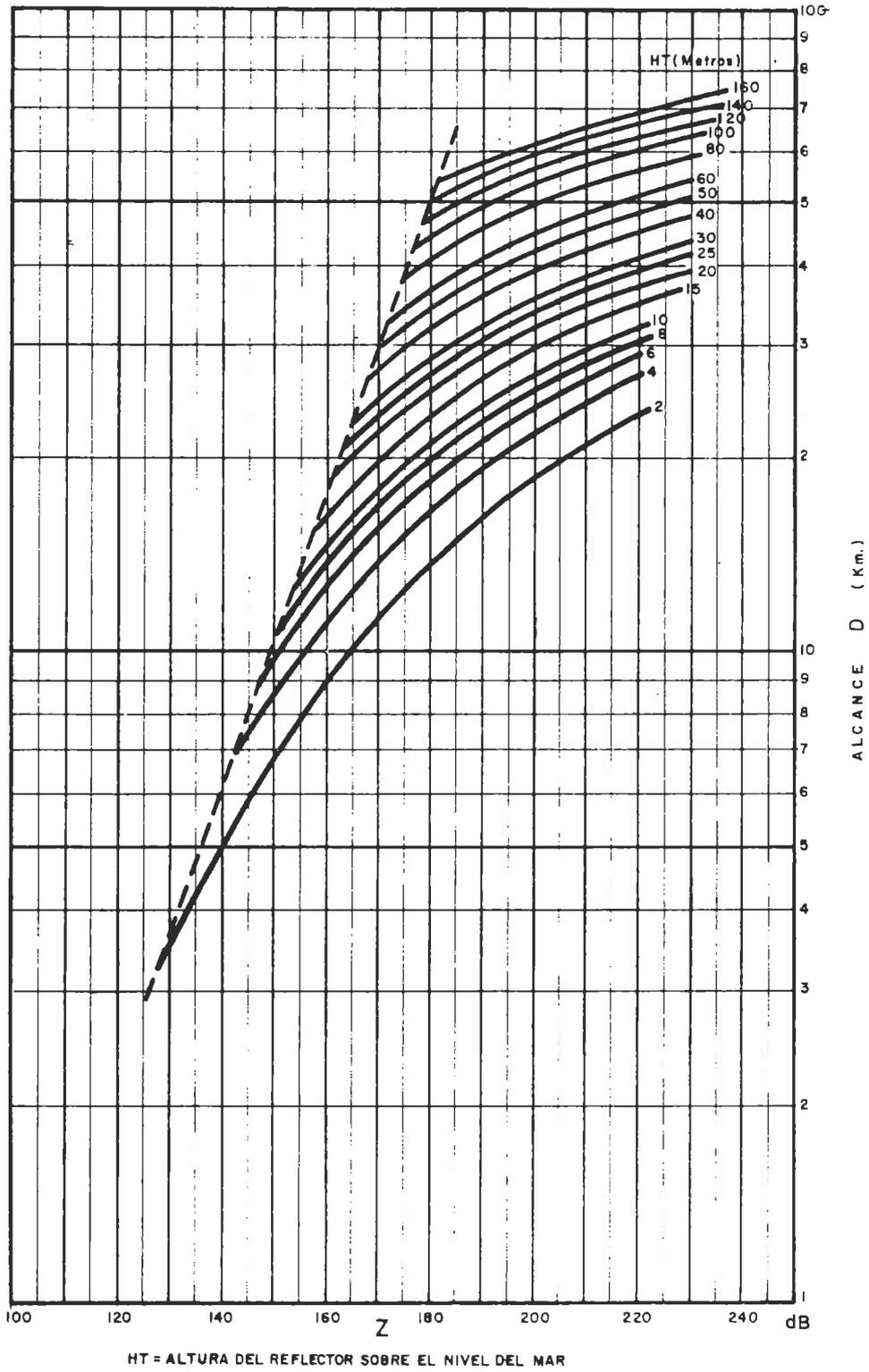


Figura V.30.b.). Abaco para la determinación del alcance de un reflector de radar para una altura de antena emisora de 15 m. sobre el nivel del mar.

V.4.3.3.7. Reflectores de radar activos .

Una baliza radar activa es un contrasceptor de identificación, con relación al cual puede determinar su dirección o su posición un móvil con ayuda de su radar de navegación. Su principal aplicación es identificar un objetivo o blanco .

Se llama contrasceptor de identificación a la parte de un radar secundario que recibe los impulsos procedentes de un radar primario o de un transmisor de interrogación y, en respuesta, transmite uno o varios impulsos que permiten al transmisor de interrogación identificar al móvil o a la baliza equipada con el contrasceptor de identificación .

Estas balizas se clasifican en dos grupos: las balizas Ranmark, emisoras de funcionamiento continuo, y las Racon, que sólo funcionan cuando son activadas .

La baliza Ranmark es una baliza de emisión continua, cuya señal puede ser recogida por cualquier radar que se encuentre a su alcance. En general, su frecuencia barre toda la banda radar. La baliza Ranmark da solamente una indicación de la dirección; su señal en la pantalla aparece como una línea continua, o no, según la emisión esté, o no, modulada, desde la posición del buque en que está situado el Ranmark .

El Racon es una baliza radar activa, que da en la pantalla de radar una indicación de demora y distancia. Proviene de la palabra inglesa Radar Beacon, y es un dispositivo que, activado por la recepción de uno o más impulsos de radar de un buque, emite a su alrededor uno o varios impulsos. Estos últimos pueden ser utilizados por el radar del buque, y aparecen sobre su pantalla en forma de una señal identificable y asociada al eco de la baliza .

Habitualmente, la señal característica del Racon en la pantalla comienza en un punto, situado a algunos cientos de metros de aquél en que se transmite la señal de respuesta, y se extiende más allá de este punto .

Para el estudio del alcance de una baliza activa Racon, se parte de la fórmula siguiente:

$$P_r = \frac{P_e G_e G_r \lambda^2}{(4 \pi R)^2} \quad , \text{ donde:}$$

P_r = potencia captada por el radar (o baliza), en vatios

P_e = potencia emitida por la baliza (o radar), en vatios

G_e = ganancia de la antena de emisión, en decibelios

G_r = ganancia de la antena de recepción, en decibelios

R = distancia del emisor al receptor, en metros

λ = longitud de onda, en metros

Si se consideran los efectos de absorción, difusión y pérdidas en la reflexión y trayectoria de la onda AB (Figura V.31), el alcance queda afectado por un factor F^2 , de la forma:

$$F^2 = 4 \operatorname{sen}^2 \left(\frac{2 \pi h H}{\lambda R} \right)$$

donde H y h son las alturas respectivas de A y B con respecto al plano tangente a la superficie del mar en el punto de reflexión del rayo indirecto. H' y h' son las alturas de A y B con respecto al nivel del mar.

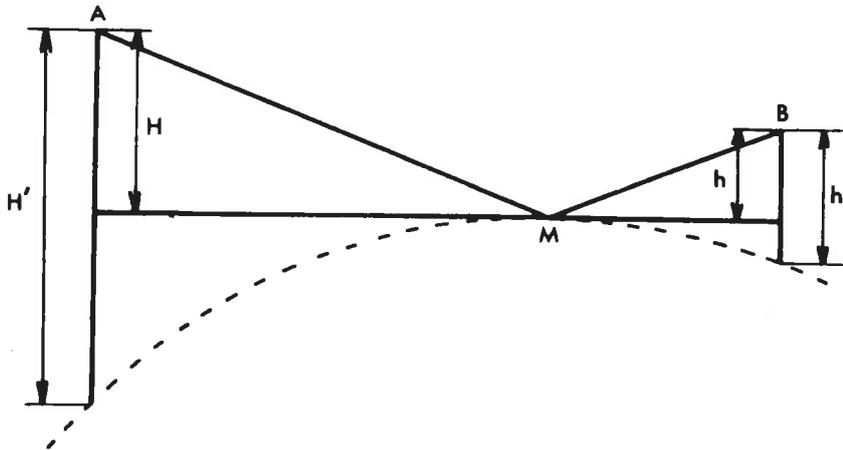


Figura V.31. Trayectoria de la onda

Así, la potencia captada será:

$$P_r = \frac{P_e G_e G_r \lambda^2}{(4 \pi R)^2} 4 \operatorname{sen}^2 \left(\frac{2 \pi h H}{\lambda R} \right)$$

de donde se puede extraer un factor Q, que depende de la onda y las condiciones atmosféricas:

$$P_r = P_e G_e G_r Q$$

$$Q = \frac{\lambda^2}{(4 \pi R)^2} 4 \operatorname{sen}^2 \left(\frac{2 \pi h H}{\lambda R} \right)$$

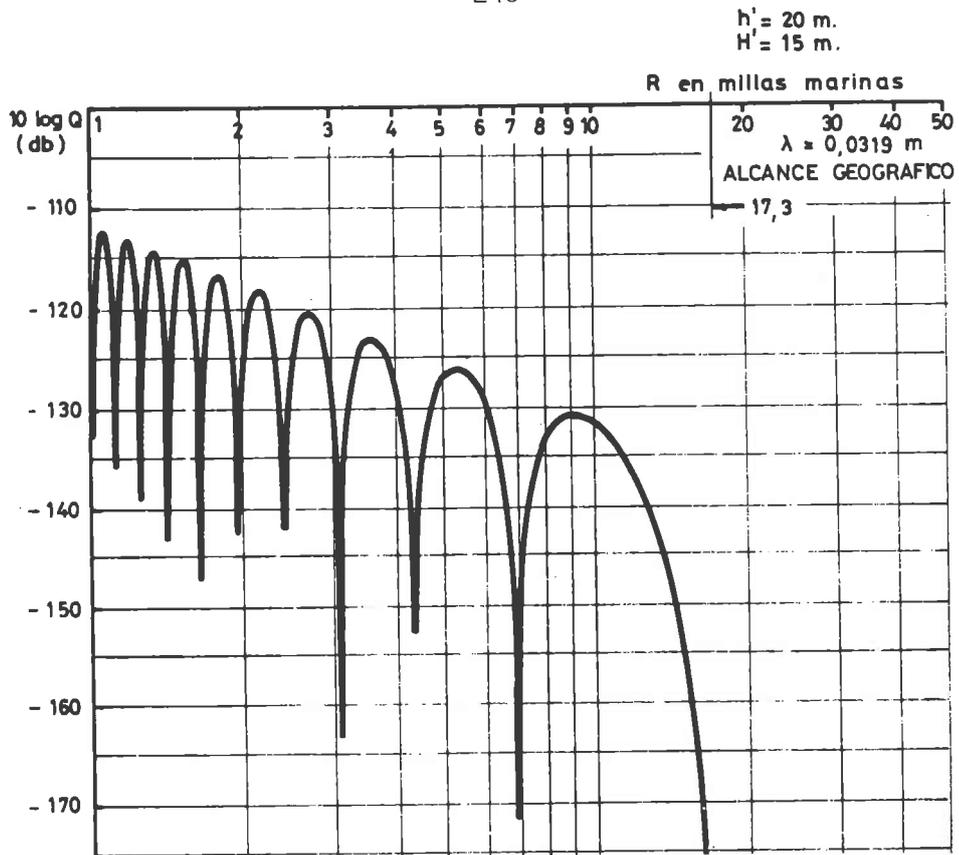


Figura V. 32. Variación de Q para $\lambda = 0,0319 \text{ m.}$

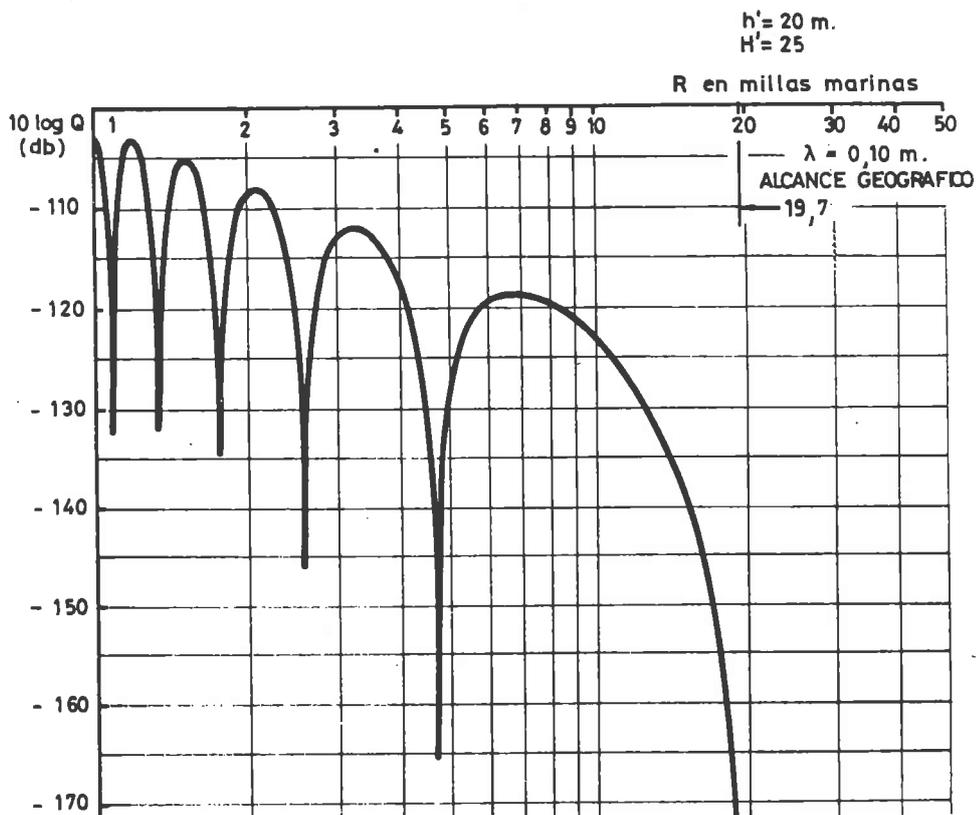


Figura V.33. Variación de Q para $\lambda = 0,10 \text{ m.}$

Ello permite calcular el valor de Q en función de R, según la frecuencia utilizada y las condiciones de instalación del radar y la baliza. Así, en las figuras V.32 y V.33, se recoge, a modo de ejemplo, el valor de Q en función de R en escalas logarítmicas para $\lambda = 3$ cm. y $\lambda = 10$ cm y diferentes posiciones de las antenas A y B.

Las características de emisión y recepción se agrupan en el término:

$$S = \frac{P_r}{P_e G_e G_r}$$

y el alcance se obtiene de la comparación entre los valores de Q y de S. Este último factor S será el que estudiará el Ingeniero, entre los distintos productos existentes en el mercado, para obtener la instalación adecuada .

En España, en la actualidad, hay instalados cuatro Racon de barrido lento, que trabajan en la banda X (9.300 MHz - 9.500 MHz), de 3 cm. de longitud de onda. En el Plan 1.985 - 89, se proyecta la instalación de dos de frecuencia ágil, con 10 cm. de longitud de onda, para sustituir a dos de los anteriores y cinco nuevos de barrido lento, pretendiendo llegar a un total de nueve .

V.4.4. Comparación entre los distintos sistemas .

En base a lo expuesto, las señales radioeléctricas para ayuda a la Navegación se pueden clasificar en tres grupos, según el criterio de su cobertura o alcance:

a) Para navegación en alta mar.-

Exigen una precisión no muy grande y corresponden a sistemas cuya implantación escapa a la Administración de un solo país. Se incluyen los sistemas Omega y Loran .

b) Para navegación costera o de recalada a puerto.-

Exigen una precisión relativa y pueden ser implantados por un solo país, ya que puede beneficiarse la navegación de cabotaje de la propia nación. En este campo se incluyen los clásicos radiofaros circulares y la mayor parte de los sistemas hiperbólicos .

c) Para navegación en estuarios y puertos.-

Exigen gran precisión y corto alcance. Sirven principalmente a tráficos locales y se incluyen, en este equipo, los diversos sistemas de radar activo o pasivo, el Toran y las pequeñas radiobalizas .

No se ha citado el sistema de navegación inercial porque, al basarse en el girocompás, no es, propiamente, un sistema radioeléctrico .

Las características, ventajas e inconvenientes de los principales sistemas radioeléctricos tratados expresamente en el Symposium de Sandefjord y de los que se han hecho especial mención en los epígrafes anteriores se sintetizan en el cuadro que se expone como tabla V.6 .

Sistema	Radiofaro circular	Radiofaro direccional	Consol.	Decca	Toran	Omega	Loran A	Loran C	NSSS	Rádar
Líneas de posición.	Líneas rectas (radiofaro).	Línea recta fija.	Rectas (a partir de 25 m.n. est.).	Hipérbolas.	Hipérbolas.	Hipérbolas.	Hipérbolas.	Hipérbolas.	Intersección de hipérbolas.	Rectas y círculos
Frecuencia.	200-400 KHz. 1 600-300 MHz.	200-400 KHz.	200-400 KHz.	70-130 KHz.	1,4-2 MHz.	10,2-13,6 KHz.	2 MHz.	100 KHz.	150-400 MHz.	3 000-10 000 MHz.
Potencia transmisión requerida.	Más de 1 kW.	Menos de 1 kW.	2 kW.	0,2 kW.	—	10 kW.	160-1 000 kW. (cresta del impulso).	250 kW. (cresta del impulso).	10-50 W. (satélite).	0,5-2 kW.
Tipo de emisión	Continuo.	Continuo.	Continuo (cifrado).	Continuo.	Continuo.	Continuo.	Impulsos.	Impulsos.	Discontinuo.	Impulsos.
Principio de medida.	Antena direccional.	Simple aparato radar.	Radiación giratoria de una clave.	Comparación de fases.	Comparación de fases.	Comparación de fases.	Tiempo llegada impulso.	Tiempo llegada impulso y comparación fases.	Efecto Doppler.	Diferencia, recordado impulsos.
Forma de lectura.	Audición de señal aplicando corrección.	Audición de los dos señales.	Simple cómputo de puntos y rayas. Aparato de radio normal.	Reloj o esfera automática de 2 ó 3 líneas de posición. Puede adoptarse un trazador automático.	Receptor para dos o tres líneas de posición.	Computador digital y/o trazador automático.	Comparador de impulsos manual. Manifestados por contador.	Un contador automático define 2 líneas de posición.	Computador digital combinado o no con centro de cálculo. La posición es un output.	Pantalla con retícula circular graduada.
Presentación.	Trazado de las demoras en la carta.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tiempo necesario para fijar posición.	5-10 minutos.	—	5-10 minutos.	30 seg. o inmediato con el trazador.	0,5-5 minutos.	30 seg. o inmediato con el trazador.	1-2 minutos.	30 segundos.	—	1-2 minutos.
Alcance.	Normal: 50 m.n. Buenas condiciones: 100-200 m.n.	30 m.n.	1 200 m.n.	250 m.n.	3-50 m.n.	5 000 m.n. (cobertura mundial).	700 m.n. de día. 1 400 m.n. de noche.	1 200 m.n.	Cobertura mundial.	50 m.n.
Precisión media.	5 m.n. en alcance de 50 m.n.	1,5 % en ancho.	4 m.n.	0,25 m.n.	5 metros.	1-3 m.n.	2 m.n.	0,125 m.n.	0,1 m.n. equip. precisión. 0,5 m.n. Stan.	1-3 %
Ventajas.	Muy útiles para recalada. Establecimientos sencillos en tierra.	Gran precisión en rutas fijas.	No precisa ningún receptor especial a bordo.	Alta precisión en buenas condiciones. Equipo automático.	Estación transmisora de material sencillo.	Permite una cobertura mundial con pocas estaciones.	La onda de cielo tiene escasa influencia en la precisión. Muchos transmisores en igual frecuencia.	Gran alcance y a la vez gran precisión.	Permite una cobertura mundial.	Permite conocer gráficamente los obstáculos de las inmediaciones del buque.
Inconvenientes.	Numerosas causas de error Perturbación en las ondas de cielo.	Muy expuesto a errores por la desviación de las ondas.	Los sectores angulares próximos a la base no son utilizables (unos 60 grados).	Importantes variaciones diurnas de la precisión. Alcance limitado por el efecto de la onda de cielo.	Empleo de altas bandas de frecuencias.	Exige una antena transmisora de gran tamaño.	Amplia banda de ondas con interferencias de los transmisores.	Gran amplitud de banda. Equipo complicado.	Igual que el Navstar.	Deformación de imágenes. Pérdida de definición por reflexiones en oleaje.
Observaciones.	Hay legislación que los exige en barcos de más de 100 t.r.b.	—	Exige cartas especiales.	Exige cartas especiales.	Precisión instrumental del 1 % del canal hipérbólico.	En vías de adopción patrocinada por E.E.U.U. para cobertura total.	Hay 79 estaciones cubriendo 30 % hemisferio norte.	Los receptores son muy costosos. 30 estaciones cubriendo 35 % H.N.	El equipo receptor de gran precisión tiene dos canales, el standard uno sólo.	El pasivo sólo exige receptores en tierra.

Tabla V.6. Comparación de sistemas

CAPITULO SEXTO

SEÑALES ACUSTICAS

Para la redacción de los textos y para la selección de figuras, ábacos y tablas del presente Capítulo se han utilizado las publicaciones que, en la anexa reseña bibliográfica, figuran con las siglas:

A.7 A.9 A.12

B.19 B.20

C.7 C.11



VI.- SEÑALES ACUSTICAS

VI-1.- INTRODUCCION

Las señales acústicas tienen como objeto principal advertir al navegante, en caso de niebla, la inmediata presencia de la costa; su función es, por consiguiente, meramente informativa y no permiten proporcionar dato alguno en relación con la situación en las instalaciones comúnmente utilizadas .

Excepcionalmente, y a base de emisiones sincrónicas sonoras y radioeléctricas, existen algunas instalaciones especiales, basadas en la velocidad de propagación del sonido, que permiten proporcionar al navegante datos relativos a su situación .

VI-2.- CONCEPTOS BASICOS

El "sonido" es la sensación fisiológica producida en el oído cuando éste es alcanzado por una perturbación adecuada. Esta perturbación está constituida por una compresión y enrarecimiento subsiguiente del medio ambiente, causada por la vibración de algún medio material; para que estas compresiones y enrarecimientos puedan ser captados por el oído, tienen que producirse entre determinadas frecuencias .

Todas las ondas sonoras se transmiten, en un medio, a la misma velocidad. Las frecuencias perceptibles para un oído humano normal van de 20 a 20.000 Hz .

Un sonido "puro" es aquel producido por una vibración acústica sinusoidal. Normalmente, los sonidos son complejos, susceptibles de ser descompuestos en un cierto número de ondas simples, correspondientes, cada una de ellas, a un sonido puro .

Las ondas sonoras se distinguen por tres características: su tono, su timbre y su intensidad .

VI.2.1.- Tono

Por el tono, el oído asigna un determinado lugar en la escala musical; la frecuencia es la característica física asociable al tono de una onda sonora. Los tonos muy altos o muy bajos pertenecen a sonidos no percibidos por el oído humano; los que les siguen, requieren potencias de emisión relativamente mayores; las óptimas son las del orden de 1.000 a 5.000 Hz .

VI.2.2.- Timbre

El timbre depende de que el cuerpo vibrante actúe con una o varias frecuencias; por consiguiente, la característica física asociada al timbre es la complejidad de la onda sonora, o número de ondas simples o "armónicos" en que pueden descomponerse. El timbre da personalidad al sonido .

VI.2.3.- Intensidad

La intensidad de un sonido se corresponde con la magnitud de

la sensación producida por el mismo. La cantidad física que se asocia es la intensidad de onda, es decir, la energía sonora que, en unidad de tiempo, atraviesa la unidad de superficie normal a la dirección de propagación. Se trata, pues, de una potencia por unidad de superficie .

La intensidad acústica depende de la fuente sonora y se expresa en watios por cm^2 ; se relaciona con la presión acústica, expresada en barias, por una equivalencia de 10^{-16} watios/ cm^2 a 0,0002 barias. (1 baria = dina/cm = 10^{-9} bar) .

En la práctica, sin embargo, no se utilizan estas unidades, sino los "decibelios", aplicables tanto a los niveles de intensidad acústica como a los de presión acústica, y que se definen según a continuación se indica .

VI.2.4.- Ley de Weber Fechner

El decibelio responde a la ley, aproximada en psico-fisiología, conocida como de Weber-Fechner, que dice que la magnitud de la sensación es proporcional al logaritmo de la intensidad; por consiguiente, si:

- K = Coeficiente de proporcionalidad
- I = Magnitud de la sensación de sonoridad
- W = Intensidad de la onda sonora
- W_0 = Intensidad de una cierta onda sonora de referencia, que constituye el umbral, es decir, bajo la cual no hay sensación

tendremos:

$$I = K \log \frac{W}{W_0}$$

Si en lugar de I utilizamos un nivel de intensidad de sensación I_u , definido por :

$$I_u = \log \frac{W}{W_0}$$

resulta que se ganará una unidad de nivel de intensidad de sensación cuando la intensidad considerada sea diez veces superior a la que se adopta como de referencia, que corresponde al nivel 0 .

A esta unidad se la denomina "bel" o "belio" (expresión B en honor del físico Alexandre Graham Bell, que realizó importantes estudios en acústica) y corresponde a la sensación producida por un sonido de nivel (de intensidad o de presión) acústico igual a diez veces el del umbral. El bel resulta excesivamente grande y, por esto, se utiliza su décima parte, que se denomina "decibel" o "decibelio" (notación dB) .

La utilización de los decibelios permite expresar, indistintamente, niveles de intensidad y niveles de presión acústica; al umbral (mínimo) de audibilidad corresponden 0 decibelios, 10^{-16} w/cm² como valor de la intensidad y 0,0002 barias como valor de la presión acústica. El umbral (máximo) de sensación está establecido en los 120 decibelios, equivalente a una intensidad de 10^{-4} w/cm² y a una presión de 200 barias; a partir de este umbral, las sensaciones son dolorosas .

La equivalencia de la "atmósfera" como el "milibar" es: 1033 gr/cm² = 1033 x 980 dn/cm² = 1.012.000 barias = 1,012 bars = 1.012 milibares (presión normal) .

Una idea de los niveles correspondientes a los distintos sonidos la da la siguiente tabla:

Hogar tranquilo	40 dB
Esquina de una calle	80 dB
Calderería	100 dB
Despegue de un reactor	170 dB

Las cifras antes expuestas para los umbrales no son absolutas, sino que dependen de las frecuencias del sonido .

VI.2.5.- Relación entre nivel de intensidad de la fuente y nivel de intensidad de la sensación

El nivel de intensidad de la sensación acústica o "nivel de sonoridad", o "nivel sonoro", sigue sensiblemente la Ley citada para tonos comprendidos entre los 1.000 y los 5.000 Hz; para tonos mayores o menores, el oído humano exige, para igual sensación, una mayor presión acústica o intensidad de onda sonora .

Si se entiende como "fonio" la magnitud de la sensación correspondiente a un tono puro de 1.000 Hz e intensidad de un (1) dB, resulta que, entre los 1.000 Hz y los 5.000 Hz, el número de los dB es sensiblemente igual al de los fonios; no sucede así para el resto de los tonos, especialmente para niveles bajos, cuya intensidad de onda sonora debe ser notoriamente aumentada en los extremos de la banda correspondiente a la audición humana, si se quiere mantener igual sensación. En la figura adjunta se puede observar la importancia de esta variación .(Figura VI.1) .

Como en los cálculos de señales acústicas se adopta el valor mínimo de 55 dB, esta circunstancia tiene, relativamente, escasa incidencia para el mínimo de 300 Hz .

VI.2.6.- Tonos y apariencias sonoras habituales

Como la corriente alterna usual tiene frecuencias de 50 ó 60 Hz no puede utilizarse directamente para producir tonos de igual frecuencia; es preciso multiplicar ésta por 6 para obtener los 300 Hz que, como mínimo, requiere una similitud de los fonios con los dB inherentes a la intensidad de onda sonora .

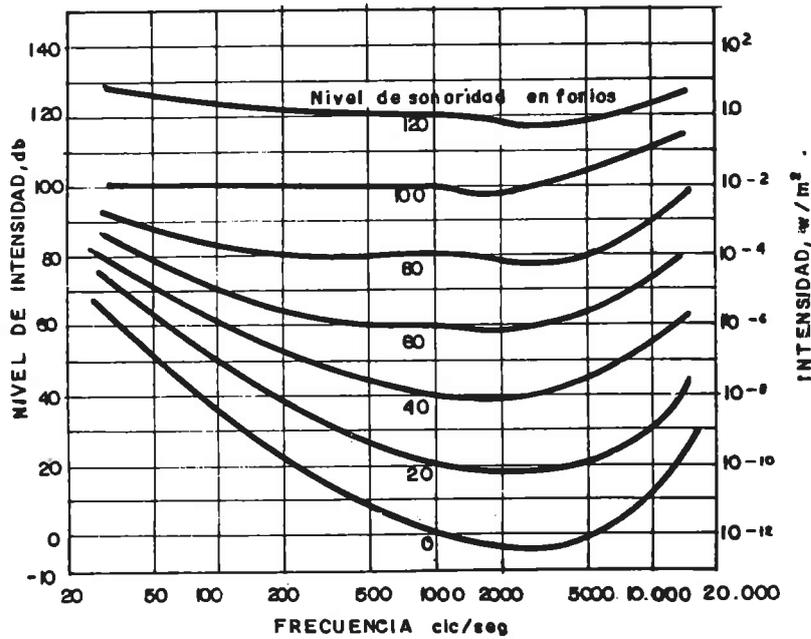


Figura VI.1.- Nivel sonoro en función de la intensidad y la frecuencia

En las señales marítimas acústicas, los tonos habituales oscilan entre los 300 y los 1.000 Hz, siendo los primeros los que corresponden a los vibradores electromagnéticos.

Corresponden, los sonidos puros, a los vibradores electromagnéticos, y los sonidos complejos, a las señales de aire comprimido.

Los niveles de intensidad acústica que se expresan en dB varían en función de los alcances asignados a la señal y constituyen el principal cálculo del Ingeniero.

La identificación de la señal acústica (también se llama "sirena", "señal fónica", "señal de niebla" o "señal sonora"), aunque no tiene la importancia de las luminosas o radioeléctrica, se produce mediante "apariencias sonoras", o distintivos que suelen consistir en fases de sonido y silencio que corresponden a determinadas letras del alfabeto Morse durante cierto periodo.

VI-3.- CALCULO DE LAS SEÑALES ACUSTICAS

Dados el alcance y la apariencia de la señal sonora, el problema que debe resolver el Ingeniero proyectista de las instalaciones

de las señales marítimas es el de elegir, entre los distintos tipos de estas instalaciones de señales acústicas que se encuentran en el mercado, la que mejor responda a aquellas necesidades, exigidas por la Comisión Permanente de Faros .

VI.3.1.- Límite inferior de percepción del sonido

El umbral de audibilidad de un sonido puro varía considerablemente con la frecuencia. Como criterio práctico se toma, para el cálculo de señales acústicas, un nivel sonoro de 50 fonios, que corresponde a una intensidad sonora de 55 decibelios a 300 ciclos por segundo (300 Hz) .

Si se considera el ruido de fondo del barco o embarcación, el sonido ya no es puro y el oído realiza una combinación de las distintas componentes. Esta "suma" que efectúa el oído dependerá de la banda que ocupen las componentes en el rango de frecuencias .

Una forma de medir la anchura de banda es en octavas. Una octava es el intervalo entre dos frecuencias que están en relación 2:1. Una banda de un tercio de octava es una banda de frecuencias en la cual la relación de las frecuencias extremas es igual a la raíz cúbica de 2 .

Entonces, si la banda ocupada por el sonido complejo es estrecha, del orden de un tercio de octava, la suma que realiza el oído se hace según una ley sensiblemente cuadrática, mientras que, si la banda es más ancha, los resultados de esta ley son demasiado bajos .

Por tanto, cuando exista un ruido de fondo, entre éste y la señal, constituida por un sonido puro, deberá existir una diferencia de nivel sonoro que se recoge en la figura VI.2 y que depende de la frecuencia del ruido y su anchura de banda. La curva 1 corresponde a una anchura de 1 Hz, y la 2, a un tercio de octava. Se supone que el ruido tiene una distribución espectral sensiblemente continua. Los valores obtenidos son válidos para una percepción de la señal por el 50 por 100 de los observadores. Para que la señal sea percibida por el 90 por 100 de los observadores, se debe aumentar la diferencia en 3 dB .

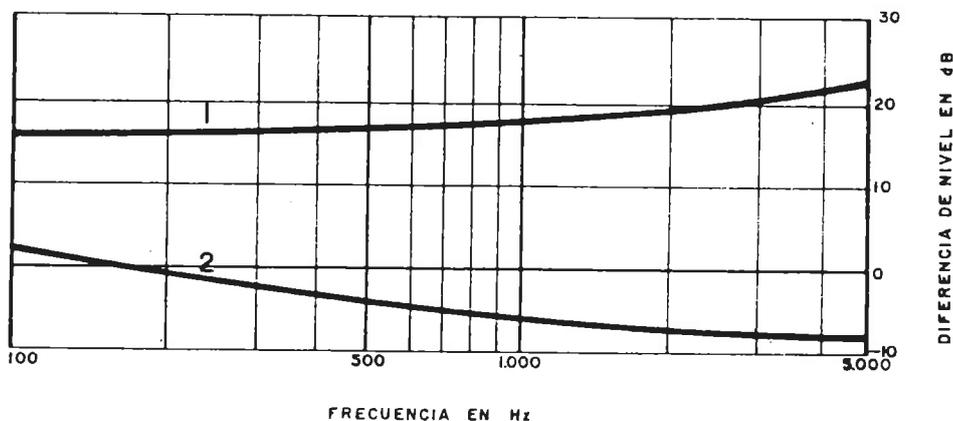


Figura VI.2.- Diferencia de nivel sonoro entre la señal y el ruido de fondo

VI.3.2.- Determinación de los alcances

Se han seguido diversos métodos, según las distintas casas constructoras y según los Servicios o Países, siendo en España los más comúnmente utilizados los que a continuación se expondrán .

VI.3.2.1.- Con nivel de presión acústica a 1 cm

Dado el alcance D en kilómetros y la pérdida lineal de intensidad sonora de la onda acústica en decibelios por kilómetros, S, la intensidad sonora necesaria de la señal acústica (aparatos), será la siguiente:

$$I = 155 + 20 \log D + S \cdot D \quad \text{dB}$$

Esta fórmula implica que el nivel de presión acústica o, lo que es lo mismo, de intensidad en la recepción, sea de 55 decibelios.

El nivel de presión acústica propia del aparato es el existente a un (1) centímetro del mismo en el eje .

La fórmula se deduce según sigue; si:

W_D = Intensidad sonora a la distancia DKm del emisor, en W/cm^2

W_a = Intensidad sonora a la distancia de un (1) centímetro del emisor, en W/cm^2

W_o = Intensidad sonora de referencia correspondiente al umbral

A = Coeficiente (inferior a la unidad) de pérdida de intensidad sonora por kilómetro (concepto similar al de la transmisión atmosférica de las señales luminosas)

evidentemente, será:

$$W_D = W_A \left(\frac{1}{100.000 D} \right)^2 \cdot A^D \quad \text{de donde:}$$

$$10 \log \left(\frac{W_D}{W_o} \right) = 10 \log \left(\frac{W_a}{W_o} \right) - 100 - 20 \log D - D \cdot 10 \log \left(\frac{1}{A} \right)$$

y siendo

$$S = 10 \log \left(\frac{1}{A} \right) \text{ dB/Km} \quad \text{y} \quad 10 \log \left(\frac{W_D}{W_o} \right) = 55 \text{ dB}$$

llamando I a la intensidad requerida al aparato emisor en dB, resulta la fórmula expuesta .

S depende de la frecuencia (tono) y, para valores intermedios

de ésta, vale 2, 2,5 ó 3 dB/Km, según se considere viento a favor, lateral o en contra (ver parágrafo VI.3.5.2). La figura VI.3 recoge los ábacos para estos tres valores .

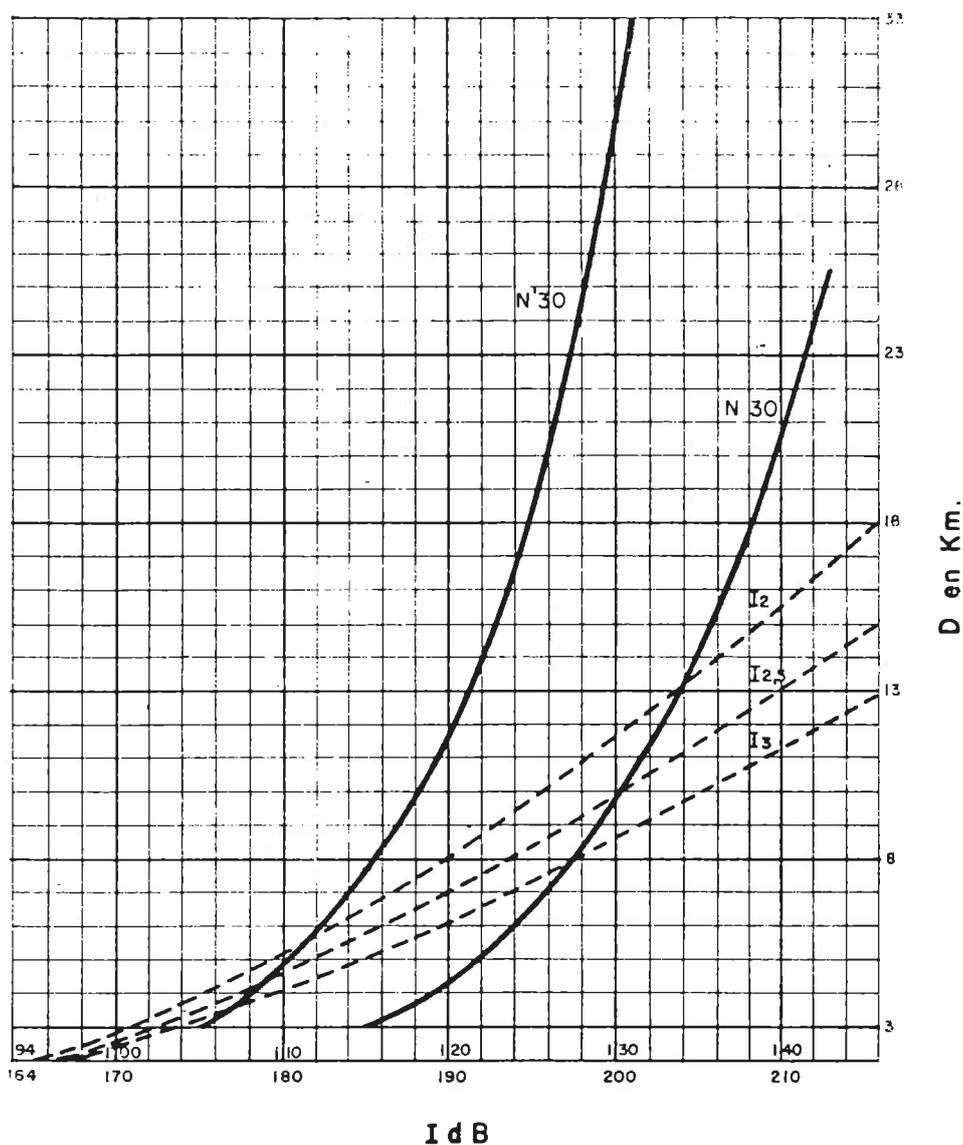


Figura VI.3.- Alcance de las señales acústicas

El alcance está influido por muchos factores; por ejemplo, viento, condiciones del tiempo, presión y humedad relativa del aire, altura de la emisora y del observador con respecto al nivel del mar, topografía de los alrededores, todo lo cual hace difícil calcular con seguridad el alcance .

Entre todos los factores, el viento es el más decisivo. Si el viento sopla desde el punto de observación hacia el emisor (up-wind), entonces el alcance puede ser que disminuya, mientras que, si el viento sopla en la dirección opuesta (down-wind), puede ser que aumen

te. Un fenómeno que sorprende es que, en algunas ocasiones, se han conseguido alcances muy grandes con vientos transversales a la dirección de emisión del sonido .

Consecuentemente, se han expuesto los valores de S próximos a 2 ó 3 decibelios por kilómetro, en función de la dirección del viento, para frecuencias comprendidas entre 300 y 500 Hz, que son las más corrientes .

VI.3.2.2.- Con nivel de presión acústica a 30 metros

Otro método consiste en determinar el nivel de presión acústica o de intensidad que debe existir a 30 metros de distancia del aparato, que vendrá dado por:

$$N_{30} = K \log \frac{D}{30} + 55 \quad \text{dB}$$

donde:

N_{30} = nivel acústico en decibelios a 30 m

K = coeficiente de 25 ó 30, según se considere la dirección del viento

D = alcance que se quiere, expresado en metros

La fórmula se deduce según sigue; si:

P_D = presión acústica a la distancia D metros del emisor, en barías

P_{30} = presión acústica a la distancia 30 metros del emisor, en barías

P_o = presión acústica de referencia correspondiente al umbral

sin pérdidas por transmisión sería:

$$P_D = P_{30} \left(\frac{30}{D} \right)^2; \quad 10 \log \left(\frac{P_D}{P_o} \right) = 10 \log \left(\frac{P_{30}}{P_o} \right) - 20 \log \frac{D}{30}$$

que ha de ser igual a 55 dB por convenio; luego:

$$N_{30} = 20 \log \frac{D}{30} + 55 \quad \text{dB}$$

El primer sumando corresponde a los dB de la expansión que, si a través de un coeficiente K, se mayoran en un 25% ó 50% para computar las pérdidas por transmisión, se transforma en el valor de la fórmula .

Para el cálculo se utilizan ábacos como el que se adjunta (figura VI.3) en el que se tienen en cuenta las diversas fuerzas supuestas del viento que perturba considerablemente el resultado. En di

cho ábaco las curvas de I_g corresponden a los distintos valores de S (2, 2,5 y 3) y las de N a los valores de K ($K = 30$ para N_{30} y $K = 25$ para N_{20}). Todas son válidas para un nivel acústico de 55 decibelios o un nivel sonoro de 50 fonios. Para un nivel Q diferente, se entra en el ábaco con una intensidad acústica igual a:

$$I = I_A + (55 - Q)$$

con I_A igual a la intensidad acústica de la fuente.

VI.3.3.- Tipificación de señales acústicas

En España, las señales acústicas se tipifican en tres alcances diferentes: 3 millas, 5 millas y 7 millas.

Para conseguir dichos alcances, es necesario agrupar diferentes unidades emisoras, teniendo en cuenta que, por ser de carácter exponencial, la ley que liga los niveles de presión acústica con los alcances será mucho mayor el número de unidades que corresponde a los alcances superiores a los que resultarían de una ley puramente lineal.

Modernamente, las nuevas señales acústicas suelen ser eléctricas, con vibradores que consiguen la frecuencia de 300 Hz, transformando la de la corriente industrial de 50 Hz por medio de un transformador de frecuencia triplicador, a 150 Hz, y actuando dos veces en cada ciclo un diafragma para conseguir la frecuencia citada. De aquí la importancia que tiene, en este tipo de señales, la uniformidad de la frecuencia, ya que los errores o diferencias que puedan encontrarse en la corriente origen se multiplican por 6, pudiendo dar lugar a sonidos cuyo tono sea muy distinto del previsto que, en todo caso, no debe descender de los 300 Hz, pues el umbral de audición crece con las frecuencias bajas, rebajándose, así, el coeficiente de seguridad.

VI.3.4.- Alcances acústicos normalizados

Los distintos alcances de las señales acústicas han ido calculándose, según los países, de muy diversos métodos y con arreglo a hipótesis muy variadas; por estos motivos, los resultados discrepaban según los diferentes países. Para unificar los criterios, la Asociación Internacional de Señalización Marítima (IALA / AISM) propuso unos métodos para el cálculo de los alcances a partir de unos conceptos o hipótesis determinadas, definiéndose, así, los alcances acústicos "nominal" y "real" o "normal".

Por medio de estos métodos, no solamente se tiene en cuenta el límite inferior de 55 decibelios para el nivel de presión acústica y una frecuencia de 300 Hz, sino también el timbre, es decir, si se trata de un sonido puro o con armónicos; asimismo, se considera el nivel del ruido del barco, que tanto influye en la distinción de la señal acústica, ya que el sonido procedente de ésta se superpone al que proviene de la maquinaria del buque, del mar y de los ruidos producidos por la tripulación o de diversas actividades a bordo.

VI.3.4.1.- Alcance nominal en sonidos puros

Con el fin de comparar las características de las diversas se

ñales sonoras consideradas en iguales condiciones de propagación y de escucha, se define el "alcance nominal (D_N)". Este es la distancia a la cual, en tiempo de bruma, un observador situado en el alerón del puente de un barco tiene una probabilidad de audición del 90%, con un ruido ambiente igual o superior al existente en el 84% de los grandes buques mercantes, efectuándose, la propagación entre el emisor sonoro y el observador, en tiempo relativamente encalmado y como si no existiesen obstáculos .

Bajo estas condiciones teóricas, se puede utilizar el ábaco de la figura VI.4 para la determinación del alcance nominal .

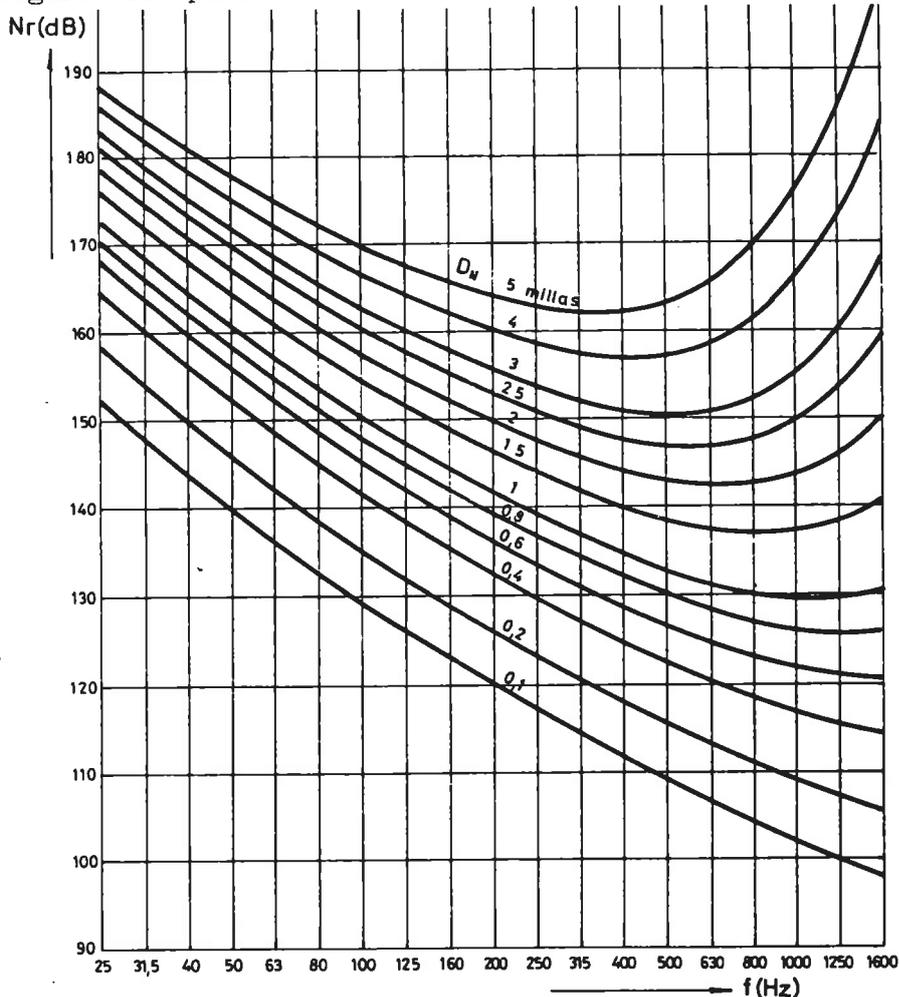


Figura VI.4.- Alcance nominal de las señales acústicas

VI.3.4.2.- Alcance real o usual en sonidos puros

Del mismo modo que el alcance nominal, se puede definir el "real" o "usual (D_U)", que se aproxima al que es atribuido empíricamente a las señales acústicas y que corresponde a una percepción del 50% de los observadores sobre el 50% de los buques .

Para el alcance usual se puede usar el ábaco de la figura VI.5 .

Para la utilización de los ábacos de las figuras VI.4 y VI.5, en el caso de sonido puro, se lee el valor de D_N o de D_U en el punto cuya abscisa es la frecuencia f del sonido, en hertzios, y cuya ordenada es el nivel de presión acústica N en dB (referidos a $20 \mu P_a$ ó 20

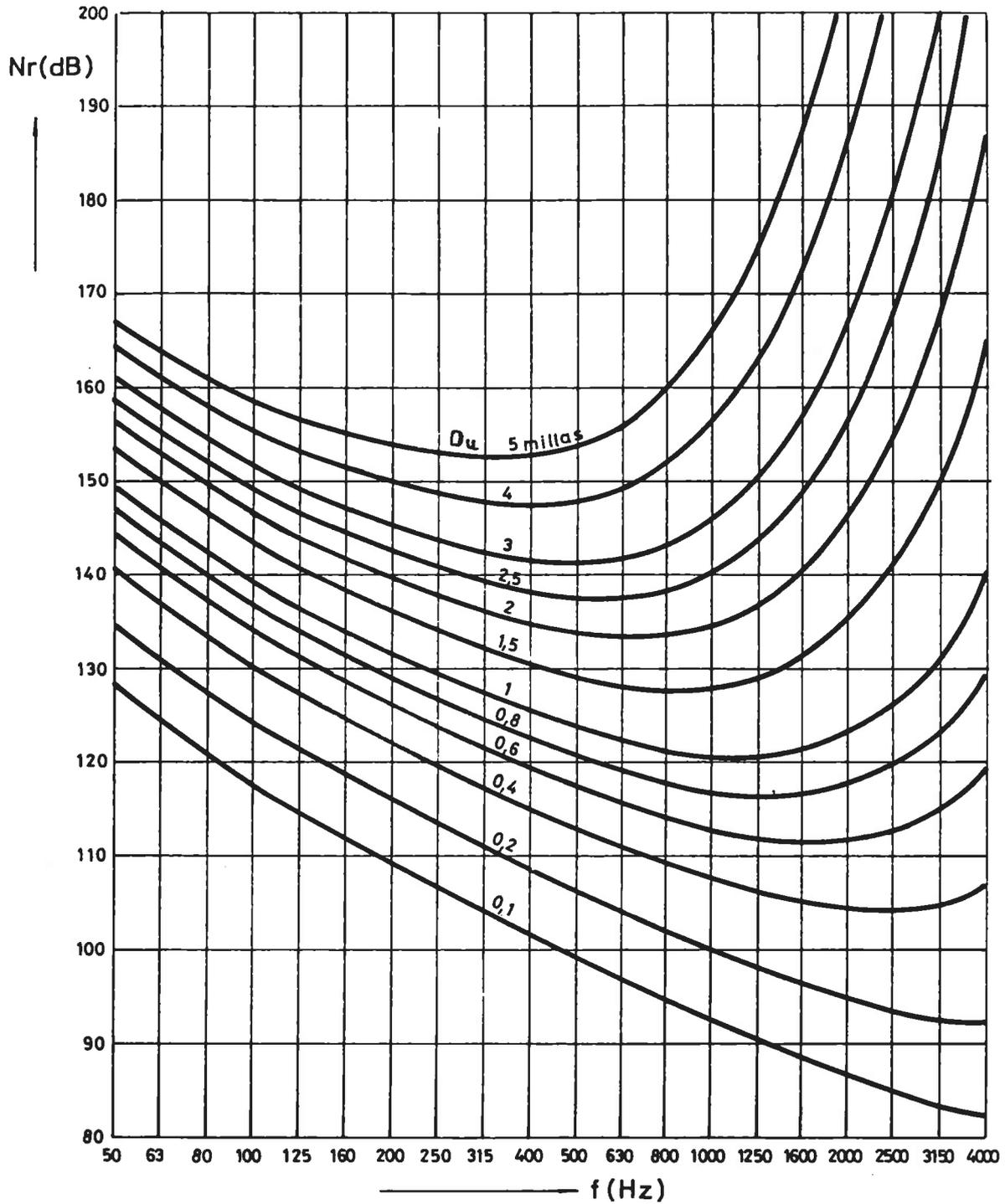


Figura VI.5.- Alcance usual de las señales acústicas

$\mu\text{N}/\text{m}^2$ ó $2 \cdot 10^{-4} \mu \text{bar}$), medido a un (1) metro de distancia del emisor sonoro, en la dirección considerada .

VI.3.4.3.- Caso de los sonidos complejos

Si se trata de un sonido complejo es obligado el previo conocimiento del análisis armónico del sonido con indicación de las frecuencias y niveles de los armónicos que lo constituyen. Conocido este análisis, debe comenzarse por formar grupos de armónicos, de tal modo que a la frecuencia central de cada grupo corresponda una amplitud de banda Δ (Hz), según el ábaco adjunto, que cubra todas las agrupadas; cada grupo tendrá un nivel de presión acústica resultante de aplicar el cuadro funcional, o escala, que también se adjunta, para sumar los dos componentes (Fig. VI.6 y VI.7) .

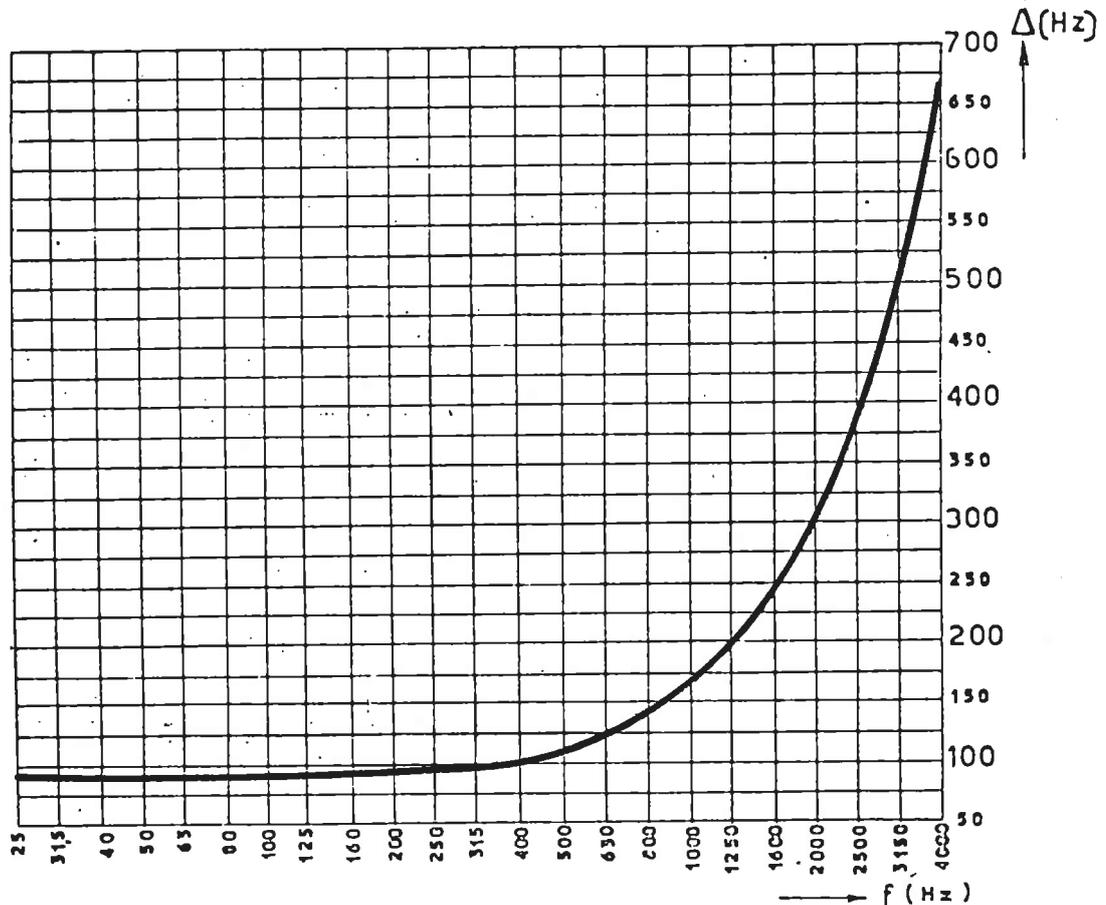


Figura VI.6.- Amplitud de la banda de los grupos de armónicos

Con estos pares de valores de frecuencias centrales de grupos y de niveles totales correspondientes, se acude a los mismos ábacos del sonido puro; si el valor máximo del alcance lo da un solo grupo, este valor será el del alcance de la señal .

Si, por el contrario, son U grupos de frecuencias distintos los que dan el mismo alcance (o sea, los puntos resultan sobre la misma curva), debe aplicarse el procedimiento mayorando el nivel de la frecuencia media en el valor M dB función de U y expuestos en el ábaco adjunto (Figura VI.8) .

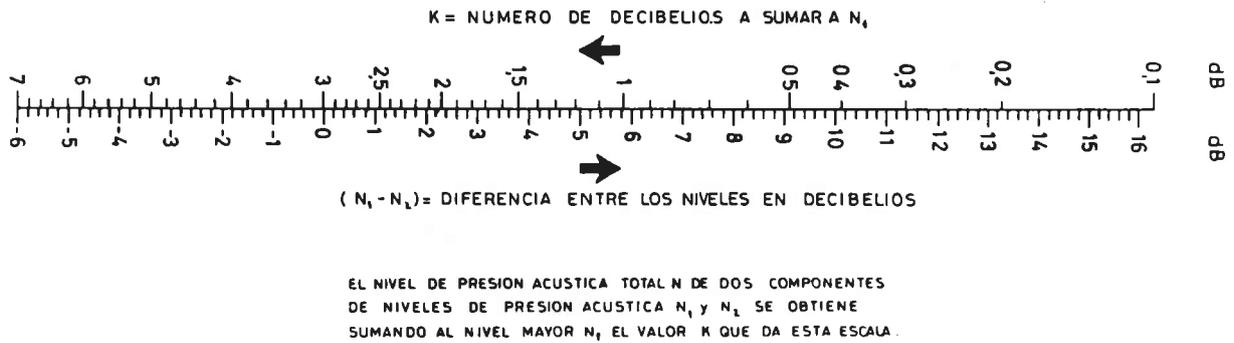


Figura VI.7.- Escala funcional para determinar el nivel de presión acústica total de dos componentes espectrales

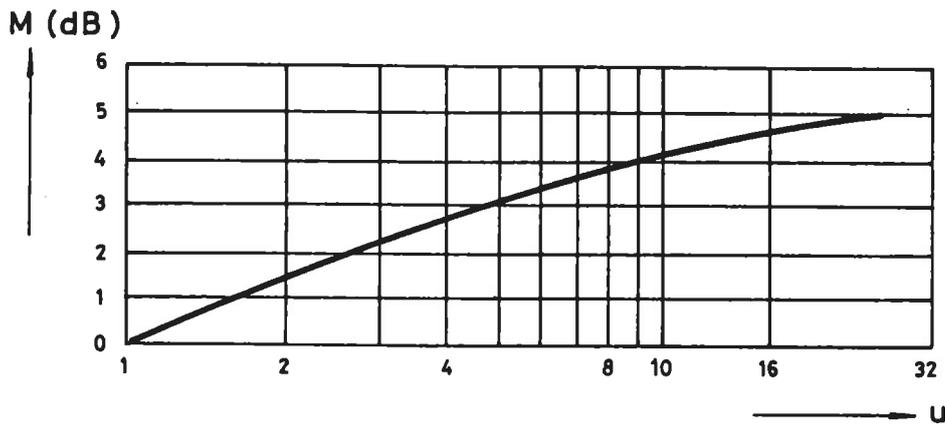


Figura VI.8.- Aumento del nivel de presión acústica en función del número de grupos de frecuencias

VI.3.5.- Influencia del viento

El viento ejerce una gran influencia sobre el alcance acústico en dos aspectos: creando zonas de silencio y variando el coeficiente de pérdidas, K .

VI.3.5.1.- Zonas de silencio

Si la velocidad del viento es uniforme en magnitud y dirección, la onda sonora queda modificada por adición geométrica de las velocidades.

En el caso frecuente de que la velocidad aumente con la altura, las líneas de trayectoria de la onda sonora, que serían rectas sin el viento, se van curvando y generando una zona de silencio o sombra donde no llega la radiación a barlovento de la señal, según se recoge en la figura VI.9.

Si la velocidad disminuye con la altura, el efecto es análogo.

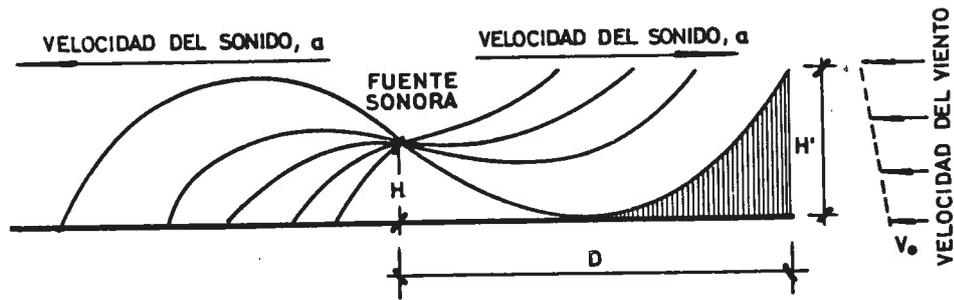


Figura VI.9.- Aparición de la zona de silencio

Si a es la velocidad de propagación del sonido con aire en calma, v_0 la velocidad del viento a nivel del suelo y α su gradiente con la altura, la velocidad de propagación de la onda sonora resulta:

$$v = a \pm v_0 = a \pm (v_0 + \alpha z)$$

en un punto de altura z .

Designando por ρ el radio de curvatura de la trayectoria de la onda sonora en el plano vertical, se tiene:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{v} \frac{dv}{dz}$$

Con aire en calma, la derivada es nula y las trayectorias son rectas, pero, cuando existe un gradiente de velocidades del viento con la altura:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{v} \cdot \frac{dv}{dz} = \pm \frac{\alpha}{v}$$

que es, aproximadamente:

$$\rho = \pm \frac{a}{\alpha}$$

Entonces, para una altura de audición H' y de emisión H , la zona de silencio aparece a una distancia D (Figura VI.9), que se evalúa por el mismo método que los alcances geográficos de los faros:

$$D = \sqrt{\frac{2a}{\alpha}} (\sqrt{H} + \sqrt{H'})$$

donde:

- D = distancia de la zona de silencio, en metros
- a = velocidad de propagación del sonido con el aire en calma (332 m/s a 15° C y 1.013 milibares)
- α = valor del gradiente de velocidad del viento en relación con la altura, en m/s por metro. Los valores medios anuales en Palma de Mallorca suelen ser oscilar entre 0,02 a medianoche y 0,05 a mediodía
- H = altura de emisión de la señal acústica sobre el nivel del mar, en metros
- H' = altura de audición del observador sobre el nivel del mar, en metros

VI.3.5.2.- Variación del coeficiente de pérdidas

La velocidad y dirección del viento originan una variación del coeficiente de pérdidas de transmisión de la señal acústica, definido en VI.3.2.1. Se tienen allí un coeficiente de pérdidas por kilómetro, A, y otro coeficiente lineal de pérdidas, S, en dB/Km, relacionados por la expresión:

$$S = - 10 \log A$$

Sus valores se recogen en la siguiente tabla de Illing y Treplig (Tabla VI.1), y son válidos para tiempo brumoso y hasta cuatro kilómetros .

Frecuencia (Hz)	VALOR DE A (por kilómetro)				VALOR DE S (en dB/Km)			
	150	250	500	1000	150	250	500	1000
Viento a favor	1,00	0,92	0,70	0,17	0,00	0,30	1,70	7,50
Viento lateral	0,96	0,85	0,59	0,19	0,15	0,70	2,30	7,10
Viento en contra	0,96	0,81	0,43	0,15	0,15	1,00	3,60	8,00

Tabla VI.1.- Valores de los coeficientes de pérdidas según el viento

VI-3.6.- Pantallas deflectoras

Algunas señales acústicas suelen dotarse de pantallas deflectoras, al doble objeto de aminorar los niveles de presión acústica tras la señal (donde no suele interesar su audición e incluso puede producir molestias si se trata de zonas pobladas) y de aumentar el alcance frente a dicha pantalla. Los ángulos normales de las pantallas deflectoras son de 90°, 120°, 180° y de 240° .

Los aumentos de alcance que se consiguen en la práctica dependen de la potencia acústica y toman los valores de la tabla VI.2 , deducidos de la experiencia:

Angulo de la pantalla deflectora	Aumento de alcance para potencias acústicas pequeñas (millas)	Aumento de alcance para potencias acústicas grandes (millas)
90°	0,6 a 2,0	1,2 a 3,0
120°	0,4 a 1,5	0,8 a 2,0
180°	0,2 a 1,0	0,5 a 1,5
240°	0,1 a 0,5	0,2 a 0,5

Tabla VI.2.- Aumentos de alcance por pantallas deflectoras

En la figura VI.10 se recogen algunos diagramas para las pantallas anteriores, en los que se observa la diferente dispersión horizontal .

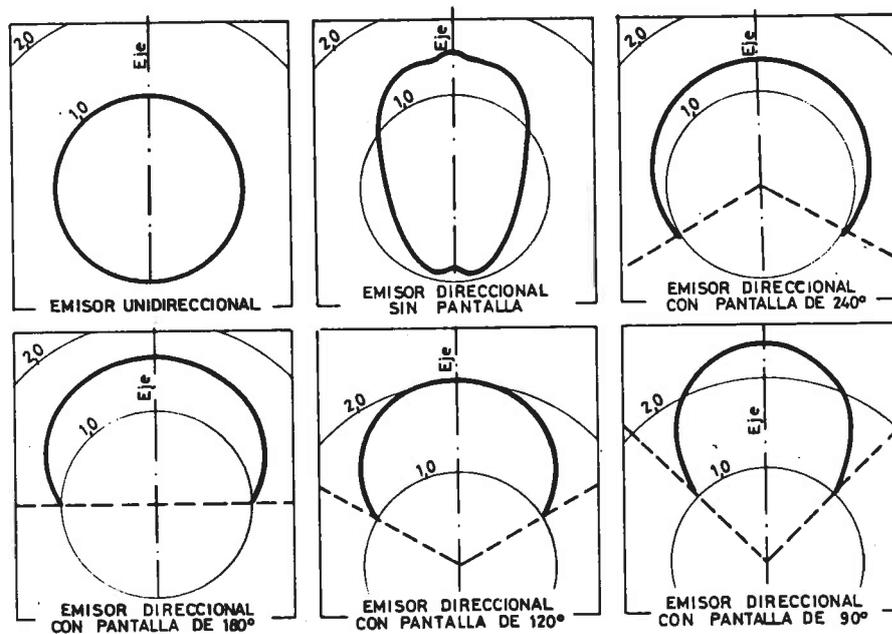


Figura VI.10.- Diagramas de emisión de señales acústicas con pantallas deflectoras

VI.3.7.- Calderines y compresores

En las señales acústicas de aire comprimido, deben dimensionarse los calderines, determinando su volumen en función del compresor y del indicativo o apariencia de la señal. El cálculo de ambas capacidades, de compresor y de calderín, resulta según sigue:

Capacidad del compresor:

$$C = 1,1 \cdot L \cdot S$$

donde:

C = Capacidad en litros por minuto

S = Segundos de emisión por minuto

L = Consumo de aire del emisor en litros por segundo

Capacidad del calderín:

$$V = \frac{Cb}{21}$$

donde:

V = Volumen del calderín en litros

C = Capacidad del compresor en litros por minuto

b = Duración del silencio más largo dentro del periodo de la señal en minutos.

VI.4.- CLASES DE SEÑALES ACUSTICAS (TABLAS)

En la práctica hay sólo, hoy día, en España, dos tipos comunes de señales acústicas: las que están constituidas por vibradores electromagnéticos a 300 Hz, que corresponden a sonidos puros, con alcances máximos, en la práctica de 7 millas náuticas; y las constituidas por bocinas de aire comprimido, que dan sonidos complejos, que producen mayores alcances .

Los vibradores electromagnéticos consisten, esencialmente, en unas membranas que se hacen vibrar por medio de unos electroimanes por los que pasa una corriente eléctrica. Si esta corriente proviene de la red, con 50 ciclos por segundo, se transforma para convertirla a 150 ciclos por segundo. Cada membrana o diafragma es activada dos veces por ciclo, obteniéndose un tono correspondiente a 300 vibraciones por segundo. La señal de los vibradores no es continua, sino que se emite durante un cierto tiempo, y suele estar formada por letras del alfabeto Morse, correspondientes a la inicial del lugar de ubicación .

Un emisor sencillo de tipo direccional requiere una potencia total de 1.4 Kw, desde un generador de 50 Hz. Para aumentar su alcance pueden combinarse varias unidades en grupos de 2, 3 ó 4 .

Las sirenas producen un sonido ocasionado por la salida de aire por una bocina, siendo su tono el correspondiente, aproximadamente, al de unas 500 vibraciones por segundo. El aire a presión se encuentra en unos depósitos, hacia donde es conducido por medio de un compresor. La salida de aire, y, por tanto, la señal, no es constan-

te, durando también un cierto tiempo, como en los vibradores electromagnéticos .

Señales acústicas de menor importancia, y que están en franco desuso, son las boyas con pitos y campanas y los cañones, aparatos, todos ellos, accionados por el oleaje y que adolecen del grave inconveniente de permanecer en silencio en caso de presentarse calmas, frecuentemente asociadas a periodos de bruma .

También están cayendo en desuso las grandes sirenas de aire comprimido, ya que los vibradores electromagnéticos, de más sencillo funcionamiento, pueden agruparse comúnmente para conseguir alcances similares, con coste y mantenimiento inferiores .

Por el contrario, está en desarrollo la técnica de las pequeñas sirenas, de instalación sencilla y alcance inferior a tres millas, para lugares en que se desee obtener un sonido de tono distinto al de los vibradores electromagnéticos .

Se exponen, a continuación, unas tablas con las características de los tipos de señales acústicas utilizadas corrientemente .

TIPO DE LA INSTALACION	Número de vibradores	Número de pabellones	POTENCIA ABSORBIDA EN EL SECTOR TRIFASICO 50 Hz O EN EL GRUPO ELECTROGENO DE EMERGENCIA		POTENCIA ABSORBIDA ELECTROGENO DE ALIMENTACION AUTONOMA MONOFASICA — 150 Hz	
			En KVA con $\cos \phi = 0,7$	O sea, aproximadamente, en kilovatios	En KVA con $\cos \phi = 0,8$	O sea, aproximadamente, en kilovatios
Simple 1 EM 60	1	2	1,5	1	—	—
Simple 2 EM 60	2	4	3	2,1	2	1,6
Simple 3 EM 60	3	6	4,5	3,2	3	2,4
Doble 4 EM 60	4	8	6	4,2	4	3,2
Doble 5 EM 60	5	10	7,5	5,3	5	4,0
Doble 6 EM 60	6	12	9	6,6	6	4,8
Triple 9 EM 60	9	18	13,5	9,5	9	7,2

Tabla VI.3.a. Características de las instalaciones comerciales francesas B.B.T.

Potencia acústica de radiación en el eje, en vatios	Intensidad acústica en el eje en dB (a 1 cm de distancia)	Nivel acústico en dB a 31,5 metros de distancia	Amplitud acústica horizontal sin deflector acústico
1.300	180,1	110,1	110°/360°
3.900	184,9	114,9	180°/360°
16.500	191,2	121,2	90°/360°
21.000	192,2	122,2	120°/360°
30.700	193,8	123,8	120°/360°
50.000	196,0	126,0	160°, 220°/360°
105.000	199,2	129,2	90°, 180°/360°

Tabla VI.3.b. Valores obtenidos en las instalaciones comerciales francesas (B.B.T.)
Campanas sonoras de badajo

Peso de la campana en kilogramos	Peso del martillo en kilogramos	Fuerza del golpe en kgm	Tonalidad sonora c/s
100	10	2	700
250	25	6	510
500	50	13	390

Campanas automáticas de gas:

Campana de 80 Kg. Martillo de 10 Kg. Intensidad sonora: 155,5 dB
Campana de 100 Kg. Martillo de 10 Kg. Intensidad sonora: 155,5 dB

Campanas eléctricas:

Campana de 100 Kg. Martillo de 10 Kg. Intensidad sonora: 159,5 dB
Campana de 200 Kg. Martillo de 10 Kg. Intensidad sonora: 159,5 dB
Campana de 500 Kg. Martillo de 10 Kg. Intensidad sonora: 159,5 dB

Funcionando a 6 voltios, consumo de cada golpe = 0,5 amperios (casi 3 vatios).

Vibrador eléctrico:

Tonalidad sonora 400 c/s
Consumo 30 W
Intensidad sonora 161,1 dB
Nivel sonoro medio a 7,6 metros. . 105,5 dB

Alimentación por batería eléctrica, 12 voltios, donde la capacidad está en función del tiempo de servicio y del número de golpes por minuto.

Alcances sonoros:

Los alcances sonoros, cuando hay bruma, pero sin viento, de las campanas y los vibradores, oscilan entre 1/2 y 1 1/2 millas náuticas.

Tabla VI.4. Características de las campanas sonoras francesas (B.B.T.)

CONJUNTO DE:	ALCANCES Y NIVELES DE INTENSIDAD SONORA CON DEFLECTORES DE: (el máximo se produce en el eje y el mínimo en las direcciones de las pantallas)											
	30° (sin)		240°		180°		120°		90°			
1 UNIDAD	MAX.	114,0	3,8 1,3	113,3	3,5 1,5	114,2	3,9 1,4	116,6	4,8 1,9	117,9	5,1 2,1	K ₁ K ₂
	MIN.	110,8	2,8 1,1	111,8	2,8 1,1	112,9	3,1 1,4	114,2	2,9 1,6	115,0	4,0 1,8	K ₁ K ₂
2 UNIDADES	MAX.	118,9	5,5 2,0	117,9	5,2 2,0	119,0	5,6 2,0	121,0	7,0 2,5	122,4	7,7 2,9	K ₁ K ₂
	MIN.	115,2	4,0 1,6	116,0	4,5 1,7	117,5	5,0 1,8	118,9	5,7 2,0	119,9	6,0 2,3	K ₁ K ₂
3 UNIDADES	MAX.	120,7	6,8 2,6	119,9	6,3 2,2	121,0	7,1 2,5	123,1	8,7 3,0	124,6	9,8 3,4	K ₁ K ₂
	MIN.	117,3	4,8 1,9	118,0	5,5 2,0	119,7	6,2 2,1	121,1	7,0 2,5	122,0	7,8 2,9	K ₁ K ₂
4 UNIDADES	MAX.	121,9	7,5 2,8	121,1	7,0 2,5	122,2	8,0 2,9	124,2	9,8 3,5	125,9	11,0 3,8	K ₁ K ₂
	MIN.	118,6	5,5 2,0	119,4	6,0 2,2	120,9	7,0 2,5	122,5	7,9 2,9	123,1	8,9 3,1	K ₁ K ₂
		N ₃₀ dB	Millas náuticas									

$$N_{30} = K \log \frac{D}{30} + 55 \text{ dB}$$

K₁ = 25 viento a favor

K₂ = 30 viento en contra

Tabla VI.5. Alcances y niveles de intensidad sonora para instalaciones eléctricas direccionales suecas (AGA)

CONJUNTO DE:	Nivel de intensidad sonora N ₃₀ dB	ALCANCES	
		Vientos débiles K ₁ = 25 m. n.	Vientos fuertes K ₂ = 30 m. n.
1 UNIDAD	110	2,7	1,0
2 UNIDADES	115	4,0	1,6
3 UNIDADES	117	4,8	2,0
4 UNIDADES	118	5,5	2,3

Tabla VI.6. Alcances para instalaciones eléctricas omnidireccionales suecas (AGA)

Corriente	KW	KVA	cos φ
monofásica	1,6	2,9	0,55
trifásica	1,6	2,2	0,75 (1)
	1,6	4,9	0,33 (2)

(1) Con factor de potencia compensado.
(2) Con factor de potencia no compensado.

Tabla VI.7. Potencia por unidad direccional u omnidireccional emisora eléctrica sueca (AGA)

Presión del calderín de aire — Kg/cm ²	Consumo de aire por unidad emisora — l/seg. de em.	Nivel de intensidad sonora — db	Alcance con un emisor — m. n.
3,10	60	146,2	2,0
2,70	50	145,5	1,8
2,40	40	144,0	1,5
2,00	30	142,0	1,2

CONJUNTO DE	Presión del calderín — Kg/cm ²	Consumo de aire — l/seg. de em.	Alcance — m. n.
2 UNIDADES	3,05	110	3,15
	2,80	100	3,00
	2,60	90	2,90
	2,50	80	2,60
4 UNIDADES	2,90	210	6,30
	2,80	200	6,00
	2,70	190	5,70
	2,60	180	5,40

Tabla VI.8. Alcances y niveles de intensidad sonora en instalaciones eléctricas de aire comprimido suecas (AGA)



VII.- INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS Y NORMAS ESPECIALES

VII-1.- INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS

VII-1.1.- Boyas

Las boyas se utilizan en señalización marítima para sustentar señales luminosas o señales ciegas, siendo las del primer tipo a veces complementadas por marcas o señales diurnas.

Los tipos de boyas que se usan en señalización marítima están constituidas por un cuerpo de flotador y por un tren de fondeo que une este a un muerto o ancla. (figura VII.1.).

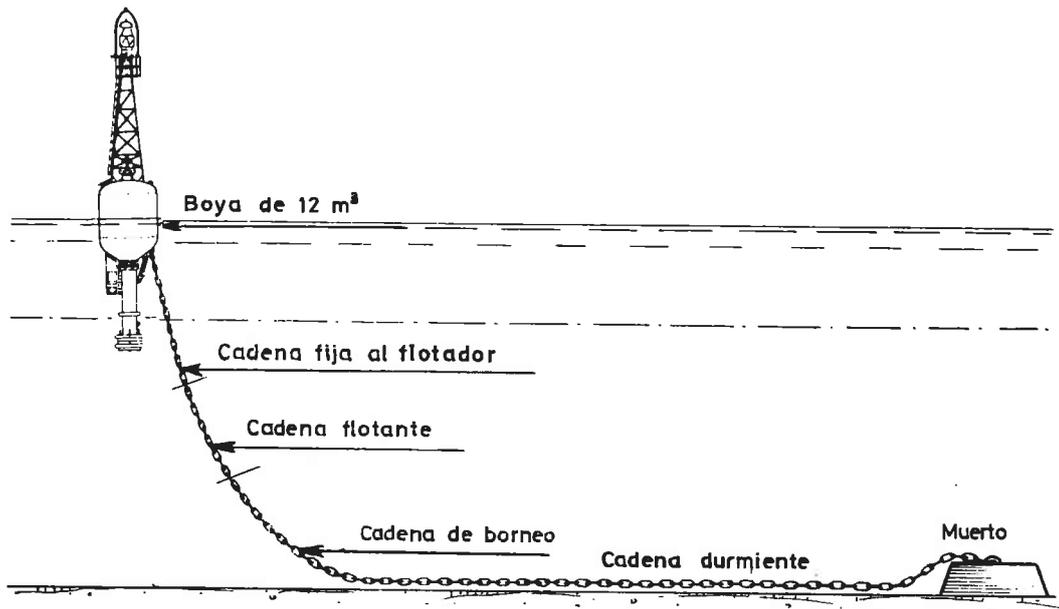


Figura VII.1. Anclaje de una boya

Aquellas que no van dotadas de linternas y que por consiguiente no ofrecen grandes inconvenientes con las oscilaciones no suelen dotarse de cola; por el contrario si las boyas deben sustentar señales luminosas, no solamente se dispone cola sino también contrapeso.

En el cálculo de una boya hay que distinguir dos partes: el del cuerpo del flotador y el del tren de fondeo.

VII-1.1.1.- Cuerpo del flotador

El cálculo del cuerpo del flotador suele reducirse normalmente a la comprobación de que el periodo propio de oscilación difiere grandemente del periodo del oleaje (habida cuenta las posibles reflexiones) al objeto de que no se presente el fenómeno de resonancia. Incluso aún cuando no llegue a producirse el fenómeno de la resonancia puede tener importancia la excesiva oscilación del eje vertical del flotador pues incide sobre la visibilidad de la señal si supera el ángulo de divergencia vertical del conjunto fuente de luz y óptica (ver III.2.1.3.). Es más, puede producir confusión si, por causa de

la oscilación, sólo son visibles parte de los destellos que constituyen la total apariencia. Por ello también se hace, en señales expuestas al oleaje, la comprobación de esta oscilación ϑ que viene dada por:

$$\vartheta = \frac{\pi 2 h}{L} \left(\frac{T_o^2}{T_o^2 - T^2} \right)$$

donde:

ϑ = máximo ángulo de oscilación entre la vertical y el eje del flotador (o sea una oscilación de banda a banda es de 2ϑ) en radianes.

$2h$ = altura de ola (de cresta a seno).

L = longitud total de ola (de cresta a cresta).

T_o = periodo del oleaje.

T = periodo propio de oscilación del flotador.

La fórmula utilizada para determinar el periodo de oscilación del flotador es:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{I}{g P (\rho \pm a)}}$$

donde:

T = periodo propio de oscilación del flotador en segundos.

I = momento de inercia del peso del flotador, con todos sus elementos, en relación a un eje horizontal que pasa por el centro de gravedad y es paralelo o perpendicular (según se trate de oscilaciones en sentido longitudinal -cabeceo- o sentido transversal -bando- del barco flotador) al eje transversal geométrico de la planta del flotador, en $Tn. m^2$.

P = Desplazamiento en toneladas.

g = aceleración de la gravedad en m/seg^2 .

$\rho \pm a$ = brazo de palanca metacéntrico transversal o longitudinal.

El brazo de palanca metacéntrico o "altura metacéntrica" es la distancia entre el centro de gravedad y el metacentro.

El metacentro es el punto donde se cortan la línea vertical que pasa por el centro de carena y la resultante de un giro infinitesimal correspondiente a la vertical que pasaba por el centro de carena existente antes de realizar este giro (producido por una acción exterior).

a = distancia en metros entre el centro de gravedad y el centro de carena. El centro de gravedad es el que corresponde a la masa del flotador. EL centro de carena es el centro de gravedad del agua desplazada por el buque o flotador (volumen de carena).

ρ = radio metacéntrico en metros, que es la distancia entre el centro de carena y el metacentro, y vale: $\rho = I_f : V$, donde, a su vez, valen:

I_f = momento de inercia, con relación al eje considerado, del área de flotación, en m^4 .

V = volumen de carena en m^3 .

Debe observarse la posición relativa de los centros de gravedad y de carena para calcular el brazo de palanca metacéntrico según se indica en la figura VII.2.

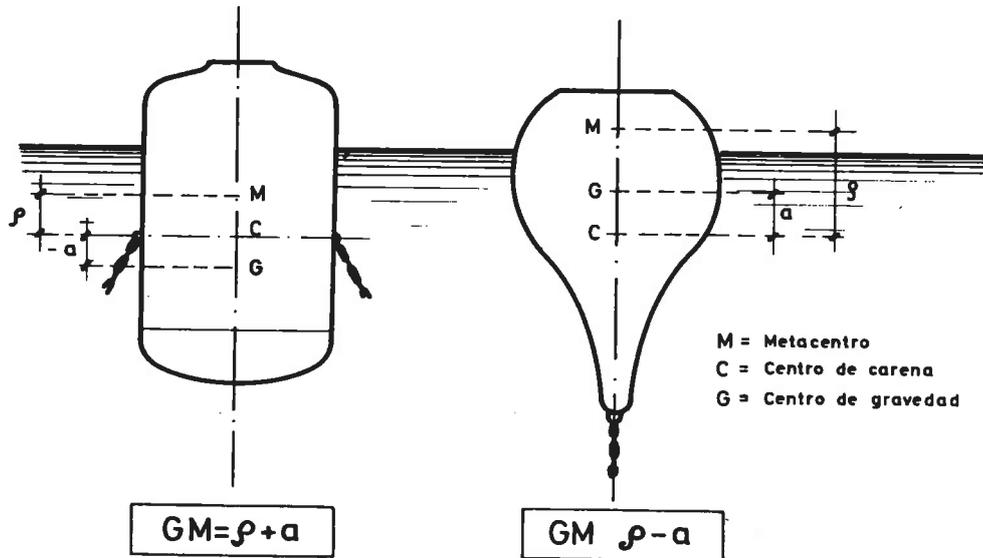


Figura VII.2. Centros de carena y gravedad, y metacetro de un flotador

En las figuras VII.3. y VII.4. se observan diversos tipos de boyas franceses y suecos.

a) Boya ciega en forma de espeque. Tipo OF.1

- L = 9.010 mm.
- H₁ = 5.750 mm.
- T₁ = 3.260 mm.
- D₁ = 2.000 mm.
- e = 10 mm.
- p = 2.835 kg.

b) Boya ciega esfero-cónica. Tipo OS.1

- L = 3.545 mm.
- H₁ = 2.185 mm.
- T₁ = 1.360 mm.
- D₁ = 2.390 mm.
- e = 12 mm.
- p = 1.805 kg.

c) Boya ciega cilíndrica. Máximas dimensiones:

- L = 3.600 mm.
- H₁ = 1.240 mm.
- T₁ = 1.360 mm.
- D₁ = 2.390 mm.
- e = 12 mm.
- p = 1.805 kg.

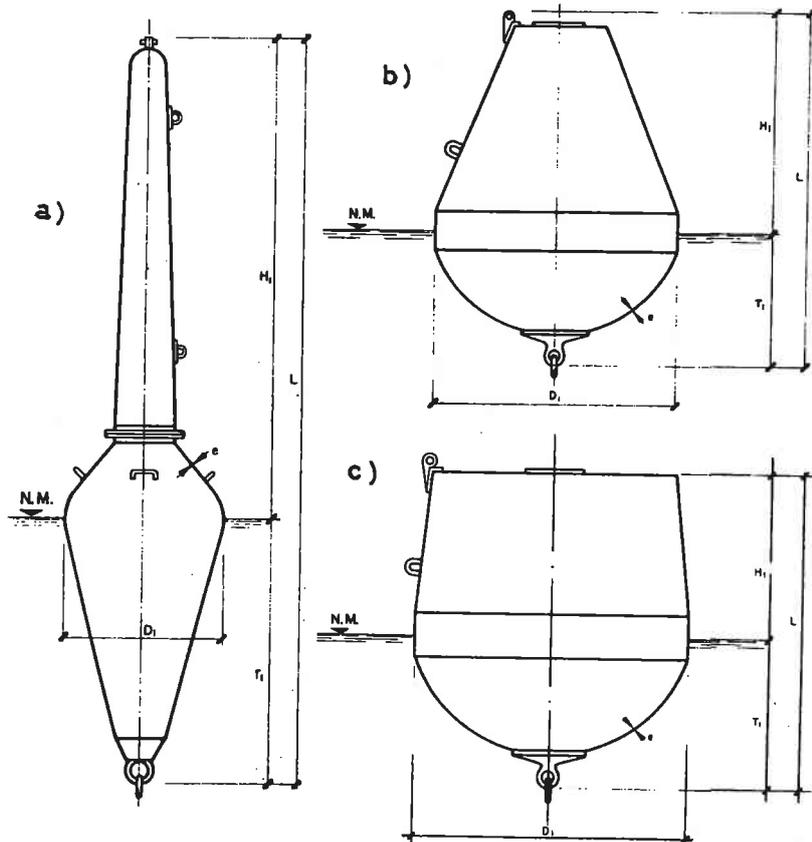
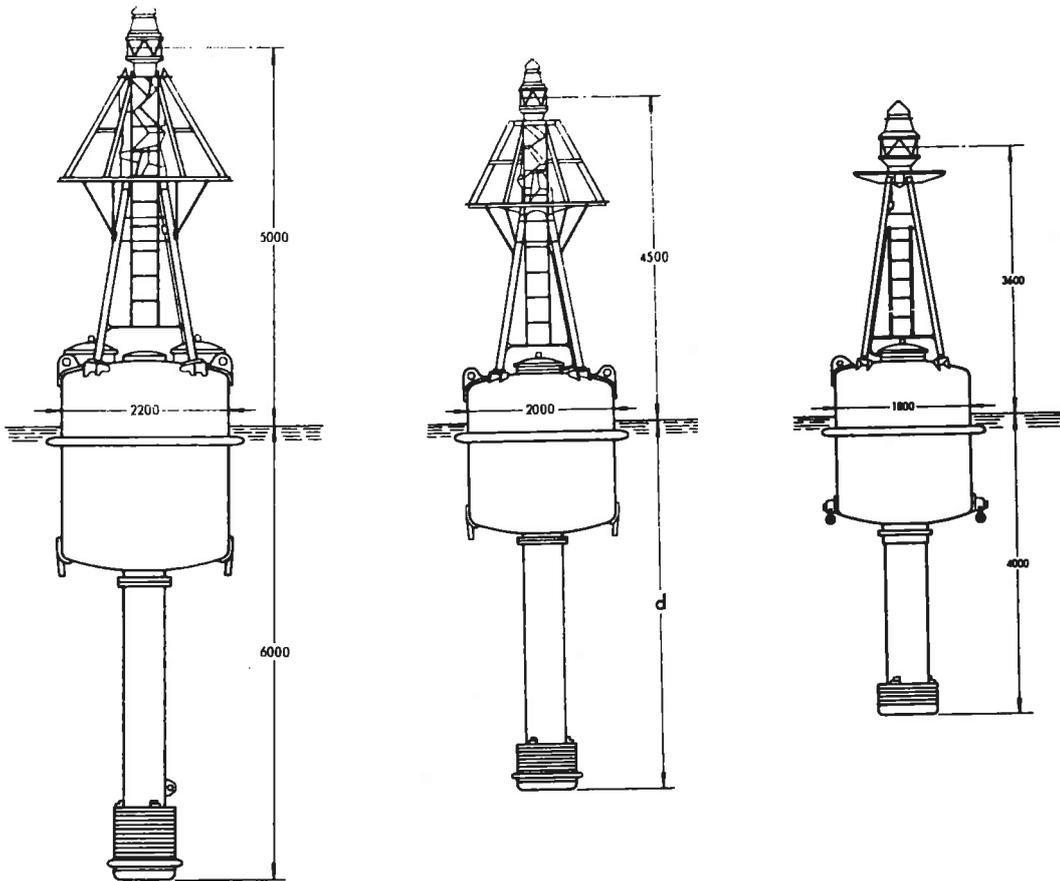


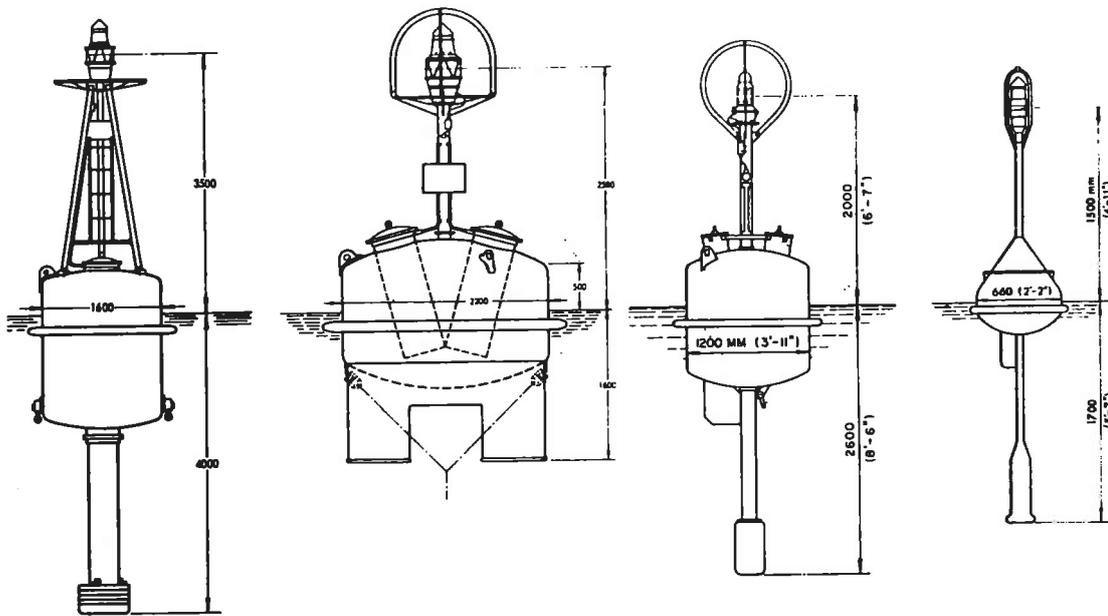
Figura VII.3. Tipos de boyas ciegas de la casa francesa B.B.T.



a) Tipo BTLD-6560

b) Tipo BTLD-4450

c) Tipo BTLA-3540



d) Tipo BTLA-2840

e) Tipo BSLA-2216

f) Tipo B50/37

g) Tipo B5/2

Figura VII.4. Boyas luminosas de la casa sueca A.G.A.

Otras boyas para soporte de luces pueden observarse en las figuras comprendidas entre la VII.5. y la VII.11.

Flotador de diámetro — Milímetros	Aplicación	Linterna que soporta — Milímetros de diámetro de la óptica
1.600	Interior de puerto y zonas abrigadas.	Hasta 200 mm.
1.800	Antepuertos y zonas semiabrigadas.	Hasta 200 mm.
2.000	Zonas semiabrigadas.	Hasta 300 mm.
2.200	Mar abierta.	Hasta 300 mm.

Tabla VII.1. Características de las boyas de la figura VII.5.

Las boyas de señalización para marcas del Sistema IALA/AISM (Véase Cap.II) están ilustradas en las figuras VII.12. y VII.13.

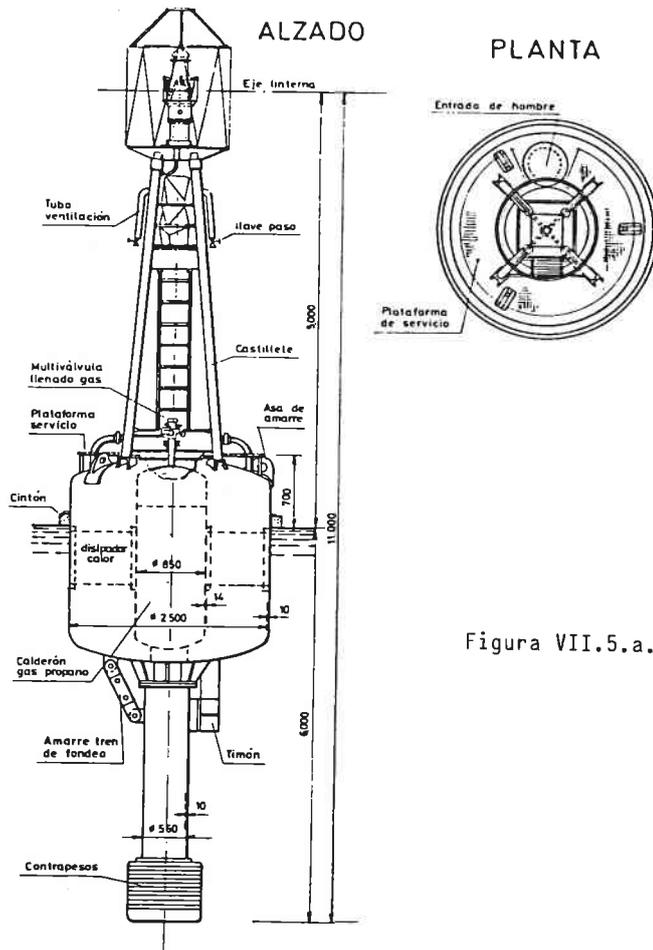


Figura VII.5.a. Boya con cola de acero BAG-2500 alimentada con gas propano (La Maquinista Valenciana).

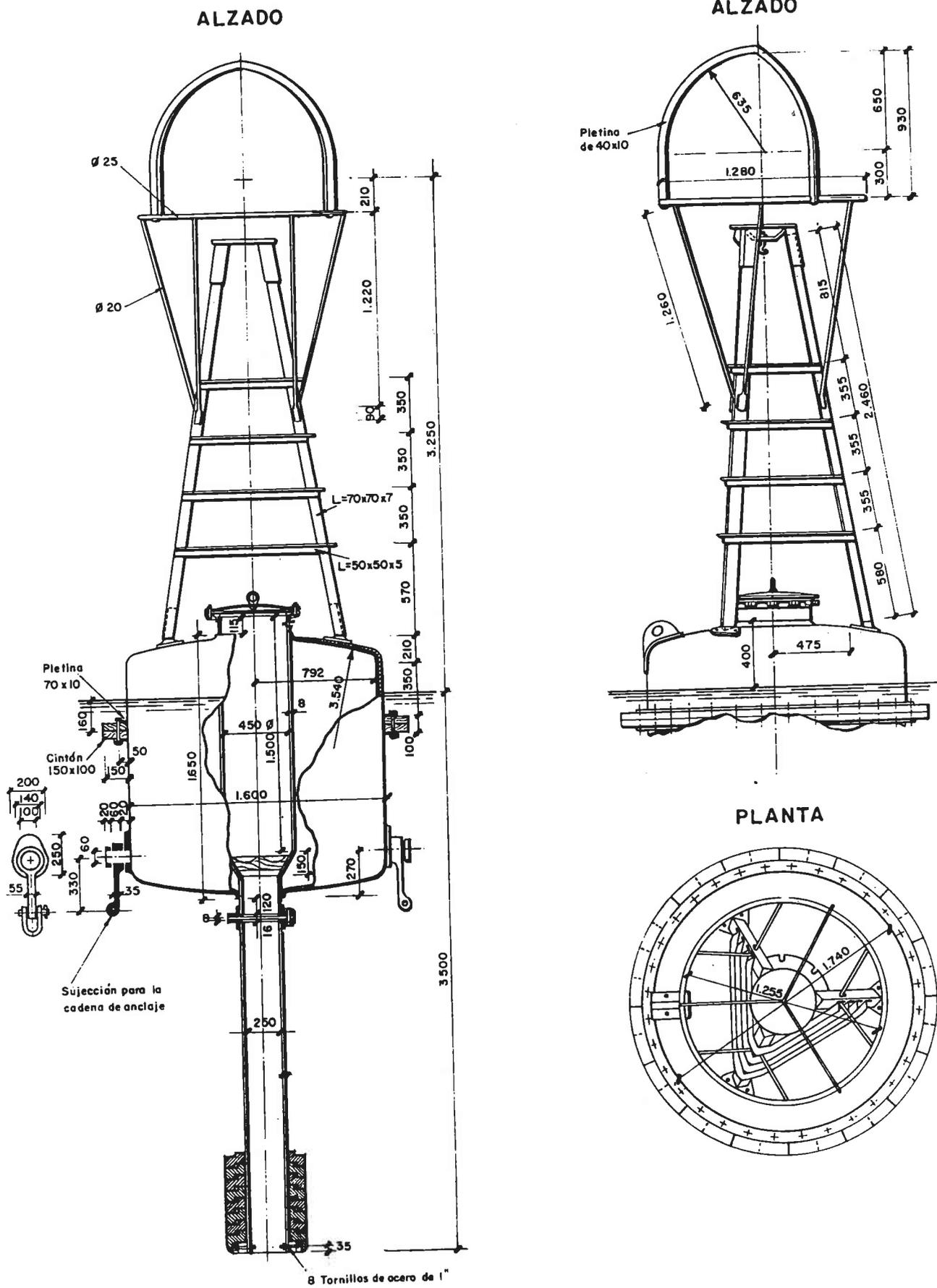


Figura VII.5.b. Boya de 1.600 mm. de diámetro tipo A.G.A.

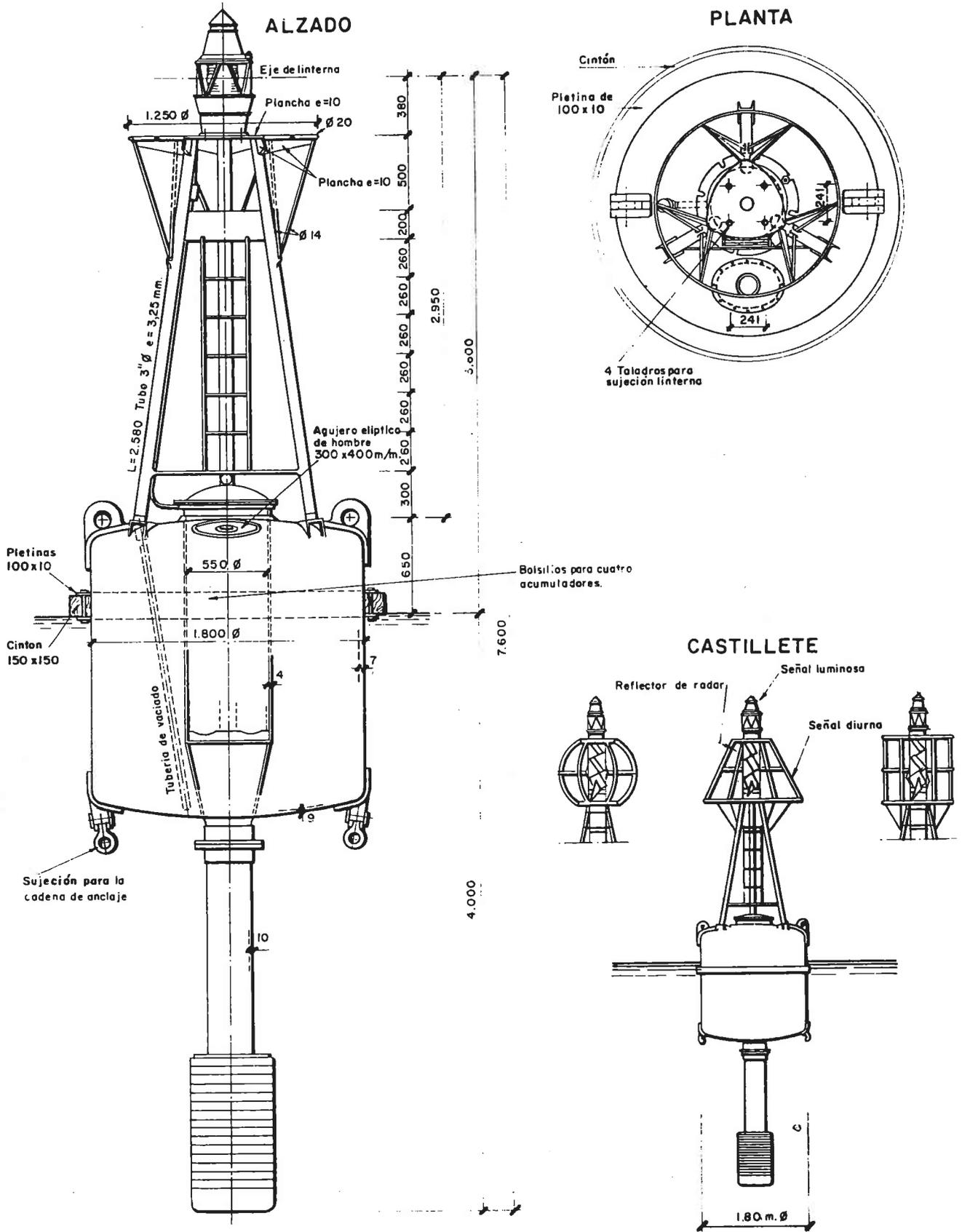


Figura VII.5.c. Boya de 1.800 mm. de diámetro con cola tipo A.G.A.

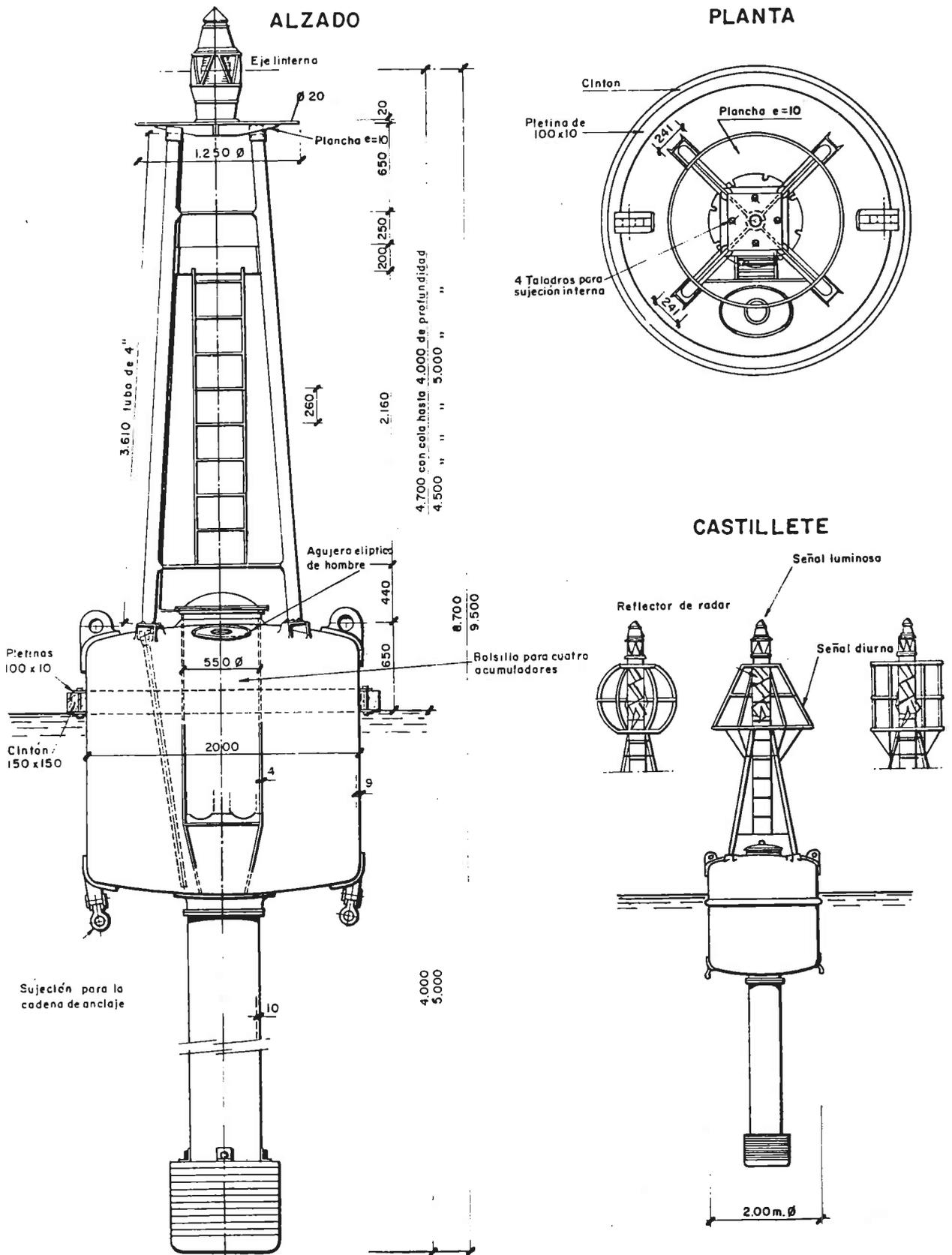


Figura VII.5.d.Boya de 2.000 mm. de diámetro con cola tipo A.G.A.

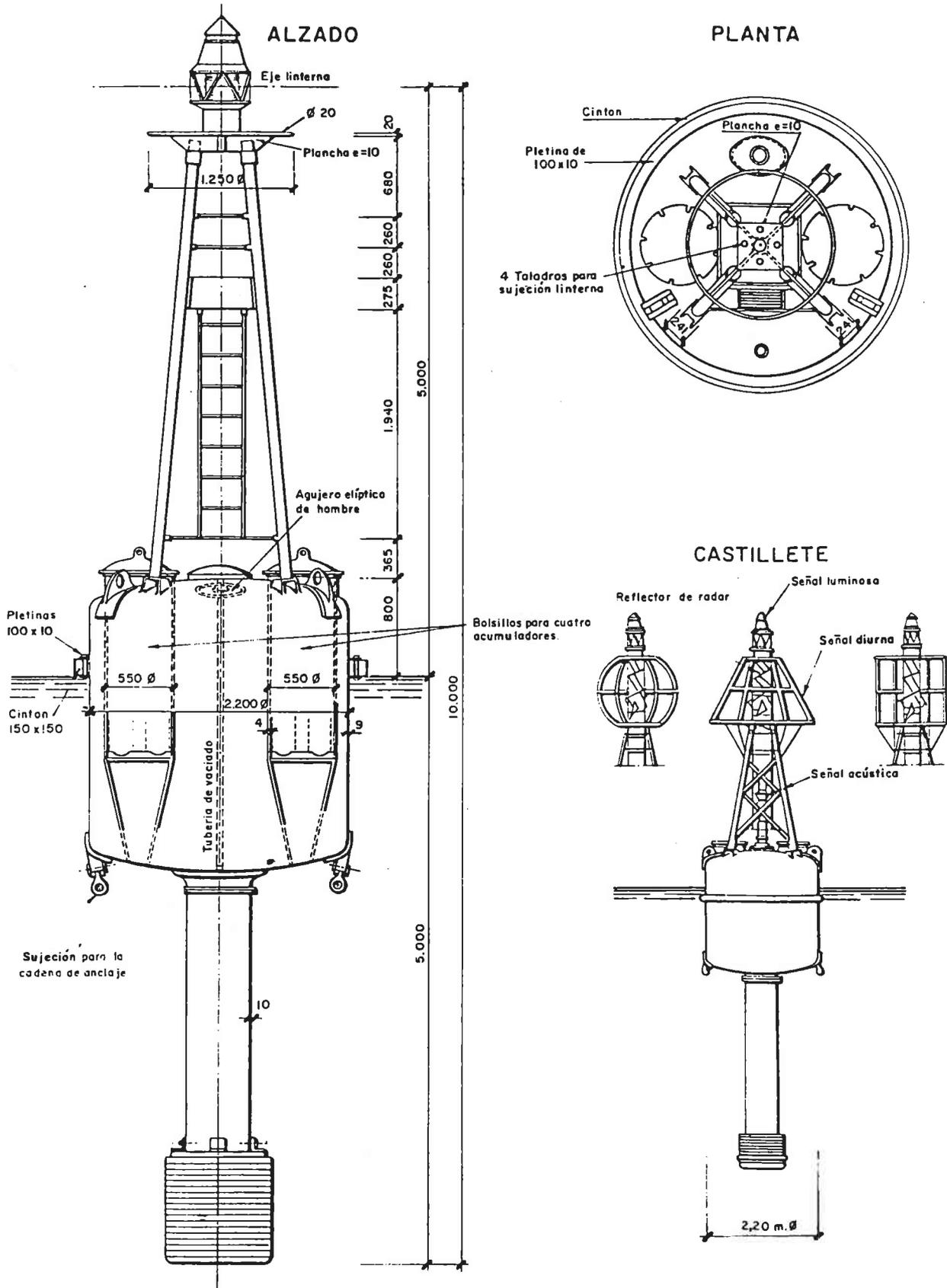
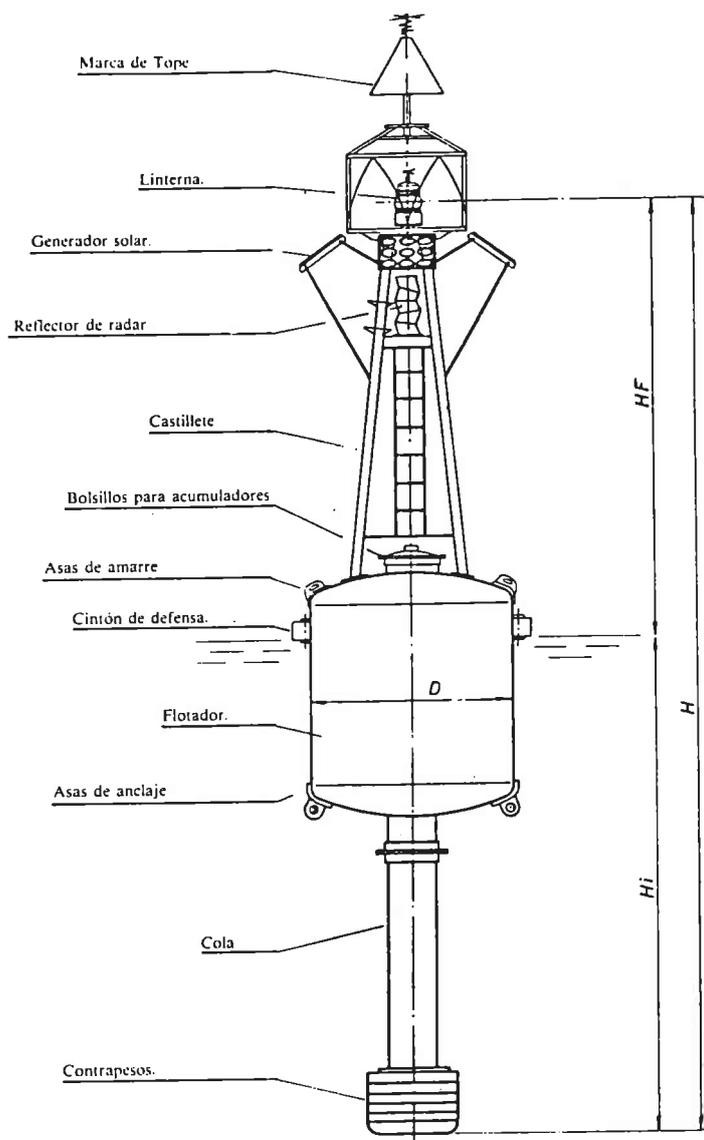


Figura VII.5.e.Boya de 2.200 mm. de diámetro con cola tipo A.G.A.



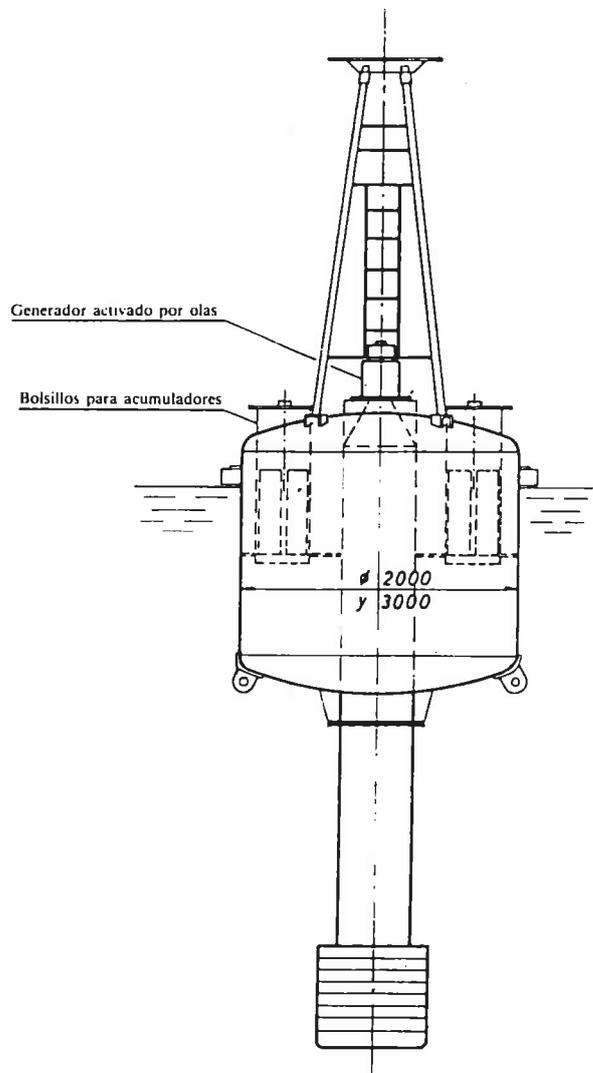
El periodo corresponde a boya con todos los elementos de la figura.

MODELO	PERIODO PROPIO DE OSCILACION (segundos)
BCA-2000	4,32
BCA-3000	4,28
BCA-3600	5,65
BCA-4000	4,19
BCA-5000	4,19
BCA-6000	4,21
BCA-7000	4,96

MODELO	DIMENSIONES mm					Alcance geográfico en millas náuticas			Ø Cadena	Fondo máximo	Peso Muerto	UTILIDAD.
	Ø D	HF	Hi	H	e	OBSERVADOR						
						0 m	5 m	15 m	mm	m	kg	
BCA-2000	1400	2000	2500	4500	6	2,9	7,5	10,9	16	10	2000	Interior de Puertos Zonas abrigadas Aguas protegidas.
BCA-3000	1600	3000	3500	6500	6	3,6	8,2	11,6	25	10	2500	
BCA-3600	1800	3600	4000	7600	8	3,9	8,5	12,0	30	20	4000	Aguas semi-protegidas.
BCA-4000	2000	4000	4500	8500	8	4,1	8,8	12,2	32	20	4500	Mar semi-abierto
BCA-5000	2000	5000	5000	10000	8	4,6	9,3	12,7	35	20	5000	Mar abierto.
BCA-6000	3000	6000	6000	12000	10	5,0	9,7	13,1	41	30	6000	
BCA-7000	3000	7000	6500	13500	10	5,5	10,1	13,5	44	50	7000	Mar profundo

Los datos referentes a diámetro de cadena, fondo y peso muerto son simplemente orientativos.
Equipo luminoso, opcional.
Para alcances luminosos, remitirse al capítulo correspondiente.

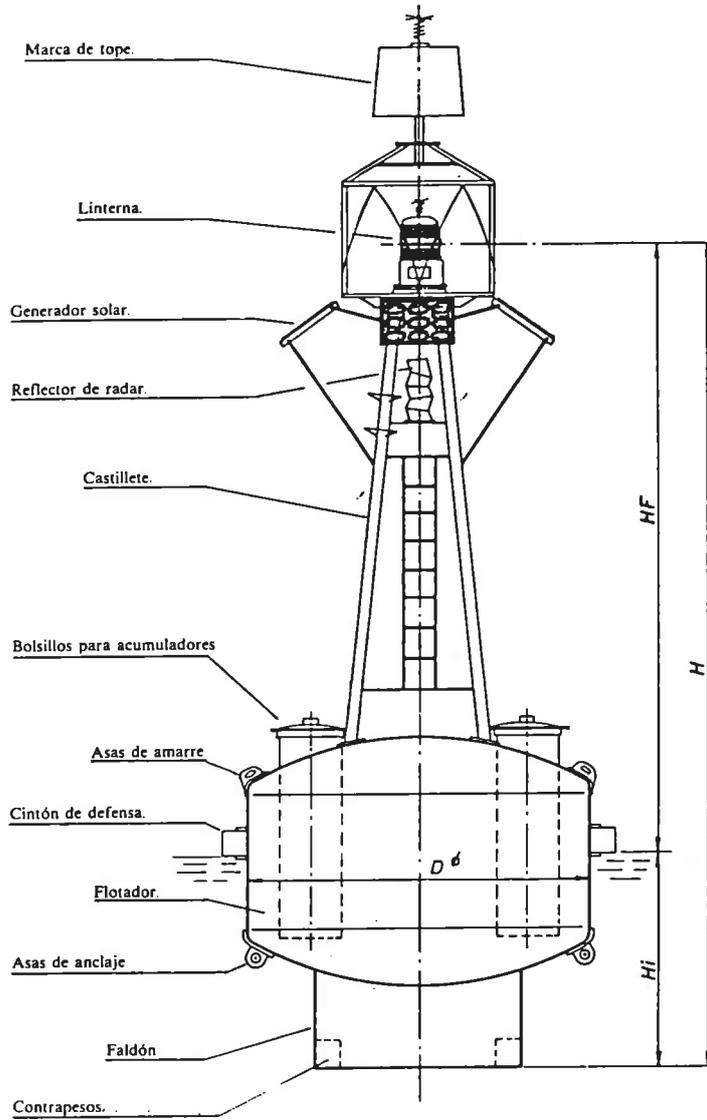
Figura VII.6. Boyas con cola, de acero BCA (La Maquinista Valenciana)



MODELO	PERIODO PROPIO DE OSCILACION (segundos)
BCA-4500/2000	4,20
BCA-6000/3000	4,02

El periodo corresponde a boya con todos los elementos de la figura.

Figura VII.7. Boyas con cola, de acero para generador activado por olas (La Maquinista Valenciana)



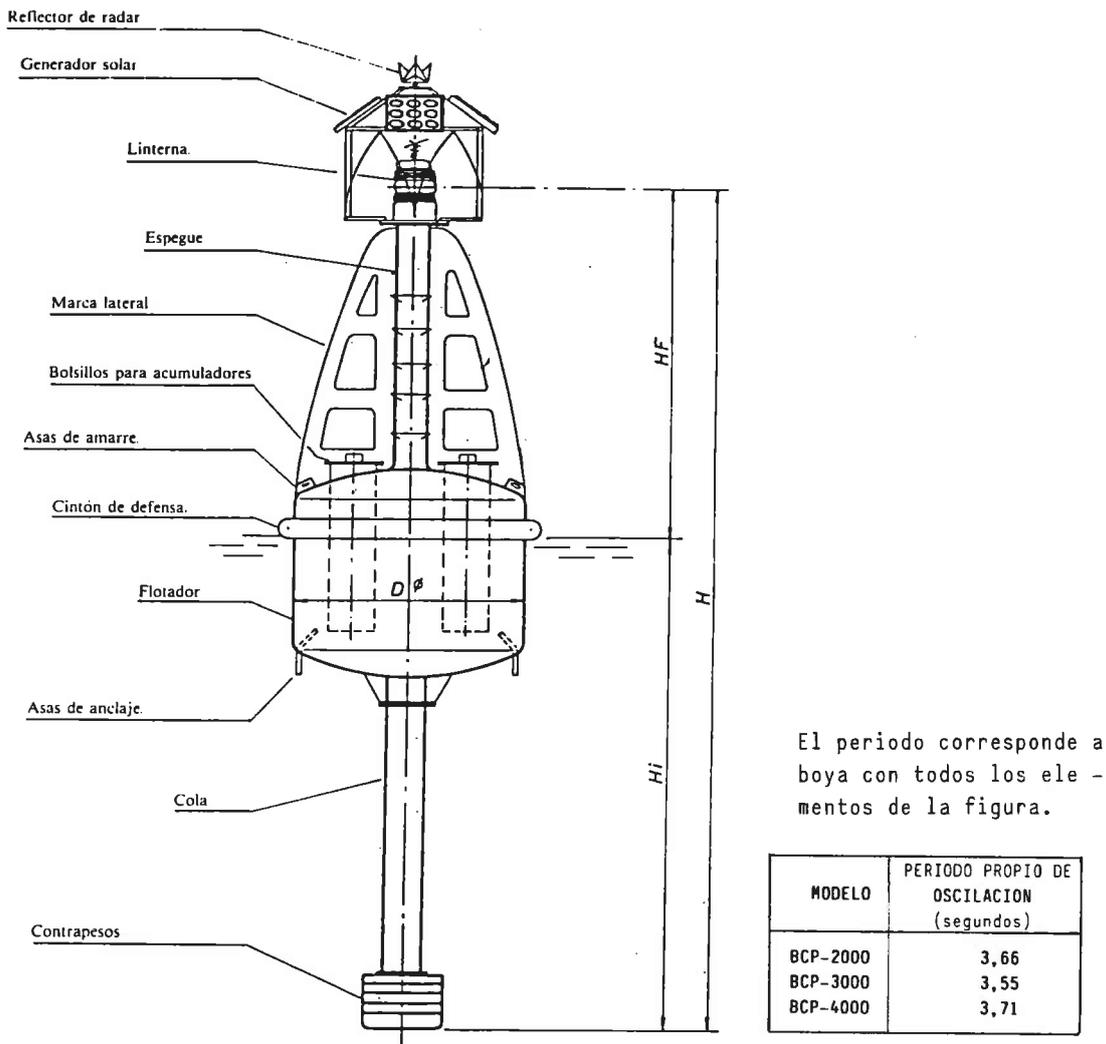
El periodo corresponde a boya con todos los elementos de la figura.

MODELO	PERIODO PROPIO DE OSCILACION (segundos).
BFA-2000	3,42
BFA-2500	3,27
BFA-3000	3,39
BFA-4000	3,77
BFA-5000	4,08

MODELO	DIMENSIONES mm					Alcance geográfico en millas náuticas			Ø Cadena	Fundo máximo m	Peso Muerto kg	UTILIDAD.
	Ø D	HF	Hi	H	e	OBSERVADOR						
						0 m	5 m	15 m				
BFA-2000	1600	2000	1700	3700	6	2,9	7,5	10,9	20	20	2000	Puertos y Aguas protegidas
BFA-2500	2000	2500	1600	4100	8	3,2	7,9	11,3	30	20	3500	Interior de Puertos Aguas semi-protegidas
BFA-3000	2200	3000	1600	4600	8	3,6	8,2	11,6	35	20	4000	
BFA-4000	3000	4000	2000	6000	10	4,1	8,8	12,2	40	20	5000	Aguas semi-abrigadas Mar abierto
BFA-5000	3000	5000	2300	7300	10	4,6	9,3	12,7	40	20	5000	

Los datos referentes a diámetro de cadena, fondo y peso muerto son simplemente orientativos.
Equipo luminoso, opcional.
Para alcances luminosos, remitirse al capítulo correspondiente.

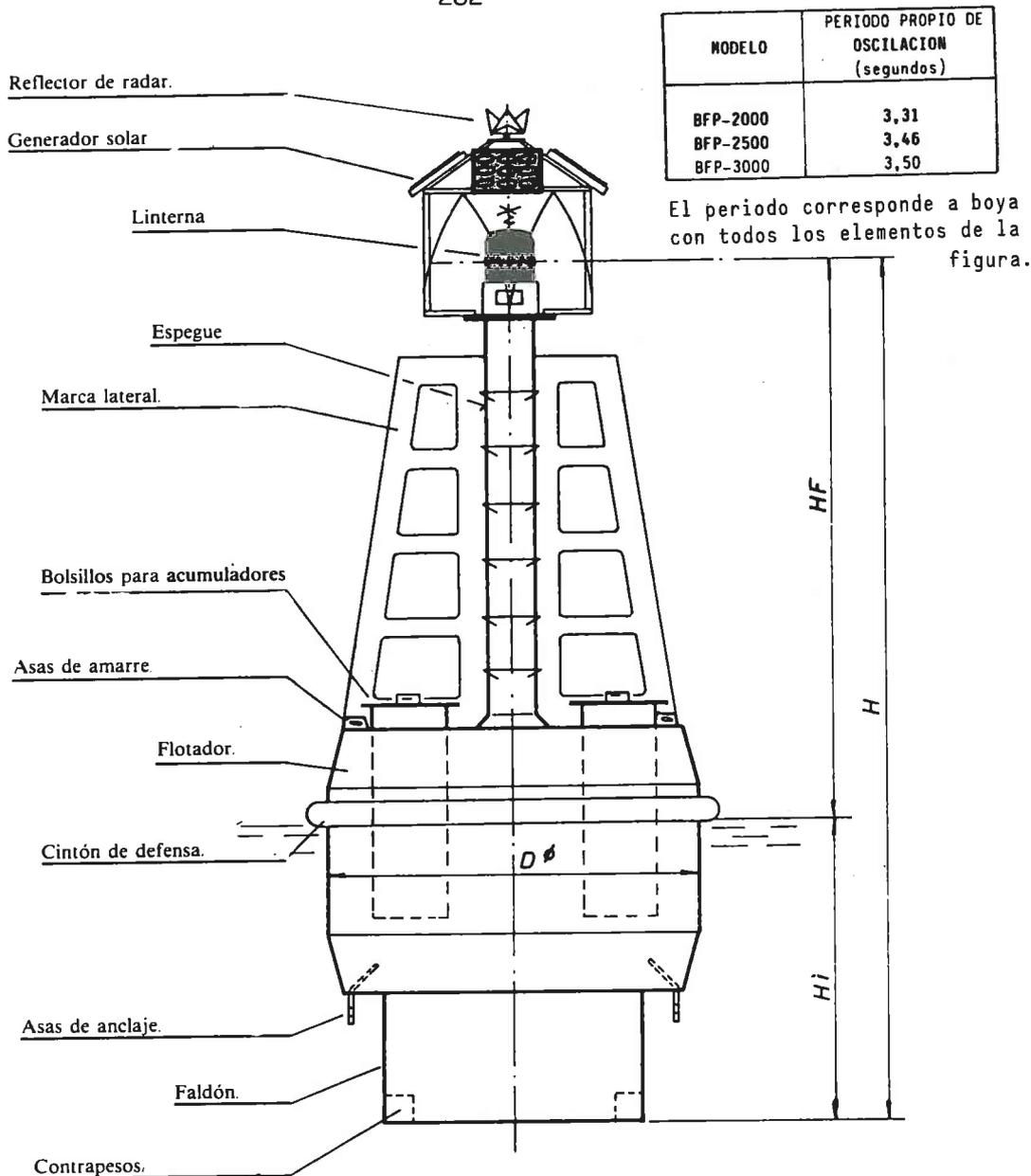
Figura VII.8. Boyas con faldón, de acero BFA (La Maquinista Valenciana)



MODELO	DIMENSIONES. mm				Alcance geográfico en millas náuticas			# Cadena	Fondo máximo	Peso Muerto	UTILIDAD.
	∅ D	HF	Hi	H	OBSERVADOR						
					0 m	5 m	15 m	mm	m	kg	
BCP-2000	1400	2000	2500	4500	2,9	7,5	10,9	12	10	1500	Interior de Puertos Zonas abrigadas. Aguas protegidas
BCP-3000	1600	3000	3500	6500	3,6	8,2	11,6	16	10	2000	
BCP-4000	2000	4000	4500	8500	4,1	8,8	12,2	20	15	3000	Mar abierto. Aguas semi-abrigadas

Los datos referentes a diámetro de cadena, fondo y peso muerto son simplemente orientativos.
Equipo luminoso, opcional.
Para alcances luminosos, remitirse al capítulo correspondiente.

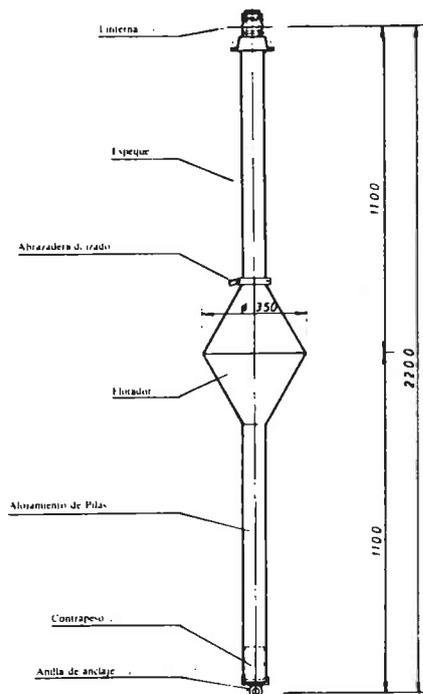
Figura VII.9. Boyas con cola, de plástico BCP (La Maquinista Valenciana)



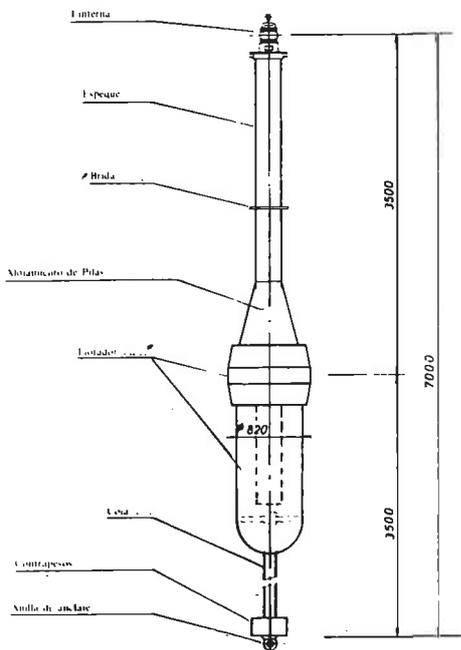
MODELO	DIMENSIONES, mm				Alcance geográfico en millas náuticas			# Cadena	Fondo máximo m	Peso Muerto kg	UTILIDAD
	Ø D	HF	HI	H	OBSERVADOR						
					0 m	5 m	15 m				
BFP-2000	1400	2000	1000	3000	2,9	7,5	10,9	12	10	1000	Interior de Puertos.
BFP2500	1600	2500	1500	4000	3,2	7,9	11,3	16	10	1500	Aguas protegidas.
BFP-3000	2000	3000	1600	4600	3,6	8,2	11,6	20	10	2000	Aguas semi-abrigadas

Los datos referentes a diámetro de cadena, fondo y peso muerto son simplemente orientativos.
Equipo luminoso, opcional.
Para alcances luminosos, remitirse al capítulo correspondiente.

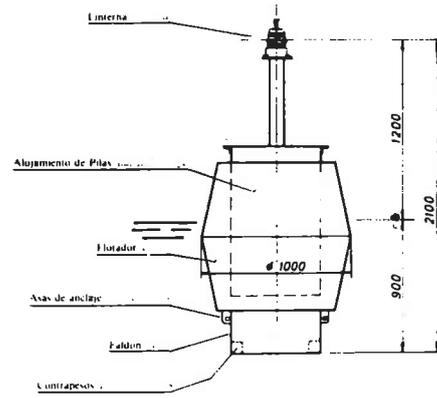
Figura VII.10. Boyas con faldón de plástico BFP (La Maquinista Valenciana)



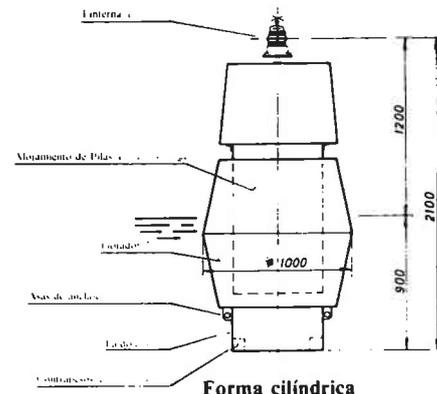
BPP-1100



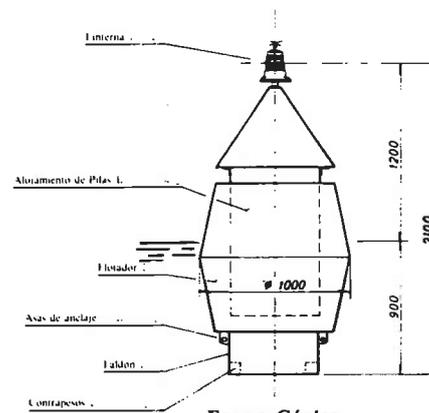
BPP-3500



Forma de Espeque



Forma cilíndrica

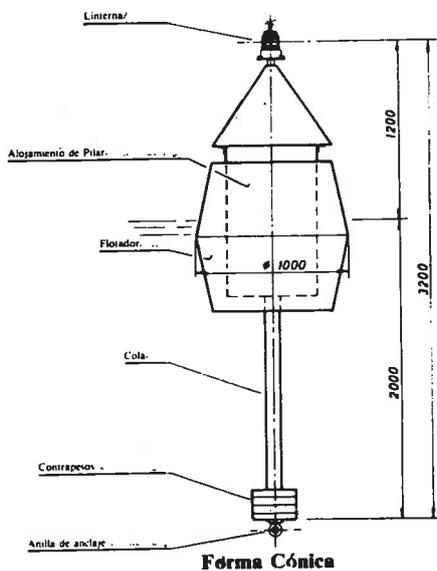
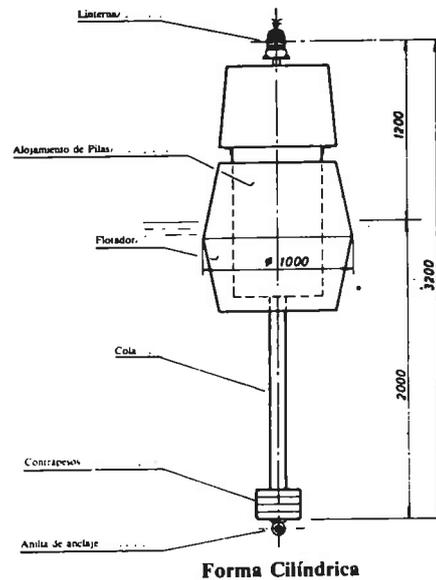
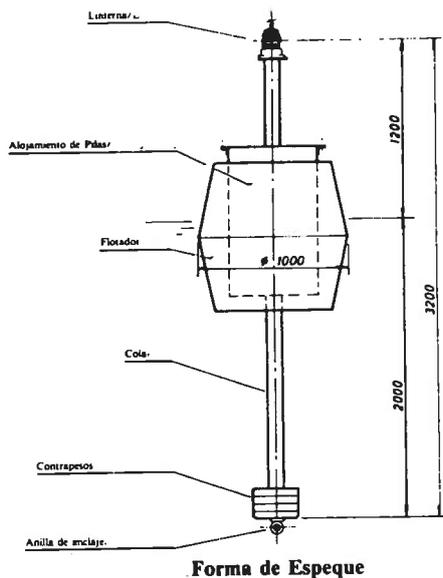


Forma Cónica

a) Boyas de pértiga de plástico

b) Boyas con faldón, de plástico BPP-1200

Figura VII.11. Boyas para pequeñas señales (La Maquinista Valenciana) (continúa)



MODELO	PERIODO PROPIO DE OSCILACION (segundos)
BPP-1100	2,44
BPP-3500	2,48
BCP-1200	3,08
BFP-1200	2,60

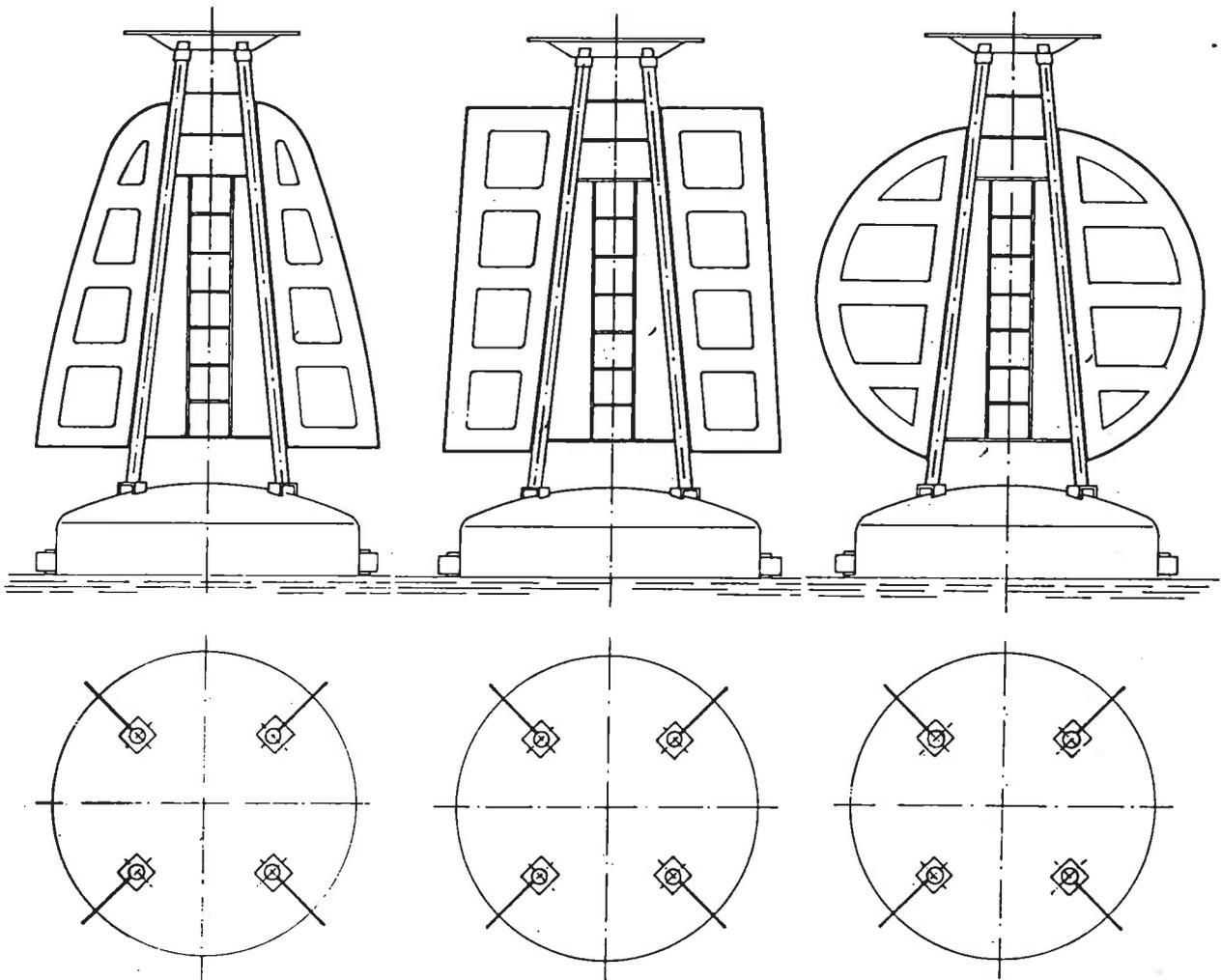
El periodo corresponde a boya con todos los elementos de la figura.

MODELO	Dimensiones mm				Alimentación	ANCLAJE		Fondo máx. m	Peso muerto kg
	∅ D	HF	Hi	H		Cadena mm	Cable nylon		
BPP-1100	350	1100	1100	2200	Pilas	—	8	15	300
BPP-3500	820	3500	3500	7000	Pilas	12	20	20	750
BCP-1200	1000	1200	2000	3200	Pilas	12	20	15	750
BFP-1200	1000	1200	900	2100	Pilas	10	16	12	500

Los datos referentes a diámetro de cadena, fondo y peso muerto son simplemente orientativos. Equipo luminoso, opcional. Para alcances luminosos, remitirse al capítulo correspondiente.

c) Boyas con cola, de plástico, para pequeñas señales BCP-1200

Figura VII.11. Boyas para pequeñas señales (La Maquinista Valenciana) (conclusión)

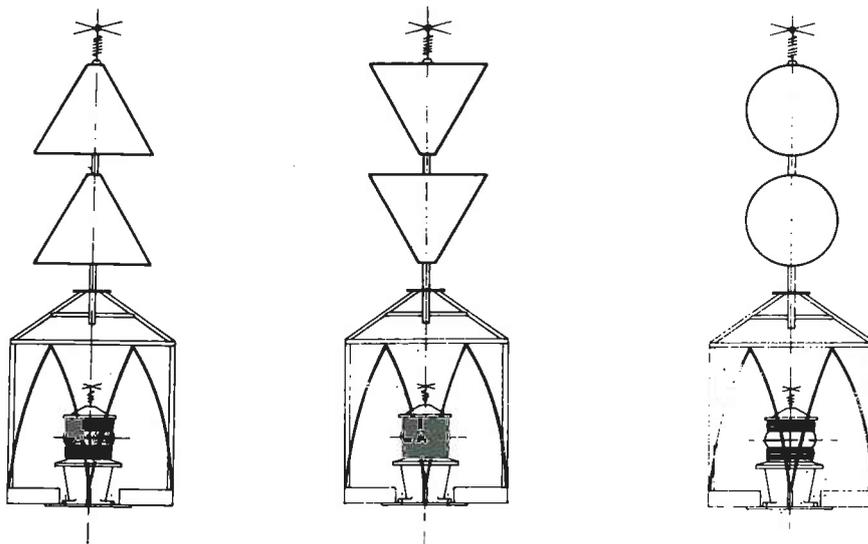


a) Aletas para boyas.
 Marca lateral de
 estribor.
 Color verde.
 Sistema "A"

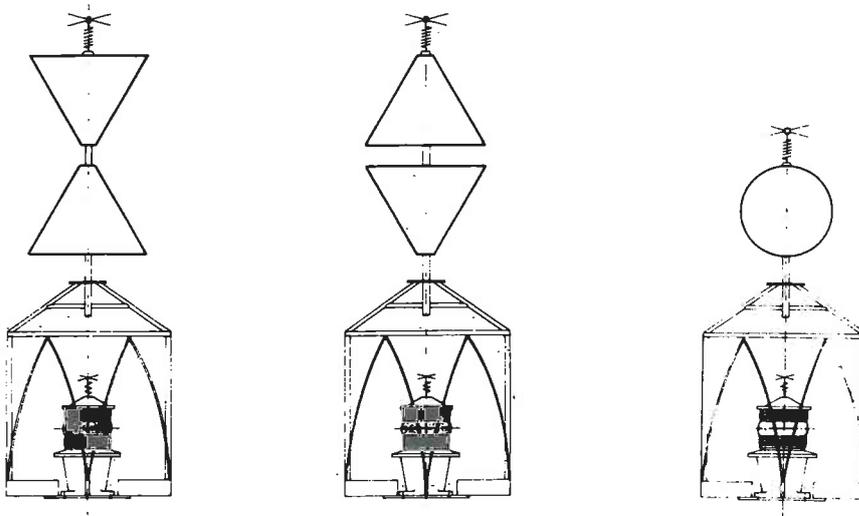
b) Aletas para boyas.
 Marca lateral de babor.
 Color rojo.
 Sistema "A"

c) Aletas para boyas.
 Marca de aguas navegables
 Color: franjas verticales
 rojas y blancas.
 Sistema "A"

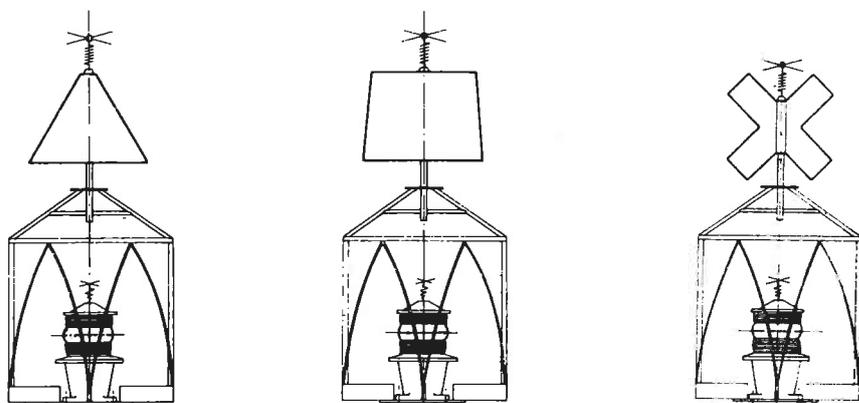
Figura VII.12. Boyas para marcas diurnas (La Maquinista Valenciana)



a) Marca cardinal. Cuadrante Norte b) Marca cardinal. Cuadrante Sur c) Marca de peligro aislado
 Color negro. Sistema "A" Color negro. Sistema "A" Color negro. Sistema "A"



d) Marca cardinal. Cuadrante Oeste e) Marca cardinal. Cuadrante Este f) Marca de aguas navegables
 Color negro. Sistema "A" Color negro. Sistema "A" Color rojo. Sistema "A"



g) Marca lateral de estribor h) Marca lateral de babor i) Marca especial
 Color verde. Sistema "A" Color rojo. Sistema "A" Color amarillo. Sistema "A"

Figura VII.13. Marcas de tope (La Maquinista Valenciana)

VII-1.1.2.- Tren de fondeo

El tren de fondeo es el elemento que ata el cuerpo del flotador a un punto del fondo (el muerto de anclaje), con una segunda función, la de amortiguar los choques ejercidos por las olas sobre la boya.

La determinación de un tren de fondeo supone la obtención del grosor de la cadena, su peso por unidad de longitud, su longitud y la posición de los amarres del tren con la boya.

VII-1.1.2.1.- Cálculos

Siguiendo la Recomendación de la IALA/AISM de junio de 1975; un método de cálculo simplificado, que evita el uso de un programa de ordenador, consiste en asimilar la forma que toma la cadena, en su parte suspendida (flotante), a un arco de catenaria, que corresponde al método clásico de cálculo.

Con ello puede resolverse el siguiente problema:

Para una determinada boya situada en un lugar dado se busca la longitud y el calibre de la cadena en los siguientes supuestos:

- a) En todas las condiciones de corriente marina y de viento consideradas, la cadena es tangente al fondo.
- b) En las condiciones de corriente marina y de viento más desfavorables el coeficiente de seguridad para la rotura de la cadena es al menos igual a 5. Se tomarán los impactos entre eslabones, incluso suelen tomarse coeficientes superiores en virtud del desgaste de la cadena.
- c) En las condiciones de corriente marina y viento más desfavorables, la reserva de flotabilidad de la boya es suficiente.

Este método considera la acción del viento sobre la superestructura de la boya y el tiro de la corriente sobre la boya. Al no considerar el tiro de la corriente sobre la cadena no se asegura que la boya esté rigurosamente vertical en las condiciones de corriente marina y viento más frecuentes.

Los parámetros que intervienen en este método son los siguientes:

- a) Características de la boya :

P = peso (en N)

V = volumen (en m³.)

B_r = reserva mínima de flotabilidad (en m³.)

S = sección vertical de la superficie mojada (en m².)

- b) Características de la ubicación:

H = profundidad del agua máxima, en marea alta aumentándole media altura de ola (en m.)

v_0 = velocidad del viento supuesto horizontal y uniforme en toda la sección de la superestructura de la boya (en m/s.)

v_c : velocidad de la corriente marina supuesta horizontal y uniforme (en m/s.)

La resultante F de las fuerzas horizontales ejercidas sobre la boya por la corriente (F_d) y por el viento (F_w) toma la expresión:

$F_w = \frac{1}{2} \rho_a v_o^2 \cdot S_w C_w$	N
$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho_o S v_c^2$	N
$F = F_d + F_w$	N

donde:

ρ_a = densidad del aire (en Kg/m³) entre 1,22 y 14,72 Kg/m³. según roción.

S_w = superficie de la sección vertical expuesta al viento (en m².)

C_w = coeficiente de tiro aerodinámico cuyo valor es:
 0,6 para superficies redondas.
 0,4 para superficies esféricas.
 1,3 para superficies triangulares.
 1,9 para superficies en celosía.

C_d = coeficiente de tiro hidrodinámico; su valor está comprendido entre 0,8 y 1,2 para boyas cuyo calado no es inferior a 1/5 de su diámetro. Si el calado es muy pequeño respecto a 1/5 del diámetro el valor está comprendido entre 0,3 y 0,5.

ρ_o = densidad del agua del mar (en kg/m³.) de ordinario 1026 kgs/m³.

La cadena queda caracterizada por los tres siguientes parámetros:

p = peso sumergido por unidad de longitud (en N/m.)

σ_r = tensión de rotura (en N.)

L = longitud (en m.)

Las tres condiciones del problema planteado se satisfacen si los parámetros de la cadena satisfacen lo siguiente:

$$L_o \leq L \leq \frac{(V - Br) \rho_o g - p}{p}$$

$$F + pH \leq 1/5 \sigma_r$$

donde:

g es la aceleración de la gravedad (en m/s²) y L_o es la longitud de una catenaria tangente en el fondo.

En virtud de las propiedades de la catenaria de altura "c" (Figura VII.14) se tiene:

$$(H + c)^2 = L_o^2 + c^2$$

y como la tangente en el fondo es horizontal:

$$c = \frac{F}{p}$$

lo que lleva a:

$$L_o = H \left(1 + \frac{2 F}{p H} \right)$$

En el caso de que la acción del oleaje se deje sentir intensamente, como ocurre en las boyas de antepuerto o mar abierta, los valores de las tensiones determinadas según el cálculo estático deberán aumentarse según un coeficiente de mayoración que es función de la relación:

$$\frac{2 h}{H} = \frac{\text{altura de la ola de cresta a seno}}{\text{profundidad del mar}},$$

según se expone en el ábaco de la figura VII.15.

VII.1.1.2.2.- Dimensionamiento.-

Conocidas las fuerzas que actúan sobre la boya, es preciso dimensionar los tres principales elementos de la instalación: flotabilidad del flotador, cadena de fondeo y muerto. Para ello, hay que tantear diversos calibres de cadena y esta labor puede realizarse fácil y rápidamente con el uso de los ábacos de las figuras VII.16.a. y VII.16.b., cuya explicación se expone seguidamente, en base a las propiedades de la catenaria .

a) Propiedades de la catenaria.-

Ecuación de la catenaria (figura VII.14.b.):

$$y = \frac{c}{2} (e^{x/c} + e^{-x/c}) \quad \text{en donde:}$$

c = altura de la catenaria F = componente horizontal
 p = peso por unidad de longitud P = componente vertical
 T = tensión de la catenaria L = desarrollo del tramo AB

Se sabe que en un punto cualquiera x_1 y_1 :

$$\text{Tensión en } x_1 \text{ } y_1: \quad T_1 = p y_1$$

$$\text{Componente horizontal: } F = p c = F_1$$

$$y, \text{ como } y_1 = c + H \quad T = p c + H p$$

$$T_1 = F + H p$$

Estudiando el equilibrio de \overline{AB} :

$$F = T_1 \cos \alpha \quad \alpha = \text{ángulo de la tangente} \quad L_1 p = P_1$$

$$y \text{ como } T_1^2 = P_1^2 + F^2 = L_1^2 p^2 + p^2 c^2$$

resulta:

$$y_1^2 = L_1^2 + c^2$$

y considerando otro punto x_2, y_2 :

$$y_2^2 = L_2^2 + c^2 \quad \text{de donde:}$$

$$y_2^2 - y_1^2 = L_2^2 - L_1^2$$

Estas tres propiedades se aplican en los cálculos siguientes.

b) Caso de catenaria con tangente horizontal en el muerto.-

Tomando un sistema de coordenadas con origen en la boya y que definan el extremo del vector tensión de la cadena (figura VII.14.c.), con las razones:

$$x = \frac{F}{p H} \quad y = \frac{P_1}{p H} \quad \text{de donde:}$$

F = componente horizontal de T_1 H = profundidad
 P_1 = componente vertical de T_1 p = peso unitario de la cadena
 T_1 = tensión de la cadena L = longitud de la catenaria

en virtud de las propiedades de la catenaria de altura c , tendremos:

$$(H + c)^2 = L^2 + c^2 \quad H^2 - L^2 + 2 H c = 0$$

y como la tangente en el muerto es horizontal, se tendrá:

$$c = \frac{F}{p} \quad H^2 - L^2 + \frac{2 H F}{p} = 0$$

$$1 - \left(\frac{L}{H}\right)^2 + \frac{2 F}{H p} = 0 \quad \text{y si tomamos como variables:}$$

$$y = \frac{L}{H} = \frac{P_1}{p H} \quad (\text{ya que } P_1 = L p)$$

$$x = \frac{F}{p H}$$

$$y^2 = 2 x + 1$$

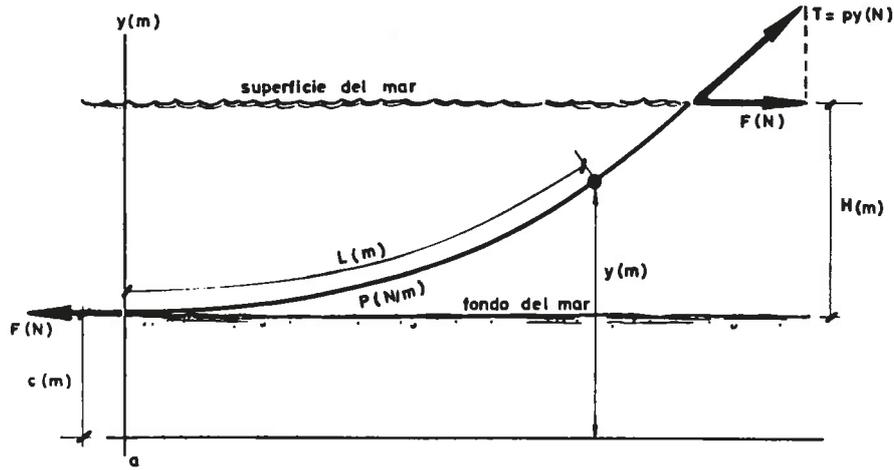
Esta es la parábola que aparece en las figura VII.16.a. y VII.16.b., donde están los extremos del vector; abatiendo sobre el eje vertical u horizontal, se puede medir la tensión en unidades $p H$.

c) Caso de catenaria estirada sobre el muerto.-

Si (x_1, y_1) son las coordenadas del muerto y (x_2, y_2) las de la boya, y si L_1 y L_2 son los desarrollos de la catenaria desde su vértice hasta estos dos puntos, por las propiedades de la catenaria, tendremos:

$$y_1^2 = L_1^2 + c^2$$

$$y_2^2 = L_2^2 + c^2$$



VII.14.a. Catenaria de altura c , con un peso por unidad de longitud p , con una tensión en el punto de tangencia horizontal F . Se verifica $c = F/p$ y para cualquier ordenada y : $y^2 = L^2 + c^2$.

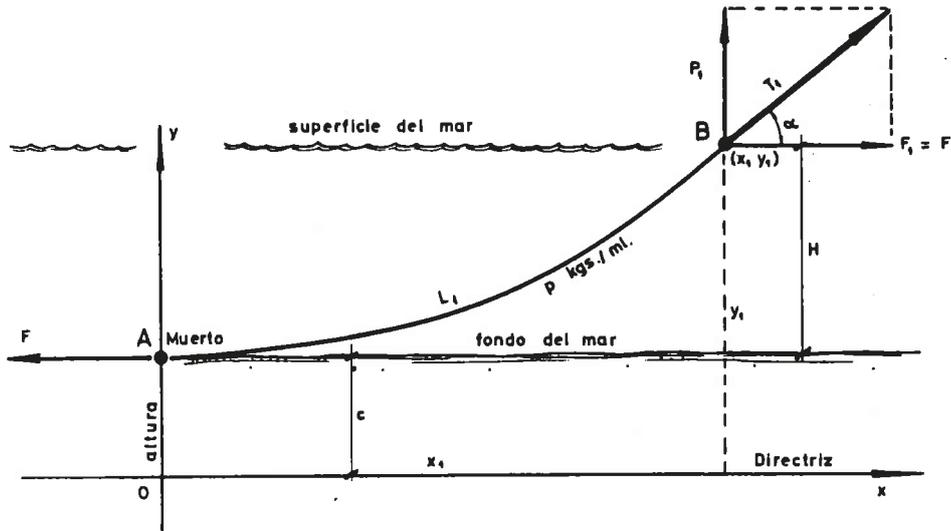


Figura VII.14.b. Aplicación de las propiedades de la catenaria

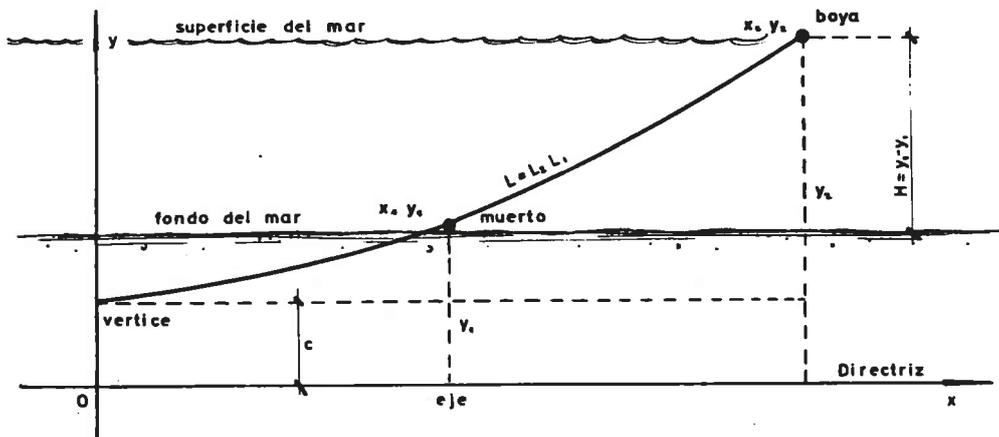


Figura VII.14.c. Aplicación a los ábacos

y restando:

$$(y_2 + y_1) (y_2 - y_1) = (L_2 + L_1) (L_2 - L_1)$$

o, lo que es igual:

$$(y_2 + y_1) H = (L_2 + L_1) L \quad (1)$$

Por otra parte:

$$\begin{aligned} y_1 p &= T_1 & y_2 p &= T_2 & y_2 + y_1 &= \frac{T_1 + T_2}{p} \\ L_1 p &= P_1 & L_2 p &= P_2 & L_2 + L_1 &= \frac{P_1 + P_2}{p} \end{aligned}$$

y sustituyendo en (1):

$$T_1 + T_2 = \frac{L}{H} (P_1 + P_2)$$

pero como:

$$T_1^2 = P_1^2 + F^2 \quad T_2^2 = P_2^2 + F^2$$

resulta:

$$\sqrt{P_1^2 + F^2} + \sqrt{P_2^2 + F^2} = \frac{L}{H} (P_1 + P_2)$$

y como:

$$P_1 = P_2 - L p$$

sustituyendo y dividiendo por p H:

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{P_1}{p H} - \frac{L}{H}\right)^2 + \left(\frac{F}{p H}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{P_2}{p H}\right)^2 + \left(\frac{F}{p H}\right)^2} &= \\ &= \frac{L}{H} \left(2 \frac{P_2}{p H} - \frac{L}{H}\right) \end{aligned}$$

y si hacemos:

$$x = \frac{L}{H} \text{ (parámetro)} \quad x = \frac{F}{p H} \quad y = \frac{P_2}{p H}$$

resulta:

$$\sqrt{(y - k)^2 + x^2} + \sqrt{y^2 + x^2} = k (2 y - k)$$

y operando:

$$4 y^2 (1 - k^2) + 4 x^2 + 4 k y (1 - k^2) - (1 - k^2)^2 = 0$$

que representa la familia de hipérbolas de parámetro k .

En las figuras VII.16.a. y VII.16.b. aparecen las hipérbolas correspondientes a los valores del parámetro $k = \frac{L}{H}$ siguientes:

1,25 1,35 1,50 1,75 2,00 2,50 3,00 4,00

Si $L_1 = 0$, la catenaria es de tangente horizontal, y, entonces:

$$y = \frac{L}{H} = k$$

sustituyendo el valor del parámetro queda:

$$(2x)^2 = (y^2 - 1)^2 \quad \text{y se repite la parábola:}$$

$$y^2 = 2x + 1$$

d) Radio de borneo.-

Los valores que aparecen en la curva $y^2 = 2x + 1$ representan los radios de borneo expresados en unidades H. Se determinan así:

$$H = y - c = \frac{T}{p} - c \quad c = \left(\frac{T}{pH} - 1\right) H = (v - 1) H$$

donde nótese que $v = \frac{T}{pH}$ es el valor v que da el ábaco abatiendo .

$$\text{Por otra parte: } y = \left(\frac{T}{pH}\right) H = v H$$

Si en la ecuación de la catenaria medimos y , x (es decir, el radio de borneo r) y c en unidades H de longitud, tendremos:

$$v = \frac{v - 1}{2} (e^{r/v-1} + e^{-r/v-1})$$

que puesta en la forma:

$$\frac{v}{v - 1} = \frac{1}{2} (e^{r/v-1} + e^{-r/v-1})$$

es un coseno hiperbólico .

Apoyándonos, pues, en la tabla de los valores del coseno hiperbólico, resulta posible, para cada valor del primer miembro (y , por consiguiente, de v) conocer el de $\frac{r}{v-1}$ (, por consiguiente, de r); tales son las cifras que aparecen en las figuras VII.16.a. y VII.16.b.

e) Dimensionamiento.-

La aplicación de los métodos de cálculo demuestra que, en general, la condición de tangencia horizontal en el fondo se satisface si:

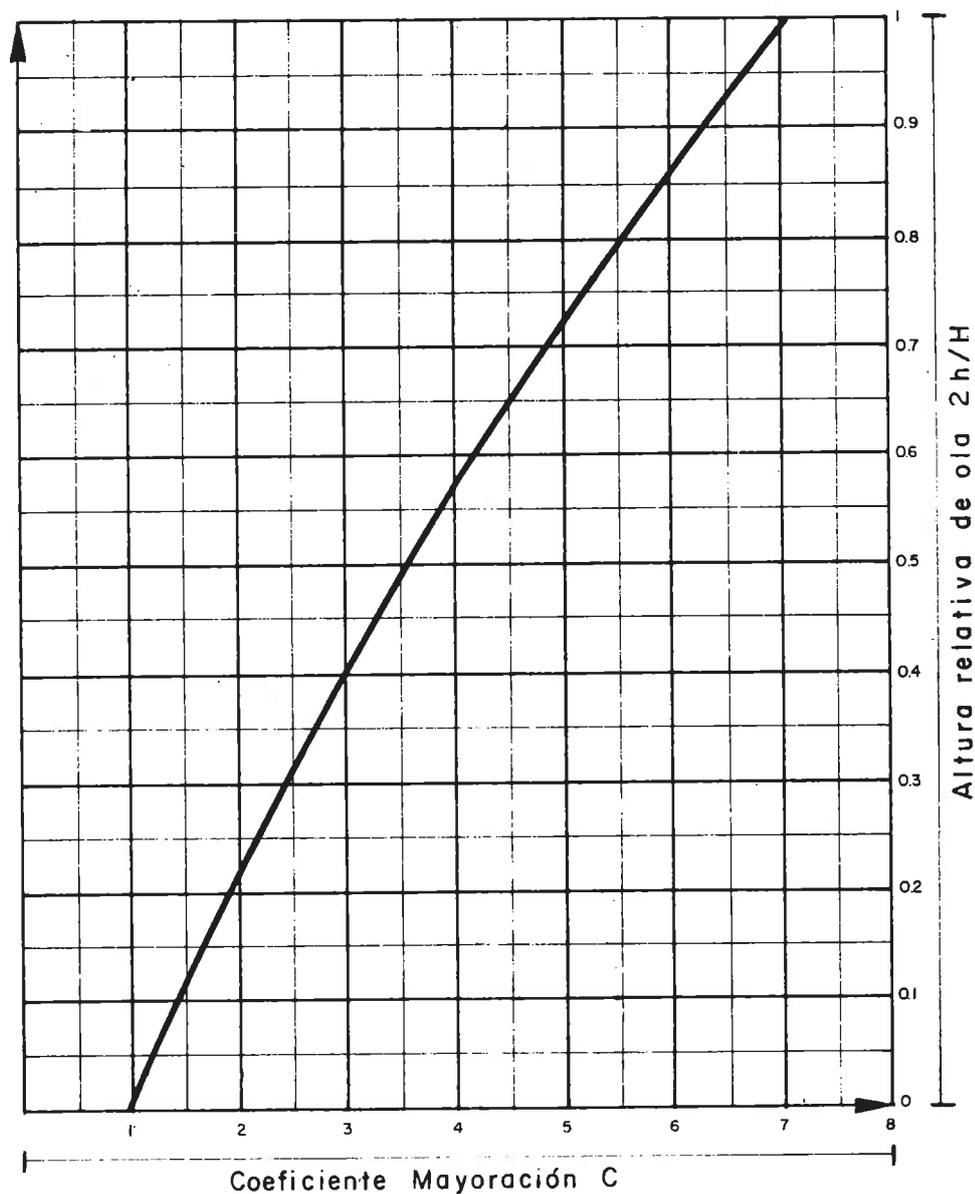


Figura VII.15. Coeficiente de mayoración de las tensiones en las cadenas de anclaje

- a) la longitud de la cadena es tres veces mayor que la profundidad
- b) en los lugares donde la boya está expuesta simultáneamente al oleaje y a corrientes marinas se recomienda (IALA/AISM junio de 1975) suplementar la longitud entre 0 y 3 veces cuando la corriente varía entre 0 y 6 nudos.

El radio de borneo máximo, esto es, el radio de la mayor circunferencia que pueda describir el cuerpo del flotador sobre el mar es:

$$R_m = \sqrt{L^2 - H^2}$$

Este valor debe ser inferior a la distancia entre el punto de fondeo y el bajo u obstáculo.

En el caso de que se quiera reducir el radio de borneo puede reducirse la longitud de la cadena hasta dos veces la profundidad en aguas poco profundas (H menor o igual que 50 m.) y hasta 1,5 H para profundidades mayores.

Por ello es que, en el ábaco de la figura VII.16., puede determinarse "L/H" en función de "F/pH" acudiendo a la parábola, en el caso de tangencia horizontal de la cadena en el fondo y también puede determinarse "P₁/pH" (P₁ es la componente vertical del tiro sobre la boya) en función de "F/pH" y "L/H", acudiendo a la familia de hipérbolas; cada hipérbola corresponde a un cociente "L/H" o a un radio de borneo (medido en H) "r".

En aceros franceses de tipo Vértitas los datos relativos a los trenes de fondeo se especifican en la tabla VII.2.

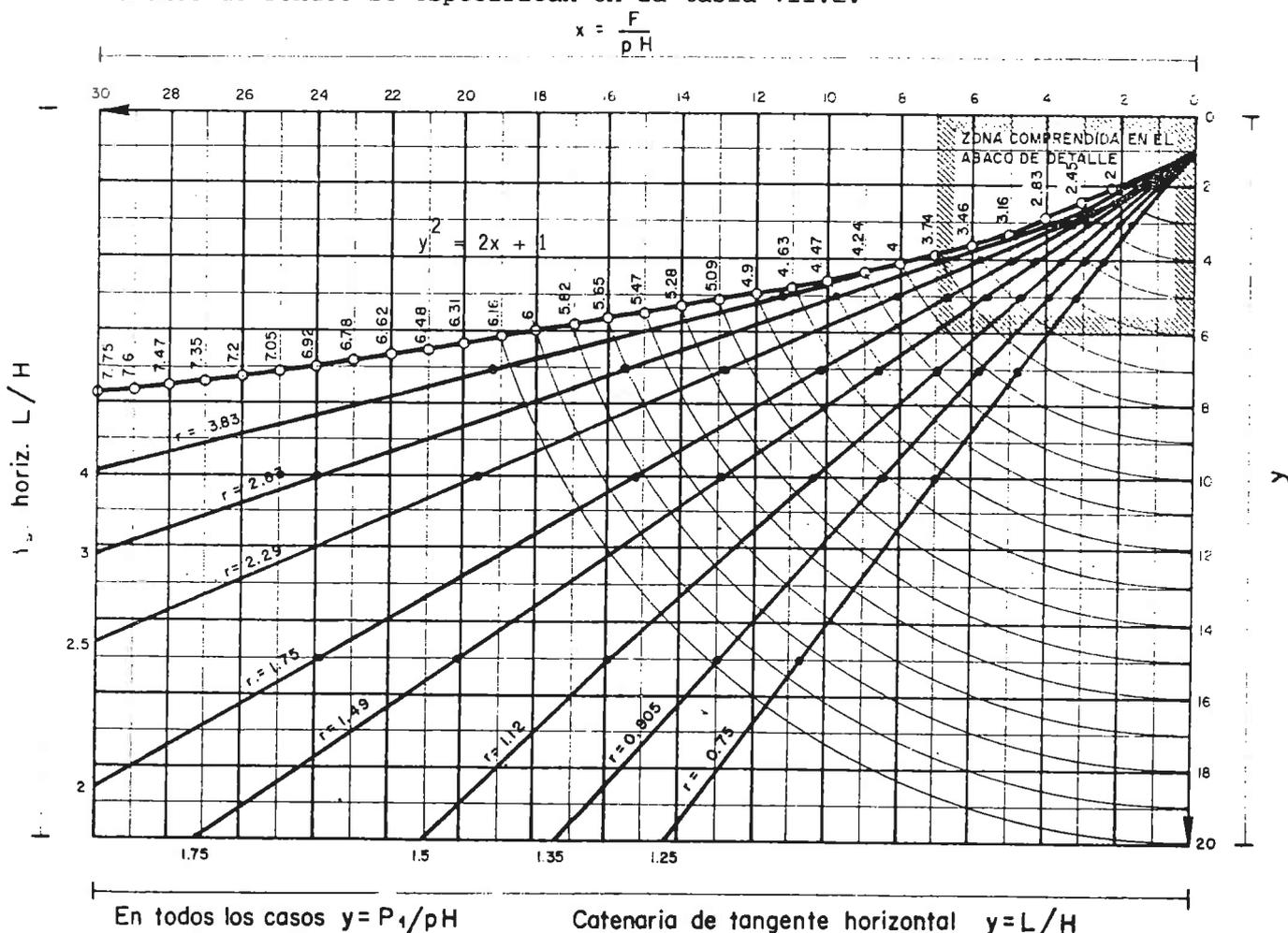


Figura VII.16.a. Abaco para la determinación de la longitud de catenaria en función de $x = \frac{F}{pH}$ y $y = \frac{P_1}{pH}$ igual a $\frac{L}{H}$ en el caso de catenaria de tangente horizontal. La escala de "y" se abate sobre la parábola. El radio de borneo se obtiene así:

$$R = r \cdot H$$

CALIBRE CADENA EN MILIMETROS		12,5	16	19	22	25	27	30	32	35	38	40	44	46	48
CALIBRE CADENA EN PULGADAS		1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/16	1 3/16	1 1/4	1 3/8	1 1/2	1 9/16	1 3/4	1 13/16	1 7/8
Peso unitario, Kg/m.		3,5	5,7	8	10,75	14,1	16	19,6	22,25	26,8	32	34,5	42,75	46	50,3
Peso aparente en el agua		3	5	7	9,3	12,3	13,9	17,1	19,4	23,3	27,8	30	37,2	40	43,7
Eslabón extremo, tipo DP reforzado.	Calibre 1,2 d.	15	19	23	26,5	30,5	32,5	36	38	41,5	45,5	47,5	53	55	57
	Peso unitario	0,26	0,56	0,95	1,45	2,2	2,75	3,6	4,3	5,6	7,4	8,4	11,6	13	14,6
Aro de unión, tipo DP reforzado	Calibre 1,2 d.	15	19	23	26,5	30,5	32,5	36	38	41,5	45,5	47,5	53	55	57
	Peso unitario	0,4	0,7	1,25	2	3,2	3,6	4,85	5,4	7,5	10	11	15,6	16,7	19,5
Gancho de anclaje, tipo DP reforzado	Calibre 1,5 d.	19	24	28,5	33	38	41	45	48	52,5	57	60	66	69	72
	Peso unitario	0,67	1,25	2,1	3,3	4,9	6,2	8,4	10	13,3	17,2	20	27	29,7	35,7
Grillete, tipo DP	Calibre 1,4 d.	17,5	22,5	26,5	31	35	38	42	45	49	52,5	56	61,5	64,5	67
	Peso unitario	0,75	1,5	2,5	3,9	5,6	7,4	9,8	11,9	15,5	19,6	23,5	30,5	34,6	41
Anilla triangular	Calibre 1,75 d.	22	28	33	38,5	44	47,5	52,5	56	61,5	66,5	70	77	80,5	84
	Peso unitario	1	2,1	3,4	5,4	8	10	13,5	16,5	21,5	28	32,5	43	49	56
Anilla redonda	Calibre 1,75 d.	22	28	33	38,5	44	47,5	52,5	56	61,5	66,5	70	77	80,5	84
	Peso unitario	1,1	2,2	3,7	5,7	8,4	10,5	14,5	17,5	23	29,5	34	45	52	59
Eslabón giratorio para cadena forjada	Calibre 1,2 d.	15	15	15	15	15	15	15	19	19	19	19	19	19	19
	Peso unitario	0,3	0,35	0,39	0,43	0,49	0,51	0,55	0,93	1	1,1	1,12	1,25	1,28	1,32
Carga mínima de rotura (cadena sin conrete), 30 Kg/mm ² , tons.		7,9	12	17	22,8	29,4	34,3	42,4	48,2	57,7	68	75,3	91,2	99,7	108,5
Carga de prueba (cadena sin conrete), 14 Kg/mm ² , tons.		3,7	5,6	7,9	10,6	13,7	16	19,8	22,5	26,9	31,7	35,2	42,6	46,5	50,7
Cadena forjada, calibre.	Milímetros	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	16	16	16	16	16	16	16
	Pulgadas.	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8
MUERTOS		Pero:		600		1.000		1.000		1.500		1.500		2.000	
		400		800		1.500		1.250		1.750		2.000		2.500	
		600		1.000		1.750		1.500		2.000		2.500		3.000	
		800		1.250		2.000		2.000		2.500		3.000		3.500	
		1.000		1.500		2.500		2.500		3.000		3.500		4.000	
				1.750				3.000		3.500		4.000		5.000	
				2.000				3.500		4.000		5.000		6.000	

NOTA: Los pesos indicados se han establecido teniendo en cuenta las Normas AFNOR # :E - 26 - O 11 - J 37 - 330 - J 37 - 340 - J 37 - 360 - J 37 - 370

Tabla VII.2. Elementos del tren de fondeo, acero véritas, calidad coque, R = 41/50 kilogramos

Una vez determinado el tipo de boya y la longitud del tren de fondeo, para obtener el calibre de los eslabones y la composición adecuada de la cadena se puede acudir a las figuras VII.17. y VII.18.

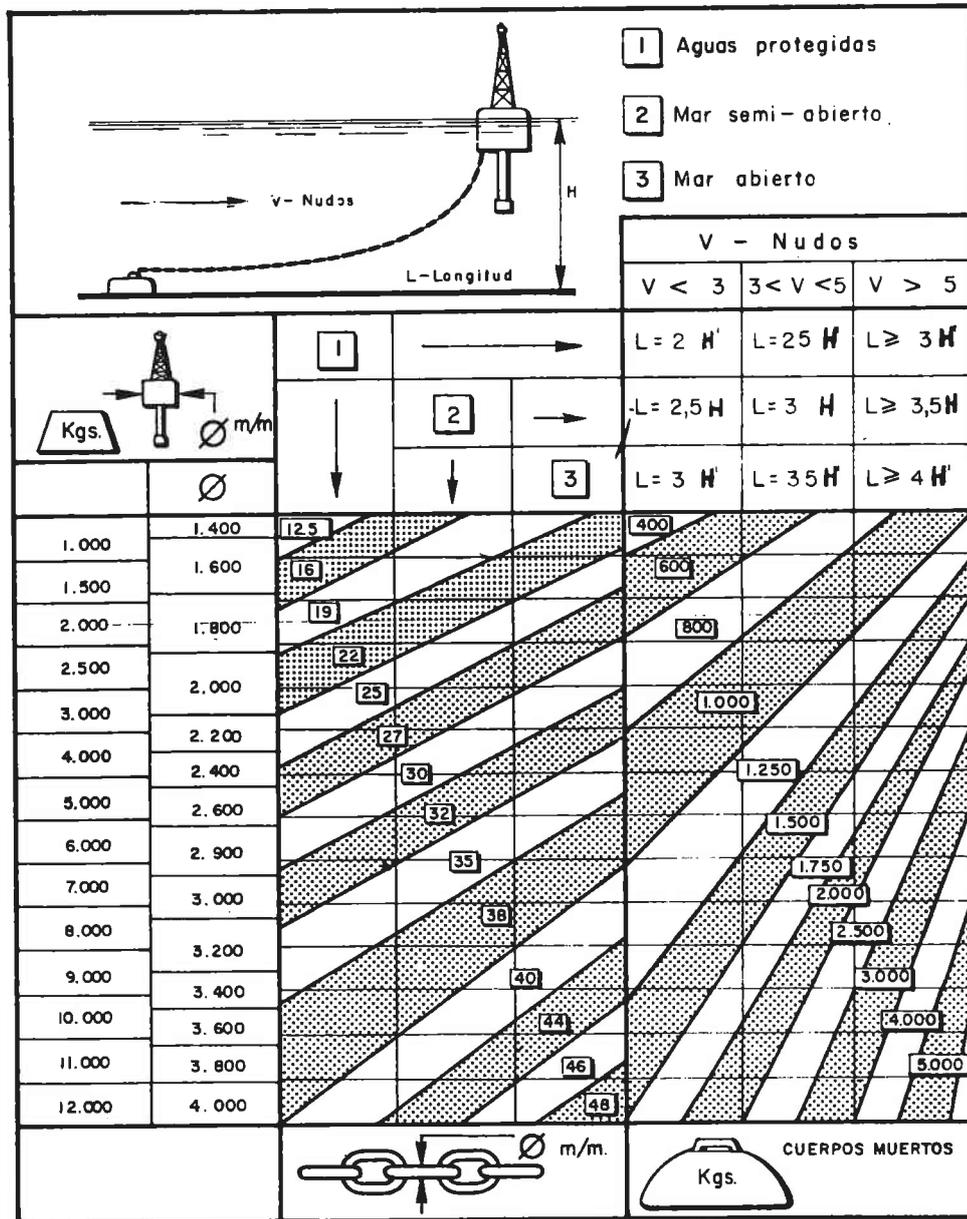


Figura VII.17. Abaco de cálculo de las cadenas de fondeo según B.B.T.

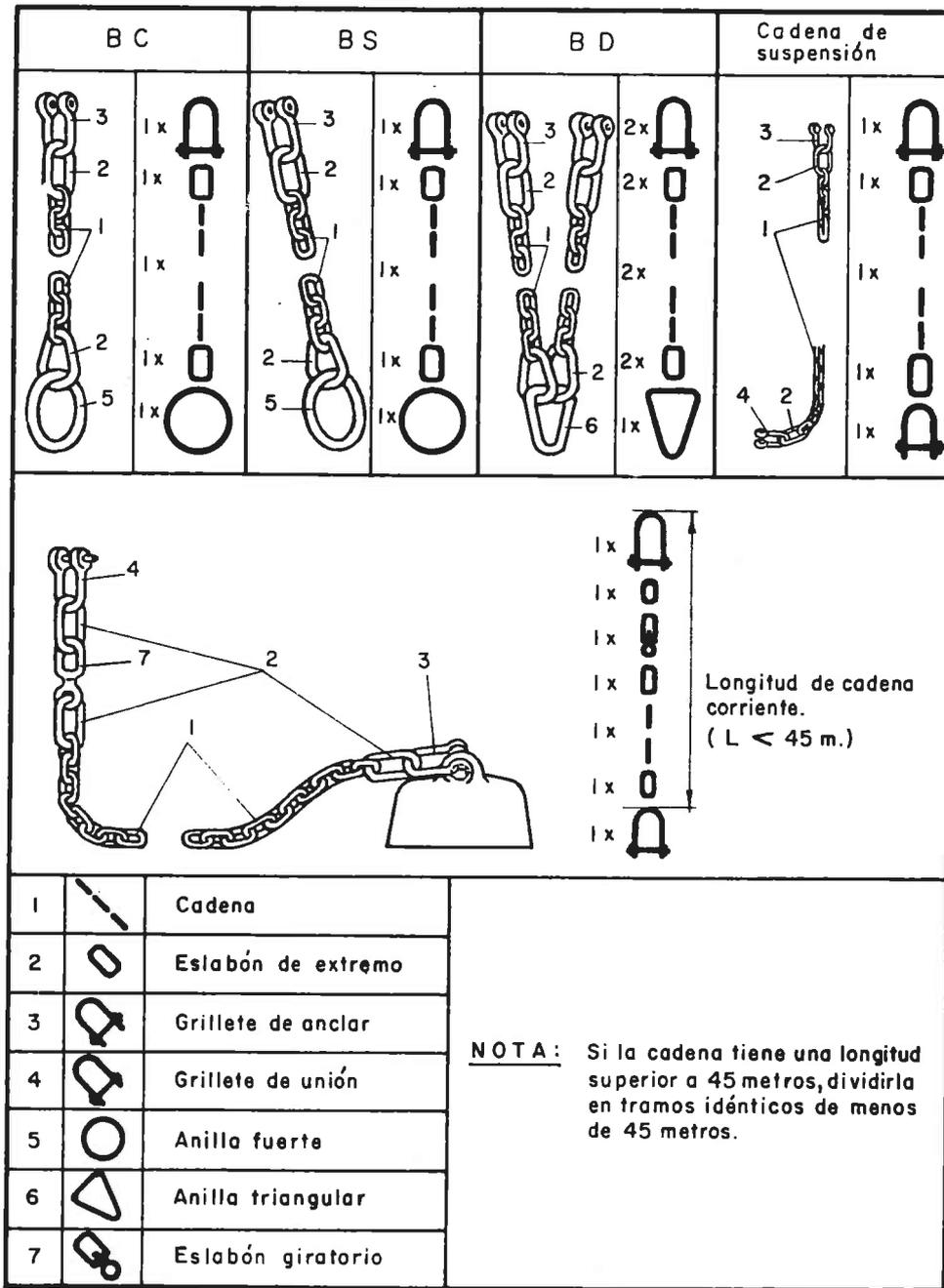


Figura VII.18. Composición de los trenes de fondeo, según B.B.T., para cadenas francesas
 B.C.: cadenas con amarre central.
 B.S.: cadenas con amarre lateral sencillo
 B.D.: cadenas con amarres dobles emparejados

Los elementos de la figura VII.18. se corresponden con los valores de las tablas VII.3. y VII.4.

Calibre de la cadena	Pesos emergida	Kg/m. sumergida	Cadena doble aparejada B. D.	Amarre lateral sencillo B. S.	Amarre central B. C.
19	8	7	11,4	7,7	11,2
22	10,8	9,3	17,8	11,9	17,3
25	14,1	12,3	26,6	17,7	25,5
27	16,0	13,9	33,4	22,2	32,4
30	19,6	17,1	44,7	30,1	43,5
32	22,3	19,4	53,7	36,1	52,3
35	26,8	23,3	70,5	47,5	68,6
38	32,0	27,8	92,0	61,5	88,5
40	34,5	30,0	106,5	70 8	102,7
44	42,8	37,2	143,4	95,2	137,3
46	46,0	40,0	160,4	107,7	155,3
48	50,3	43,7	185,8	123,9	179,5

Tabla VII.3. Amarres

Pesos de los accesorios de los amarres dobles aparejados (B.D.), cadenas con amarre lateral sencillo (B.S.) y cadenas con amarre central (B.C.).

El acero es del tipo "Véritas".

El peso total del amarre doble aparejado (B.D.) es igual a los pesos de los accesorios + 2 por la longitud de una de las cadenas aparejadas. El peso total de la cadena del fondo de la boya (B.S. o B.C.) es igual a los pesos de los accesorios más la longitud de la cadena (B.S. o B.C.).

1	 \varnothing m/m. \varnothing "  Kgs.	12,5	16	19	22	25	27	30	32	35	38	40	44	46	48	
		1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/16	1 3/16	1 1/4	1 3/8	1 1/2	1 9/16	1 3/4	1 3/16	1 7/8	
		3,5	5,7	8	10,75	14,1	16	19,6	22,25	26,8	32	34,5	42,75	46	50,3	
2	 \varnothing m/m.  Kgs.	15	19	23	26,5	30,5	32,5	36	38	41,5	45,5	47,5	53	55	57	
		0,26	0,56	0,95	1,45	2,2	2,75	3,6	4,3	5,6	7,4	8,4	11,6	13	14,6	
3	 \varnothing m/m.  Kgs.	19	24	28,5	33	38	41	45	48	52,5	57	60	66	69	72	
		0,67	1,25	2,1	3,3	4,9	6,2	8,4	10	13,3	17,2	20	27	29,7	35,7	
4	 \varnothing m/m.  Kgs.	15	19	23	26,5	30,5	32,5	36	38	41,5	45,5	47,5	53	55	57	
		0,4	0,7	1,25	2	3,2	3,6	4,85	5,4	7,5	10	11	15,6	16,7	19,5	
5	 \varnothing m/m.  Kgs.	22	28	33	38,5	44	47,5	52,5	56	61,5	66,5	70	77	80,5	84	
		1,1	2,2	3,7	5,7	8,4	10,5	14,5	17,5	23	29,5	34	45	52	59	
6	 \varnothing m/m.  Kgs.	22	28	33	38,5	44	47,5	52,5	56	61,5	66,5	70	77	80,5	84	
		1	2,1	3,4	5,4	8	10	13,5	16,5	21,5	28	32,5	43	49	56	
7	 \varnothing m/m.  Kgs.	17,5	22,5	26,5	31	35	38	42	45	49	52,5	56	61,5	64,5	67	
		0,75	1,5	2,5	3,9	5,6	7,4	9,8	11,9	15,5	19,6	23,5	30,5	34,6	41	
Cadena de suspensión:		12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	16	16	16	16	16	16	16	
Cuerpos muertos		400/1.000 Kg.				600/2.000 Kg.				1.000/2.500 Kg.		1.000/3.500 Kg.		1.500/6.000 Kg.		

Tabla VII.4. Características de elementos de fondeo. Materiales franceses. El grillete de unión a la anilla dispone de clavija para deseslabonar fácilmente

Los trenes de fondeo normales en España tienen las características de la tabla VII.5., que se refieren a la figura VII.19.

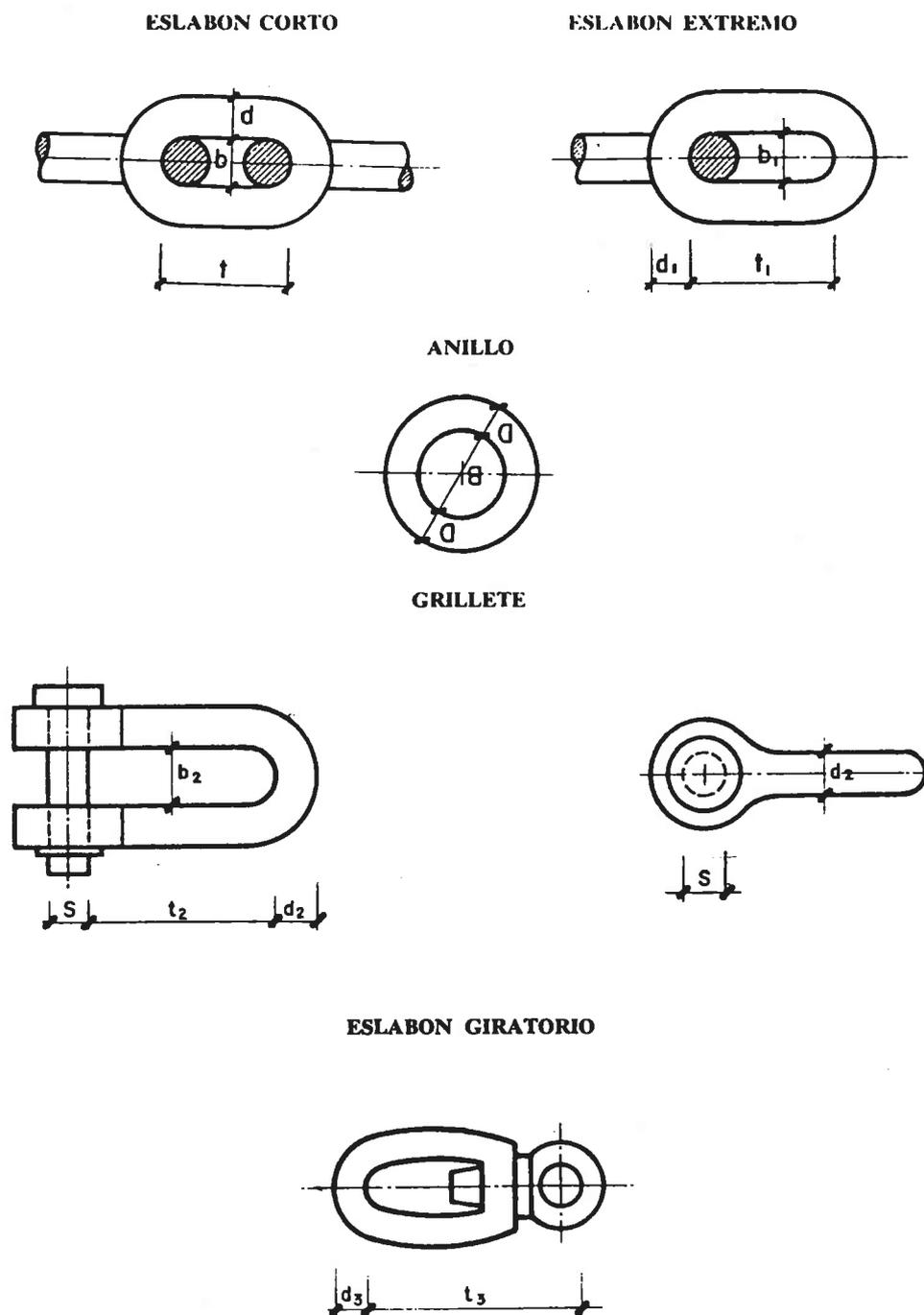
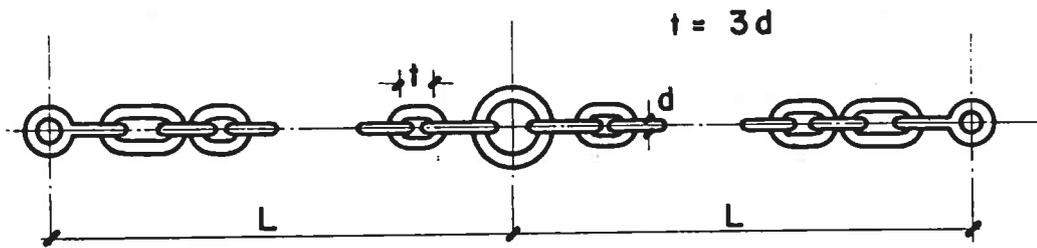


Figura VII.19. Elementos del tren de fondeo usuales en España

ESPESOR DEL ESLABON		CADENA			ESLABON EXTREMO				ANILLO		
		PESO POR ML.			DIMENSIONES				DIMENSIONES		
		b	$t = 3 \times d$	$t = 4 \times d$	d_1	t_1	b_1	PESO	D	B	PESO
Milli- metros	Pulgadas	Millimetros	Kilogramos	Kilogramos	Millimetros	Millimetros	Millimetros	Kilogramos	Millimetros	Millimetros	Kilogramos
16	5/8	24	5,40	4,90	19	86	29	0,60	24	80	1,30
22	7/8	33	10,20	9,30	26	117	39	1,50	33	110	3,20
25	1	36	12,20	11,10	20	131	44	2,00	36	120	4,20
28	1 1/8	42	16,50	15,10	34	153	51	3,20	42	140	7,00
32	1 1/4	48	21,60	19,70	38	171	57	4,50	48	160	10,40
35	1 3/8	51	24,50	22,20	41	185	62	5,70	51	170	12,50
38	1 1/2	59	32,10	29,20	47	212	71	8,60	59	195	19,30
41	1 5/8	63	37,30	33,90	50	225	75	10,30	50	210	23,50

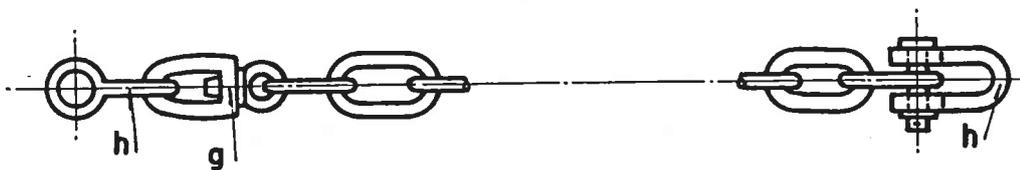
ESPESOR DEL ESLABON		GRILLETE					ESLABON GIRATORIO		
		DIMENSIONES					DIMENSIONES		
		d_2	t_2	r	b_2	PESO	d_2	t_2	PESO
Milli- metros	Pulgadas	Millimetros	Millimetros	Millimetros	Millimetros	Kilogramos	Millimetros	Millimetros	Kilogramos
16	5/8	21	92	25	32	1,60	19	160	1,90
22	7/8	29	128	35	44	4,10	26	220	5,00
25	1	31	136	37	47	5,10	29	240	6,80
28	1 1/8	36	158	43	54	7,90	34	280	11,00
32	1 1/4	42	185	50	63	12,60	38	320	15,40
35	1 3/8	44	194	53	66	14,50	41	340	19,30
38	1 1/2	51	224	61	77	22,60	47	390	29,10
41	1 5/8	55	242	66	83	28,20	50	420	35,00

Tabla VII.5. Características de los elementos del tren de fondeo usuales en España



a) Cadena de suspensión

Calado de la boya — Metros	Longitud L de una mitad — Milímetros	ESPESOR DEL ESLABON
3,00	3.000	Según tonelaje de la boya
3,50	3.500	Según tonelaje de la boya
4,00	4.000	Según tonelaje de la boya
5,00	5.000	Según tonelaje de la boya
6,00	6.000	Según tonelaje de la boya



b) Cadena de amarre

Tabla VII.6. Características de las cadenas de suspensión y de amarre usuales en España

h : grillete

g : eslabón giratorio

VII-1.1.3.- Muerto de anclaje

Los muertos de anclaje pueden ser de fundición, de hormigón o de piedra natural para las boyas pequeñas. Los de fundición son más manejables pero menos económicos que los de hormigón.

El cuerpo muerto no debe desplazarse ante los esfuerzos de tracción horizontales, cuando se hacen de hormigón se recomienda (IALA/AISM, junio de 1975) dotarlos de una cavidad en la cara inferior que pueda actuar como ventosa.

Se recomienda asimismo dosificar el hormigón con 400 kg. de cemento por m³. de hormigón.

Para determinar el peso del muerto de anclaje puede acudir a la figura VII.17.

En la tabla VII.7. se dan las características de muertos de anclaje de fundición y de hormigón de los tipos franceses.

El peso sumergido del cuerpo muerto debe ser superior a la suma de la componente horizontal y vertical de la fuerza que ejerce la cadena sobre él.

En la figura VII.20. y la tabla VII.8 se expone un tipo de muerto de hormigón con 400 kg. de cemento por metro cúbico, al que se han incorporado cadenas viejas u otros elementos que aumentan su peso, recomendado por la IALA/AISM.

En la figura VII.21. y la tabla VII.9 se ofrecen las características de los muertos de anclaje de hierro fundido españoles.

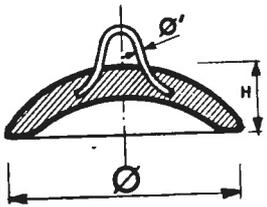
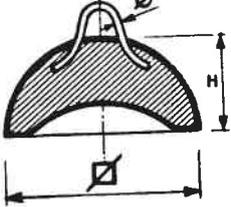
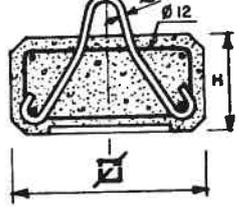
ANCLAJES	TIPO «DE VENTOSA»			TIPO «CUADRADO»			TIPO DE «HORMIGON»		
									
Utilización	FONDOS DE FANGO O ARENA			FONDOS DE ROCA			TODOS FONDOS		
Kilogramos	Ø	H	ø'	∅	H	ø'	∅	H	ø'
250	770	180	40	500	270	40	700	320	40
400	865	250	40	620	320	40	800	385	40
600	955	350	40	730	370	40	900	450	40
800	1.060	290	50	750	385	50	1.000	490	50
1.000	1.120	345	50	770	440	50	1.100	510	50
1.250	1.185	415	50	880	440	50	1.200	530	50
1.500	1.295	330	70	990	440	70	1.250	590	70
1.750	1.360	380	70	1.010	505	70	1.300	630	70
2.000	1.410	425	70	1.040	520	70	1.350	665	70
2.500	1.500	405	70	1.100	550	70	1.400	760	70
3.000	1.570	460	70	1.150	575	70	1.450	845	70
3.500	1.630	520	70	1.190	595	70	1.500	920	70
4.000	1.770	480	90	1.210	605	90	1.600	925	90
5.000	1.880	570	90	1.300	650	90	1.700	1.020	90
6.000	1.980	680	90	1.380	690	90	1.800	1.090	90

Tabla VII.7. Muertos de anclaje. Tipos franceses

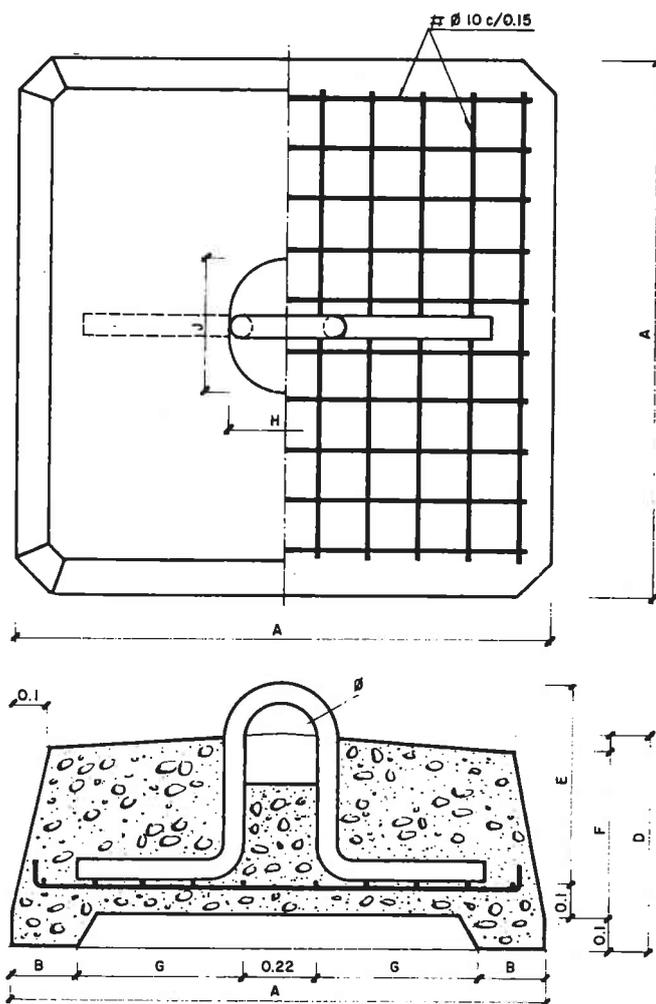


Figura VII.20. Muerto de anclaje de hormigón

Peso de los muertos	DIMENSIONES EN METROS										Peso de las cadenas incorporadas al hormigón — Kgs
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	O	
2 tons.	1,2	0,15	0,9	0,55	0,5	0,4	0,4	0,32	0,37	0,05	1.000
4 tons.	1,6	0,2	1,2	0,65	0,55	0,5	0,5	0,34	0,4	0,06	1.300
5 tons.	1,8	0,3	1,2	0,65	0,55	0,5	0,6	0,34	0,4	0,06	1.500

Tabla VII.8. Características del muerto de anclaje de la figura VII.20

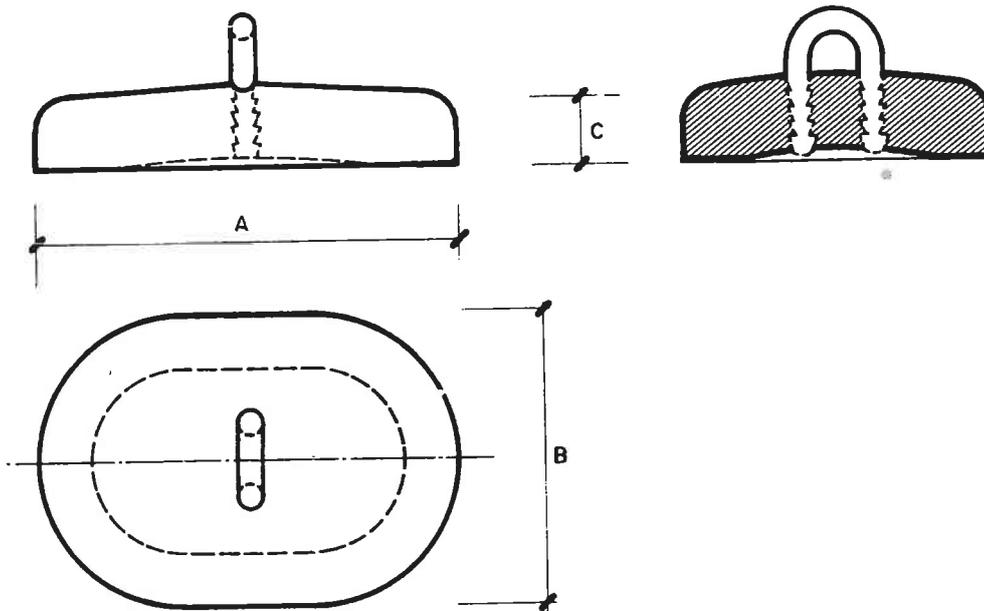


Figura VII.21. Muerto de anclaje de hierro. Tipo español

Dimensiones en milímetros			Peso sumergido
A	B	C	Kilogramos
500	380	100	100
850	600	130	300
916	684	120	500
916	684	145	600
1.143	857	155	750
1.143	857	170	1.000
1.194	870	197	1.250
1.250	930	212	1.500
1.350	1.010	243	2.000
1.550	1.160	280	3.000
1.680	1.300	328	4.000
1.830	1.370	356	5.000

Tabla VII.9. Características del muerto de anclaje de la figura VII. 21

Se recomienda que la dimensión de la argolla de anclaje y la de la cavidad permitan la manipulación con los ganchos de las grúas.

Cuando una boya se emplaza en un lugar con fuertes corrientes y poca profundidad resulta necesario colocar dos cuerpos muertos unidos por una cadena de 15 a 20 m.; han de ser distintos y el más ligero es el que se dispone al final del tren de fondeo. Como segundo cuerpo muerto pueden utilizarse anclas en forma de hongos (figura VII.22. y tabla VII.10); no siendo recomendables las formas puntiagudas que suelen engancharse en las cadenas.

Un muerto improvisado puede hacerse con un paquete de cadenas viejas de peso adecuado. Este tipo de muertos es adecuado en fondos rocosos.

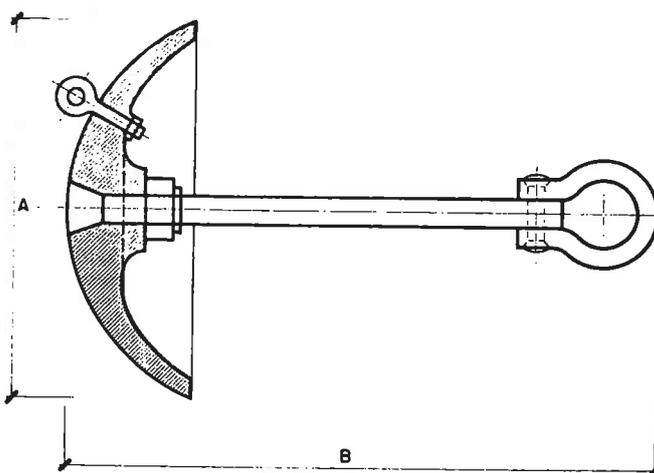


Figura VII.22. Ancla en forma de hongo

DIMENSIONES EN MILIMETROS		PESO — Kilogramos
A	B	
800	1.270	300
865	1.373	400
990	1.572	600
1.090	1.730	800

Tabla VII.10. Características del ancla de la figura VII.22

VII-1.2.- Linternas

Se denomina linterna al cerramiento acristalado, generalmente de forma cilíndrica o poligonal, que rodea y protege los aparatos ópticos en la parte superior de un faro, barco faro o boya.

Las linternas se pueden clasificar en:

- a) Linternas visitables: son aquellas que alojan instalaciones luminosas, ópticas y mecánicas accesibles entre la linterna y la instalación.
- b) Linternas no visitables: son practicables pero de tamaño mucho más reducido que las anteriores y usualmente dotadas de ópticas de horizonte.

Dentro de los dos tipos generales reseñados hay que distinguir si se destinan a una fuente luminosa eléctrica o provista de quemadores de petróleo o acetileno, en cuyo caso hay que utilizar un dispositivo de ventilación relativamente importante.

VII-1.2.1.- Linternas visitables

En una linterna visitable se pueden diferenciar tres partes fundamentales (figura VII.23.).

- a) El zócalo o parte de la linterna situada por debajo de la cristalera y sobre la que se apoyan los montantes. Puede estar constituido por un muro de fábrica o ser metálico.
- b) Parte acristalada o cristalera.
- c) Cúpula o parte superior, que suele adoptar forma esférica o cónica, con su cupulino.

Se llaman montantes a los soportes metálicos de los cristales y de la cúpula de una linterna. Actualmente los montantes son inclinados al objeto de producir las mínimas perturbaciones con motivo de las ocultaciones.

Estas linternas son de cristales curvos y se construyen con acero fundido y cúpula de chapa de cobre; sobre esta cúpula que puede ser esférica o cónica, se dispone un cupulino que aloja el sistema de ventilación, combinado éste con unas aberturas en el zócalo de la linterna.

Las linternas visitables quedan esencialmente definidas por su diámetro. En la figura VII.24. se recogen algunos tipos comerciales de linternas visitables del fabricante español "La Maquinista Valenciana, S.A." con sus dimensiones.

VII-1.2.2.- Linternas no visitables

Las linternas no visitables son aquellas ajustadas a la óptica sin espacio para visitas directas de la instalación.

Forman un conjunto con las ópticas y las instalaciones de iluminación, descrito en el apartado III.1.1.

Su uso es cada vez mayor para señales automáticas, especialmente de pequeño y mediano alcance.

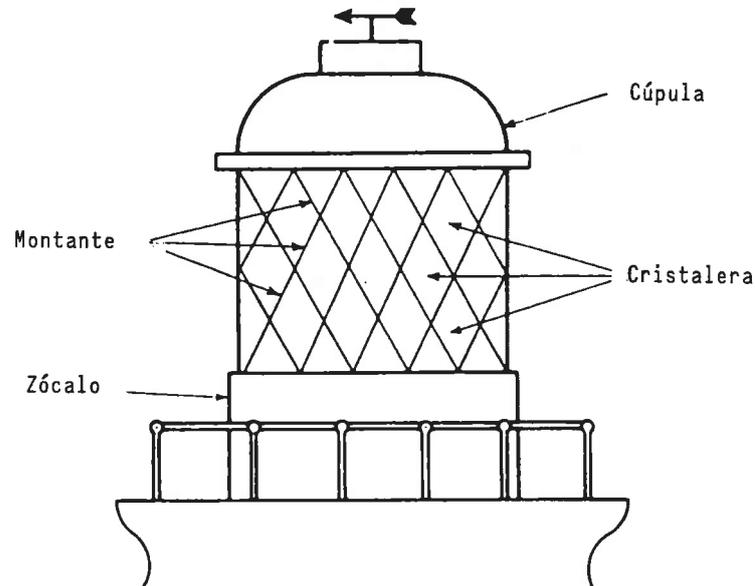


Figura VII.23. Linterna visitable

En este caso se ha llegado prácticamente a una sistematización de tamaños que se sigue en todos los países, adoptando tanto para las instalaciones eléctricas como para las de acetileno, ópticas dióptricas exclusivamente de tambor con cupulinos de linterna adaptados al tipo predominante correspondiente (las de acetileno, por haberse de expulsar gases procedentes de la combustión, tienen el sistema de ventilación más complicado, con un circuito que a la par que alimenta de oxígeno la llama produce un efecto antivahó. Figura VII.25).

Las distintas linternas responden al tamaño de las ópticas, y tienen, a su vez, los siguientes diámetros:

100 mm. \emptyset	prensadas y pulidas, sin cristales de linterna.
140 mm. \emptyset	prensadas y pulidas, con cristales de linterna.

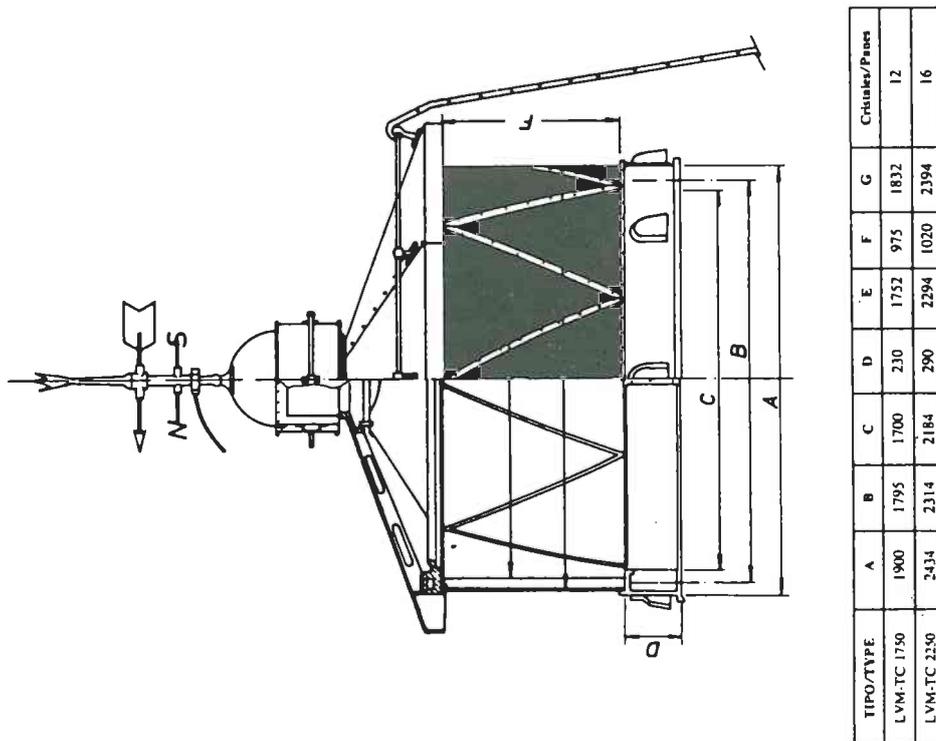
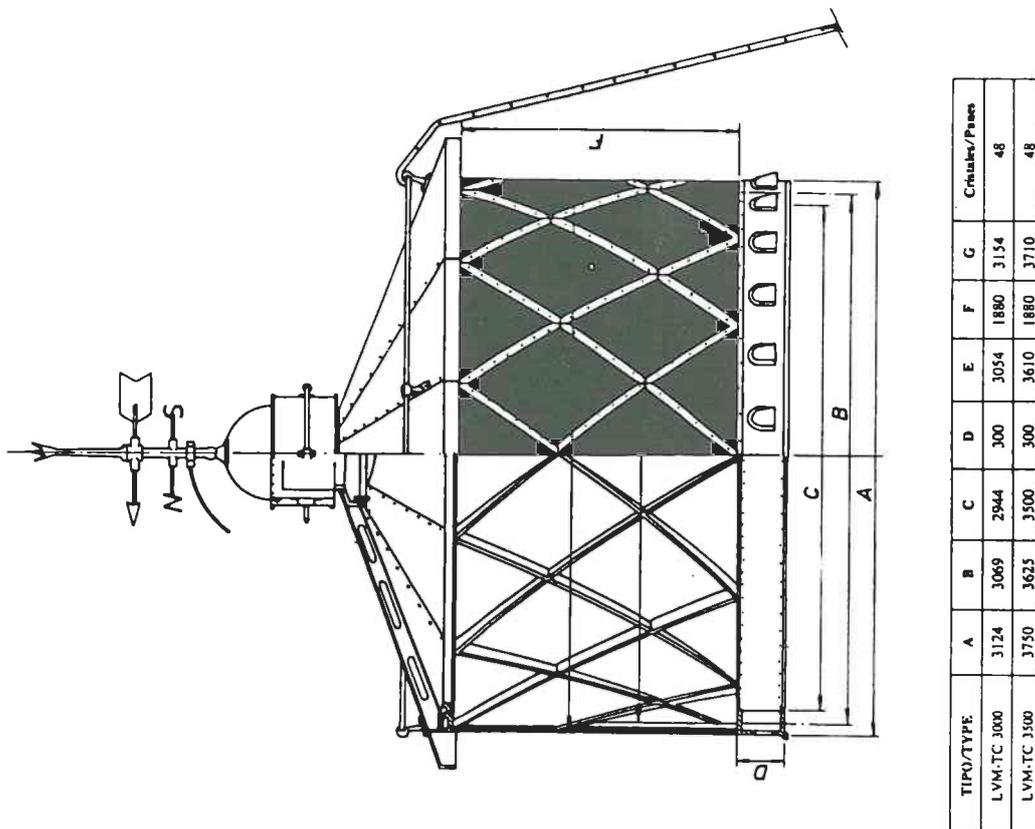


Figura VII.24.a. Linternas visibles marítimas de cúpula troncocónica

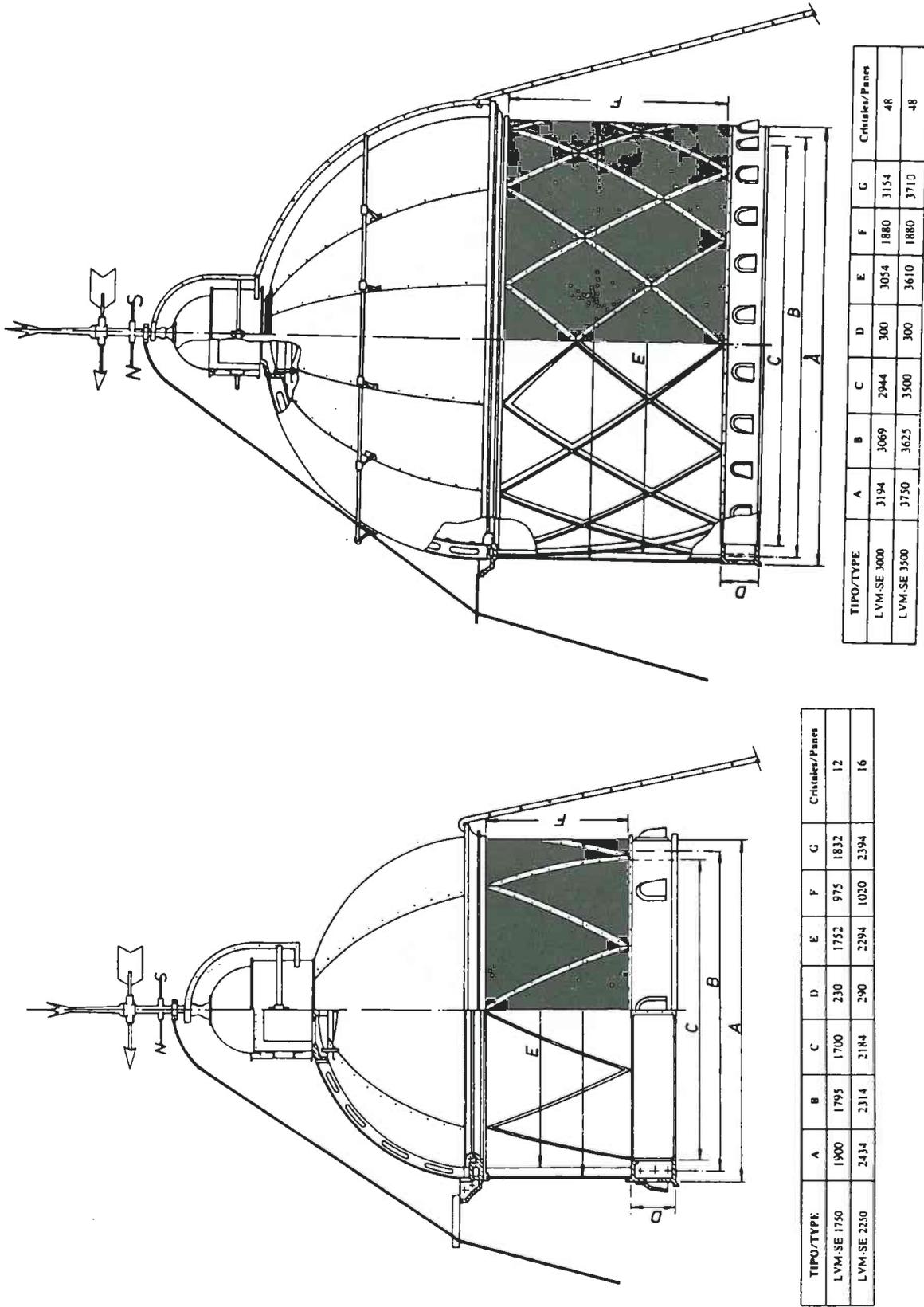


Figura VII.24.b. Linternas visibles marítimas de cúpula semiesférica

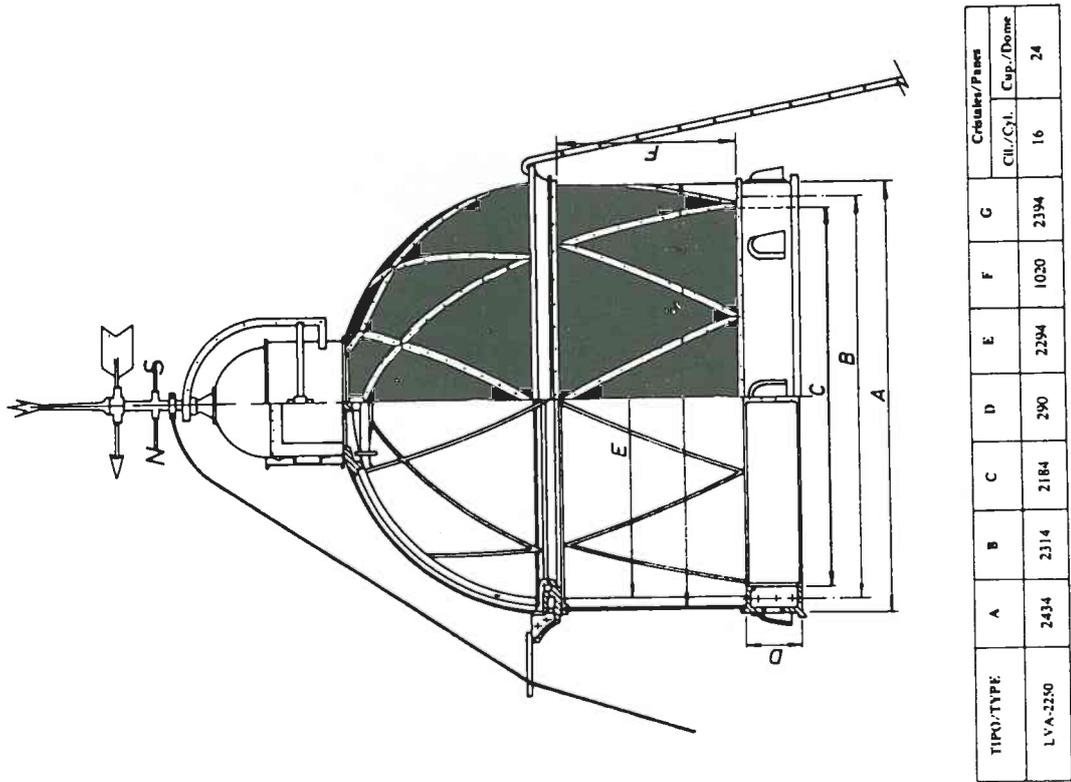
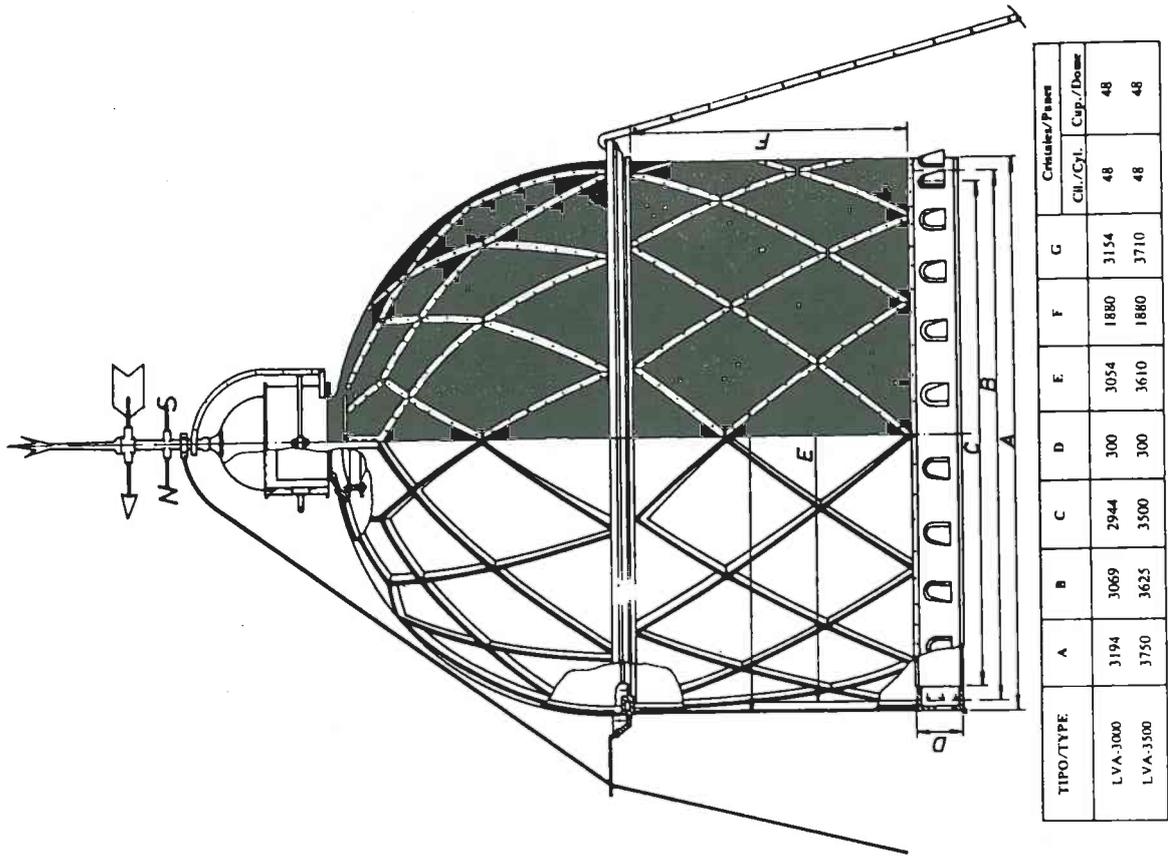


Figura VII.24.c. Linternas visibles aeromarítimas

200 mm. Ø	prensadas y pulidas, con cristales de linterna.
300 mm. Ø	prensadas y pulidas, con cristales de linterna.
375 mm. Ø	prensadas y pulidas, con cristales de linterna.
500 mm. Ø	pulidas, con cristales de linterna.

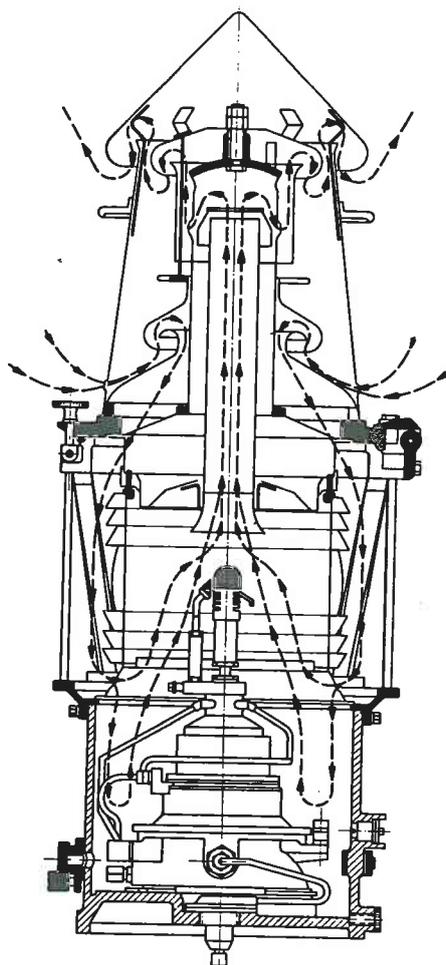
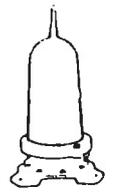
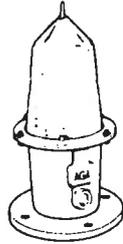


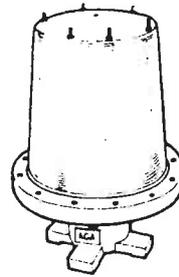
Figura VII.25. Sistema de ventilación de linterna no visitable de acetileno



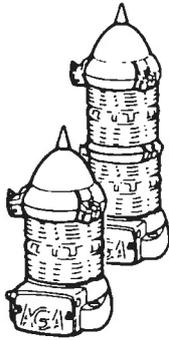
LBEA-85



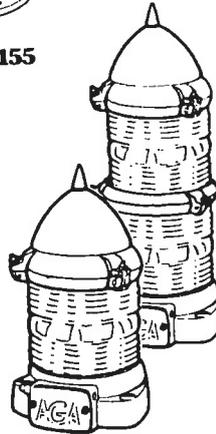
LBEA-155



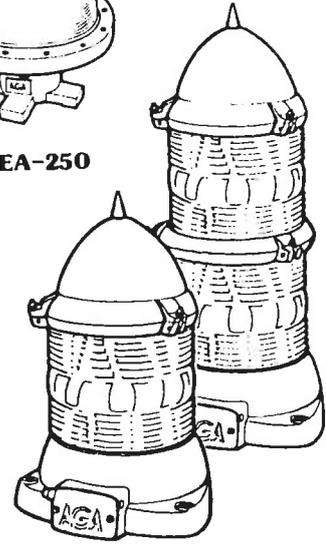
LBEA-250



LBEP-150 **LBEP-150/II**



LBEP-220 **LBEP-220/II**



LBEP-300 **LBEP-300/II**

a) Eléctricas



LBBD-150



LBBM-150



LBGA-200



LBAA-220



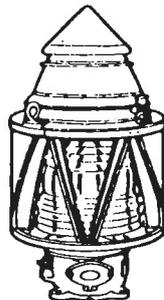
LBAA-300



LBGA-300



LBTA-375



LBTA-500



LBUA-375



LBUA-500

b) De gas

Figura VII.26. Tipos comerciales de linternas no visitables A.G.A.

En la figura VII.26 se recogen los modelos de linternas no visitables de la casa sueca AGA con indicación del diámetro de la lente.

VII-1.2.3.- Instalaciones que alojan

Las linternas alojan la instalación luminosa y la óptica; las visitables constituyen la parte diáfana de la "cámara de iluminación" relacionada por medio de una escalerilla con la "cámara de servicio", ubicada inmediatamente debajo, donde antiguamente se realizaban los turnos de servicio cuando, tanto por lo arcaico de las instalaciones como por el tipo de iluminante consumido, se requería una frecuente presencia directa del entonces torrero, hoy técnico-mecánico de señales marítimas.

Las linternas visitables contienen el basamento de la instalación óptica-luminosa y, en su caso si se trata de ópticas giratorias, la máquina de rotación o dispositivo que produce el giro de los paneles ópticos (o antiguamente también pantallas); la máquina de rotación se accionaba por gravedad por medio de pesas que recorrían la torre pero modernamente lo usual es la utilización de motores eléctricos con doble equipo para reserva.

La instalación luminosa -especialmente si se trata de lámparas monofásicas en que la rotura del filamento produce el apagado total- se dota de un cambiador automático de lámparas que introduce la lámpara de reserva en caso de avería de la que está en servicio. Este elemento no tiene más limitación que la física del diámetro o distancia focal de la óptica por lo que es propio tanto de las linternas visitables como de las no visitables.

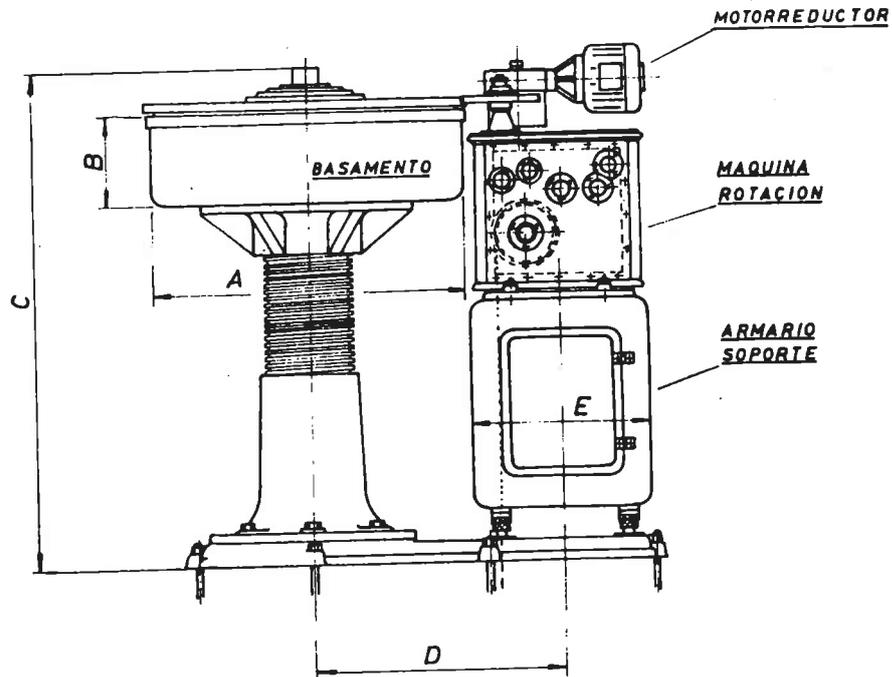
VII-1.2.3.1.- Basamentos y máquinas de rotación

Otro elemento característico de las linternas visitables es el basamento, o conjunto que sustenta el sistema óptico y permite su giro. Están constituidos por unas plataformas que giran sobre cojinetes axiales de bolas o bien sobre cubas con flotador de mercurio. El basamento de mercurio goza de las ventajas derivadas de su gran sencillez, suavidad de funcionamiento e inalterabilidad del rozamiento con la temperatura. El basamento de bolas se reserva para ópticas de pequeña distancia focal.

Solidariamente unido al basamento se construye la máquina de rotación dotada, en los faros eléctricos, del pertinente motor y reductor, así como de los interruptores automáticos y relés de alarma correspondientes.

En la figura VII.27 se recoge un esquema del basamento con las dimensiones más usuales.

Los basamentos deben dimensionarse partiendo de las características de la óptica, tanto por lo que se refiere a su tamaño y el de las piezas del bastidor o armadura que lo sustenta, como por su peso, que está relacionado con la capacidad de la cuba y cantidad de mercurio.



TIPO	DIMENSIONES EN MM					CAPACIDAD DE MERCURIO	CARGA MAX. que soporta P
	A	B	C	D	E		
BR 700	722	215	1100	592	420	de 40 a 50 Kgs.	250 Kgs
BR 1000	995	300	1100	716	420	de 80 a 90 Kgs	500 Kgs
BR 1200	1251	300	1100	846	420	de 100 a 115 Kgs	750 Kgs

Figura VII.27. Basamentos para ópticas con máquinas de rotación.

VII-1.2.3.2.- Cambiadores automáticos de lámparas

A partir de los 375 mm. las instalaciones pueden recibir cambiadores automáticos. Estos son dispositivos que reemplazan una lámpara (o capillo) en servicio en una luz por otra. Normalmente este cambio se produce cuando la primera lámpara sufre una avería durante su funcionamiento. En la figura VII.28. se esquematiza un tipo de cambiador de lámparas.

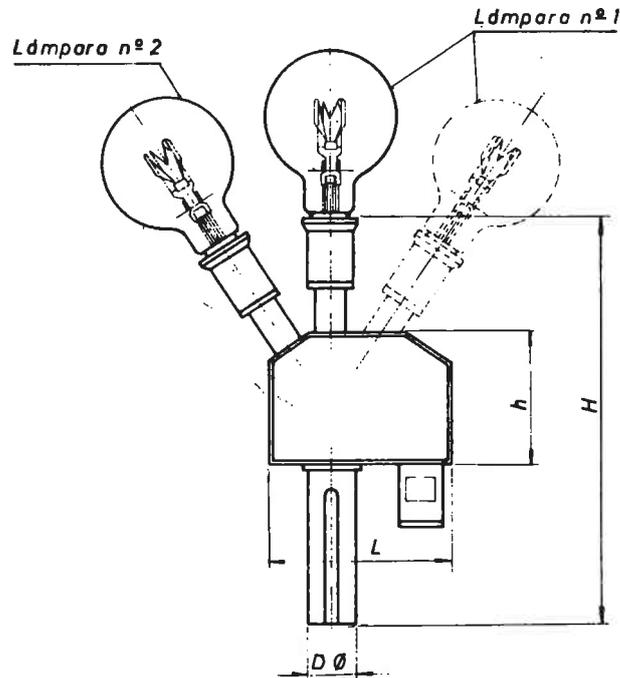


Figura VII.28. Cambiador de lámparas

Si se prevé la disposición de un cambiador automático de lámparas debe comprobarse que la distancia focal de la óptica es suficiente para alojar dicho aparato con sus lámparas. En la tabla VII.11. se recoge la máxima potencia de lámpara que corresponde a cada óptica para los tipos comerciales suecos (AGA) y españoles (Racional, S.A.).

	Distancia focal (mm)	Máxima potencia de las lámparas (vatios)										
		Monofásicos						Trifásicos				
		100	250	500	1000	1000	1500	1500	1500	3000	4500	
SUECAS	187,5	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	250	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-
	300	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-
	375	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-
ESPAÑOLAS	187,5	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	250	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-	-
	300	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-
	375	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-

Tabla VII.11. Máxima potencia de lámparas para cambiadores automáticos

VII-1.3.- Baterías de acumuladores

VII-1.3.1.- Acumuladores de acetileno

Cuando las instalaciones de ayuda a la navegación funcionan con acetileno es necesario disponer unas baterías o depósitos que garanticen el correcto funcionamiento de la señal.

El dimensionamiento de los depósitos de gas dependerá del tipo de quemador utilizado, de su utilización y de la existencia o no de válvula solar.

VII-1.3.1.1.- Consumo de los quemadores de gas

Los quemadores de acetileno pueden ser de llama desnuda o de capillo incandescente.

Los quemadores de llama desnuda utilizan para la combustión el aire ambiente que se encuentra alrededor de la llama. Su intensidad luminosa dependerá en forma directa del consumo de gas, variando para los de llama simple entre las 2 y 40 candelas y para quemadores múltiples entre 60 y 430 candelas. Esto corresponde a luminancias de 3,5 a 17 candelas por cm². Para luminancias mayores hay que recurrir a los quemadores de capillo incandescente.

El segundo tipo de quemadores, los de capillo incandescente, usan para la combustión una mezcla de acetileno y aire, y el calor producido por la llama es transformado en luz por el capillo incandescente. Su intensidad luminosa es proporcional al consumo de gas y varía de 40 a 400 candelas con luminancias de 26 a 70 candelas por cm². Estos valores no pueden obtenerse con otros combustibles.

El consumo de gas de una luz dependerá por tanto del tipo de quemador, pero también de la relación de luz, R, o cociente entre la duración total de destello o destellos y el periodo.

Si la luz es además controlada por una válvula solar puede obtenerse una reducción en el consumo de gas del 40%. Sin embargo, y para dar un cierto margen de seguridad se admite sólo un 30%.

El consumo de gas en litros de una luz no vigilada se puede calcular así por una de las siguientes fórmulas:

<u>Lapso</u>	<u>Llama desnuda</u>	<u>Capillo incandescente</u>
24 horas	$24Rm + 10p$	$24R(n - 1,7) + 40$
Mes de 31 días	$744Rm + 310p$	$744R(n - 1,7) + 1265$
Año de 366 días	$8784Rm + 3660p$	$8784R(n - 1,7) + 14930$

donde:

R = relación de luz, es decir, cociente entre la duración de los destellos y la del periodo total del ciclo a que corresponden.

m = consumo en litros por hora de la llama de los quemadores principales.

p = número de llamas piloto de los quemadores (en el consumo que viene dado por m no se incluye el de las llamas piloto que es por unidad, de 10 litros cada veinticuatro horas).

n = consumo en litros por hora de la llama principal, que en este caso será incluyendo el de la llama piloto (que es, por unidad, de 1,7 litros por hora).

En las luces con válvula solar se puede utilizar el coeficiente de reducción de 0,7 citado, o calcularse con mayor exactitud dicho valor por la expresión:

$$c = \frac{90 + \gamma + \eta}{180}$$

donde:

η = valor angular sobre el horizonte racional que corresponde a la elevación del sol, en su órbita aparente, al actuar la válvula solar.

$90^\circ + \gamma$ = semirrecorrido angular del sol en su órbita aparente durante la noche (de orto a ocaso) con la declinación del solsticio de invierno.

El valor de η depende de circunstancias topográficas o de variada índole: proximidad de montañas, climatológicas, frecuencia de brumas, de la regulación de la válvula solar, etc.; pudiendo adoptarse, si no se estudia especialmente, el de $\eta = 9^\circ$, que nos sitúa en el lado de la seguridad. En luces situadas en mar abierto y con brumas poco frecuentes puede admitirse $\eta = 0$ e incluso valores negativos (la luz se enciende después de ponerse el sol).

Los valores de C , en función de η y del valor φ de la latitud del lugar donde se instala la señal, vienen dados por el ábaco de la figura VII.29.:

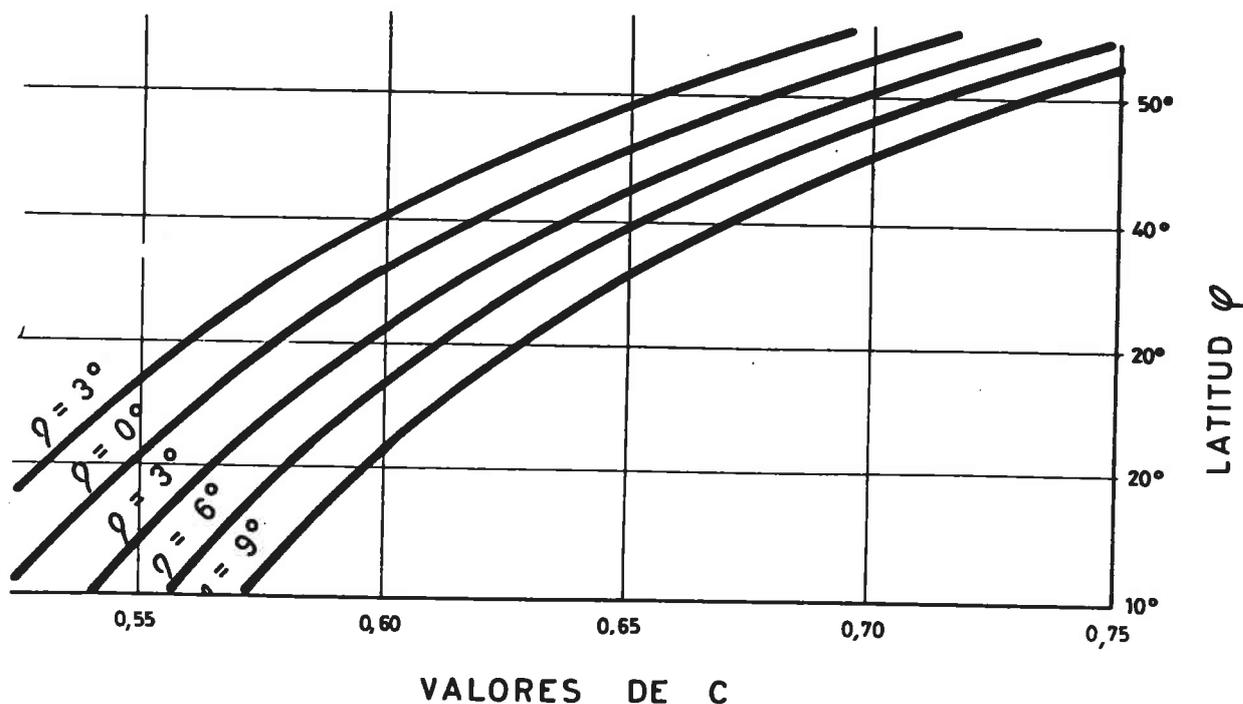


Figura VII.29. Coeficiente de reducción por utilización de válvula solar

Quemadores simples	Consumo por	Relación de luz R ¹									
		4:5	2:3	3:5	1:2	2:5	1:3	1:5	1:8	1:10	1:15
5 l/h con una llama piloto	24 horas, mes ² , año ²	106 3 290 38 800	90 2 790 32 940	82 2 540 30 000	70 2 170 25 600	58 1 600 21 230	50 1 550 18 300	34 1 050 12 440	25 775 9 150	22 682 8 050	18 558 8 590
	con válvula solar año ³	28 260	24 160	22 100	19 000	15 960	13 900	9 800	7 500	6 730	5 710
8 l/h con una llama piloto	24 horas, mes ² , año ²	164 5 070 59 880	138 4 280 50 500	125 3 880 45 800	106 3 290 38 800	87 2 690 31 770	74 2 295 27 090	48 1 500 17 710	34 1 050 12 440	29 905 10 690	23 707 8 350
	con válvula solar año ³	43 000	36 450	33 180	28 260	23 340	20 060	13 500	9 800	8 580	6 940
10 l/h con una llama piloto	24 horas, mes ² , año ²	202 6 260 73 900	170 5 270 62 220	154 4 770 56 400	130 4 030 47 600	106 3 290 38 800	90 2 790 32 940	58 1 800 21 230	40 1 240 14 640	34 1 050 12 440	26 806 9 520
	con válvula solar año ³	52 850	44 650	40 550	34 400	28 260	24 160	15 960	11 350	9 800	7 760
15 l/h con una llama piloto	24 horas, mes ² , año ²	300 9 240 109 000	250 7 750 91 500	226 7 000 82 720	190 5 890 69 500	154 4 770 56 400	130 4 030 47 600	82 2 540 30 000	55 1 700 20 130	46 1 430 16 840	34 1 050 12 440
	con válvula solar año ³	77 450	65 150	59 000	49 800	40 550	34 400	22 100	15 190	12 880	9 800
20 l/h con una llama piloto	24 horas, mes ² , año ²	394 12 210 144 200	330 10 230 120 800	300 9 240 109 000	250 7 750 91 500	202 6 260 73 900	170 5 270 62 220	106 3 290 38 800	70 2 170 25 600	58 1 800 21 230	42 1 300 15 370
	con válvula solar año ³	102 000	85 650	77 450	65 150	52 850	44 650	28 260	19 000	15 960	11 860
25 l/h con una llama piloto	24 horas, mes ² , año ²	490 15 200 179 300	410 12 700 150 000	370 11 470 135 400	310 9 610 113 500	250 7 750 91 500	210 6 510 76 860	130 4 030 47 600	85 2 640 31 110	70 2 170 25 600	50 1 550 18 300
	con válvula solar año ³	126 600	106 100	95 900	80 520	65 150	54 900	34 400	22 880	19 000	13 900
30 l/h con una llama piloto	24 horas, mes ² , año ²	586 18 200 214 500	490 15 200 179 300	442 13 700 161 800	470 11 470 135 400	300 9 240 109 000	250 7 750 91 500	154 4 770 56 400	100 3 100 36 600	82 2 540 30 000	58 1 800 21 230
	con válvula solar año ³	151 200	126 600	114 300	95 900	77 450	65 150	40 550	26 720	22 100	15 960
Quemadores múltiples	Consumo por	Relación de luz R ¹									
		4:5	2:3	3:5	1:2	2:5	1:3	1:5	1:8	1:10	1:15
50 l/h con una llama piloto	24 horas, mes ² , año ²	970 30 000 355 000	810 25 100 296 500	730 22 600 267 200	610 18 910 223 300	490 15 200 179 300	410 12 700 150 000	250 7 750 91 500	160 4 960 58 560	130 4 030 47 600	90 2 790 32 940
	con válvula solar año ³	250 000	208 600	188 100	157 400	126 600	106 100	65 150	42 100	34 400	24 160
60 l/h con una llama piloto	24 horas, mes ² , año ²	1 162 36 000 425 300	970 30 000 355 000	875 27 100 319 900	730 22 600 267 200	586 18 200 214 500	490 15 200 179 300	300 9 240 109 000	190 5 890 69 500	154 4 770 56 400	106 3 290 38 800
	con válvula solar año ³	298 800	250 000	225 000	188 100	151 200	126 600	77 450	49 800	40 550	28 260
75 l/h con una llama piloto	24 horas, mes ² , año ²	1 460 45 300 534 400	1 220 37 800 446 500	1 100 34 100 402 600	920 28 500 336 700	740 22 900 270 800	620 19 220 226 900	380 11 800 139 100	245 7 600 89 700	200 6 200 73 200	140 4 340 51 240
	con válvula solar año ³	376 200	314 800	284 000	237 900	191 800	161 000	99 600	65 000	53 400	38 100
90 l/h con una llama piloto	24 horas, mes ² , año ²	1 750 54 200 639 800	1 460 45 300 534 400	1 316 40 800 481 700	1 100 34 100 402 600	884 27 400 323 500	740 22 900 270 800	452 14 000 165 400	290 8 990 106 100	236 7 320 86 400	164 5 080 60 000
	con válvula solar año ³	450 000	376 200	339 400	284 000	228 700	191 800	118 000	76 500	62 700	44 200
100 l/h con una llama piloto	24 horas, mes ² , año ²	1 940 60 100 710 000	1 620 50 200 593 000	1 460 45 300 534 400	1 220 37 800 446 500	980 30 400 358 700	820 25 420 300 100	500 15 500 183 100	320 9 920 117 100	260 8 060 95 200	180 5 580 65 900
	con válvula solar año ³	500 000	417 200	376 200	314 800	253 300	212 300	130 300	84 200	68 800	48 300
120 l/h con una llama piloto	24 horas, mes ² , año ²	2 320 72 000 850 600	1 940 60 100 710 000	1 750 54 200 639 800	1 460 45 300 534 400	1 170 36 300 429 000	980 30 400 358 700	595 18 500 218 100	380 11 800 139 100	308 9 550 112 700	212 6 570 77 600
	con válvula solar año ³	597 600	500 000	450 000	376 200	302 500	253 300	155 000	99 600	81 100	56 500

Nota

Como margen de seguridad se deberá añadir un 10 % aprox. al consumo de gas obtenido en esta tabla.

¹ Relación de luz = Relación entre el tiempo de duración del destello y el período total. Ejemplo: $0.3 + 2.7 = 3$; $R = 0.3 : 3 = 1 : 10$.

² Los valores de consumo son válidos para meses de 31 días y años de 366 días.

³ Los cálculos están basados en un ahorro mínimo del 30 % del consumo de la llama principal. Generalmente el ahorro alcanza valores mínimos del 40 %.

a) Quemadores de llama desnuda

Tabla VII.12. Consumo de gas en litros para distintas relaciones de luz (continúa)

Quemador	Consumo por	Luz fija	Relación de luz R ¹					
			1:2	1:3	1:4	1:5	1:8	1:10
10 l/h	24 horas,	240	140	107	91	81	66	61
	mes ² ,	7 440	4 350	3 320	2 810	2 500	2 040	1 880
	año ²	87 840	51 390	39 240	33 160	29 500	24 050	22 220
con válvula solar	año ³	66 000	40 400	31 900	27 700	25 100	21 300	20 000
15 l/h	24 horas,	360	200	147	121	105	81	73
	mes ² ,	11 160	6 210	4 560	3 740	3 240	2 500	2 250
	año ²	131 760	73 350	53 880	44 140	38 300	29 540	26 620
con válvula solar	año ³	96 700	55 800	42 200	35 400	31 300	25 200	23 100
20 l/h	24 horas,	480	260	187	151	129	96	85
	mes ² ,	14 880	8 070	5 800	4 670	3 990	2 970	2 630
	año ²	175 680	95 300	68 520	55 120	47 100	35 030	31 000
con válvula solar	año ³	127 500	71 200	52 400	43 100	37 400	29 000	26 200
25 l/h	24 horas,	600	320	227	181	153	111	97
	mes ² ,	18 600	9 930	7 040	5 600	4 730	3 430	3 000
	año ²	219 600	117 270	83 160	66 100	55 900	40 500	35 400
con válvula solar	año ³	158 200	86 600	62 700	50 700	43 600	32 800	29 300
35 l/h	24 horas,	840	440	307	241	201	141	121
	mes ² ,	26 040	13 650	9 520	7 460	6 220	4 360	3 740
	año ²	307 400	161 200	112 400	88 100	73 400	51 500	44 200
con válvula solar	año ³	220 000	117 300	83 200	66 100	55 900	40 500	35 400
50 l/h	24 horas,	1 200	620	427	331	273	186	157
	mes ² ,	37 200	19 230	13 240	10 250	8 450	5 760	4 860
	año ²	439 200	227 100	156 400	121 000	99 800	68 000	57 400
con válvula solar	año ³	311 900	163 400	113 900	89 200	74 300	52 000	44 600
75 l/h	24 horas,	1 800	920	627	481	393	261	217
	mes ² ,	55 800	28 530	19 440	14 900	12 170	8 080	6 720
	año ²	658 800	336 900	229 600	175 900	143 700	95 400	79 300
con válvula solar	año ³	465 600	240 300	165 200	127 600	105 100	71 300	60 000
100 l/h	24 horas,	2 400	1 220	827	631	513	336	277
	mes ² ,	74 400	37 830	25 640	19 550	15 890	10 410	8 580
	año ²	878 400	446 700	302 800	230 800	187 600	122 900	101 300
con válvula solar	año ³	619 400	317 100	216 400	166 000	135 800	90 500	75 400

Nota

Como margen de seguridad se deberá añadir un 10 % aprox. al consumo de gas obtenido en esta tabla.

¹ Relación de luz = Relación entre el tiempo de duración del destello y la fase total. Ejemplo: 1+9=10; R=1:10.² Los valores de consumo son válidos para meses de 31 días y años de 366 días.³ Los cálculos están basados en un ahorro mínimo del 30 % del consumo de la llama principal. Generalmente el ahorro alcanza valores mínimos del 40 %.

b) Quemadores de capillos incandescentes con luz fija

Tabla VII.12. Consumo de gas en litros para distintas relaciones de luz (conclusión)

En la tabla VII.12. -formada por AGA- se recogen los valores de los consumos de gas para los dos tipos de quemadores vistos y distintas relaciones de luz.

VII-1.3.1.2.- Acumuladores de gas

El gas acetileno a utilizar se debe introducir en unos cilindros de acero llenos de masa porosa. La masa está saturada parcialmente con acetona, en la cual pueden disolverse grandes cantidades de acetileno. A la presión atmosférica y a una temperatura de + 10° C pueden disolverse unos 25 litros de acetileno en un litro de acetona. Y esta capacidad aumenta con la presión. Al bajar la temperatura aumenta también el poder de disolución.

De esta forma el gas, disuelto en los cilindros de acero con masa porosa, puede ser manejado convenientemente y transportado sin riesgo alguno de explosión.

Se define la carga nominal de gas como la cantidad total de gas que es introducida en un cilindro para obtener una presión efectiva de 15 kg/cm². a 15° C. Esta cantidad no se usa en el cálculo ya que no es toda disponible. Los cilindros de acetileno que se utilizan en las instalaciones de gas no deben descargarse nunca completamente, ya que se necesita una cierta presión mínima para que los aparatos de gas funcionen correctamente. La magnitud de esta presión mínima depende del tipo de instalación (llama abierta o desnuda, o luz Dalén o capillo incandescente) y de la temperatura media a que trabaja.

Se expone a continuación un proceso de cálculo en base a los modelos de depósitos de gas de la casa sueca AGA de la tabla VII.13.

Para el cálculo de la capacidad del depósito de gas hay que considerar tres factores:

- a) Consumo de gas -como margen de seguridad se aconseja añadir un 10% a los valores obtenidos de consumo de gas-.
- b) Duración del periodo de servicio, que dependerá de aspectos prácticos y económicos.

- c) Cantidad disponible de gas en cada cilindro. Este valor se puede obtener de los diagramas AGA de la figura VII.30. Debe tenerse en cuenta que estos diagramas son válidos solamente para los cilindros AK-50. Para obtener los valores correspondientes a otros tipos de cilindros deberán aplicarse los factores de la tabla VII.14.

Tipo	Carga nominal de gas ¹		Peso con gas		Altura sin la caperuza		Diámetro	
	litros	cu ft	kg	lb	mm	in.	mm	in.
AK-5	700	25	10	22	475	18 3/4	145	5 11/16
AK-15	2 100	75	35	77	1 080	42 1/2	163	6 7/16
AK-25	3 500	125	55	120	1 180	46 1/2	203	8 1/16
AK-50	7 000	250	105	230	1 730	68	232	9 1/8
AK-150	21 000	750	340	750	1 390	54 1/2	474	18 5/8
AW-150	21 000	750	330	750	1 390	52	474	18 5/8
AK-300	42 000	1 500	645	1 420	1 750	69	580	22 7/8
AW-300	42 000	1 500	615	1 360	1 690	67	580	22 7/8

¹ A 15 kg/cm² y 15° C.

Tabla VII.13. Tipos comerciales de acumuladores de gas

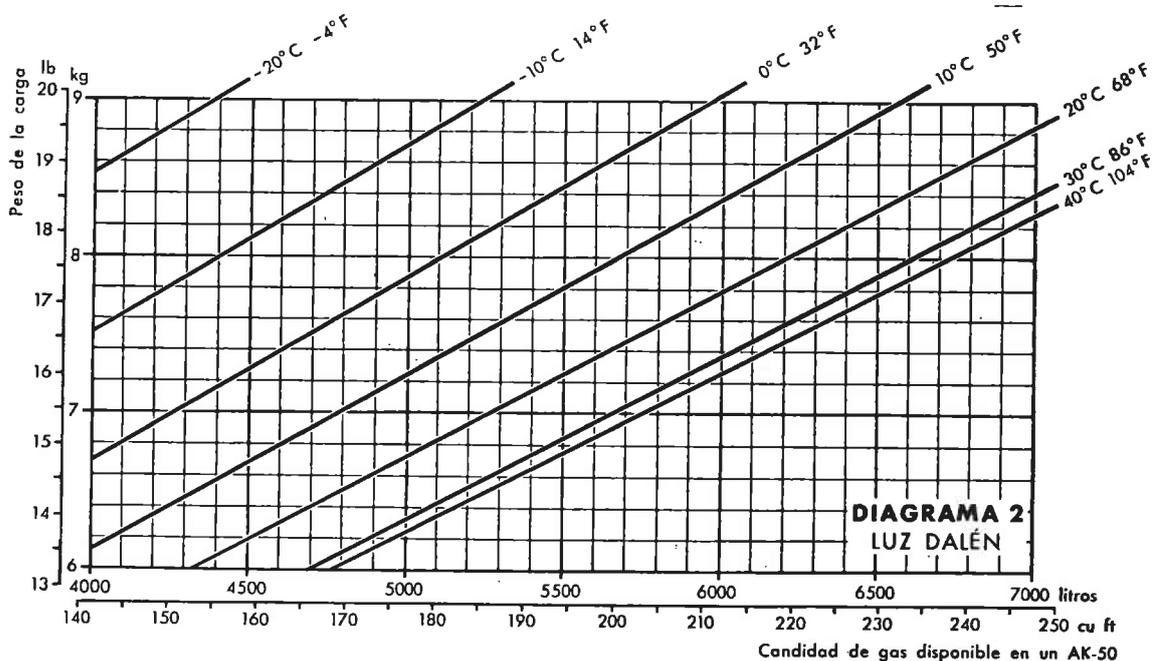
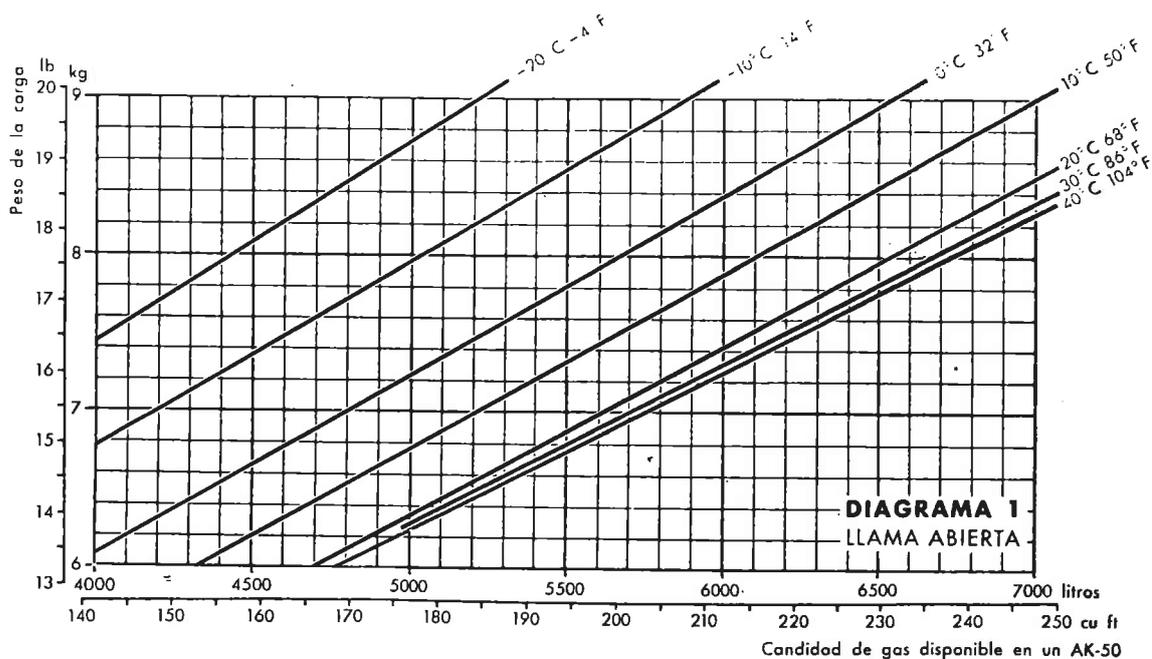


Figura VII.30. Cantidad disponible de gas en un acumulador comercial

La elección del tipo de cilindro depende de las dimensiones del espacio disponible y las facilidades de manejo y transporte. El tipo AGA-50 pesa unos 100 kgs. y puede ser manejado por hombres desde un pequeño bote o llevado por las rocas sin ayuda de polipastos especiales.

VII-1.3.2. Acumuladores eléctricos

Las luces eléctricas a mediana (36-24 V.) y baja tensión (12-6 V.) se alimentan por medio de baterías de acumuladores eléctricos.

Tipo de acumulador	AK-5	AK-15	AK-25	AK-150	AW-150	AK-300	AW-300
Factor	0,1	0,3	0,5	3	3	6	6

Tabla VII.14. Factores de corrección para tipos de acumuladores de gas en relación al AK-50 (AGA).

VII-1.3.2.1. Consumo de la instalación eléctrica

El consumo diario es la suma de dos, el de la lámpara y el del destellador y se calcula por la expresión:

$$C = F \cdot I_n \cdot R \cdot H_d + I_d \cdot H_d \quad \text{Ah} \quad \text{donde:}$$

F = factor de calentamiento.

I_n = intensidad nominal de la lámpara en amperios.

R = relación de luz.

H_d = horas diarias de funcionamiento de la instalación.

I_d = intensidad que supone el destellador y el equipo anejo.

C = consumo diario en amperios-hora.

También se da en este caso el doble supuesto de instalar o no relé de crepúsculo o sea una célula fotoeléctrica que abra y cierre los circuitos al alcanzar el nivel de iluminación determinado valor (generalmente un valor crepuscular comprendido entre los 10 y los 100 lux).

Si no existe relé de crepúsculo será $H_d = 24$; y si existiera se suele adoptar un valor $H_d = 17$ en zonas templadas y $H_d = 15$ en zonas tropicales, para la época invernal más desfavorable (no media anual).

El valor de F, factor de calentamiento, viene dado por los ábacos de la figura VII.31. en función de la intensidad nominal y de la duración del destello, siendo su valor medio de 1,25 y oscilando entre 1 y 1,50 según que el amperaje alcance los cuatro amperios o se mantenga en valores próximos a cero.

El consumo así obtenido dará la capacidad necesaria para la batería de acumuladores mediante la expresión:

$$C_a = A \cdot H_d (I_n \cdot F \cdot R + I_d) \quad \text{Ah} \quad \text{donde:}$$

A es la autonomía de la batería para la H_d máxima.

VII-1.3.2.2.- Características de un acumulador eléctrico

Desde el punto de vista del ingeniero proyectista, un elemento de acumulador se caracteriza por lo siguiente:

- a) Tensión media útil y su variación según esté en carga o descarga.

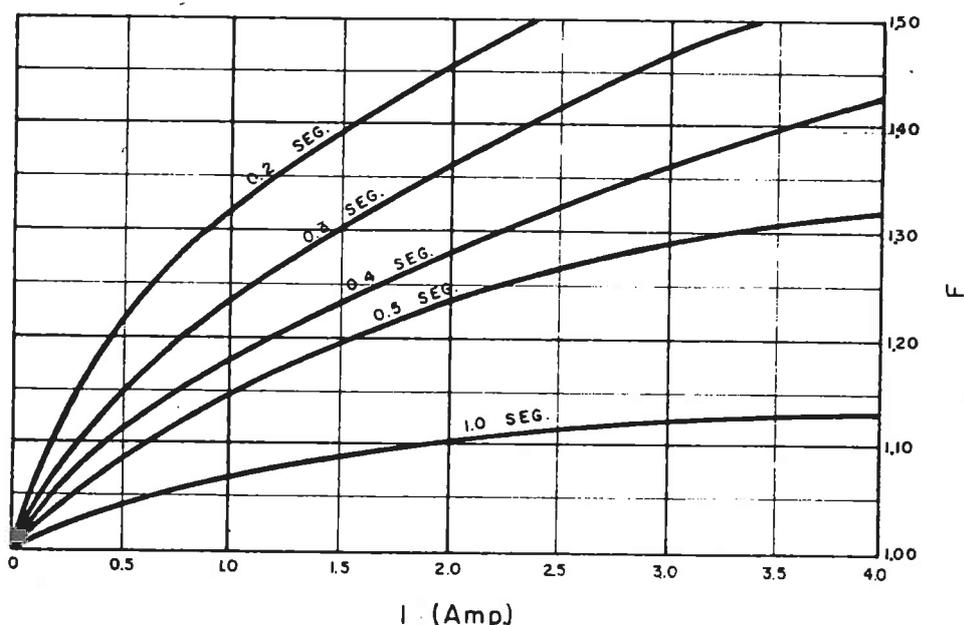


Figura VII.31. Factor de calentamiento

- b) Capacidad C, expresada en amperios-hora y limitada por la descarga prevista.
- c) Rendimiento de descarga en cantidad de electricidad.
- d) Cantidad de energía, en vatios-hora, que se puede recoger en la descarga.
- e) Rendimiento de energía. Además de las pérdidas por rectificación, que pueden ser del orden de un 35% las pérdidas en carga y descarga varían según se trate de acumuladores de ácido-plomo (10%) o de alcalinos (3%). De este modo se obtienen unos rendimientos finales de un 53% para los primeros y de un 60% para los segundos.
- f) Autodescarga o disminución de la capacidad con el tiempo de almacenamiento, que puede variar entre un 3 y un 9% mensual.

Las características mencionadas son muy variables con el tipo de batería, por tanto el ingeniero deberá atender a los catálogos comerciales en función de los valores que desee obtener en cada proyecto específico.

VII-1.3.2.3.- Tipos de acumuladores eléctricos

Los acumuladores son de distinto tipo en función de los metales y electrolitos usados. Los más importantes son:

- a) Acumuladores ácidos de plomo.- Son los clásicos utilizados para múltiples usos a 6 ó 12 voltios. Para balizamiento pueden tener aplicación en luces ubicadas en tierra, con batería montada en "floating" alimentada a tensión normal por medio de un cargador-rectificador.

La batería por sí sola, debe prestar servicio durante breve periodo de tiempo: escasa autonomía (horas).

- b) Acumuladores ácidos de plomo, de descarga lenta.- Su mayor capacidad en comparación con los anteriores hace posible su empleo no sólo en las mismas condiciones descritas para aquellos sino también aisladamente, trabajando por sí solos con luces aisladas con autonomías de tres a seis meses incluso hasta doce meses excepcionalmente.
- c) Acumuladores alcalinos de cadmio níquel, de descarga lenta, y tipos similares.- Prestan servicios análogos a los ácidos de plomo de descarga lenta y son los típicamente utilizados para luces de balizamiento por su relativa mejor manejabilidad y por permitir más duras condiciones de funcionamiento, con gran autonomía. Los tipos normales están constituidos por elementos de 1,2 voltios aproximadamente.
- d) Pilas secas.- Aunque no son propiamente acumuladores y a pesar de su escaso empleo las relacionamos por su posible utilización en luces de escaso consumo con intensidades de corriente inferiores a 2 amperios. Son pilas de gran capacidad, no regenerables, a 6 y 12 voltios. Su empleo se circunscribe a luces aisladas y ha de estar condicionado a la posibilidad de obtener respuestas con facilidad.

VII-1.4.- Generadores eléctricos

Para las luces de balizamiento marítimo de difícil acceso o aisladas es necesario disponer de una fuente de energía eléctrica, cuando ésta sea necesaria, autónoma. En este sentido se desarrollan los siguientes tipos de generadores de electricidad por células solares, aerogeneradores y oleaje (éste no implantado en España).

VII-1.4.1.- Generadores eléctricos por conversión fotovoltaica

Modernamente, y especialmente en los países de mucha insolación, se va extendiendo el uso de paneles solares. Se aprovecha con ellos la energía solar, cuyo flujo llega a alcanzar los 100 milivatios por centímetro cuadrado, almacenándola de día en baterías de acumuladores ácidos o alcalinos.

Un sistema generador de electricidad por conversión fotovoltaica está formado por paneles solares y baterías, conectadas a través de diodos. En señales marítimas, fijas y flotantes, son frecuentes sistemas de generadores por conversión fotovoltaica de hasta 40 w.; hay algunas instalaciones en servicio de hasta 800 w., y en proyecto de 2 kw.

El principio en que se basan los paneles solares es muy simple y estriba en aprovechar la circunstancia de que al adicionar a un material semiconductor de gran pureza (silicio) alguna pequeña impureza, como el boro o el fósforo, se produce otro tipo de semicon-

ductor de tal suerte que, acoplado el par de semiconductores y expuesto a la luz, el primero da lugar a cargas positivas y el segundo a cargas negativas de tal modo que puede disponerse de dos electrodos para formar un circuito eléctrico exterior. Mediante este proceso la energía luminosa solar se convierte en potencial eléctrico y de ahí que se llamen los paneles "fotovoltaicos".

Al objeto de evitar que cuando no hay luz pueda descargarse una posible batería que haya recogido durante el día la energía eléctrica procedente de la conversión es preciso acoplar un diodo a un electrodo. Bloqueando así la corriente en sentido contrario no se produce dicho inconveniente.

Para fijar las características de un generador de energía solar es necesario determinar:

- a) Tipo y número de paneles de células solares a disponer.
- b) Capacidad de la batería y diferencia de potencial de trabajo.

VII-1.4.1.1.- Dimensionamiento de los paneles

Para dimensionar el mínimo de paneles solares precisos en una instalación hay que considerar tres factores:

- a) El consumo diario de la instalación (visto en VII-1.3.2.1.).
- b) La seguridad o autonomía que quiera darse a los recursos de energía.
- c) La insolación del lugar donde se pretende montar los paneles.

Si se tiene que:

P_1 = watios-hora de consumo medio por día de las instalaciones a lo largo de un año (obviamente es H_d horas).

H = número anual de horas de insolación del lugar.

P_s = potencia máxima del panel solar (watios pico).

N = número de paneles necesarios para aportar la energía en el ciclo de un año.

Se tendría que, si la potencia máxima del panel fuera constante, se igualarían:

$$N \cdot P_s \cdot H = 365 \cdot P_1 \quad \text{de donde:}$$

$N = \frac{365}{H} \cdot \frac{P_1}{P_s}$

Ahora bien, es preciso mayorar este valor por las siguientes razones:

- a) La orientación fija del panel sólo permite que dos días al año incida el sol perpendicularmente en él; cuanto más se aparta el lugar del ecuador mayor será la oblicuidad, e incluso se alcanzará la sombra.

- b) La potencia máxima corresponde a la radiación máxima de 100 mW/cm². siendo la situación normal bastante más desfavorable.
- c) No toda la energía producida es almacenada en las baterías, habiendo una pérdida que depende del rendimiento del tipo (alcalinos, ácidos, etc.).

En su virtud el valor N (o lo que es lo mismo el de P₁) debe ser mayorado por medio de un coeficiente K función de la latitud y de las circunstancias climáticas del lugar, según se expone en la figura VII.32.

Resulta así:

$$N = \frac{365 \cdot K \cdot P_1}{H \cdot P_s}$$

Del coeficiente K se puede extraer el número de horas anuales de sol H, mediante la figura VII.33.

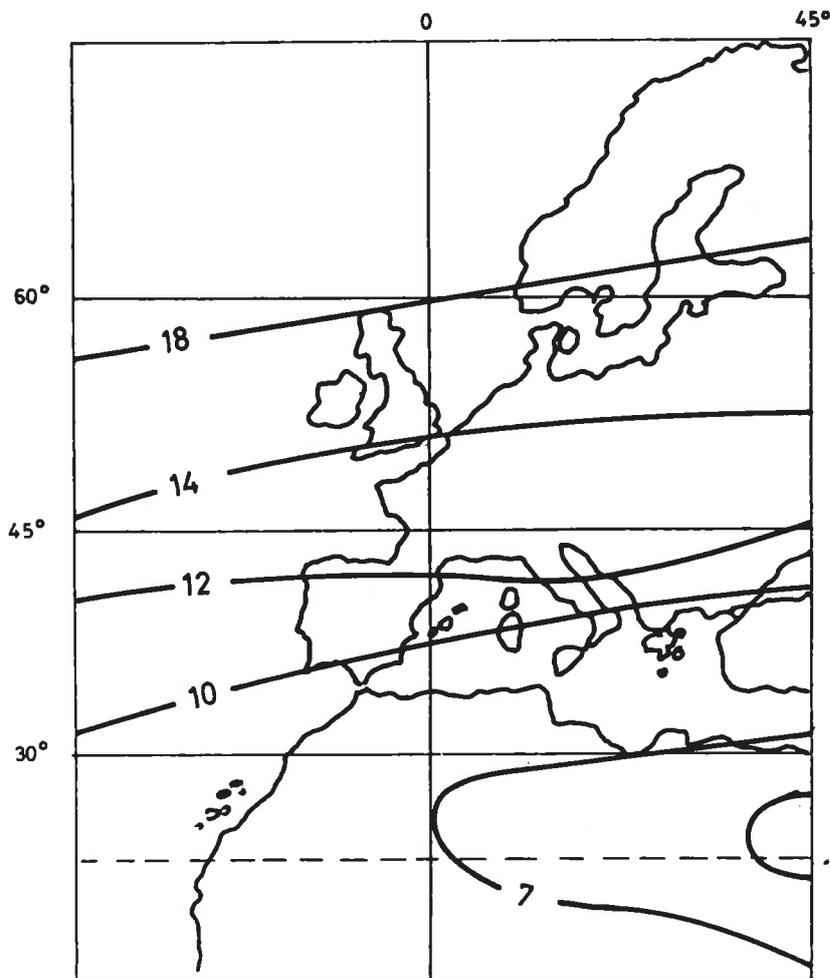


Figura VII.32. Coeficientes de mayoración para el cálculo de paneles solares

VII-1.4.1.2.- Dimensionamiento de las baterías

Si se dispone el número estricto de paneles las baterías han de acumular energía en la época de verano para suplir el déficit invernal. Suponiendo que en los equinoccios esté equilibrada la carga por el panel y el consumo por las instalaciones, si:

D = diferencia a 12 de las horas diurnas (de orto a ocaso) en el solsticio de invierno.

A = amperaje medio de funcionamiento que corresponde al consumo de las instalaciones durante la noche.

C_d = capacidad adicional de la batería para atender al déficit de carga durante 6 meses (del equinoccio de otoño al de primavera).

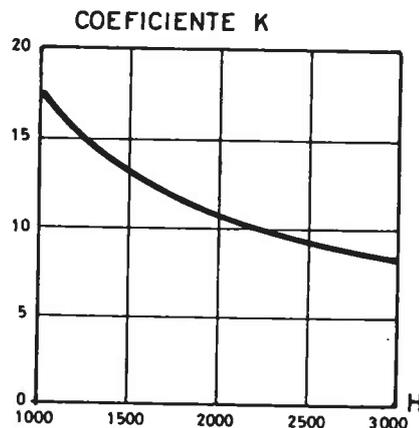


Figura VII.33. Horas anuales de sol

asumiendo que la variación del día puede admitirse que sigue una ley sinusoidal, se tendrá durante el medio año (ver figura VII.34.) para capacidad del déficit (plus de descarga) o para capacidad acumulada (plus de carga):

$$C_d = 2 \cdot \frac{365}{2} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot A \cdot D = 232,36 A \cdot D \quad \text{Ah.}$$

y si en el solsticio de invierno se quiere, además, una reserva o autonomía de n días, la capacidad de baterías C_a deberá ser:

$$C_a = n (D + 12) A + 232,36 A \cdot D$$

$$C_a = 12 A n + (232,36 + n) A D \quad \text{Ah.}$$

Se ha supuesto que el número de paneles es estricto, lo que realmente no sucede al aplicar el coeficiente K , que incluye un coeficiente de seguridad que puede dar lugar a un exceso del orden del 50%. La aplicación de una nueva reserva supone, pues, una seguridad adicional, por cargar más. Para conocer el valor de D en función de la latitud ϕ puede aplicarse:

$$D = \frac{\text{arc. sen. } 0,434 \text{ tg } \phi}{7,5} \quad h$$

expresando el arco en grados sexagesimales.

Se aplica también una regla simplificada consistente en fijar la capacidad en función del consumo de cierto número de días (consumo máximo diario), que no tiene en cuenta el plus que quiera asignarse por seguridad o reserva, sino que es un valor estricto.

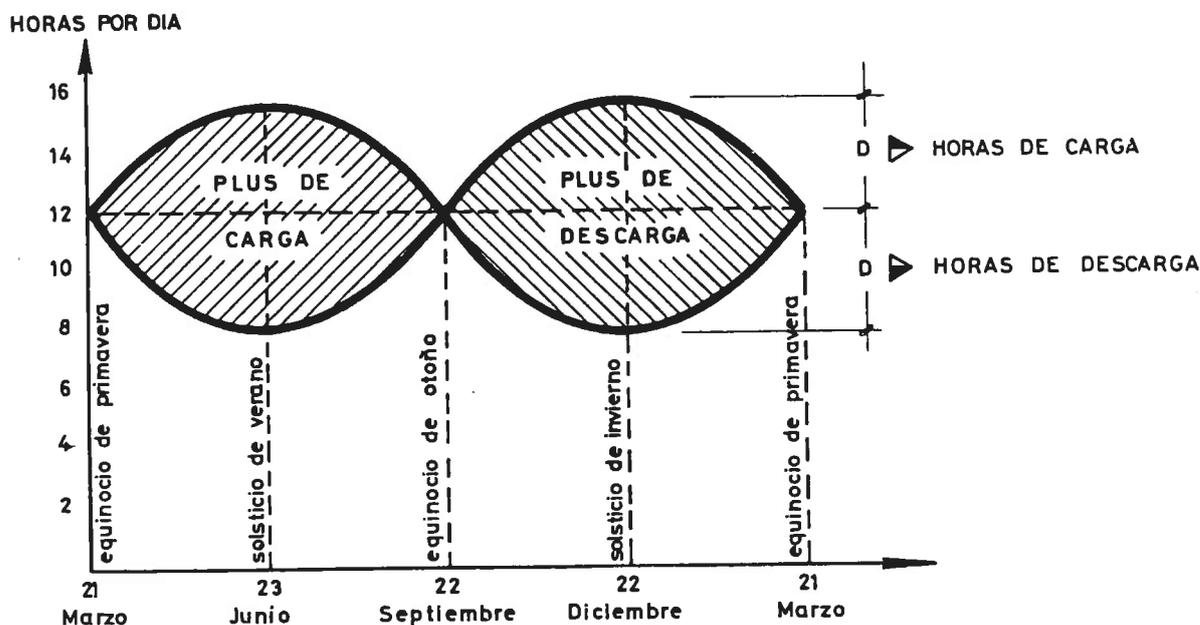


Figura VII.34. Proceso de carga y descarga de baterías con paneles solares

VII-1.4.2.- Aerogeneradores

Un sistema de producción de electricidad con aerogeneradores consta de un aerogenerador y un equipo de baterías conectados a través de un rectificador, regulador y diodos que, al igual que en los sistemas fotovoltaicos, impiden la descarga de la batería cuando la tensión entre sus terminales es mayor que la tensión en los terminales del rectificador.

En señales marítimas, especialmente en los instalados sobre soporte fijo, se utilizan generadores desde 24 w. hasta 4.000 w. de potencia nominal.

El principio del aerogenerador es la transformación de la energía eólica en eléctrica transmitiendo a un generador eléctrico que forma parte del sistema el movimiento de rotación que imprimen al rotor del equipo las palas móviles por el viento, las cuales están dispuestas alrededor de un eje horizontal o vertical.

Para la determinación de la potencia nominal del aerogenerador y de la capacidad de la batería se parte de los siguientes datos:

- a) Potencia media diaria de la instalación alimentada por el aerogenerador.
- b) Curva característica de potencias P del aerogenerador (Figura VII.35.), en la que:

- P_N = potencia nominal del aerogenerador.
 v_1 = velocidad de arranque, o velocidad mínima para que el aerogenerador comience a producir energía eléctrica.
 v_2 = velocidad de regulación, o velocidad mínima para la que el aerogenerador alcanza la producción de su potencia nominal, P_N .
- c) Número de días n_1 del periodo p_1 más largo del año en que la velocidad del viento es inferior a la de arranque ($v_0 < v_1$). El aerogenerador no produce energía.
- d) Número de días n_2 del periodo p_2 más largo del año en que la velocidad del viento es inferior a la de regulación ($v_0 < v_2$). El aerogenerador no produce energía o funciona a una velocidad lenta.

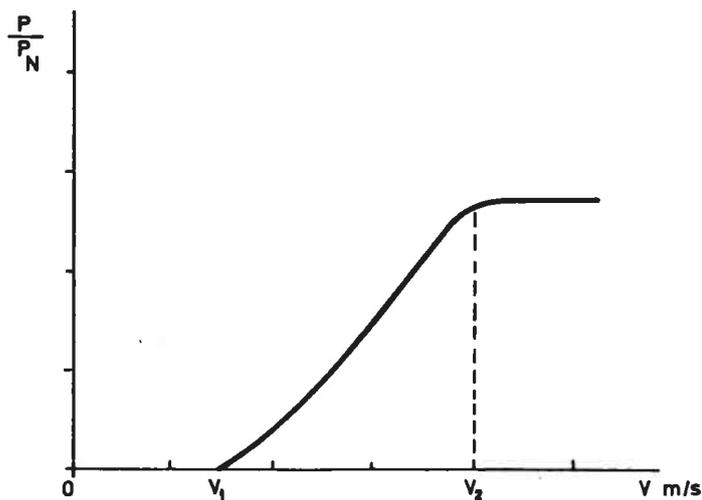


Figura VII.35. Curva característica de un aerogenerador

VII-1.4.2.1.- Dimensionamiento del aerogenerador

Se define el coeficiente de producción del aerogenerador en el lugar considerado como:

$$\eta_p = \int_0^{\infty} \frac{\partial P(v)}{\partial v} \cdot f(v) \cdot dv \quad \text{donde:}$$

$P(v)$ = función de frecuencias acumuladas de la velocidad v_0 del viento en un periodo de un año.

$f(v)$ = función de la curva característica, que relaciona v y P/P_N (figura VII.35).

La potencia media que puede producir el aerogenerador a lo largo de un año vale:

$$P_m = \eta_p \cdot P_N$$

Si se considera que la instalación consume una potencia constante P_u (media de las potencias diurnas y nocturnas consumidas por la instalación), la potencia producida por el aerogenerador elegido no debe ser inferior a P_u . Por tanto, la potencia nominal P_N del aerogenerador debe cumplir:

$$P_m > P_u$$

VII-1.4.2.2.- Dimensionamiento de las baterías

Se parte de las siguientes hipótesis simplificativas:

a) La potencia P del aerogenerador viene dada por:

$$P = P_N \quad \text{si} \quad v_o > v_2$$

$$P = \frac{P_N}{2} \quad \text{si} \quad v_1 < v_o < v_2$$

$$P = 0 \quad \text{si} \quad v_o < v_1$$

b) Las baterías no se averían y al principio de un periodo en que la velocidad del viento es inferior a v_2 su capacidad C es por lo menos de 0,8 de su capacidad nominal C_n . La capacidad de la batería no debe ser nunca inferior a $0,2 C_n$.

Para el cálculo de la capacidad de la batería asociada al aerogenerador se puede proceder en una primera aproximación como sigue.

Durante el periodo p_2 , en el cual se supone incluido el periodo p_1 , la energía E que la batería suministra a la instalación es la siguiente:

a) $P_N > 2 P_u$

Durante el periodo p_1 de n_1 días, la batería tiene que suministrar toda la energía consumida por la instalación, mientras que durante los restantes días de p_2 como se ha supuesto que el aerogenerador trabaja

a la mitad de su potencia nominal ($\frac{P_N}{2} > P_u$) la batería no suministra energía.

$$E = 24 (h) P_u (Kw) \cdot n_1$$

b) $P_N < 2 P_u$

En este caso la batería tendrá que suministrar energía duran

te el periodo de n_1 días y durante los $n_2 - n_1$ días restantes del periodo.

$$E = 24 (h) P_u \left[n_1 + (n_2 - n_1) \left(1 - \frac{P_N}{2 P_u} \right) \right]$$

Como la energía que puede suministrar la batería está limitada, supuesto que la capacidad disponible en el momento de empezar a alimentar la instalación es $0,8 C_n$, por el límite inferior de su capacidad, $0,2 C_n$.

$$a) 0,8 C_n - 0,2 C_n > 24 P_u n_1, \text{ luego } C_n > 40 P_u n_1$$

$$b) C_n > 40 P_u \left[n_1 + (n_2 - n_1) \left(1 - \frac{P_N}{2 P_u} \right) \right]$$

VII-1.4.3.- Generadores activados por olas

El principio de este tercer tipo de generador eléctrico es la transformación de la presión del aire creada por el movimiento de las olas en energía eléctrica por medio de una turbina de aire. Esta energía del generador, al igual que en los tipos anteriores, carga una batería. Este principio se recoge en la figura VII.36.

El método de cálculo a seguir intenta relacionar la altura de ola, H , en metros, en el tubo y su periodo T , en segundos, con la energía a consumir por la instalación. Para ello es necesario conocer la tabla de características del generador.

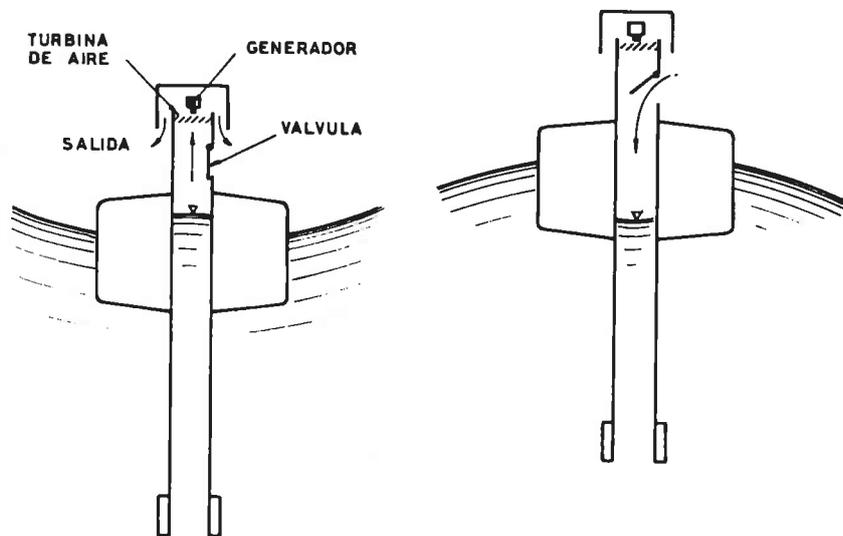


Figura VII.36. Funcionamiento de un generador activado por oleaje

Conocido el consumo, P_C , la potencia, P , requerida para cargar la batería, en watios será:

$$P = P_C \times f$$

siendo f el coeficiente de mayoración por pérdidas de la instalación.

Para esta potencia P , el generador en particular tendrá un rendimiento o eficacia η , por lo que la potencia de salida de la turbina P_T debe ser:

$$P_T = \frac{P}{\eta}$$

donde el rendimiento η se expresa en tanto por uno. A continuación se puede calcular el flujo de aire, en kilogramos por segundo, necesario para producir este valor P_T por la fórmula:

$$Q = \frac{1}{1 - \eta_a} \sqrt{\frac{P_T S^2}{0,218}}$$

donde:

Q = flujo de aire en el tubo de oleaje, en kilogramos por seg.

η_a = pérdidas de aire en la cámara y el tubo, en tanto por uno.

P_T = potencia de salida de la turbina, en watios.

S = sección de la tobera de la turbina, en metros cuadrados.

La relación final entre este caudal de aire Q producido por el oleaje y las características del mismo es:

$$H = 0,492 \frac{Q T_o}{D^2}$$

donde:

H = altura de la ola, en metros.

T_o = periodo del oleaje, en segundos.

D = diámetro del tubo, en metros.

Según se realice el proceso en un sentido u otro se podrá estudiar el oleaje necesario para una cierta instalación, o la potencia máxima desarrollada por un generador y un oleaje dados.

El dimensionamiento de las baterías es análogo al resto de generadores.

VII-1.5. Torres de faros

En el "Proyecto de modelos oficiales de torres de faros" redactado por la Comisión de Estudio de Modelos y Normas para Señales Marítimas (Abril 1970) se distinguen tres partes bien diferenciadas en las torres de los faros:

a) Base.- Es el elemento de apoyo de la torre en el terreno.

Es función, por una parte, del diámetro que se elija para la torre y, por otra, de si se adopta acetileno o energía eléctrica como iluminante.

En caso de utilizar energía eléctrica la base se complementa con una caseta para alojamiento de cuadros y grupos electrógenos (ver figura VII.40.).

b) Fuste.- Constituye el cuerpo de la torre.

Es función exclusivamente de la altura de la torre, la cual depende de las cotas del plano focal y del terreno.

c) Torreón con cámara de servicio.- Constituye la parte superior de la torre.

La cámara de servicio tiene un diámetro igual al de la torre; el torreón depende de la linterna, la cual debe elegirse con arreglo a la instalación luminosa que, a su vez, depende del tipo de apariencia y del alcance luminoso necesario.

De acuerdo con las previsiones del "Proyecto de mejora de las Señales Marítimas de España" (P.M.SS.MM.), aprobado por O.M. de 17 de marzo de 1967, las linternas de faros se han sistematizado en tres tipos, cuyos diámetros son del orden de 1,75, 2,25 y 3,00 metros.

Para facilitar la construcción se adoptan torres cilíndricas, que permiten la utilización de encofrados deslizantes, constituidas mediante módulos de determinadas dimensiones.

Los materiales deben ser tales que no se degraden por efecto del aire salino. Asimismo, se debe garantizar el recubrimiento de las armaduras, incluso de forma que no sean alteradas con ocasión de la ejecución de rozas o taladros.

VII-1.5.1.- Elección del tipo de torre

La elección viene determinada por dos factores:

- Altura del plano focal.

Es función del alcance geográfico y se utiliza para fijar la altura necesaria de la torre y en consecuencia el número de módulos del fuste y diámetro de la torre.

- Tipo de instalación.

Es función de la apariencia y del alcance luminoso y se utiliza para elegir el tipo de base (eléctrica o de acetileno) y torreón (según linterna).

VII-1.5.1.1.- Limitaciones de los tipos

a) Altura mínima.

Viene determinada por el reconocimiento del faro durante el día desde el mar, por el pintado de franjas y por la preservación de los cristales de la linterna de eventuales degradaciones o ensuciamientos de polvo. En la tabla VII.16. se recogen los límites usuales de distancias de visibilidad diurnas.

b) Altura máxima.

Por razones de estética se establece (en el P.M.SS.MM.) una esbeltez máxima de 1/8 con excepción de la torre de 50 m. de altura.

El proyectista deberá adoptar el número entero de módulos del fuste que exija la altura del plano focal aunque ello suponga un ligero exceso, pues la partición de un módulo no sería admisible en relación con la distribución de descansillos y trampillas.

Con estos condicionantes y considerando que la altura del plano focal sobre el piso de la cámara de iluminación es superior a 1,80 m. resultan las limitaciones de la tabla VII.15. a.

Diámetro de la torre	∅ 3 m.	∅ 4 m.	∅ 5 m.
Altura máxima del plano focal sobre el terreno.	29,20 m.	38,80 m.	51,10 m.
Número de módulos del fuste.	7	6	7
Altura mínima del plano focal sobre el terreno.	17,20 m.	24,40 m.	39,90 m.
Número de módulos del fuste.	3	3	5

Tabla VII.15.a. Alturas del plano focal

VII-1.5.1.2.- Torres que deben adoptarse

En función del diámetro de las linternas resultan las torres de la tabla VII.15.b.

Altura del plano focal sobre el terreno	L i n t e r n a		
	∅ 1,75 m.	∅ 2,25 m.	∅ 3,00 m.
Hasta 29,20 m.	Torre de 3 m.	Torre de 3 m.	Torre de 4 m.
Hasta 29,20 a 38,80 m.	Torre de 4 m.	Torre de 4 m.	Torre de 4 m.
De 38,80 a 51,10 m.	Torre de 5 m.	Torre de 5 m.	Torre de 5 m.

Tabla VII.15.b. Tipos de torre

En las figuras VII.37., VII.38. y VII.39. están expuestos los esquemas de los tres tipos de torres, sus cubicaciones y unos presupuestos aproximados.

NUMERO DE MODULOS DEL FUSTE DE LAS TORRES	FACTOR DE LUMINANCIA DEL FONDO β	TORRE DE 3 METROS												TORRE DE 4 METROS												TORRE DE 5 METROS											
		CON PRISMATICOS						SIN PRISMATICOS						CON PRISMATICOS						SIN PRISMATICOS						CON PRISMATICOS						SIN PRISMATICOS					
		FUSTE MONOCOLOR			FRANJAS			FUSTE MONOCOLOR			FRANJAS			FUSTE MONOCOLOR			FRANJAS			FUSTE MONOCOLOR			FRANJAS			FUSTE MONOCOLOR			FRANJAS			FUSTE MONOCOLOR			FRANJAS		
		DISTANCIA	AUMENTOS	1/2 DEL FUSTE	AU- TOS	DIST	1/3 FUS	DIST	1/3 FUS	DIST	1/3 FUS	AU- TOS	DIST	1/3 FUS	DIST	1/3 FUS	AU- TOS	DIST	1/3 FUS	DIST	1/3 FUS	AU- TOS	DIST	1/3 FUS	DIST	1/3 FUS	AU- TOS	DIST	1/3 FUS	DIST	1/3 FUS						
3	0,5	B	N	4	11,3	6	11,3	7	4,3	5,9	4,9	4,3	6,9	11,3	2	3	11,3	4	11,3	5	5,4	7,6	5,8	5,2	6,9	11,3	2	3	11,3	4	11,3	4	5,7	7,6	6,5	5,8	
	0,1	B	N	4	10,2	6	10,2	7	5,4	3,2	4,1	3,7	10,2	4,6	3	2	10,2	4	10,2	5	6,5	4,1	5,4	4,8	10,2	4,6	3	1	10,2	3	10,2	4	7,0	4,6	5,9	5,4	
4	0,5	B	N	3	4	11,3	5	11,3	7	4,4	6,2	5,1	4,5	6,9	11,3	2	3	11,3	4	11,3	5	5,9	8,1	6,4	5,7	6,9	11,3	2	2	11,3	3	11,3	4	6,3	8,4	7,0	6,2
	0,1	B	N	4	2	10,2	5	10,2	6	5,7	3,5	4,5	4,1	10,2	4,6	3	1	10,2	4	10,2	4	6,9	4,4	5,7	5,1	10,2	4,6	2	1	10,2	3	10,2	4	7,6	4,6	6,5	5,7
5	0,5	B	N	2	4	11,3	5	11,3	6	4,8	6,6	5,5	4,9	6,9	11,3	2	3	11,3	4	11,3	4	6,0	8,4	6,7	5,9	6,9	11,3	2	2	11,3	3	11,3	4	6,5	8,7	7,3	6,6
	0,1	B	N	3	2	10,2	4	10,2	5	6,0	3,8	5,0	4,3	10,2	4,6	2	1	10,2	3	10,2	4	7,3	4,6	6,2	5,5	10,2	4,6	2	1	10,2	3	10,2	3	7,9	4,6	6,9	6,2
6	0,5	B	N	2	4	11,3	5	11,3	5	5,0	7,0	5,8	5,1	6,9	11,3	2	2	11,3	3	11,3	4	6,5	8,5	7,0	6,4	6,9	11,3	1	2	11,3	3	11,3	3	6,9	8,9	7,6	7,0
	0,1	B	N	3	2	10,2	4	10,2	5	6,3	4,0	5,3	4,5	10,2	4,6	2	1	10,2	3	10,2	4	7,6	4,6	6,5	5,7	10,2	4,6	2	1	10,2	3	10,2	3	8,4	4,6	7,1	6,5
7	0,5	B	N	2	3	11,3	4	11,3	5	5,5	7,6	5,9	5,3	6,9	11,3	2	2	11,3	3	11,3	4	6,6	8,6	7,2	6,5	6,9	11,3	1	2	11,3	3	11,3	3	6,9	9,2	7,9	7,1
	0,1	B	N	3	2	10,2	4	10,2	5	6,5	4,2	5,4	4,9	10,2	4,6	2	1	10,2	3	10,2	3	8,0	4,6	6,7	5,9	10,2	4,6	2	1	10,2	2	10,2	3	8,6	4,6	7,2	6,7

Tabla VII.16.- Distancias de visibilidad diurna en millas náuticas y máximos aumentos de los prismáticos (*) para los tres tipos de torre, en función del número de módulos del fuste y de su color .

B = blanco N = negro

(*) La cifra indica un tope, pues más aumentos no acrecientan la distancia de visibilidad diurna .

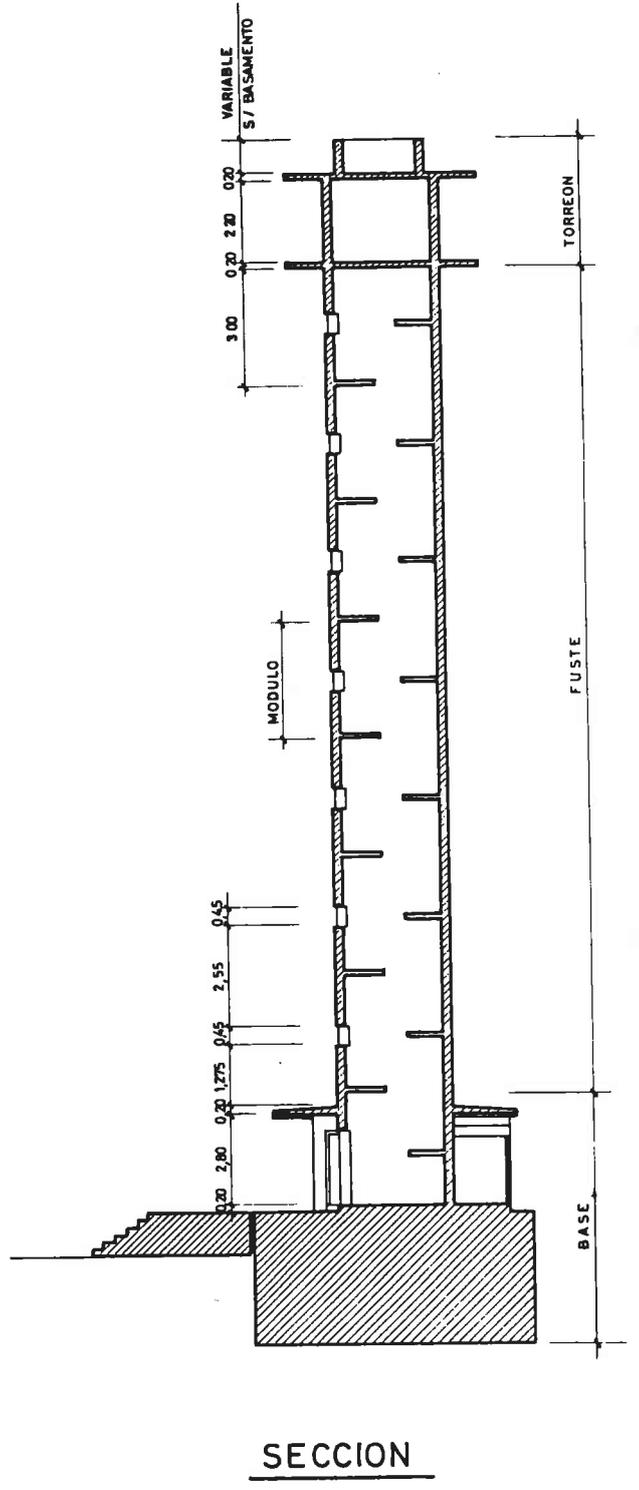
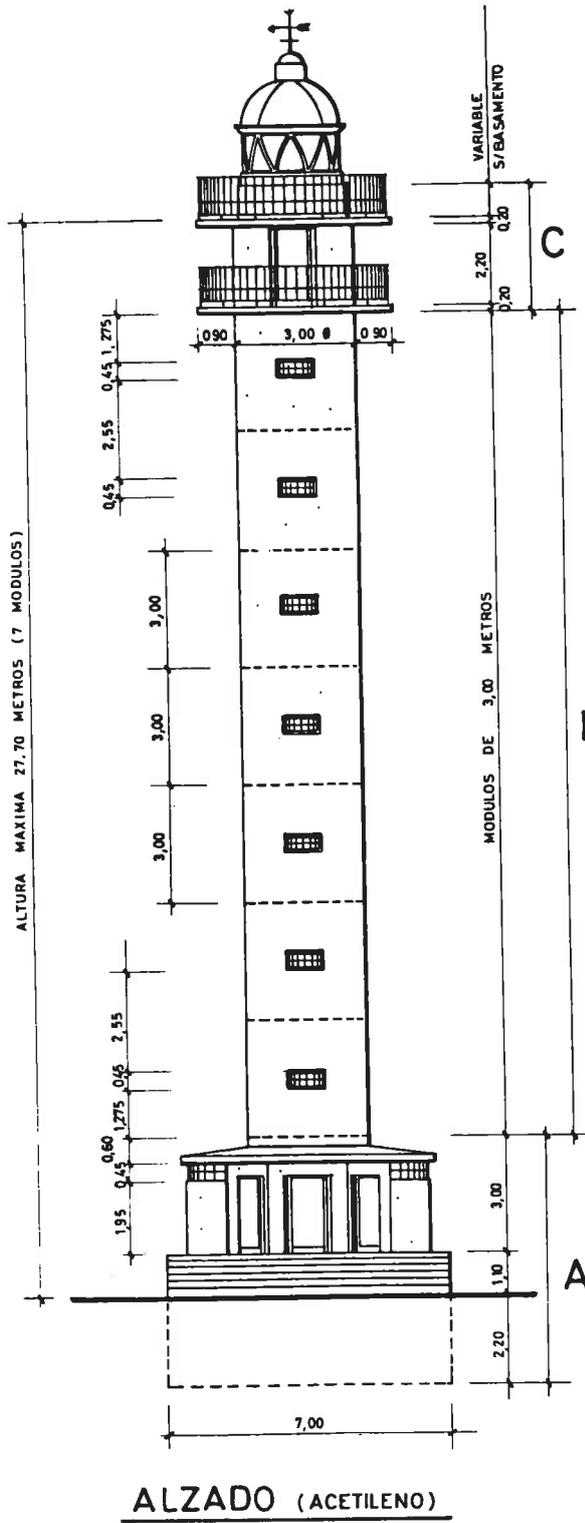


Figura VII.37. Modelo de torre de faro de 3 m. de diámetro (continúa)

Clase de las unidades de obra		Ud.	Cubicación	Precio unitario Ptas.1985	Presupuesto parcial Ptas. 1985	Observaciones
BASE	Excavación	m3.	49	635	31.115	Por m. de profundidad
	Hormigón vibrado H-300	m3.	49	35.000	1.715.000	Incluso encofrado y desencofrado por m. de profundidad.
	Acero ordinario en redondos.	kg.	158	58	9.164	Por m. de profundidad.
MODULO DEL FUSTE	Hormigón vibrado H-350	m3.	9	45.000	405.000	Incluso encofrado y desencofrado.
	Acero ordinario en redondos.	kg.	677	58	39.266	
	Superficies pintadas.	m2.	60	800	48.000	Pintura acrílico vinílica.
TORREON LINTERNA Ø 1,75	Hormigón vibrado H-350	m3.	15	45.000	675.000	Incluso encofrado y desencofrado.
	Acero ordinario en redondos.	kg.	864	58	50.112	
	Superficies pintadas.	m2.	121	800	96.800	Pintura acrílico vinílica.
LINTERNA Ø 2,25	Hormigón vibrado H-350	m3.	15	45.000	675.000	Incluso encofrado y desencofrado.
	Acero ordinario en redondos.	kg.	892	58	51.736	
	Superficies pintadas.	m2.	123	800	98.400	Pintura acrílico vinílica.

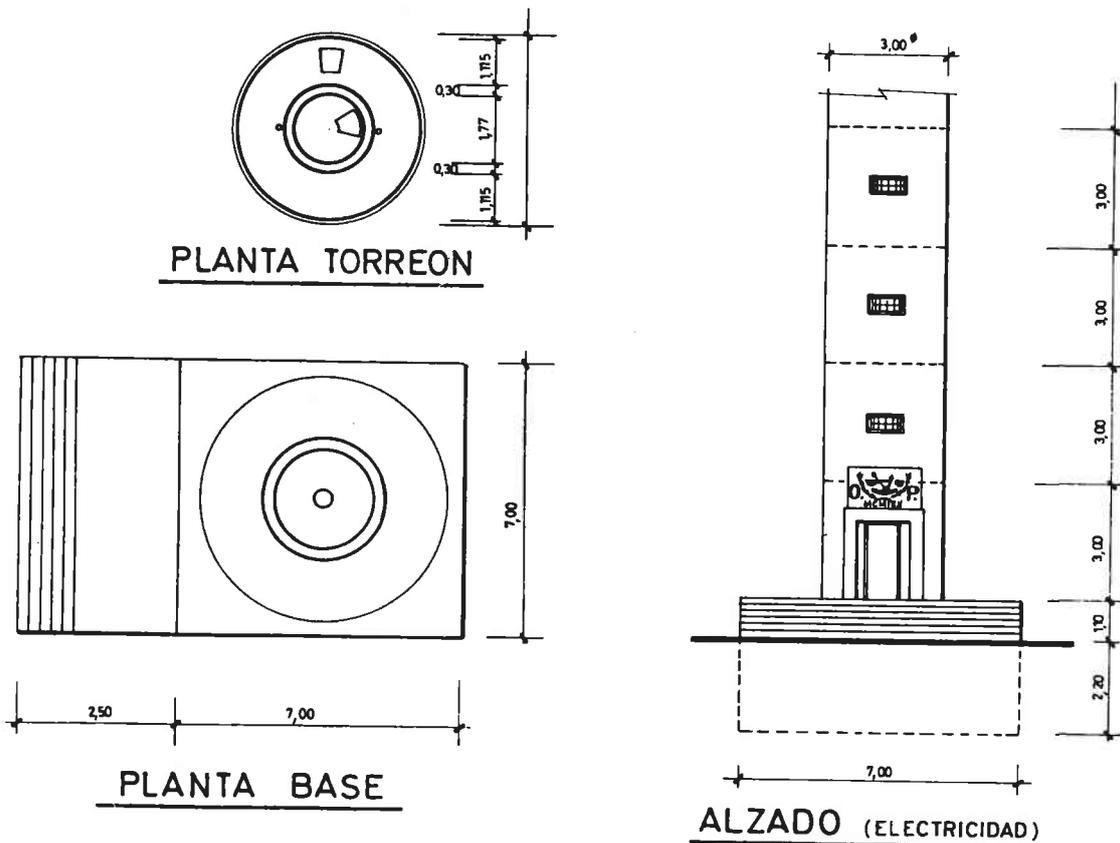
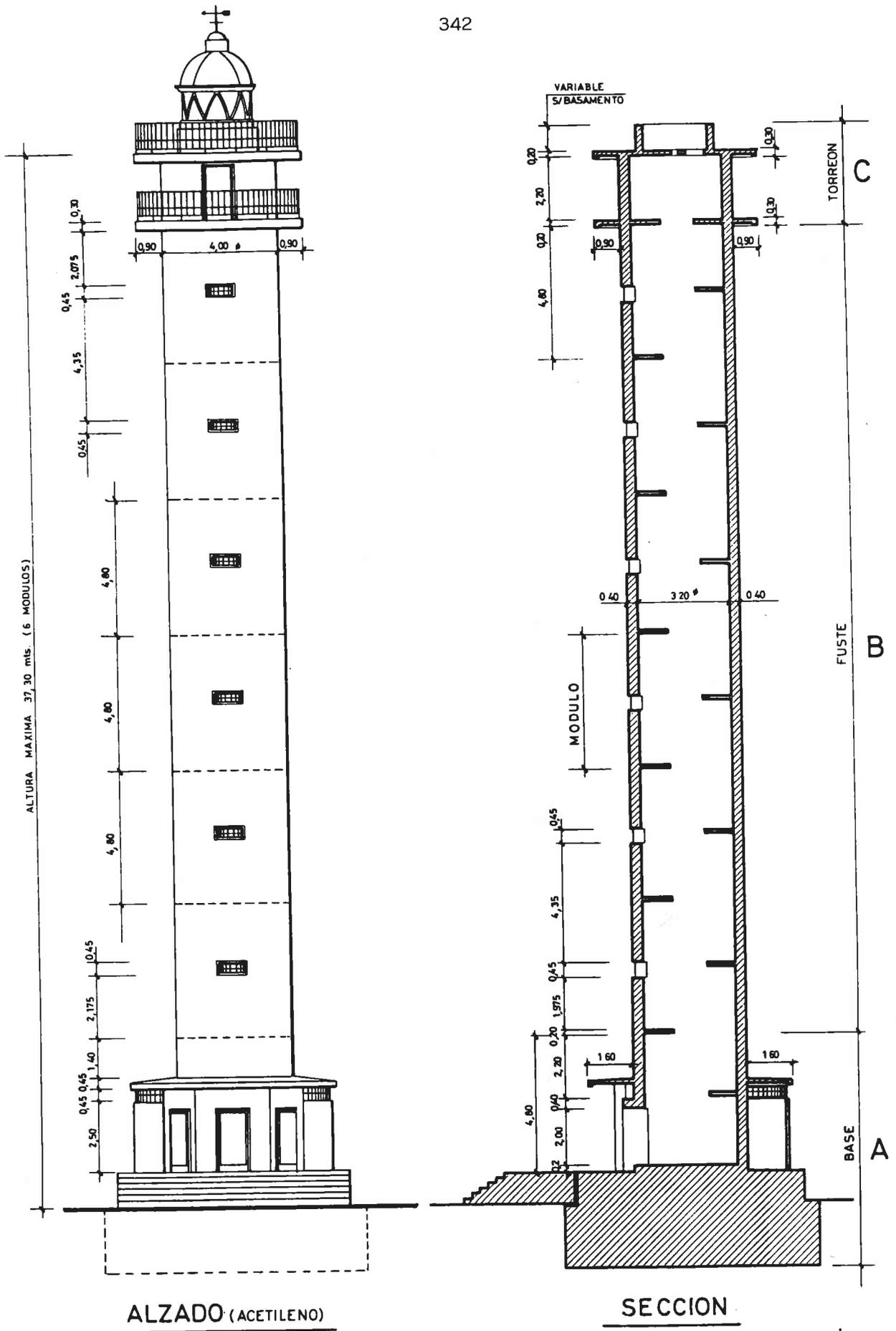


Figura VII.37. Modelo de torre de faro de 3 m. de diámetro (conclusión)



ALZADO (ACETILENO)

SECCION

Figura VII.38. Modelo de torre de faro de 4 m. de diámetro (continúa)

Clase de las unidades de obra		Ud.	Cubicación	Precio unitario Ptas.1985	Presupuesto parcial Ptas. 1985	Observaciones	
BASE	Excavación	m3.	81	635	51.435	Por m. de profundidad	
	Hormigón vibrado H-300	m3.	81	35.000	2.835.000	Incluso encofrado y desencofrado por m. de profundidad.	
	Acero ordinario en redondos.	kg.	235	58	13.630	Por m. de profundidad.	
MODULO DEL FUSTE	Hormigón vibrado H-350	m3.	23	45.000	1.035.000	Incluso encofrado y desencofrado.	
	Acero ordinario en redondos.	kg.	1.538	58	89.204		
	Superficies pintadas.	m2.	124	800	99.200	Pintura acrílico vinílica.	
TORREON	LINTERNA Ø 1,75	Hormigón vibrado H-350	m3.	22	45.000	990.000	Incluso encofrado y desencofrado.
		Acero ordinario en redondos.	kg.	1.360	58	78.880	
		Superficies pintadas.	m2.	160	800	128.000	Pintura acrílico vinílica.
	LINTERNA Ø 2,25	Hormigón vibrado H-350	m3.	23	45.000	1.035.000	Incluso encofrado y desencofrado.
		Acero ordinario en redondos.	kg.	1.389	58	80.562	
		Superficies pintadas.	m2.	161	800	128.800	Pintura acrílico vinílica.

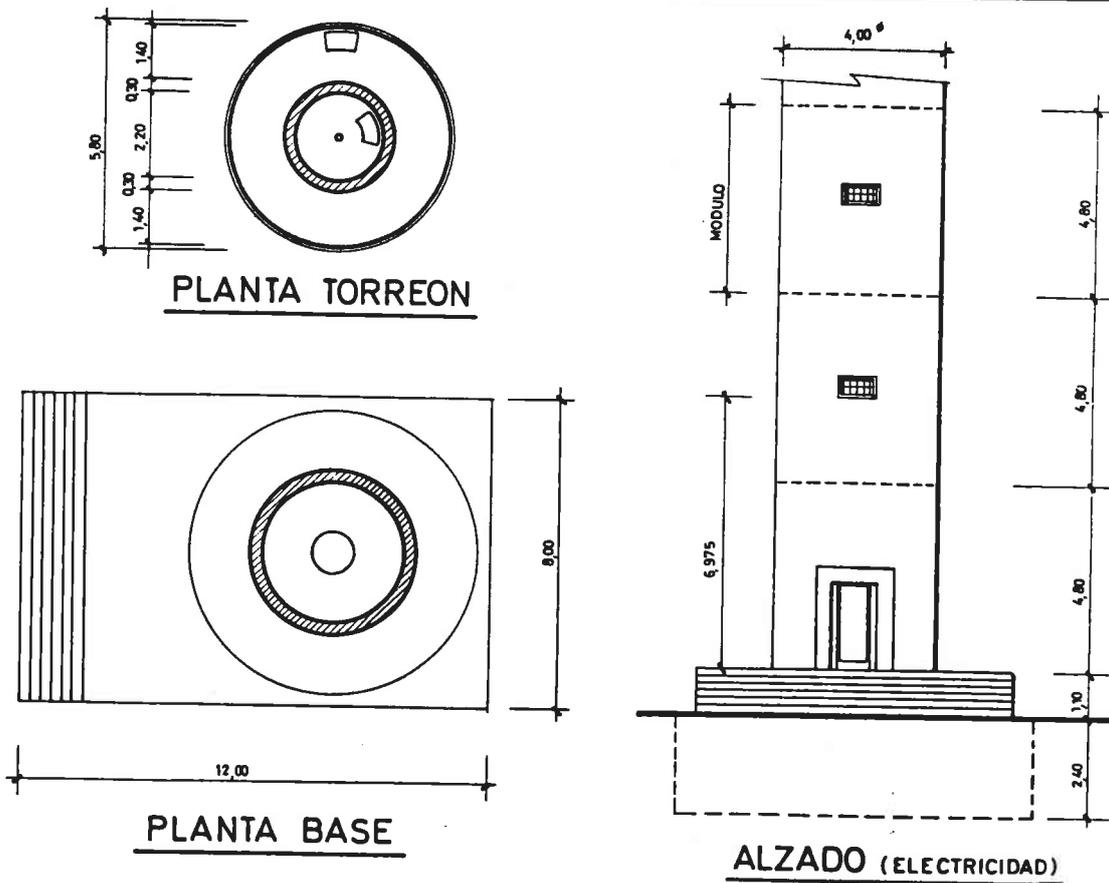
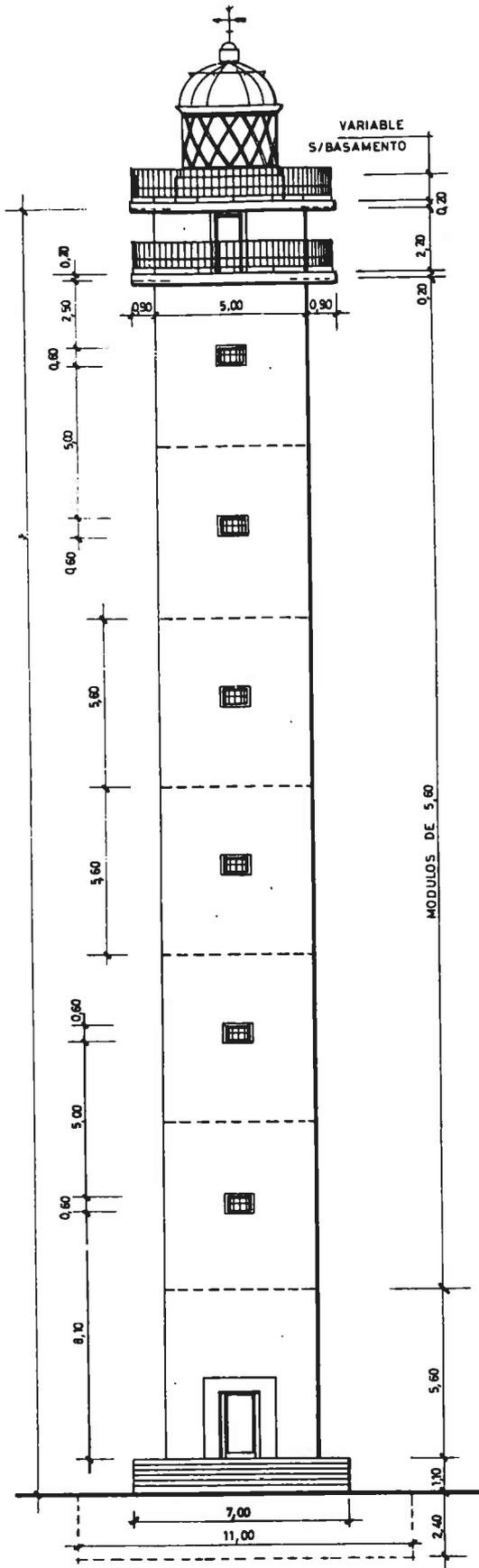
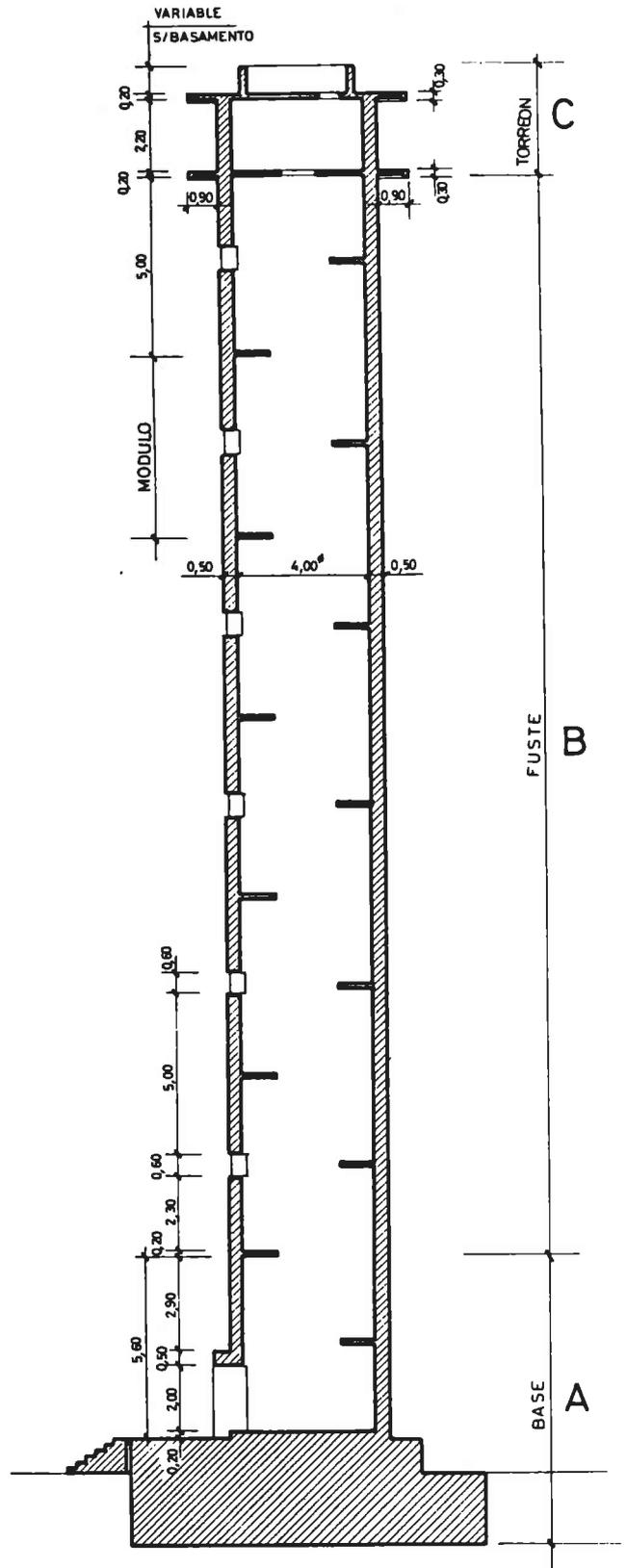


Figura VII.38. Modelo de torre de faro de 4 m. de diámetro (conclusión)



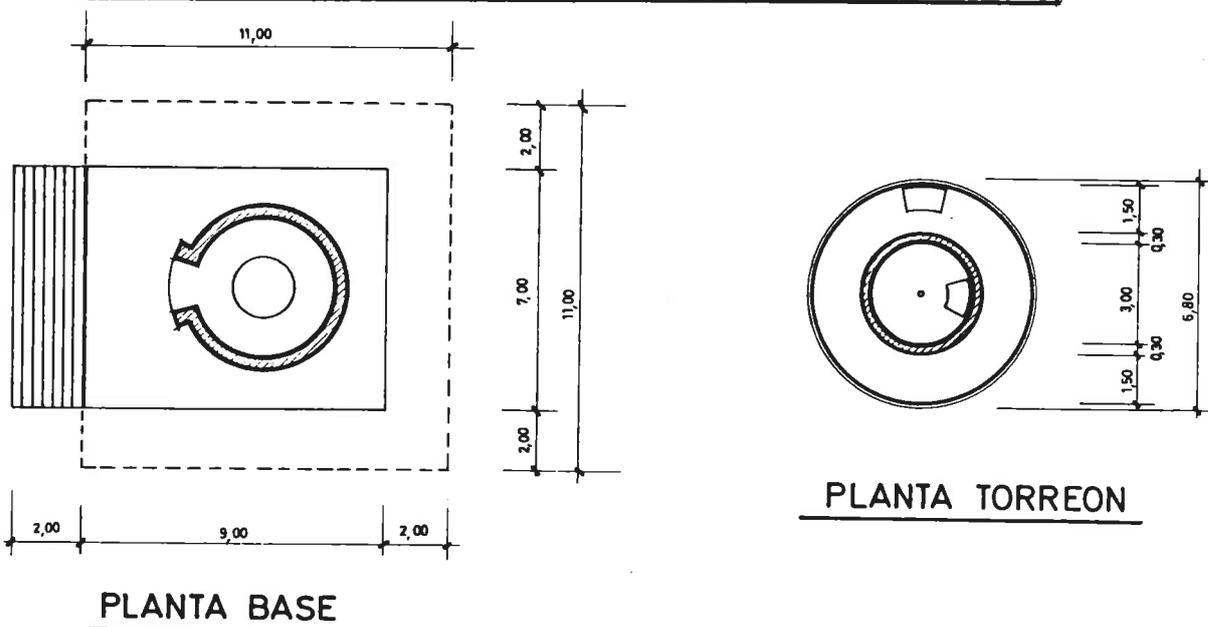
ALZADO



SECCION

Figura VII.39. Modelo de torre de faro de 5 m. de diámetro (continúa)

	Clase de las unidades de obra	Ud.	Cubicación	Precio unitario Ptas. 1985	Presupuesto parcial Ptas. 1985	Observaciones	
BASE	Excavación	m ³ .	121	635	76.835	Por m. de profundidad	
	Hormigón vibrado H-300	m ³ .	121	35.000	4.235.000	Incluso encofrado y desencofrado por m. de profundidad.	
	Acero ordinario en rondos	kg.	341	57	19.437	Por m. de profundidad.	
MODULO DEL FUSTE	Hormigón vibrado H-350	m ³ .	41	45.000	1.845.000	Incluso encofrado y desencofrado.	
	Acero ordinario en rondos.	kg.	2.821	57	160.797		
	Superficies pintadas.	m ² .	180	800	144.000	Pintura acrílico vinílica.	
TORREON	LINTERNA ϕ 1,75	Hormigón vibrado H-350	m ³ .	31	45.000	1.395.000	Incluso encofrado y desencofrado.
		Acero ordinario en rondos.	kg.	2.047	57	116.679	
		Construcción metálica.	kg.	101	300	30.300	Chapas y perfiles en acero inoxidable.
		Superficies pintadas.	m ² .	200	800	160.000	Pintura acrílico vinílica.
	LINTERNA ϕ 2,25	Hormigón vibrado H-350.	m ³ .	32	45.000	1.440.000	Incluso encofrado y desencofrado.
		Acero ordinario en rondos.	kg.	2.078	57	118.446	
		Construcción metálica.	kg.	101	300	30.300	Chapas y perfiles en acero inoxidable.
		Superficies pintadas	m ² .	202	800	161.600	Pintura acrílico vinílica.
	LINTERNA ϕ 3,00	Hormigón vibrado H-350	m ³ .	33	45.000	1.485.000	Incluso encofrado y desencofrado.
		Acero ordinario en rondos.	kg.	2.141	57	122.037	
		Construcción metálica.	kg.	101	300	30.300	Chapas y perfiles en acero inoxidable.
		Superficies pintadas.	m ² .	204	800	163.200	Pintura acrílico vinílica.



PLANTA BASE

PLANTA TORREON

Figura VII.39. Modelo de torre de faro de 5 m. de diámetro (conclusión)

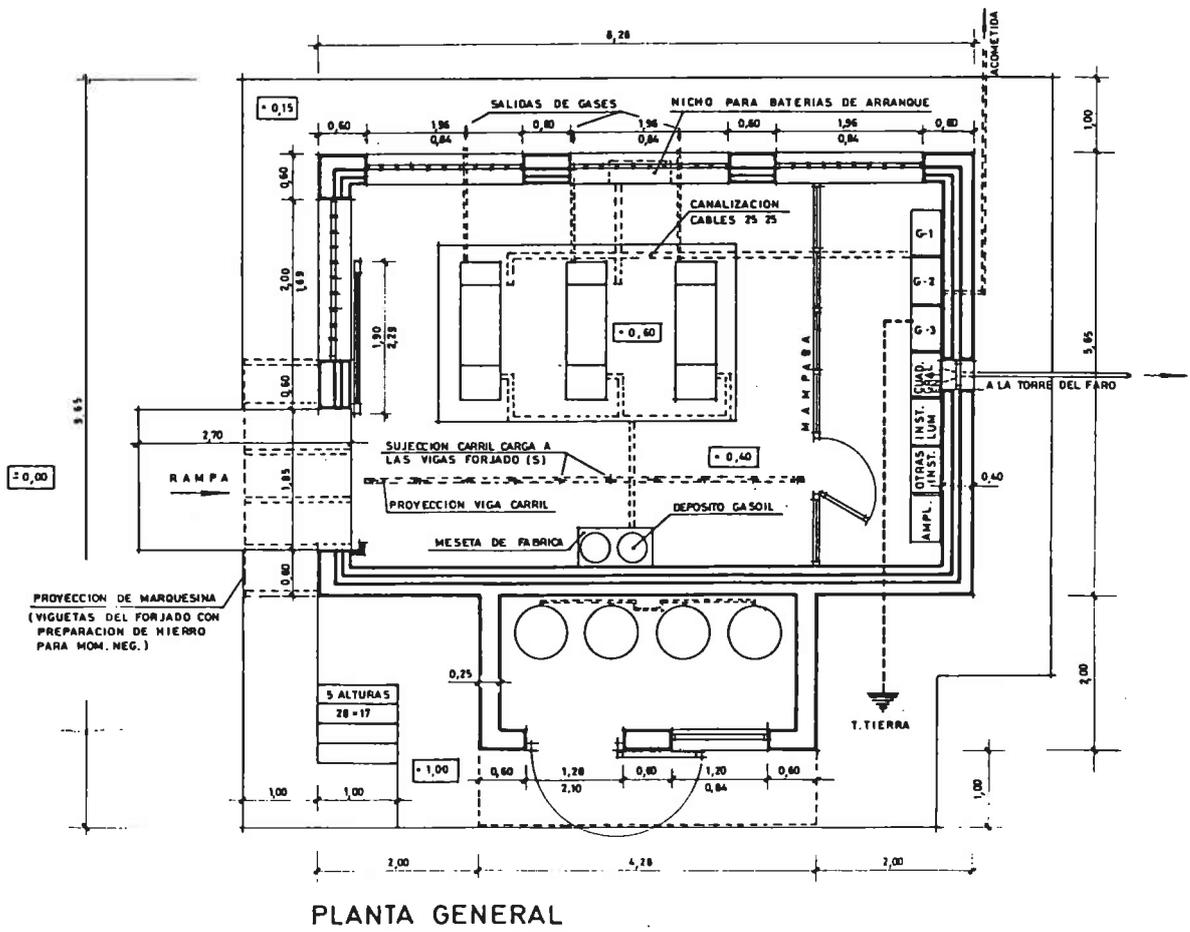
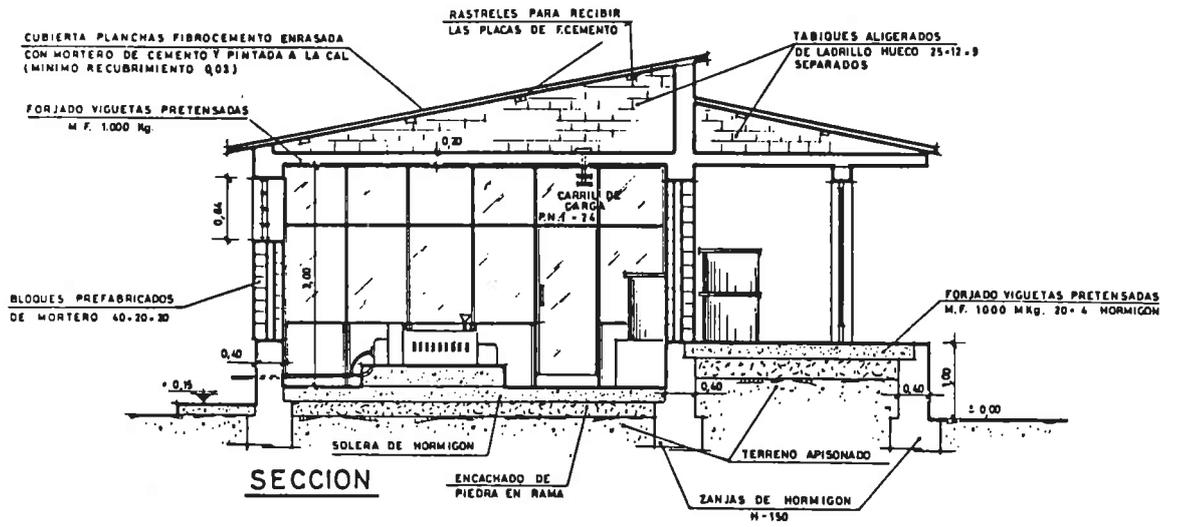


Figura VII.40. Caseta de grupos electrógenos para torres de faros

VII-1.5.2.- Cálculo de la torre

La estabilidad se calculará comprobando el vuelco y el deslizamiento.

La estructura se considera sometida a la acción del mar y del viento.

Estas acciones se suponen equivalentes a dos fuerzas horizontales.

VII-1.5.2.1.- Acción del viento o del roci6n

Para la determinaci6n de la acci6n del viento o del roci6n se aplicar6:

$$\frac{F}{A} = C \frac{\rho_a V^2}{2}$$

donde:

- F = fuerza actuante en kilogramos.
 A = superficie proyectada normalmente a V en metros cuadrados.
 C = coeficiente de forma, adimensional, dependiente del n6mero de Reynolds.
 ρ_a = densidad absoluta del aire o del roci6n en Kg. seg²/m⁴.
 V = velocidad del aire o del roci6n en m/seg.

El valor de C es igual o algo inferior a la unidad en los casos normales que pueden corresponder a torres, por lo que tomamos:

$$C = 1 \text{ secciones rectangulares}$$

$$C = 0,9 \text{ secciones circulares}$$

Si interesa conocerlo con exactitud, puede acudirse a la tabla del cuadro III (capítulo VIII de "Hidr6ulica"), Mecánica elemental de fluídos de H. Rouse, siendo el n6mero de Reynolds R.:

$$R = \frac{VD}{\nu} \quad \text{donde:}$$

- V = velocidad del roci6n en m/seg.
 D = diámetro de la torre en metros.
 ν = viscosidad cinemática del roci6n en m²/seg. que, a 15° vale: $\nu = 1,47 \cdot 105 K$, siendo K un coeficiente que depende de la cantidad de agua que contiene el roci6n y que varía entre 1 (aire solo) y 12 (roci6n propiamente dicho).

El valor de ρ_a para el aire a 15,5° es:

$$\rho_a = 0,1246 \text{ kg. seg}^2/\text{m}^4$$

Mas, como el roci6n lleva gran cantidad de agua, este valor aumenta extraordinariamente, y (de casos de torres destruidas por los rociones m6s intensos) puede deducirse que alcanza el valor de:

$$\rho_a = 1,5 \text{ kg. seg}^2/\text{m}^4$$

(el agua salada tiene el valor $\rho_o = 104,67 \text{ kg. seg.}^2/\text{m}^4$ a $15,5^\circ$).

Salvo estudios especiales, la velocidad no debe considerarse inferior a 120 kilometros por hora (33,3 m/seg.), y en general el valor no diferir6 mucho de 150 kil6metros por hora.

VII-1.5.2.2.- Acci6n del oleaje rompiente

Del diagrama de presiones de ola rota se deduce el valor de la acci6n horizontal y del momento en el supuesto de subpresi6n que puede observarse en la figura VII.41.

Al ser la ola rompiente, se puede tomar $H_r = 2 \text{ h}$ (en el caso de considerar el fondo horizontal); y resulta posible de este modo conocer los indicados momento y acci6n horizontal en funci6n de la profundidad, seg6n se observa en la tabla VII.17.

A las acciones que aparecen en dicha tabla deben agregarse las que act6an en la parte envuelta en el roci6n para calcular la estabilidad del conjunto cimentaci6n-torre.

Cuando, por la presencia de escollera, rocas, etc., la cimentaci6n y la torre se encuentran sometidas s6lo parcialmente a la acci6n de la ola rota, pueden tomarse, de la tabla VII.17., los sumandos que interesan hasta la altura (o sonda) en que ya es inoperante la presi6n sobre la obra de f6brica.

Acciones horizontales

Sector	ACCION h^3	BRAZO h	Momento h^4
EFG	$0,5 \cdot 2,5 \cdot 1,5 = 1,875$	$3,5 + 0,5 = 4$	7,50000
DEFC.	$0,5(2,5 + 6,5)2 = 9,000$	$1,5 + \frac{6,5 + 5,0}{6,5 + 2,5} = 2,35185$	21,16665
ABCO	$1,5 \cdot 2,5 = 3,750$	0,75	2,81250
HIJO	$1,5 \cdot 2,0 = 3,000$		3,00000
IJF	$0,5 \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 1,125$	$+ 0,5 = 1,5$	1,68750
	Totales 18,750		36,16600
<i>Acciones verticales</i>			
OKL	4	-0,666	- 2,66600
		TOTALES GENERALES	33,50000

Tabla VII.17. Momento y acci6n horizontal debidos a la acci6n del oleaje rompiente

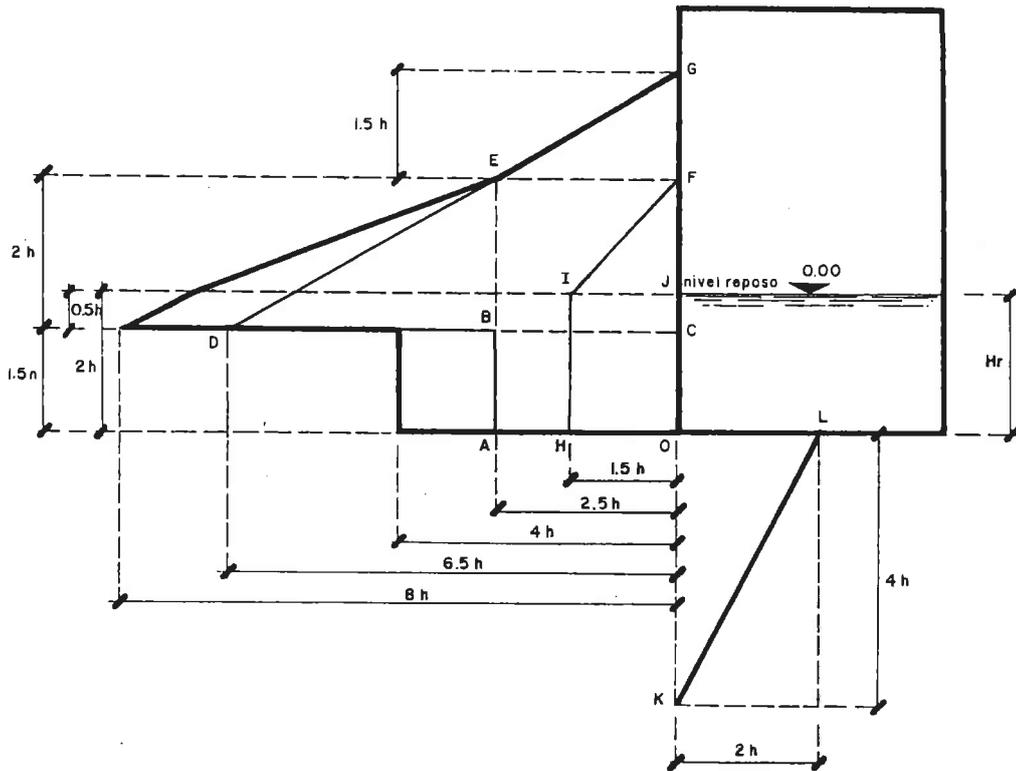


Figura VII.41. Diagrama de presiones de la ola rota con fondo horizontal

Se ha demostrado que la geometría de la ola rompiente varía con la pendiente del fondo por lo que $H_r \neq 2h$, si éste no es horizontal; entonces el diagrama de presiones de la figura VII.41. no es válido.

En las figuras VII.42. y VII.43. se dan unos coeficientes de mayoración para la profundidad de dimensionamiento de los espaldones de diques en función de la profundidad y de la pendiente del fondo para los periodos máximos obtenidos en el Mediterráneo ($T_o = 14''$) y en el Océano Atlántico ($T_o = 18''$) ("Obras Marítimas", R. Iribarren).

VII-1.5.3.- Disposiciones especiales

VII-1.5.3.1.- Tierras

Como en general los faros se encuentran ubicados en terrenos rocosos, se adoptarán tomas de tierra de tipo lineal, cuya longitud será función de la conductividad del terreno, pero sin dejar de instalar la placa terminal difusora para mayor seguridad. La disposición de una sola placa difusora exigiría diámetros excesivos en terrenos rocosos secos (véase VII.1.7.2.).

VII-1.5.3.2.- Carpinterías

Se adoptará en general carpintería metálica con chapas y perfiles de acero inoxidable, salvo en lo relativo a puertas de trampillas en que se seguirá adoptando el sistema tradicional.

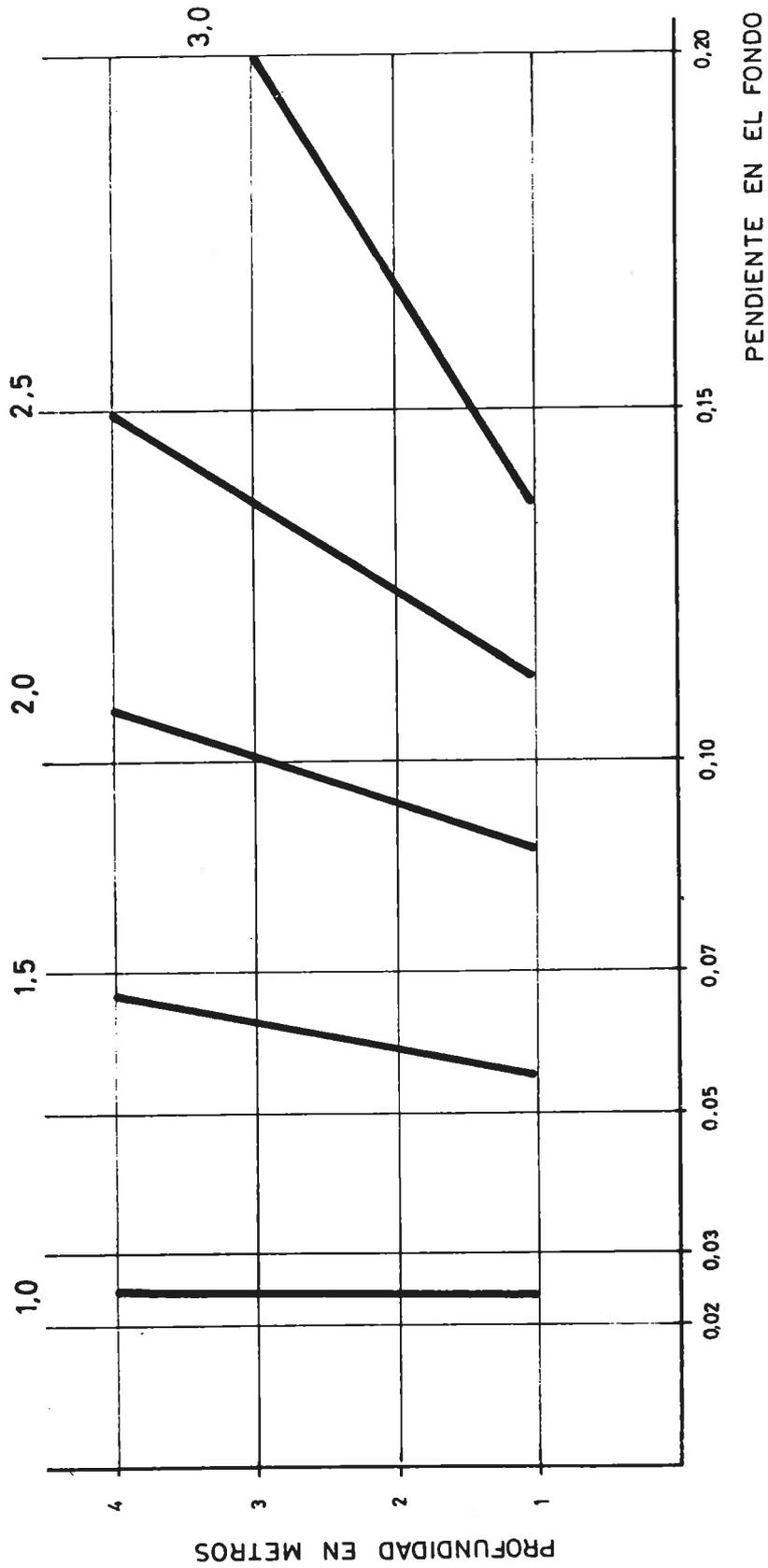


Figura VII.42. Coeficientes de mayoración para determinar la profundidad virtual de dimensionamiento en el Mar Mediterráneo con fondos del mar litoral en pendiente

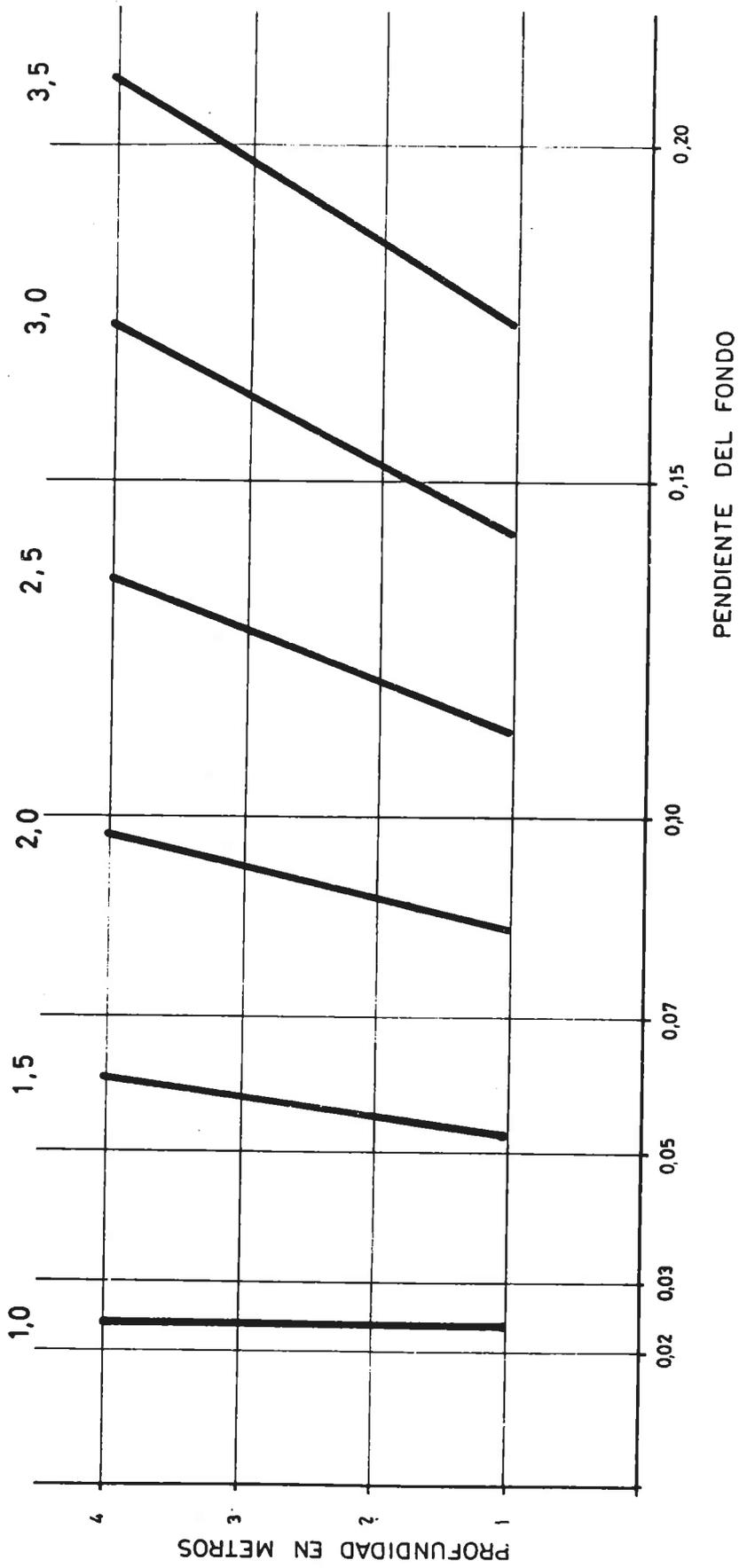


Figura VII.43. Coeficientes de mayoración para determinar la profundidad virtual de dimensionamiento en el Océano Atlántico con fondos del mar litoral en pendiente

VII-1.5.3.3.- Balconcillos

Se adoptará la solución consistente en dotar de balconcillo a la cámara de servicio con acceso desde ésta. Por medio de una escalera metálica se unirán los balconcillos de la cámara de servicio y de la cámara de iluminación.

VII-1.5.3.4.- Cámara de acumuladores

La autonomía normalmente prevista para los faros exige dos baterías de acumuladores, cuyo número, según el consumo, oscila de 6 a 10 acumuladores.

Las cámaras se deben prever, por consiguiente, para alojar 20 acumuladores y sus elementos accesorios.

Las torres de 3 y 4 metros de diámetro no tienen suficiente espacio en su base, por lo que deberá establecerse una cámara anular adosada con accesos independientes.

VII-1.5.3.5.- Muelle de carga

La manipulación de repuestos y efectos y la de acumuladores o bidones de gas-oil en los faros con grupos electrógenos, supone el movimiento de pesos de consideración; por dicha razón tanto las bases de las torres como las casetas de grupos electrógenos deben dotarse de muelles de altura igual a las cajas de los camiones para facilitar aquellas operaciones.

VII-1.5.3.6.- Iluminación de interiores

En la base, torre y cámara de servicio se dispondrán paneles traslúcidos de piezas de cristal moldeado.

VII-1.5.3.7.- Escalera interior

Puede adoptarse escalera de fábrica en placa helicoidal, salvo en la cámara de servicio y su balconcillo donde se utilizará metálica.

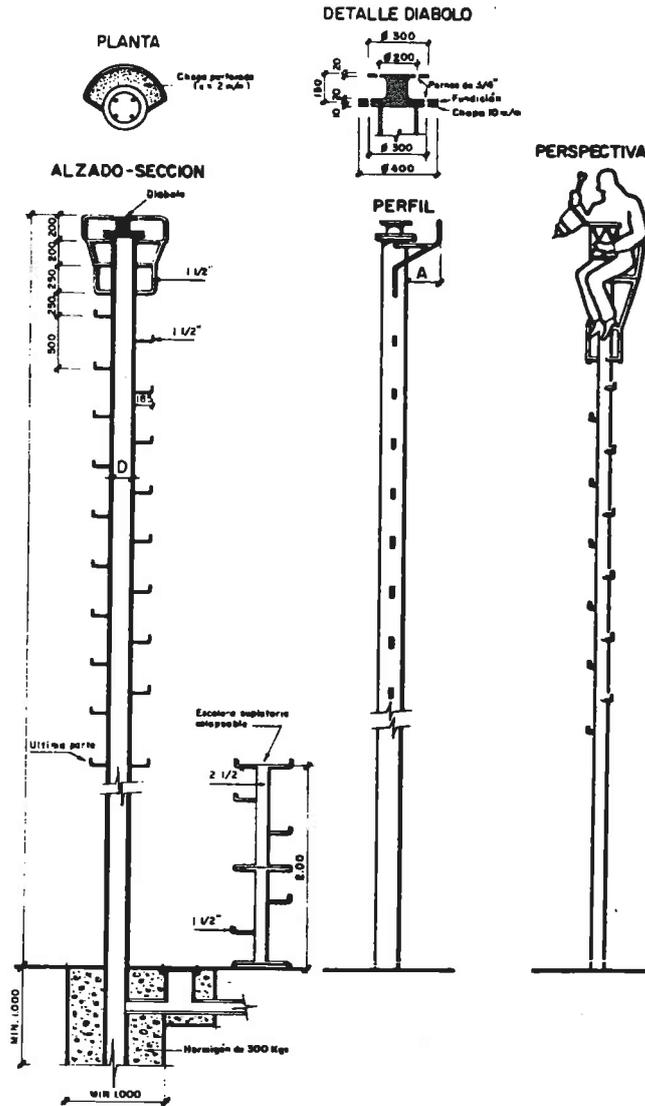
VII-1.5.4.- Torretas

Se exponen a continuación algunos de los tipos de torretas, principalmente de fábrica, de mayor utilización en los servicios españoles. Las torretas metálicas no son aconsejables con carácter general a causa de los efectos de la oxidación.

El cálculo de las torretas se efectuará tal como se indica en VII.1.5.2.

VII-1.5.5.- Torres y torretas utilizadas como balizamiento diurno

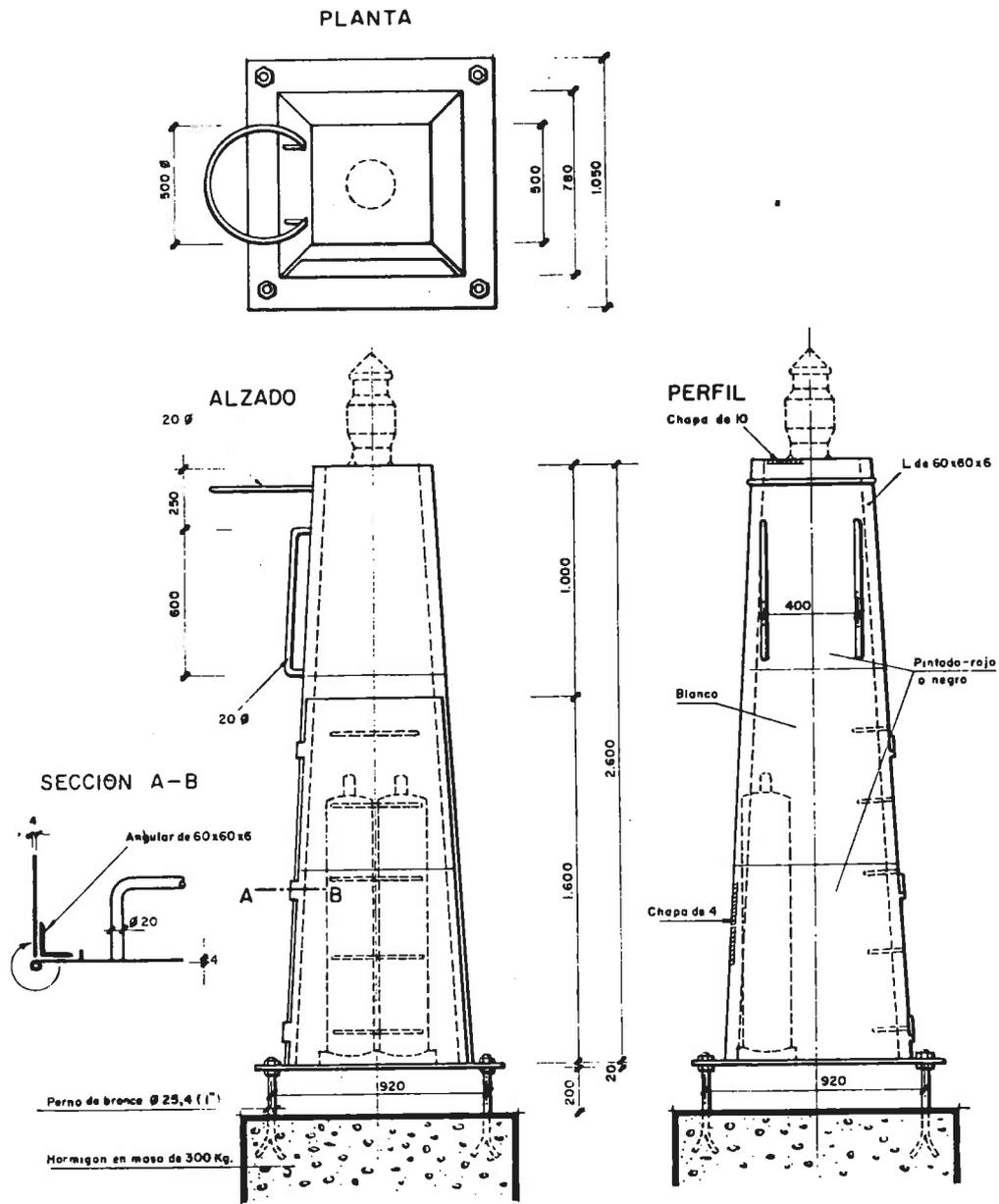
Con la descripción que aparece en la séptima columna del "Libro de Faros y Señales de Niebla", las torres y torretas constituyen un balizamiento diurno como ayuda a la navegación. Por ello sus dimensiones pueden ser mayores que las estrictamente adaptadas a las necesidades de soporte y alojamiento de instalaciones, eligiéndose asimismo unos dibujos y franjas en función del alcance exigido, que depende de la visibilidad meteorológica.



Clase de las unidades de obra	Ud.	Cubicación	Precio unitario Ptas.1985	Presupuesto parcial Ptas. 1985	Observaciones
Excavación.	m3.	1,50	5.400	8.100	* Profundidad de cimiento, 1,50 m.
Hormigón en masa de 300 kg. de c.p. en cimientos.	m3.	1,50	35.000	52.500	* Profundidad de cimiento, 1,50 m.
Tubo de acero de 260 mm., diámetro exterior.	m.	9,-	13.000	117.000	* Altura vista 7,50 m.
Acero en tubos y chapas, pintado y colocado en obra.	kg.	60,56	300	18.168	
TOTAL PESETAS				195.768	

Nota: los elementos marcados por * son variables según la altura.

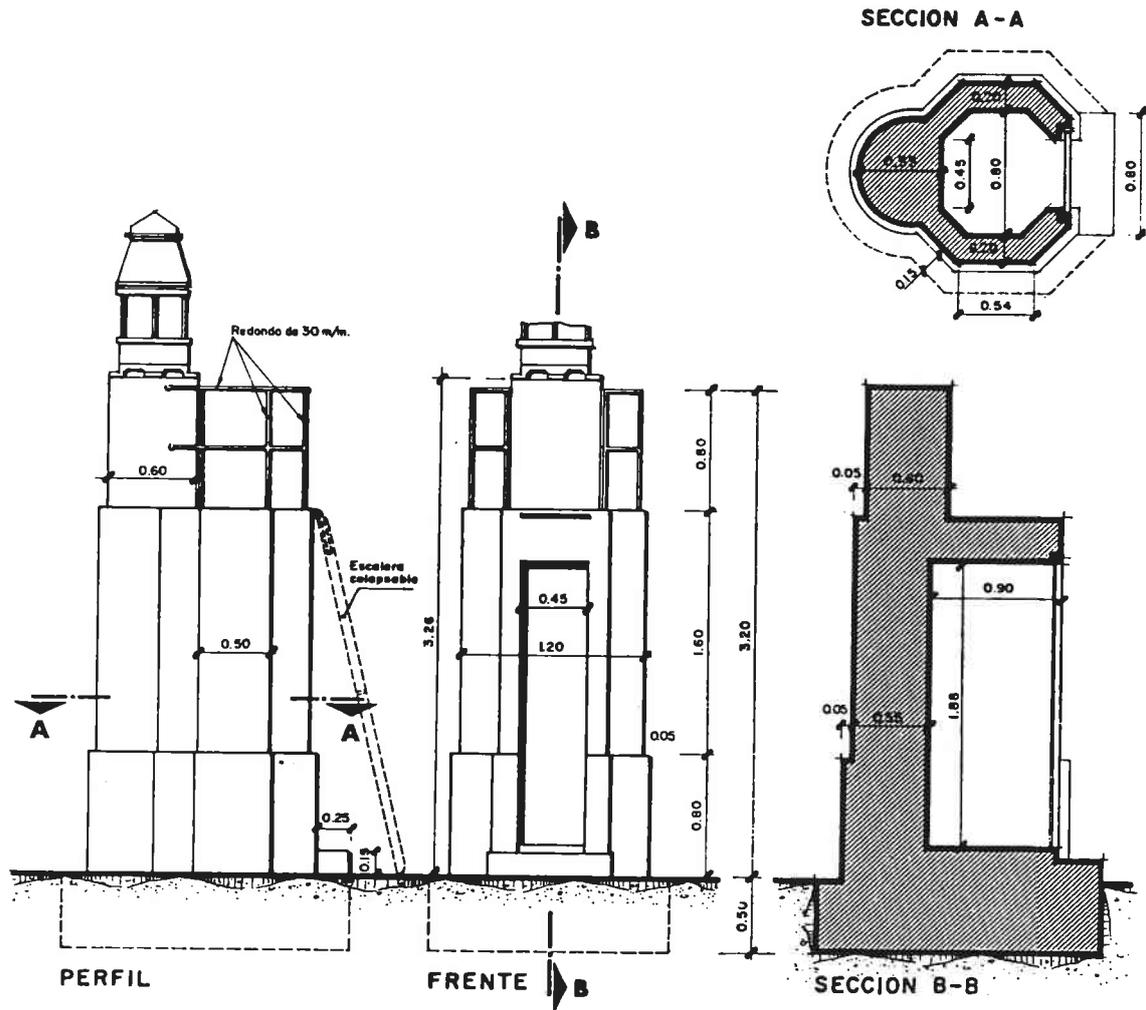
Figura VII.44. Torreta nº 1. Soporte para linterna de baliza eléctrica



Clase de las unidades de obra	Ud.	Cubicación	Precio unitario Ptas. 1985	Presupuesto parcial Ptas. 1985	Observaciones
Excavación	m3.	1,44	5.400	7.776	* Espesor de cimientos de un metro.
Pernos de 1" de bronce	kg.	7,20	2.500	18.000	
Acero en chapas angulares y redondos.	kg.	523,38	300	157.014	
Hormigón en masa de 300 kg. c.p./m2.	m3.	1,44	35.000	50.400	Incluso encofrado y desencofrado.
Pintado de superficies metálicas.	m2.	21,00	500	10.500	
TOTAL PESETAS				243.690	

Nota: los elementos marcados por * son variables según la altura.

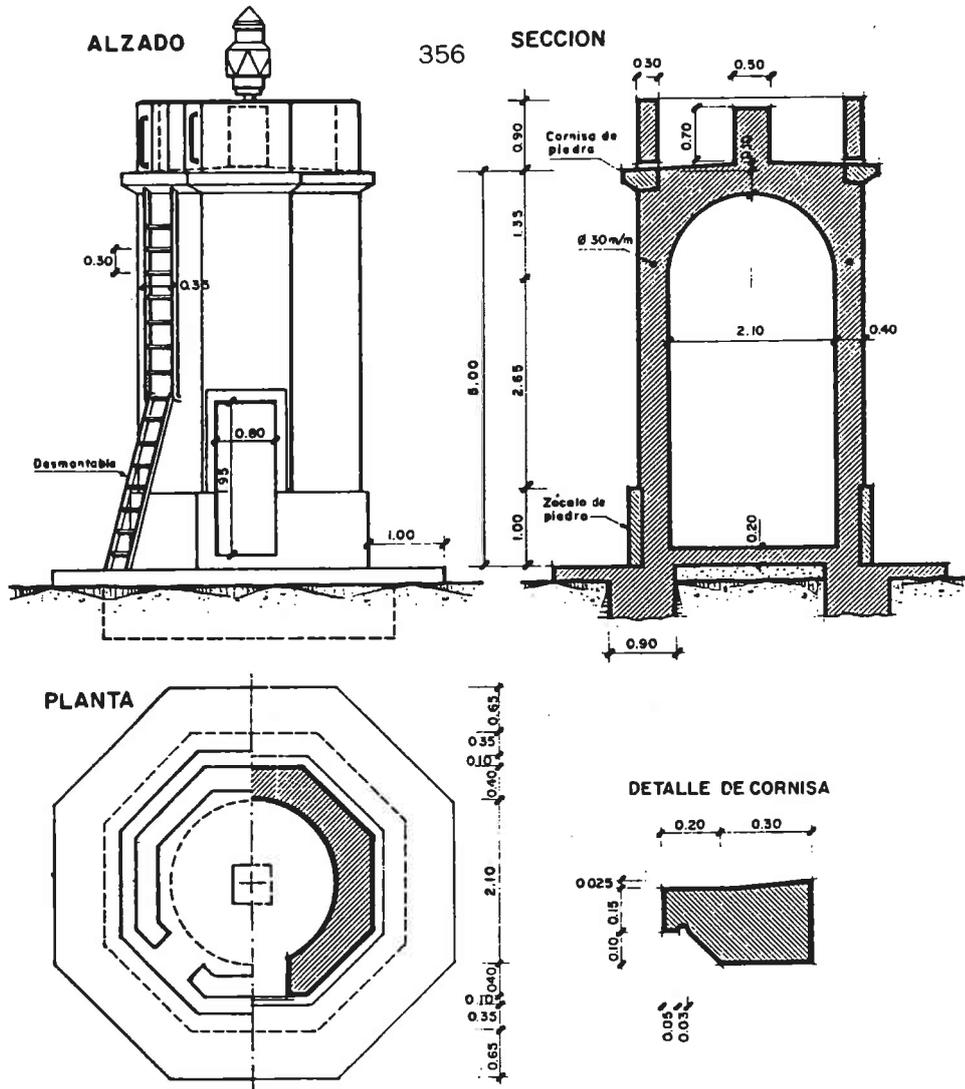
Figura VII.45. Torreta metálica nº 2. Para balizamiento



Clase de las unidades de obra	Ud.	Cubicación	Precio unitario Ptas.1985	Presupuesto parcial Ptas. 1985	Observaciones
Excavación	m3.	0,38	5.400	2.052	* Profundidad 0,50 m.
Hormigón ciclópeo de 250 kg. de c.p. por metro cúbico.	m3.	0,38	25.000	9.500	Incluso encofrado y desencofrado.
Hormigón moldeado de 300 kg. de c.p. por metro cúbico.	m3.	2,29	35.000	80.150	Incluso encofrado y desencofrado.
Puerta de acceso.	m2.	0,88	25.000	22.000	Incluso instalación.
Acero en redondos y pletinas, pintado y colocado en obra.	kg.	104,86	300	31.458	
Zócalo de piedra caliza.	m2.	3,58	600	2.148	
Pintado al agua.	m2.	35,66	350	12.481	
TOTAL PESETAS				159.789	

Nota: los elementos marcados por * son variables según la altura.

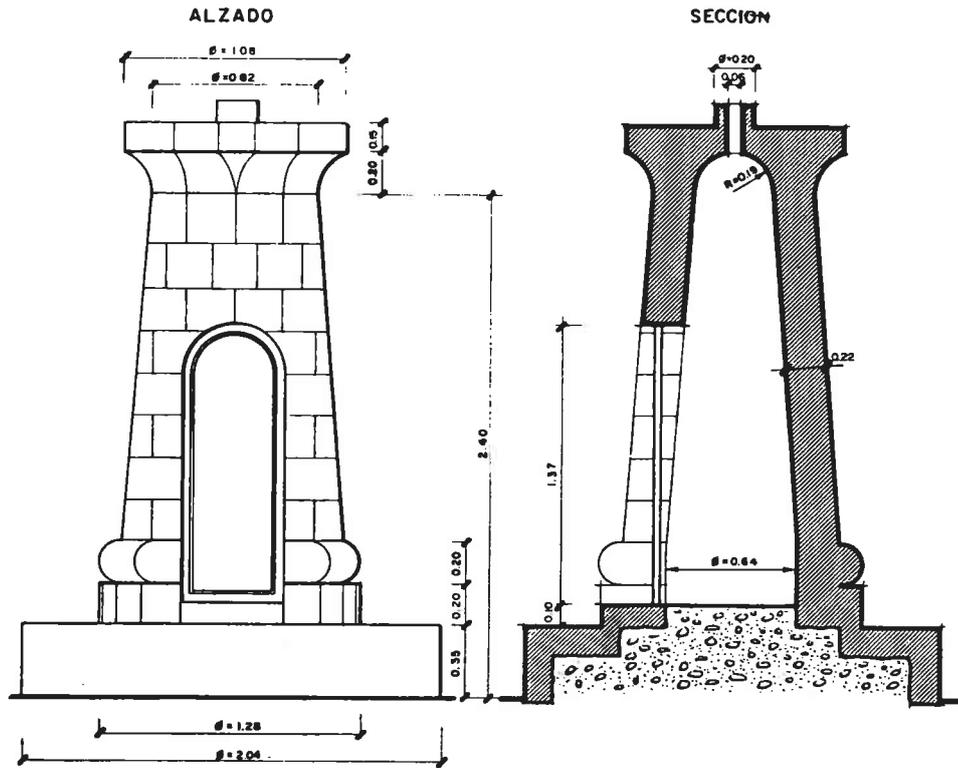
Figura VII.46. Torreta nº 3. Luces en morros de diques, aún sometidas ligeramente a la acción del roción



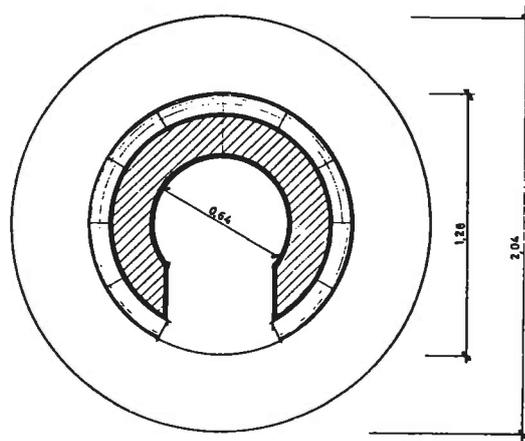
Clase de unidades de obra	Ud.	Cubicación	Precio unitario Ptas.1985	Presupuesto parcial Ptas. 1985	Observaciones
Excavación	m3.	7,91	5.400	42.714	* Espesor de cimientos de un metro.
Hormigón ciclópeo de 250 kg. de c.p. por metro cúbico en cimientos.	m3.	4,75	25.000	118.750	Incluso encofrado y desencofrado.
Hormigón moldeado de 300 kg. de c.p. por metro cúbico.	m3.	24,26	35.000	849.100	Incluso encofrado y desencofrado.
Cornisa.	m3.	1,4	15.000	21.000	Incluso encofrado y desencofrado.
Zócalo de piedra caliza.	m2.	10,05	600	6.030	Incluso encofrado y desencofrado.
Enfoscado con mortero de c.p. y pintado al agua.	m2.	78,91	1.000	78.910	
Acero redondo.	kg.	63,55	60	3.813	
Acero en tubos y pletinas, pintado y colocado.	kg.	50,18	300	15.054	Incluso instalación
Puerta de acceso.	m2.	1,56	15.000	23.400	
TOTAL PESETAS.....				1.158.771	

Nota: los elementos marcados por * son variables según la altura.

Figura VII.47. Torreta nº 4. En puntos alcanzados por los rociones

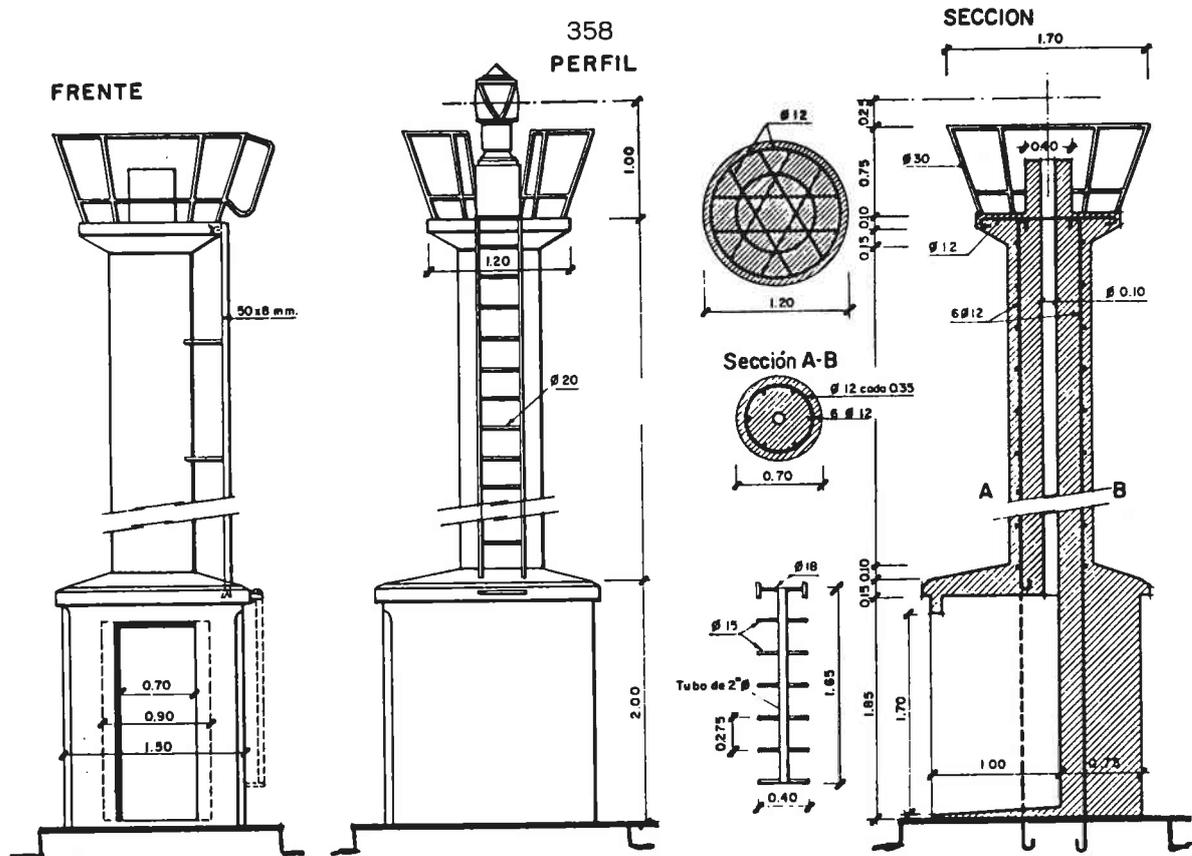


PLANTA



Clase de las unidades de obra	Ud.	Cubicación	Precio unitario Ptas. 1985	Presupuesto parcial Ptas. 1985	Observaciones
Excavación.	m3.	4,30	5.400	23.220	
Hormigón ciclópeo de 250 kg. de c.p. por metro cúbico en cementos.	m3.	5,07	25.000	126.750	Incluso encofrado y de sencofrado.
Sillería caliza.	m3.	1,79	1.125	2.014	
Puerta de acceso.	m2.	0,68	15.000	10.200	Incluso instalación.
TOTAL PESETAS.....				162.184	

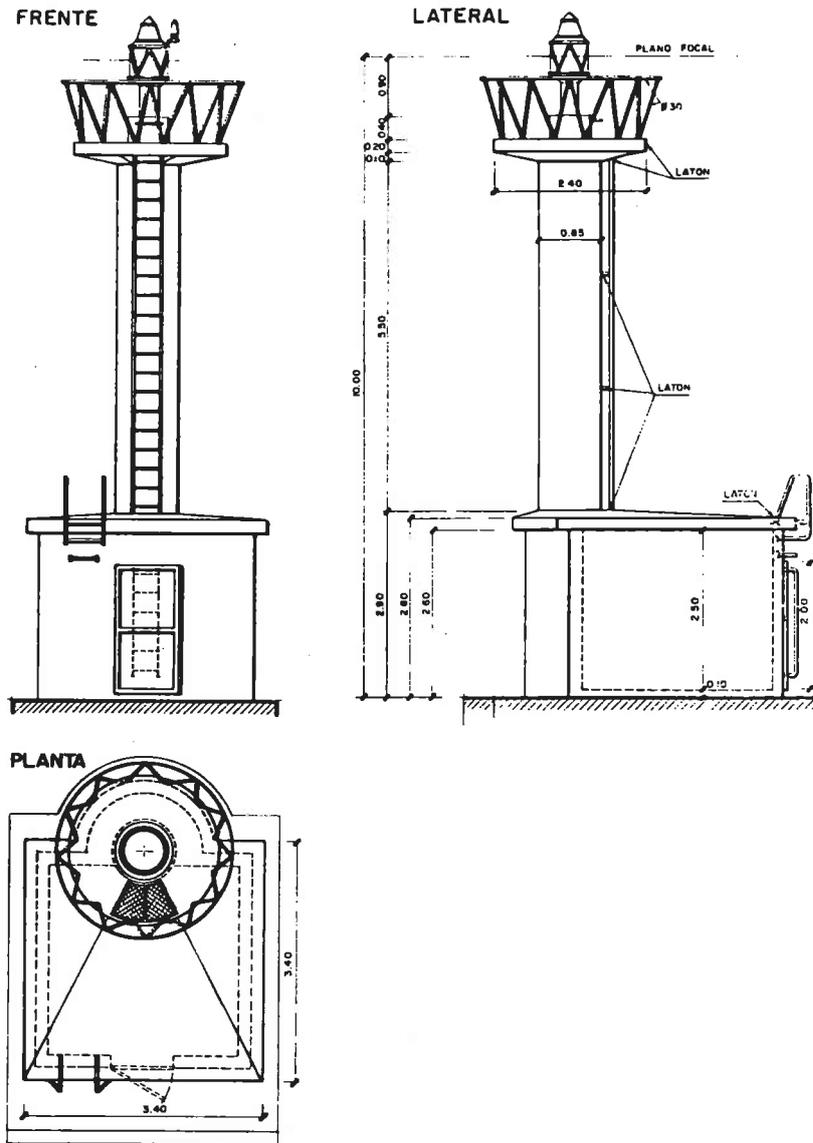
Figura VII.48. Torreta nº 5. En morros de diques, donde consideraciones estéticas exijan el empleo de piedra labrada. Instalación eléctrica



Clase de las unidades de obra	Ud.	Cubicación	Precio unitario Ptas.1985	Presupuesto parcial Ptas. 1985	Observaciones
Hormigón ciclópeo de 250 kg. de c.p. por metro cúbico en cimientos, incluido excavación.	m3.	6,87	25.000	171.750	Incluso encofrado y desencofrado. * Espesor de cimientos 1 m.
Hormigón para armar de 350 kg. de c.p. por metro cúbico.	m3.	3,97	45.000	178.650	Incluso encofrado y desencofrado. Sin columna o fuste
Hormigón para armar de 350 kg. de c.p. por metro cúbico.	m3.	1,15	45.000	51.750	Incluso encofrado y desencofrado. Columna de tres metros.
Acero redondo en armaduras.	kg.	12,68	60	761	Sin columna o fuste.
Acero redondo en armaduras.	kg.	74,92	60	4.495	* Columna de tres metros.
Acero en chapas, redondos y pletinas en elementos metálicos.	kg.	340,30	300	102.090	
Pintado al agua.	m2.	20,95	350	7.333	Sin columna o fuste.
Pintado al agua.	m2.	6,59	350	2.307	* Columna de tres metros.
Tubo de fibrocemento de 10 cm. de diámetro.	ml.	4,-	412	1.648	* Columna de tres metros.
TOTAL PESETAS.....				520.784	

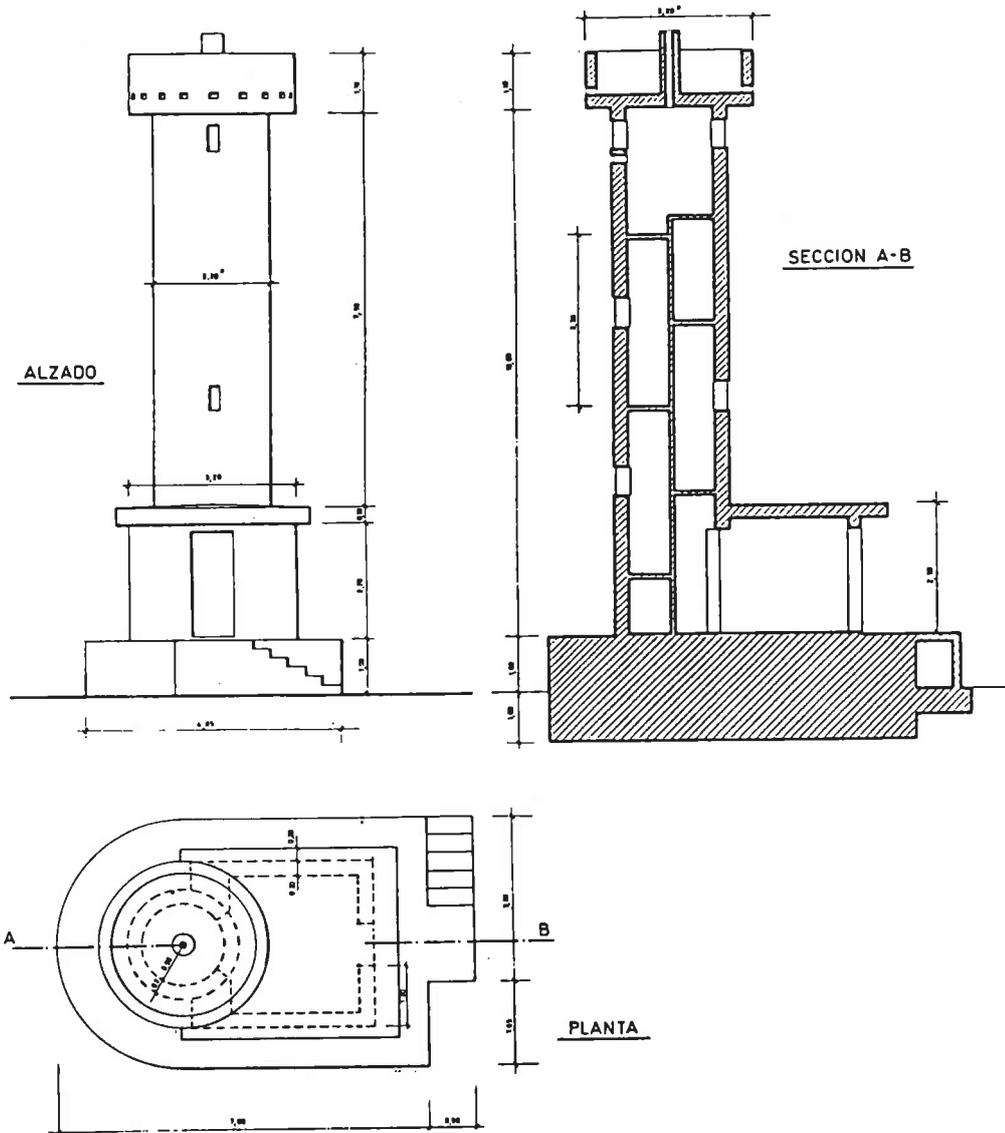
Nota: Los elementos marcados por * son variables según la altura.

Figura VII.49. Torreta nº 6. En morros de diques y en puntos del litoral sometidos a la acción de los rociones. Para alturas de columna no superiores a 3 m. se puede adaptar diámetro de 50 cm. en lugar de 70 cm. Instalación eléctrica o de acetileno. Linternas para ópticas de hasta 500 mm.φ



Clase de las unidades de obra	Ud.	Cubicación	Precio unitario Ptas. 1985	Presupuesto parcial Ptas. 1985	Observaciones
Excavación	m ³ .	14,14	5.400	76.356	
Hormigón ciclópeo de 250 kg. de c.p. por metro cúbico.	m ³ .	15,64	25.000	391.000	Incluso encofrado y desencofrado.
Hormigón para armar de 350 kg. de c.p. por metro cúbico.	m ³ .	21,23	45.000	955.350	Incluso encofrado y desencofrado.
Acero redondo en armaduras.	kg.	556,52	60	33.391	
Tubo de fibrocemento ligero de diez cm. de diámetro.	m ¹ .	10,-	412	4.120	
Hormigón en masa de 250 kg. de c.p. por metro cúbico.	m ³ .	8,60	25.000	215.000	Incluso encofrado y desencofrado.
Pintado al agua.	m ² .	114,62	350	40.117	
Acero en perfiles laminados, chapas y redondos, pintado y colocado en obra.	kg.	682,51	300	204.753	
TOTAL PESETAS.....				1.920.087	

Figura VII.50. Torreta n° 7. En balizas de importancia con ópticas de hasta 800 mm. Instalaciones eléctricas o de acetileno



Clase de las unidades de obra	Ud.	Cubicación	Precio unitario Ptas.1985	Presupuesto parcial Ptas. 1985	Observaciones
Excavación.	m3.	30,6	5.400	165.240	* Espesor de cimientos de 1 m.
Hormigón de 225 kg. de c.p. por metro cúbico.	m3.	84	15.000	1.260.000	Incluso encofrado y desencofrado.
Acero en redondos.	kg.	1.533	58	88.914	
Peldaños prefabricados y colocados.	ud.	40	2.800	112.000	
Puerta de acceso.	ud.	1	38.000	38.000	Forrada de chapa de acero inoxidable.
Pintado de interior y exterior.	m2.	168	800	134.400	Pintura acrílico vinílica.
Escotilla de acero inoxidable instalada.	ud.	1	21.000	21.000	
TOTAL PESETAS.....				1.819.554	

Nota: los elementos marcados con * son variables según la altura.

Figura VII.51. Torreta nº 8. Instalación de acetileno

VII-1.6.- Cálculo de embarcaderos

VII-1.6.1.- En zonas abrigadas

Se entenderá que el paraje corresponde a una zona abrigada cuando se conozca que la ola incidente no rompe en ningún caso.

En estas situaciones podrán adoptarse los perfiles tipo que se exponen en la tabla VII.18., donde:

- a = ancho en metros del embarcadero de hormigón.
- h = semiprofundidad máxima en metros.
- σ = máxima carga de trabajo sobre fondo y fábrica en el ángulo interior inferior del espigón, en kg/cm².
- S = sección en centímetros cuadrados del acero de perfiles hincados en cm²/ml. de espigón.
- R en a/3 = expresa la hipótesis de que la resultante pasa por el extremo del núcleo central.
- R en a/6 = expresa la hipótesis de que la resultante pasa a la distancia de 1/6 de la base en relación con el extremo interior.
- γ = peso específico (Tm/m³) aparente (sumergido) o real (emergido) de fábrica.

VII-1.6.2.- Sometidos al oleaje rompiente

Es el caso habitual en que los embarcaderos con ocasión de los temporales, por hallarse ubicados en zonas de escaso calado, están sometidos a las rompientes.

El límite práctico de aplicación de los perfiles de la tabla VII.18. es:

$$2 h = 3 \text{ metros}$$

Se supone que la plataforma costera es de suaves pendientes hasta la obra y que el fondo es insocavable. En el caso de considerar la pendiente del fondo deben aplicarse los coeficientes de las figuras VII.42. y VII.43.

Si el oleaje incide muy oblicuamente sobre la obra, puede multiplicarse el espesor teórico obtenido a por el coseno del ángulo que forma la dirección de propagación del oleaje con la normal al eje del embarcadero. La separación entre perfiles de acero puede aumentarse dividiendo por dicho coseno. En todo caso es aconsejable una prudente disminución de este ángulo en el cálculo hasta un valor mitad.

VII-1.7.- Pararrayos y tomas de tierra

VII-1.7.1.- Pararrayos

VII-1.7.1.1. Disposición general

Deberán tenerse en cuenta las siguientes normas:

PERFIL TIPO		REFLEXION		ROTURA				
Nº	a y h en m; σ en Kg./cm.; S en cm. ² /m.l. ²	R.a l/3 a		R.a l/6 a		R.a l/3 a		Perfil Acero
		a	σ	a	σ	a	σ	S
1	<p> $S = 2c \ 30 \text{ Kg./m.l. a } \frac{3.26}{h^2} \text{ m.}$ $S = 2c \ 35 \text{ Kg./m.l. a } \frac{3.82}{h^2} \text{ m.}$ </p> <p>NO ES DE APLICACION</p>	2.59 h	1.31 h	4.64 h	1.84 h	6.46 h	0.89 h	23.5 h ²
2	<p> $S = 2c \ 30 \text{ Kg./m.l. a } \frac{3.26}{h^2} \text{ m.}$ $S = 2c \ 35 \text{ Kg./m.l. a } \frac{3.26}{h^2} \text{ m.}$ </p> <p>NO ES DE APLICACION</p>	2.05 h	1.54 h	4.52 h	1.87 h	6.16 h	0.89 h	23.5 h ²
3	<p> $S = 2c \ 30 \text{ Kg./m.l. a } \frac{3.02}{h^2} \text{ m.}$ $S = 2c \ 35 \text{ Kg./m.l. a } \frac{3.55}{h^2} \text{ m.}$ </p>	2.94 h	0.66 h	5.61 h	1.21 h	8.97 h	0.53 h	21.1 h ²
4	<p> $S = 2c \ 30 \text{ Kg./m.l. a } \frac{4.72}{h^2} \text{ m.}$ $S = 2c \ 30 \text{ Kg./m.l. a } \frac{5.54}{h^2} \text{ m.}$ </p>	2.18 h	0.68 h	5.35 h	1.10 h	7.93 h	0.60 h	16.2 h ²

Tabla VII.18. Dimensionamiento de embarcaderos

- Colocar un dispositivo para captar y conducir el rayo en todos aquellos puntos particularmente amenazados.
- Unir a tierra estos dispositivos por medio de un conductor de sección suficiente y por el camino más directo posible.
- Disponer una toma de tierra de escasa resistencia eléctrica.
- Evitar la proximidad de los conductores del pararrayos a otros conductores (destinados a otras finalidades) susceptibles de formar parte de un camino inadecuado para el descenso del rayo hasta el suelo.
- Evitar la presencia de masas metálicas aisladas en los edificios o sus proximidades e integrar, en la medida de lo posible, todas las partes conductoras a un sistema de conductores puestos a tierra.

VII-1.7.1.2.- Dispositivos de captación

Se dispondrán barras con puntas múltiples dominando las construcciones vecinas, que podrán completarse con conductores lineales, superficies o masas metálicas, como son las barandillas, quitamiedos, canalones o goterones debidamente dispuestos tanto en distribución como en sección.

Los pararrayos no se multiplicarán excesivamente, siendo suficiente repartir los dispositivos de captación de modo que ningún punto de las superficies de los techos se encuentre a distancia superior a 10 metros de cualquiera de ellos.

VII-1.7.1.3.- Bajantes

La bajante es un conductor que conecta los dispositivos de captación con las tomas de tierra.

Salvo casos excepcionales, se dispondrán dos bajantes de pararrayos, una de ellas interior con un conductor de igualación de potenciales dentro de la torre.

Las instalaciones protegidas deben tener al menos una bajante exterior, preferiblemente dos en los faros de altura superior a los 20 metros.

Las bajantes deben cumplir las siguientes condiciones:

- a) Los conductores de las bajantes serán de una sola pieza, sin uniones hasta las tomas de tierra. Todas las bajantes se unirán inferiormente (a ser posible, bajo el suelo) por medio de un conductor de acoplamiento.
- b) Las bajantes deberán ser rectilíneas, sin bucles ni codos pronunciados, reduciendo al máximo la impedancia. Deben evitarse ángulos agudos inferiores a 30°.
- c) Si un punto T de una bajante se encuentra situado de otro punto P de un conductor o masa metálica unido

a tierra a una distancia PT tal que el camino a tierra L por la bajante del pararrayos es superior a diez veces la distancia PT, se estimará que el acercamiento PT es peligroso, y se conectarán uno a otro metálicamente.

- d) Todas las masas metálicas aisladas deberán conectarse a las bajantes. Si se trata de canalizaciones verticales, se conectarán entre sí en la parte superior y se pondrán a tierra en su parte inferior a una toma común. Las escaleras metálicas estarán unidas a la bajante interior en la parte superior e inferior de la torre, y si se presenta el caso, en puntos intermedios cada 20 metros. En ciertos faros, donde no existe canalización de alimentación interior, y donde la escalera es buena conductora, no existe bajante interior. La rampa se conecta en varios puntos, espaciados a lo sumo 20 metros, a la bajante exterior.
- e) Los cuadros eléctricos, las emisoras, los herrajes, los armarios metálicos de aparatos eléctricos y piezas metálicas en general deben conectarse a la bajante interior.
- f) Si no se puede conectar un conductor a una bajante, es necesario que se cumpla, además, que la distancia mínima expresada en metros entre el conductor y la bajante sea igual o superior a la quinta parte de la resistencia global expresada en ohmios de las tomas de tierra conectadas a la instalación.
- g) La sección mínima de los conductores de las bajantes será de 50 milímetros cuadrados, quedando proscrita la utilización de aluminio. El acero se dispondrá galvanizado.
- h) En conductores eléctricos se dispondrán elementos especiales regulados de manera que protejan los conductores interesados en el momento en que se produzcan las corrientes más intensas del rayo, asegurando el aislamiento requerido para el servicio normal de los referidos conductores.
- i) Las bajantes exteriores deberán estar protegidas de los efectos de la corrosión.
- j) La unión de elementos metálicos no asegura en general una continuidad eléctrica suficiente, por lo que será necesario prever tomas de masa y conectarlas entre ellas mediante elementos de cobre estableciendo buenos contactos.
- k) Los conductos de agua y de gas estarán conectados a las masas y bajantes, no sólo en la base y parte superior de las instalaciones, sino también en todos los puntos donde estas conducciones se encuentren a una distancia inferior a 20 centímetros de un conductor o bajante.

VII-1.7.2.- Tomas de tierra

VII-1.7.2.1.- Generalidades

Los factores que caracterizan una toma de tierra son la conductividad del terreno y el contacto entre terreno y conductor.

Salvo mayores exigencias de las condiciones de las bajantes, es conveniente que la resistencia de la toma sea del orden de 10 ohmios o inferior. Si las malas condiciones del terreno obligan a una resistencia mayor, deben adoptarse conductores enterrados de gran desarrollo. Cuanto mayor es la resistencia, menor es la protección, que aún es apreciable con algunas decenas de ohmios.

En terrenos de buena conductividad pueden adoptarse piquetes o placas metálicas.

En terrenos de mala conductividad -caso frecuente en los faros ubicados en terrenos rocosos y secos- deben adoptarse tomas constituidas por conductores en forma de patas de gallo, bucles o rejillas. Las patas de gallo permiten disponer cada ramal siguiendo grietas o vetas donde cabe esperar una mejor conductividad. Los bucles enterrados se disponen rodeando la torre o construcción que debe protegerse.

El estado de las tomas de tierra debe ser verificado con frecuencia, al menos una vez al año, preferentemente antes de periodos de tormentas.

Cada toma de tierra debe estar provista, en sus conexiones a las bajantes, de una junta de cortadura. Esta junta, fácilmente visible y accesible, será un pasador bulonado.

Las diferentes tomas de tierra de una misma instalación deben estar conectadas mediante juntas de cortadura.

VII-1.7.2.2.- Dimensionamiento

El dimensionamiento de las tomas de tierra es función de la resistencia, que depende del terreno. Esta resistencia no depende en las tomas de la sección del conductor, sino de su longitud o perímetro del terreno afectado:

- En un piquete o cable: $\frac{\rho}{L}$ ohmios.

- En una placa circular: $\frac{\rho}{6 R}$ ohmios.

- En bucles, patas de gallo o parrillas: $\frac{2\rho}{P}$ ohmios. Donde:

L = longitud del piquete o cable sólo en metros.

R = radio de la placa en metros.

P = perímetro del terreno afectado (figura del bucle o polígono de vértices, de los extremos de los ramales de cables o barras de

parrillas) en metros.

ρ = resistividad homogénea del terreno en ohmios-metro que tiene los siguientes valores:

- En terrenos buenos de tierra vegetal o arcilla algo húmeda: de 20 a 100 ohmios-metro.
- En terrenos de arena húmeda, según el grado de humedad: de 40 a 300 ohmios-metro.
- En terrenos arenosos secos: de 100 a 1.000 ohmios-metro.
- En terrenos pedregosos secos: de 200 a 2.000 ohmios-metro.
- En terrenos de pizarras y esquistos de 500 a 1.000 ohmios-metro.
- En terrenos calizos de 1.000 a 1.500 ohmios-metro.
- En terrenos de molasas de 1.500 a 5.000 ohmios-metro.

La resistividad puede reducirse a menos de la mitad si el terreno está muy humedecido y fuertemente impregnado de sales, como sucede en las tomas bajo el nivel del mar. En este caso deben tomarse medidas contra la corrosión.

Se evitará que los conductores queden envueltos por piedra o grava. Por el contrario, se rodearán de un lecho de polvo o tierra fina, al que podrá agregarse algún producto para mejorar la conductividad (polvo de carbón, sal).

Las diversas tomas de tierra se unirán entre sí y a las conducciones de agua metálicas.

VII-1.7.2.3.- Medida del valor de la resistencia de una toma de tierra

La medición se referirá al dispositivo adoptado para la unión conductora entre las partes metálicas, que deben conectarse a tierra, y el terreno.

Se entenderá como valor de dicha resistencia el correspondiente a la existente entre el conductor que debe conectarse a tierra y los puntos de la tierra llamados "de potencial cero".

Se admitirá, salvo mediciones especiales, que se obtienen estos puntos de potencial cero cuando las distancias comprendidas entre la tierra que se comprueba (téngase en cuenta su desarrollo subterráneo si se trata de "patas de gallo" o bucles) y las sondas o piquetes del medidor sean superiores a veinte metros; asimismo, la distancia existente entre sondas ha de ser superior a dicha distancia.

La hincada de sondas o piquetes ha de ser de treinta centímetros como mínimo y estar en franco contacto con el terreno, mejorado, si fuera dudoso, con un riego de salmuera.

El modo práctico de proceder resulta ser el siguiente:

- a) Se elige un medidor portátil con escalas comprendidas

entre décimas de ohmio y millares de ohmio (por ejemplo, el Geohm de Gossen Española, S.A. tiene escalas de 0,1; 1; 10 y 100, que corresponden a 0-5 ohm; 0-50 ohm; 0-500 ohm y 0-5.000 ohm) .

b) Con una pinza se produce un franco contacto eléctrico en la bajante del pararrayos o punto donde interesa medir la tierra (también es conveniente medir las tierras de la instalación de fontanería para comprobar el cumplimiento de las normas relativas a mínimos de distancia) .

c) Aprovechando bolsadas de tierra (si el terreno es rocoso) o intersticios de la roca rellenos de tierra, se cavan o enroscan las sondas (normalmente dos) .

d) Se mide seguidamente en la escala conveniente del medidor, previa comprobación del buen estado de las pilas. Téngase en cuenta que la variación según la humedad puede alcanzar valores del 200 y hasta del 300 por 100; si se admite, pues, el valor máximo de 10 ohmios, y el terreno está con humedad, no podrán tolerarse más de 3 ó 4 ohmios; procede, entonces, disponer más barras, bucles o ramales, si hubiera de disminuirse la resistencia .

e) Si, conforme a normas, hay bajante exterior e interior conectadas, cada una con su tierra, el valor hallado R corresponderá al conjunto de los dos R_1 y R_2 :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

El valor que previamente se ha estimado como admisible no es R, sino el menor de R_1 y R_2 , calculados mediante las expresiones de VII.1.7.2.2 .

VII.1.7.3.- Tomas en el mar

En las instalaciones situadas en el mar o en sus proximidades, es preferible disponer de una toma de mar, que puede adjuntarse a las tomas de tierra .

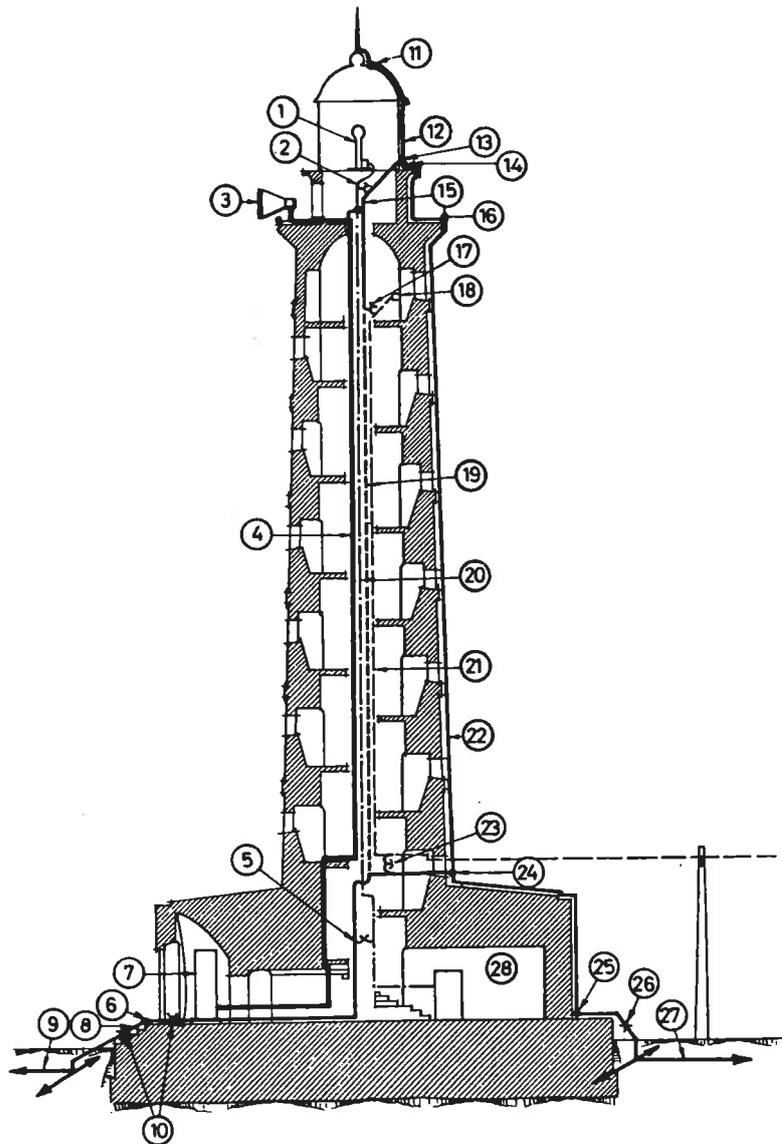
Una toma de mar está constituida por un conductor situado bajo el agua .

Este conductor tendrá una longitud mínima de 10 metros bajo el nivel del mar y terminará en una placa de 1 m² de superficie, aproximadamente, o en un paquete de cadenas, en el cual estará incluido un conductor de, al menos, 5 metros de longitud o en un piquete hundido en la arena, a una profundidad de 2 ó 3 metros, cuando esto sea posible .

En el caso de torretas, puede utilizarse, tan sólo, una placa de 0,25 m² de superficie, situada, al menos, a una profundidad de 1 metro del nivel del mar .

VII.1.7.4.- Disposiciones especiales en las torres

Además de las normas generales expuestas, se adoptarán las medidas siguientes:



- | | |
|--|---|
| 1.- Lámpara de faro | 17.- Pararrayos de protección del teléfono |
| 2.- Pararrayos y protección del foco | 18.- Teléfono |
| 3.- Señal acústica | 19.- Bajante interior |
| 4.- Conducto de aire comprimido de la señal acústica | 20.- Cable de alimentación del foco |
| 5.- Pararrayos de protección del foco | 21.- Cable del teléfono |
| 6.- Anillo exterior | 22.- Bajante exterior |
| 7.- Calderín de aire comprimido | 23.- Pararrayos de protección del teléfono |
| 8.- Conductor de tierra | 24.- Unión interior-exterior con junta de cortadura |
| 9.- Toma de tierra del faro | 25.- Anillo exterior |
| 10.- Junta de cortadura | 26.- Junta de cortadura |
| 11.- Unión con la cúpula metálica | 27.- Toma de tierra del faro |
| 12.- Bajante exterior del pararrayos | 28.- Cuadro de aparatos del faro |
| 13.- Anillo interior | |
| 14.- Unión interior-exterior con junta de cortadura | |
| 15.- Conductor de tierra | |
| 16.- Anillo exterior | |

Figura VII.52.- Esquema de pararrayos en una torre de faro

- Conectar las canalizaciones no eléctricas con la linterna del faro .
- Acoplar las envolturas metálicas de las canalizaciones eléctricas a las canalizaciones no eléctricas y a la bajante interior del pararrayos .
- Disponer pararrayos especiales en las canalizaciones eléctricas, entre su extremo superior y la linterna. Estos pararrayos se regularán a un grado suficientemente bajo para proteger el aislamiento de las canalizaciones .
- Dotar a las canalizaciones eléctricas, en la base de la torre, de otra serie de pararrayos dispuestos entre cada conductor y tierra, si estos conductores no pueden ponerse directamente a tierra .

De este modo, la disposición de los elementos de protección del faro, tal como se expone en la figura VII.52, es la siguiente:

- Un pararrayos superior, situado a lo alto de la instalación. Cuando la linterna está coronada por antenas, es mejor superar la altura de las mismas por el pararrayos. En su defecto, se podrán utilizar pararrayos oblicuos alrededor de la galería de la torre .
- Un anillo exterior, situado alrededor de la galería exterior, del torreón o de la linterna. Puede estar equipado, en ocasiones, de pararrayos oblicuos .
- Una unión entre el pararrayos y el anillo exterior mediante uno o más conductores equidistantes .
- Un anillo interior en la base del torreón, al cual van unidos, lo más directamente posible, todos los aparatos eléctricos y piezas metálicas .
- Una unión lo más directa posible entre el anillo interior y el anillo exterior en 2, 3 ó 4 puntos equidistantes .
- Una unión lo más directamente posible entre el anillo interior y la bajante interior .

La zona protegida por el pararrayos corresponde al paraboloide de revolución de Findeisen, cuya meridiana es $y^2 = 8x$, conjugado con el cilindro de 16 m. de radio (véase figura VII.53) .

VII.1.7.5.- Disposiciones especiales en los radiofaros

Se adoptarán las medidas siguientes:

- Evacuar permanentemente las cargas eléctricas que tienden a acumularse en la antena .
- Proveer lo mejor posible a la antena y eventualmente al balancín o contrapeso, de pararrayos dispuestos entre su extremidad y una toma de tierra para dar salida a las intensas corrientes del rayo .
- Conectar cuidadosamente a tierra los mástiles no radiantes.

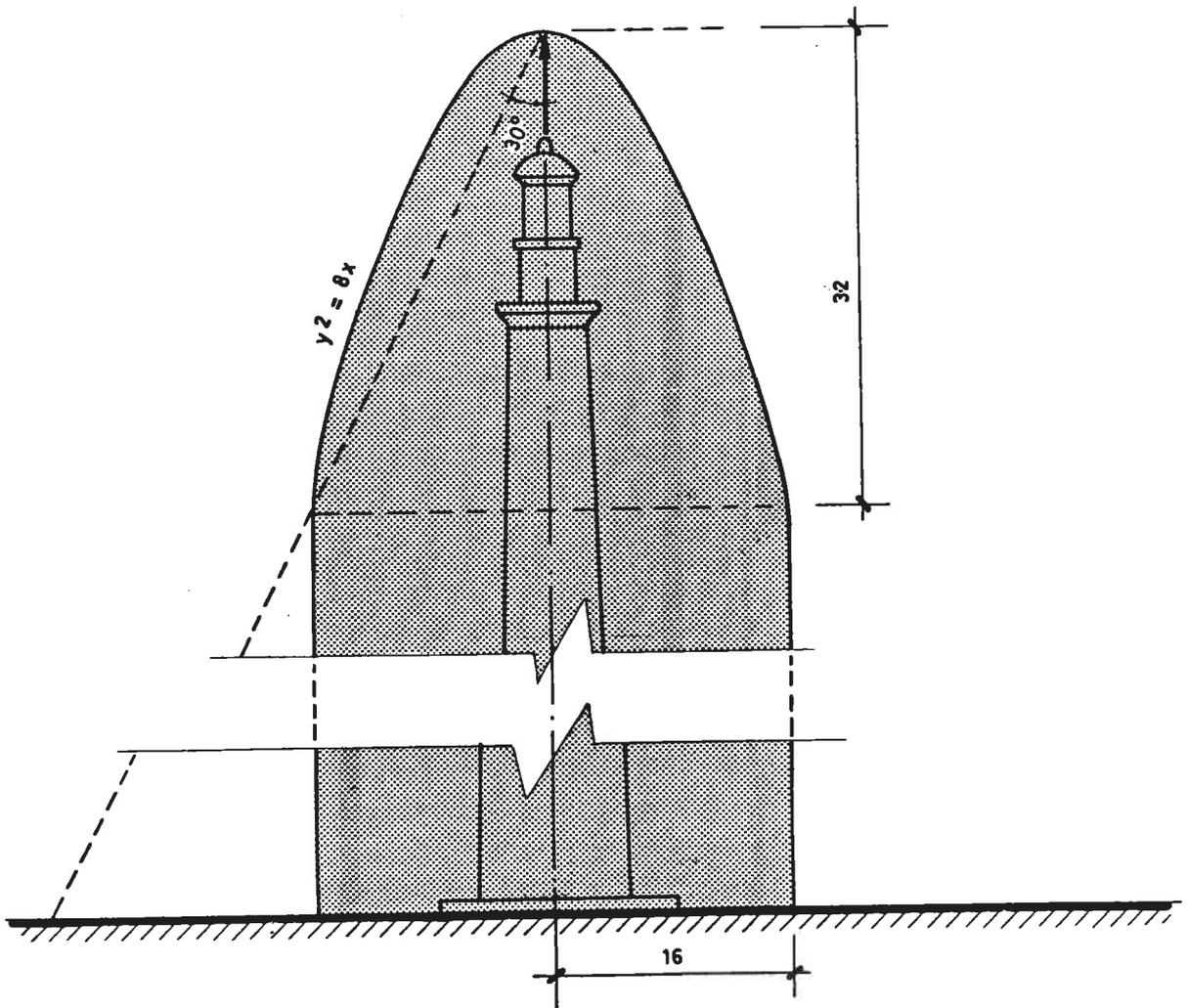


Figura VII.53.- Volumen protegido según Findeisen

- Poner permanentemente a tierra tanto el neutro de la línea eléctrica de alimentación del radiofaro como los aparatos de emisión y mando ubicados en la sala de aparatos .
- Adoptar medidas especiales, en caso de disponer líneas de alimentación de la señalización luminosa de mástiles radiantes aislados del suelo en su base .

En la figura VII.54 se expone, a título de ejemplo, un esquema de las disposiciones adoptadas en los radiofaros C.F.T.H.

La disposición del esquema permite poner directamente a tierra, por medio de inversores, la antena y la contra-antena, durante los trabajos u operaciones que eventualmente deban realizarse en estos elementos o en el emisor .

Durante el servicio, el emisor está conectado al contrapeso o a la contra-antena y a la antena. Esta última se une a la contra-an

tena con una resistencia de 20.000 ohmios, mientras que la contra-antena se une con una línea de muy poca resistencia .

Así se cumple la primera norma .

En paralelo con los inversores, se montan los pararrayos 1 y 2, por los que pasan las corrientes del rayo. Estos pararrayos e inversores se colocan lo más cerca posible del sistema de radiación, antes de las bobinas de inducción y de los condensadores de adaptación de antena .

En paralelo con la resistencia de unión a contra-antena, se monta un disruptor regulado para una tensión más baja que la de los pararrayos 1 y 2, a fin de evitar las sobretensiones, que, antes de alcanzar el valor de las de cebado de los pararrayos, podrían ser peligrosas para el emisor. Todos estos aparatos se alojan en local separado de la sala de emisores, al abrigo de inducciones .

Así se cumple la segunda norma .

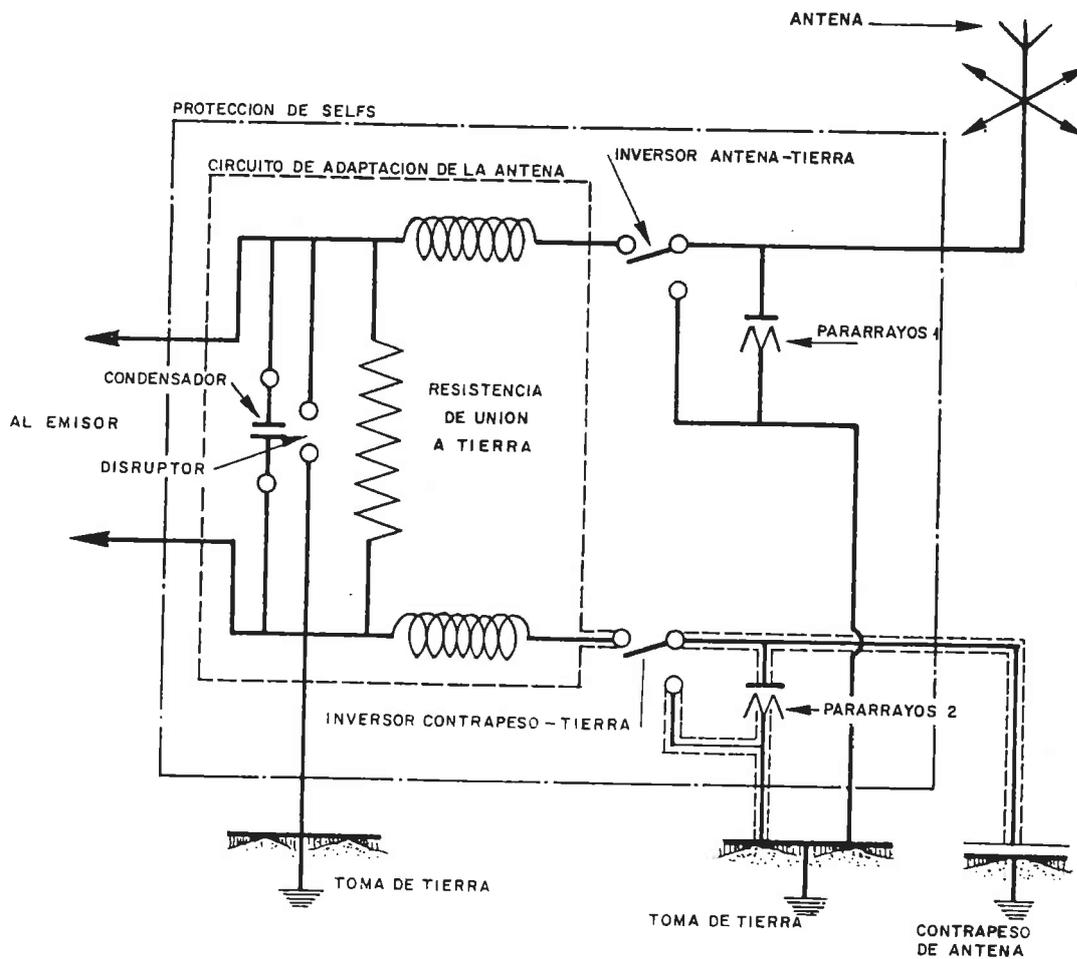


Figura VII.54.- Esquema de pararrayos en un radiofaro

TIPO DE MATERIAL	APLICACION
Punta de cobre de 50 cm., única o sobre tubos de acero galvanizado en cinc	Punta de pararrayos con enlace y cono de rechazo del agua
Soporte de punta de pararrayos	
Pletina de cobre con baño de estaño de 30 x 2 mm	Conductor de uso general para bajantes exteriores del pararrayos, anillo exterior, conductores de tierra, conductores de masa generales, bajantes interiores de grandes faros
Pletina de cobre con baño de estaño de 30 x 1 mm	Bajantes y anillos interiores, conductores de masa interiores
Pletina de aluminio de 30 x 3 mm	Bajantes de pararrayos y conductores de masa a utilizar sobre soportes en aleación de aluminio
Pletina bimetálica de 1'50 m de longitud	Intermediario en los enlaces entre cobre y aluminio
Grapas en acero galvanizado	Fijación de las pletinas sobre fábrica
Aislante para soporte metálico	Fijación de las pletinas con aislamiento anticorrosivo sobre soporte metálico
Junta de cortadura con funda	Junta exterior de cortadura de las bajantes a tierra, con funda de protección contra intemperie
Junta de cortadura interior	
Piqueta de tierra (Electrodo)	Toma de tierra en profundidad en terrenos de buena conductividad
Placa de cobre rojo vista para toma de tierra	Toma de tierra en superficie para terrenos de buena conductividad
Arqueta de pararrayos con varistancia*, sin disruptor	Protección de líneas de alimentación de baja tensión (127/220/380 V) mono fásicos o bifásicos
Disruptor de potencia, 110 V	
Disruptor de potencia 220 ó 380V	
Soporte de disruptor	
Disruptor para línea de muy baja tensión	Líneas telefónicas, alimentaciones de muy baja tensión (24V corriente continua)
Soporte de disruptor para línea de muy baja tensión	
Cable trenzado de toma de tierra de 15 x 1,5 mm	

Tabla VII.19.- Materiales utilizados en la protección de faros contra los efectos del rayo

* Varistancia: Conjunto formado por materiales conductores y aislantes que tiene una resistencia casi infinita, hasta tensión nominal, pero que, en caso de sobretensión, dicha resistencia se reduce hasta alcanzar un valor mínimo

Las disposiciones descritas permiten que las tormentas no produzcan daño en las instalaciones o que éstos sean de muy escasa consideración, y que el personal se encuentre suficientemente protegido si se separa, por lo menos, tres metros de cualquier elemento del circuito antena-emisores-tomas de tierra .

VII.1.7.6.- Materiales a utilizar

En la tabla VII.19 se exponen los materiales de frecuente aplicación .

Cuando las condiciones de servicio lo permitan, pueden utilizarse los siguientes materiales:

- a) La pletina de cobre con baño de estaño de 30 x 2 mm. puede reemplazarse por una pletina de dimensiones superiores, como la de 35 x 2 mm.
- b) La pletina de cobre con baño de estaño de 30 x 1 mm. puede ser reemplazada por un cable de cobre de sección equivalente .
- c) La pletina de cobre con baño de estaño de 30 x 2 mm. puede ser reemplazada, en las tomas de mar, por un cable de acero inoxidable de diámetro mínimo 9,5 mm.
- d) Las bajantes interiores de tierra de los faros pueden estar constituídas por cables de acero galvanizado con cinc, de diámetro mínimo 9,5 mm.

VII.1.7.7.- Precauciones a tener en cuenta

En ambiente marino, se produce corrosión debida al contacto de distintos materiales .

Los enlaces entre aleaciones de aluminio y de cobre deben realizarse mediante pletinas bimetal .

Deben evitarse los contactos acero-cobre mediante aislamientos .

Debe utilizarse un bulonado de acero galvanizado con cinc para asegurar los contactos .

VII.1.8.- Cálculo de líneas eléctricas

VII.1.8.1.- Condiciones de las instalaciones

Se tendrán en cuenta las que señalen las disposiciones vigentes, y, en especial, las siguientes:

- a) Real Decreto de 12 de Noviembre de 1.982, sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación (B.O.E. del 1 de Diciembre de 1.982) .
- b) Reglamento de Líneas eléctricas aéreas de alta tensión (Decreto del 28 de Noviembre de 1968, B.O.E. del 27 de Diciembre de 1.968) .
- c) Reglamento electrotécnico para baja tensión (Decreto del

TIPO	DENOMINACION	DIAMETRO TOTAL (mm) SECC.TOTAL mm ²	HILOS (nº) DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA ELECTRICA A 20° C (Ω/Km)	PESO P (Kg/Km)	MODULO ELASTICO FINAL E (Kg/mm ²)	COEFIC. DE DILATACION 10 ⁻⁵ /°C	CARGA ROTURA (Kg)
CONDUCTORES ALUMINIO - ACERO	LA 20	5'4 17'8	6 + 1 1'8	1'880	62	8.100	19'1	590
	LA 28	6'7 27'6	6 + 1 2'24	1'215	96			905
	LA 40	8'4 43'1	6 + 1 2'8	0'778	150			1.350
	LA 56	9'5 54'6	6 + 1 3'15	0'614	189			1.670
	LA 80	11'2 74'4	30 + 7 1'6	0'480	277	8.200	17'8	2.840
	LA 110	14'0 116'2	30 + 7 2'0	0'307	433			4.400
	LA 140	15'7 146'0	30 + 2 2'24	0'245	543			5.470
	LA 180	17'5 181'6	30 + 7 2'5	0'197	676			5.630
	HAWK	21'4 281'1	26 + 7 3'4 2'7	0'122	975	7.700	18'9	8.820
	GULL	25'4 381'1	54 + 7 2'8	0'087	1.276	7.000	19'3	11.135
	CONDOR	27'8 455'1	54 + 7 3'08	0'072	1.522			12.950
	CARDINAL	30'4 546'1	54 + 7 3'4	0'059	1.826			15.535
	FINCH	32'8 635'5	54 + 19 3'6 2'2	0'052	2.121	6.800	19'4	18.235
	CONDUCTORES COBRE	C36/10	3'6 10'0	1 3'6	1'760	89	12.500	17'0
C50/10		5'0 19'6	1 5'0	0'895	175	754		
C35		7'6 34'9	7 2'52	0'511	315	11.000	1.430	
C50		9'2 50'0	19 1'83	0'359	453		2.045	
CABLES DE TIERRA (ACERO)	T50	9 49'5	7 3'0	--	420	20.000	12'0	6.250
	T70	10'5 67'3	7 3'5	--	570			8.550

Tabla VII.20.- Conductores normalizados para líneas eléctricas aéreas

20 de Septiembre de 1.973, B.O.E. del 9 de Octubre de 1.973). Instrucciones complementarias MIBT (Orden del 31 de Octubre de 1.973, B.O.E. de 27 de Diciembre de 1.973).

- d) Decreto de 20 de Octubre de 1.966, sobre autorización de instalaciones eléctricas (B.O.E. del 24 de Octubre de 1.966) .
- e) Ley de 18 de Marzo de 1.966, sobre expropiación forzosa y sanciones en materia de instalaciones eléctricas (B.O. E. del 19 de Marzo de 1.966) y Decreto aprobando el Reglamento de la Ley (B.O.E. de 24 de Octubre de 1.966) .
- f) Reglamento de verificaciones eléctricas y regularidad en el suministro de energía (Decreto de 12 de Marzo de 1.954 B.O.E. del 15 de Abril de 1.954). Modificación de artículos 2º y 92º (Decreto del 2 de Febrero de 1.979, B.O.E. del 7 de Mayo de 1.979) .

Se tomarán especiales precauciones para prevenir las oxidaciones, evitando, en lo posible, en tirantes, cables fiadores, cruces, postes, soportes, etc., el empleo de elementos metálicos férricos u oxidables. Los que se proyecten, ineludiblemente se dispondrán de modo que sean de fácil acceso y recambio .

Es aconsejable utilizar tensiones de transporte no superiores a 5.000 voltios y adoptar aisladores de tres o más campanas con coeficiente de seguridad doble del normal .

Se procurará la adopción de elementos comerciales de fácil sustitución, dimensionados según las tablas de las diferentes casas y comprobados específicamente para los casos especiales .

En la tabla VII.20 están representados los conductores normalizados para líneas aéreas .

VII.1.8.2. Cálculo de la línea

VII.1.8.2.1.- Zancas

Para su cálculo, puede utilizarse la hipótesis de Seiler, donde:

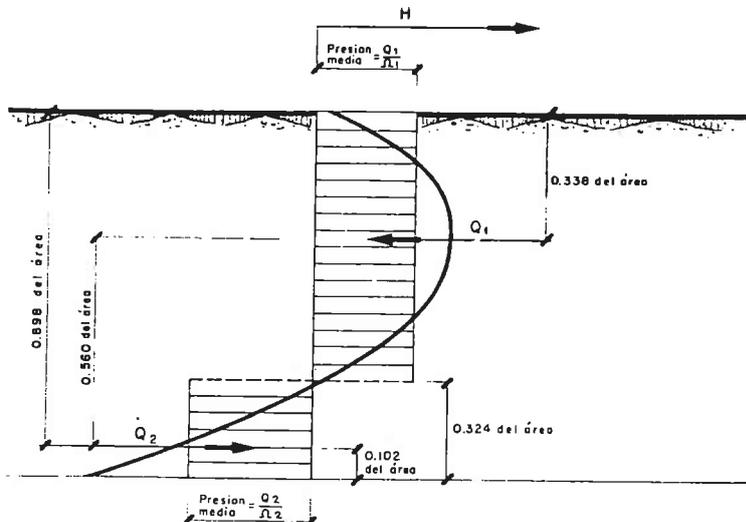


Figura VII.55.- Hipótesis de Seiler para reacciones de un terreno homogéneo

H = tiro rasante resultante de la acción del viento sobre postes y conductores (u otras causas)

Q_1 = resultante de la reacción del terreno en sentido contrario al tiro

Q_2 = resultante de la reacción del terreno en el sentido del tiro

Ω_1 = 0,676 del área

Ω_2 = 0,324 del área

Por área se entiende la de la proyección del poste y de las traviesas, anillos, etcétera, que refuerzan su anclaje, sobre un plano vertical normal a la fuerza solicitante .

Las presiones medias y momentos se determinarán en cada caso .

VII.1.8.2.2.- Postes

a) Tensión .-

Se calcularán a flexión, esfuerzo cortante y tensión, según las conocidas fórmulas de secciones circulares o rectangulares. El es fuerzo de tiro se calculará por la expresión:

$$T_2^2 \left(T_2 + \frac{S a^2 E P_1^2}{24 T_1^2} + S \alpha E (t_2 - t_1) - T_1 \right) = \frac{S a^2 E P_2^2}{24}$$

donde:

T_1 = tensión total en kilogramos a la temperatura de montaje t_1 (que suele suponerse a unos 15°), y que se determina aplicando, a la sección S, un factor de seguridad no inferior a 3.

T_2 = tensión desconocida en kilogramos a la temperatura t_2 , que trata de hallarse

P_1 = carga en Kg/ml. a la temperatura t_1 (peso propio)

P_2 = carga en Kg/ml. a la temperatura t_2 (peso propio + viento + manguitos de hielo + otras causas)

a = longitud máxima entre apoyos (o tiro) de 40 a 50 m. en los vanos normales

S = sección del conductor (varilla o cable)

La presión del viento sobre los conductores se considerará no inferior a 60 kg/m² y estará aplicada sobre las proyecciones de las superficies reales en un plano normal a la dirección del viento .

En zonas de altitud entre 500 y 1000 metros sobre el nivel del mar, se considerará actuando en los conductores una sobrecarga de un manguito de hielo de valor:

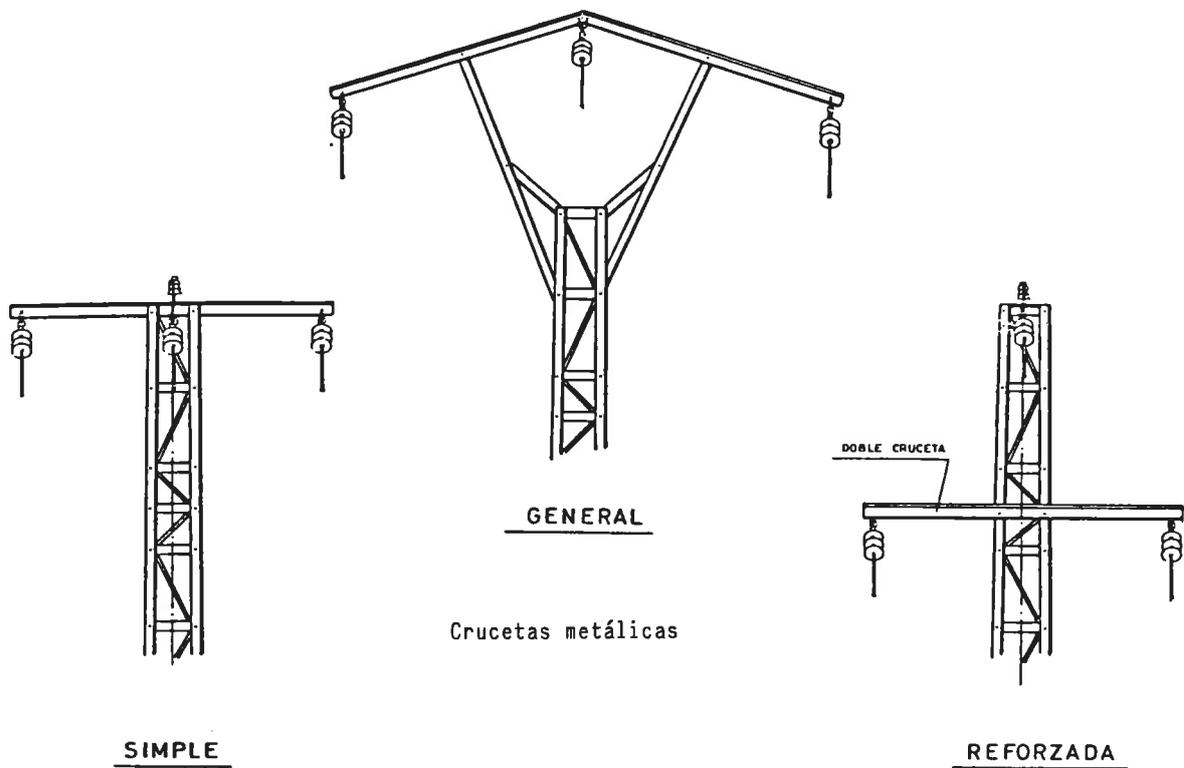
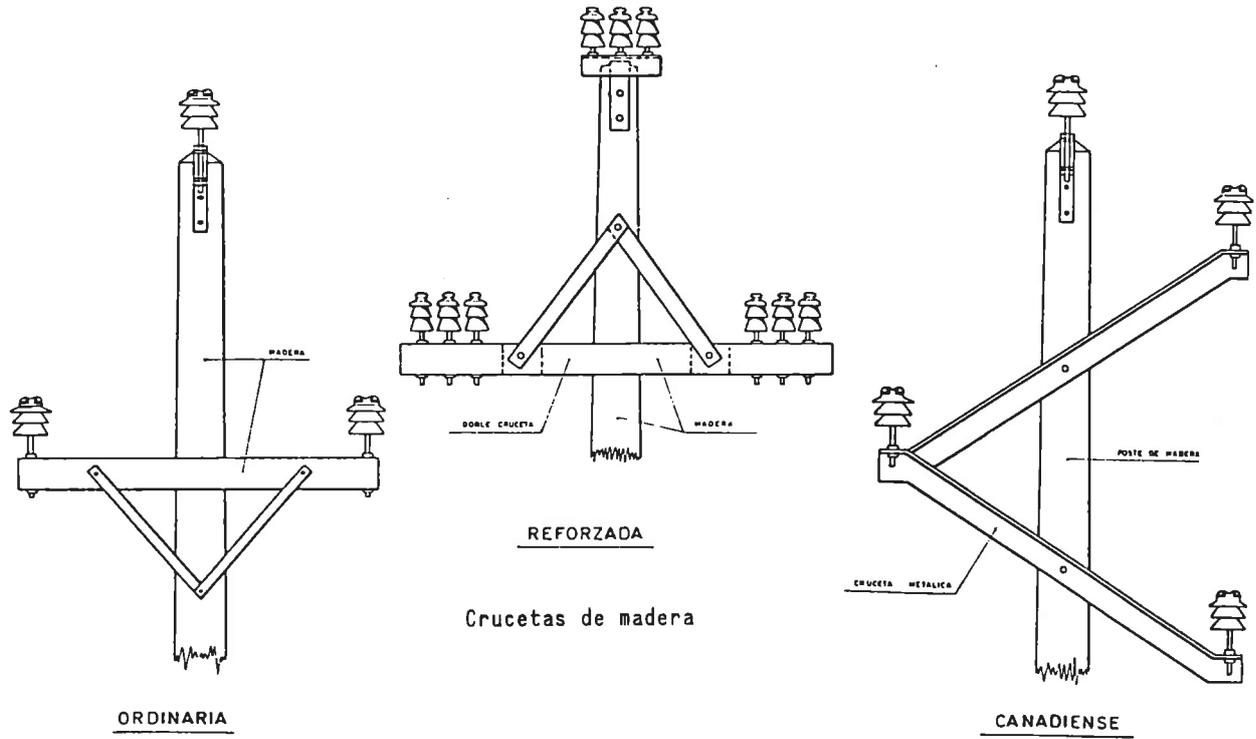
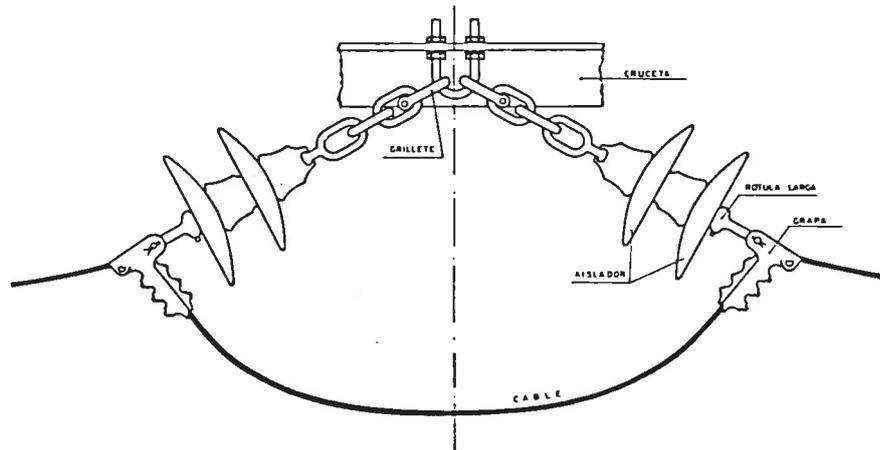
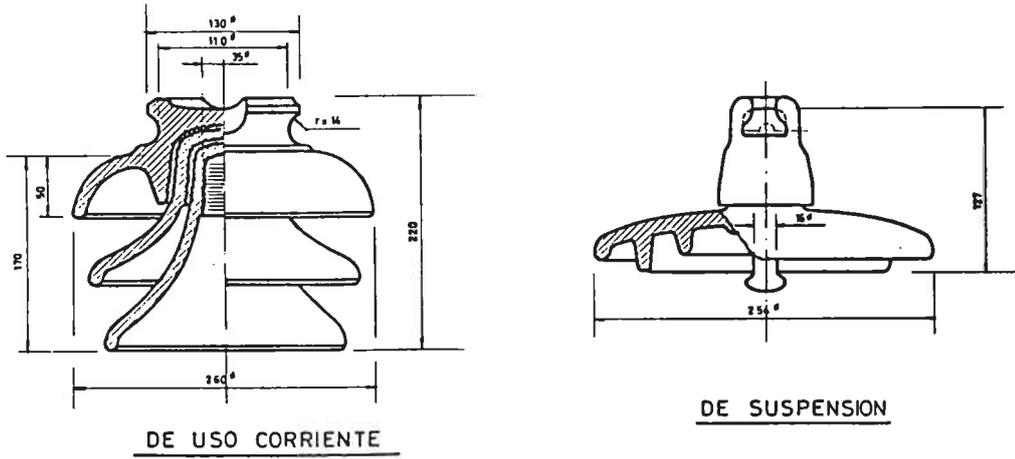
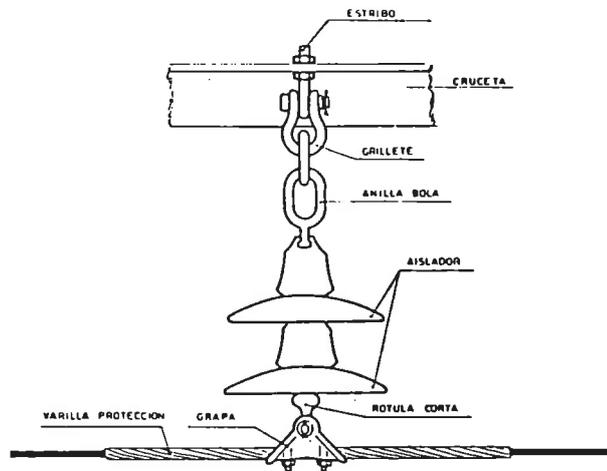


Figura VII.56.a. Tipos de crucetas

AISLADORES



AMARRE SIMPLE Y CAMBIO DIRECCION



AMARRE DE SUSPENSION

Figura VII.56.b. Detalles de aisladores y uniones

$$180 \sqrt{d} \quad \text{gramos por metro lineal}$$

y, en zonas de altitud superior a los 1000 metros sobre el nivel del mar, su valor será de:

$$360 \sqrt{d} \quad \text{gramos por metro lineal}$$

siendo d el diámetro del conductor en milímetros .

Para el cálculo, pueden utilizarse los datos de la tabla VII.20, o los siguientes, en los casos más frecuentes:

- Coeficiente de seguridad mínimo para postes de madera:
 $C = 4$.
- Coeficiente de seguridad mínimo para los conductores:
 $C = 3$.
- Coeficiente de seguridad mínimo para los cables de acero:
 $C = 3$.
- Carga de rotura del conductor de cobre: $\sigma_r = 40 \text{ kg/mm}^2$.
- Carga de rotura del conductor de acero: $\sigma_r = 120 \text{ kg/mm}^2$.
- Carga de rotura del cable de cobre: $\sigma_r = 40 \text{ kg/mm}^2$.
- Coeficiente de dilatación del cobre: $\alpha = 17 \cdot 10^{-6}$.
- Coeficiente de dilatación del cable de acero: $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6}$.
- Módulo de elasticidad del cobre: $E = 12.000 \text{ Kg/mm}^2$.
- Módulo de elasticidad del cable de acero: $E = 18.500 \text{ Kg/mm}^2$.

Resulta, para cada una de las hipótesis, una ecuación de tercer grado en T_2 que da la tensión exacta con la sección ensayada .

b) Altura .-

La altura del poste se determina de modo que, con la máxima dilatación, la distancia mínima del vano al terreno sea de:

$$h = 15,3 + \frac{U}{150} \quad \text{metros,} \quad \text{donde:}$$

U = Tensión de servicio en Kv .

con un mínimo de 6 metros .

La fórmula de la flecha:

$$f = \frac{a^2 P}{8T_2}$$

donde:

f = flecha en metros

nos permite conocer la altura del poste .

DATOS DEL CONDUCTOR DE COBRE						
SECCION $S_{TOTAL} = 15,9 \text{ mm}^2$	COMPOSICION 7 \emptyset 1,70	DIAMETRO d = 5,10 mm	PESO $P_1 = 0,143 \text{ Kg/m}$			
Resistencia R = 672 Kg	Módulo elasticidad E = 11000 Kg/mm ²		Coeficiente dilatación $\alpha = 17 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$			
ACCIONES						
Viento V = 60 d = 0,306 Kg m		T_1 200 Kg	Viento y Peso $P_2 = 0,337 \text{ Kg m}$			
RESUMEN DEL TENDIDO						
ESTADO	t (°C)	P (Kg/m)	T_2 (Kg)	$C = \frac{T_2}{P}$	FLECHA (m)	$\frac{T_2}{R}$
HIPOTESIS DE VIENTO	15	0,337	191	566	$0,000220 \text{ a}^2$	-
HIPOTESIS DE TEMPERATURA	50	0,143	82	573	$0,000218 \text{ a}^2$	-
ESTADO DE SERVICIO	15	0,143	103	720	$0,000173 \text{ a}^2$	0,15
FLECHA MINIMA	-5	0,143	122	853	$0,000146 \text{ a}^2$	-
NOTA: a = longitud del vano en metros						

Tabla VII. 21.- Cálculo del tendido de un conductor de cobre

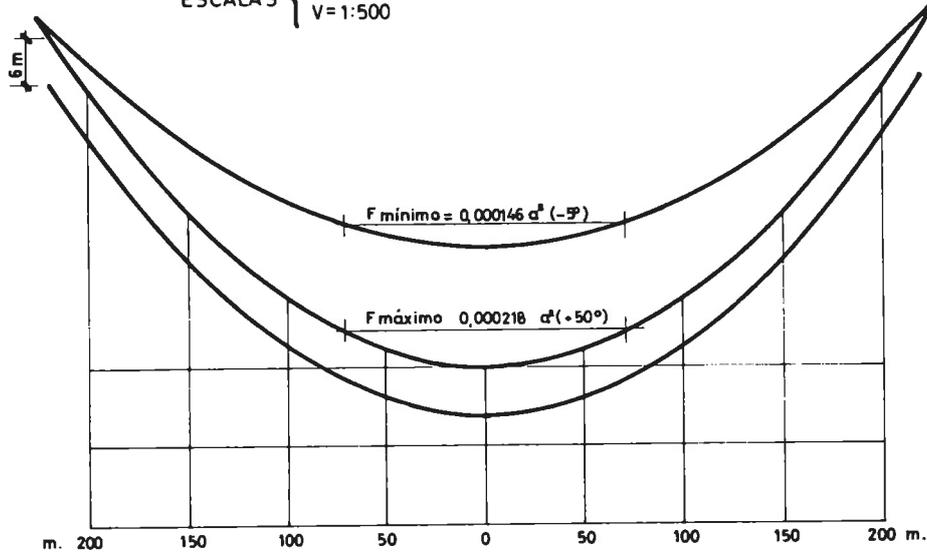
DATOS DEL CONDUCTOR DE ALUMINIO						
SECCION $S_{TOTAL} = 27,60 \text{ mm}^2$	$S_{AL} = 23,6 \text{ mm}^2$ $S_{ACERO} = 4 \text{ mm}^2$	COMPOSICION COMP(6+1) 2,24	DIAMETRO d = 6,72 mm	PESO 0,096 kg/m		
Resistencia R = 905 kg	Módulo elasticidad E = 8.100 kg/mm ²		Coeficiente dilatación $= 19,1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$			
ACCIONES						
Viento V = 60 . d = 0,404 kg/m		T_1 270 Kg	Viento y peso $P_2 = 0,415 \text{ kg/m}$			
RESUMEN DEL TENDIDO						
ESTADO	t (°C)	P (Kg/m)	T_2 (kg)	$c = \frac{T_2}{P}$	FLECHA (m)	$\frac{T_2}{R}$
HIPOTESIS DE VIENTO	15	0,415	256	616	$0,000202 \text{ a}^2$	-
HIPOTESIS DE TEMPERATURA	50	0,096	66	687	$0,000181 \text{ a}^2$	-
ESTADO DE SERVICIO	15	0,096	98	1020	$0,000122 \text{ a}^2$	-
FLECHA MINIMA	-5	0,096	138	1438	$0,000086 \text{ a}^2$	-
NOTA: a = longitud del vano en metros						

Tabla VII.22.- Cálculo del tendido de un conductor de aluminio (AL-AC)

CONDUCTOR = COBRE 16 mm² CATENARIAS

T max. = 200 Kg.
 VIENTO 120 Km/h

ESCALAS { H=1:2000
 V=1:500



CONDUCTOR AL-AC 27,6 m²- CATENARIAS

T max = 270 Kg
 VIENTO = 120 Km/h

ESCALAS { H=1: 2000
 V=1: 500

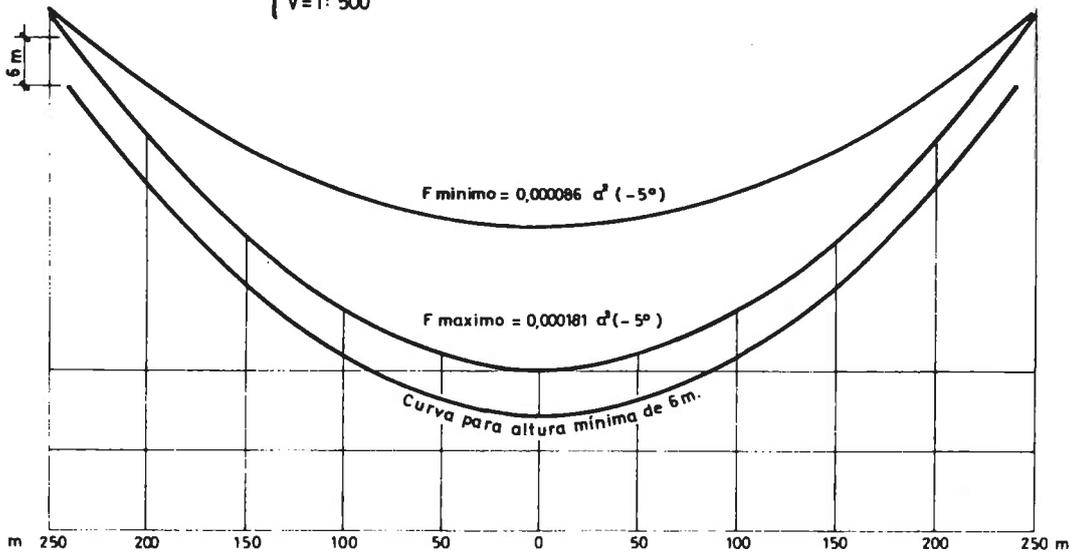


Figura VII.57.- Catenarias del tendido eléctrico aéreo

El cálculo de la flecha máxima en los conductores se realizará en las siguientes hipótesis:

- hipótesis de viento: sometidas a la acción de su peso propio y a una sobrecarga de viento a la temperatura de 15°C.
- hipótesis de temperatura: sometidos a la acción de su peso propio, a la temperatura máxima previsible, teniendo en cuenta las condiciones climatológicas y de servicio de la línea. Esta temperatura no será, en ningún caso, inferior a 50° C .
- hipótesis de hielo: sometidos a la acción de su peso propio y a la sobrecarga de hielo correspondiente a la zona, a la temperatura de 0° C .

c) Ejemplo de aplicación .-

En las tablas VII.21 y VII.22 están expuestos los cálculos de las flechas de un tendido con conductor de cobre y un tendido con conductor de aluminio, respectivamente .

El valor de T_1 se ha obtenido aplicando un factor de seguridad de 3,36 a la resistencia de cada conductor .

No se ha considerado, en estos casos, la hipótesis de temperatura. En la figura VII.57 están representadas las catenarias del tendido para ambos conductores .

VII.1.8.2.3.- Cálculo de la sección del conductor

Desde el punto de vista de las potencias, es suficiente, normalmente, la sección mínima de cobre de 12,57 mm² (Ø 4 mm.), pero, teniendo en cuenta las duras condiciones que suelen concurrir en los faros, proximidad del mar, terrenos muy accidentados con vanos especiales más largos y las dificultades de entretenimiento y conservación, es aconsejable hacer uso de este mínimo reglamentario sólo en casos muy favorables y, por ello, proyectar la dimensión normalizada siguiente de 16 mm²(15,9) .

Los criterios determinantes para el cálculo de la sección del conductor se basan en su calentamiento por efecto Joule y en las caídas de tensión .

a) Sección mínima del conductor en función de la elevación de temperatura .-

Las densidades de corriente máximas en régimen permanente no deben superar ciertos valores establecidos (Instrucción MIBT) .

La densidad de corriente (línea trifásica) viene definida por la expresión siguiente:

$$D = \frac{I}{S} = \frac{W}{S \cdot 3 \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

donde:

D = densidad de corriente en amperios/mm²

W = potencia instalada, en vatios

S = sección del conductor en milímetros cuadrados

U = tensión entre fases, en voltios

$\cos \varphi$ = Factor de potencia

Para conductores desnudos en redes aéreas, las densidades admisibles vienen definidas en la tabla VII.23 y en la figura VII.58.

Para cables aislados de redes aéreas y subterráneas, las intensidades máximas admisibles pueden extraerse de las tablas VII.24, VII.25 y VII.26 y VII.27, respectivamente .

Sección nominal mm ²	Densidad de corriente Amperios / mm ²		
	Cobre $\rho = 0,0176 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	Aluminio $\rho = 0,0283 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	Aleación de aluminio $\rho = 0,0325 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$
10	8,75		
15	7,60	6,00	5,60
25	6,35	5,00	4,65
35	5,75	4,55	4,25
50	5,10	4,00	3,70
70	4,50	3,55	3,30
95	4,05	3,20	3,00
125	3,70	2,90	2,70
160	3,40	2,70	2,50
200	3,20	2,50	2,30
250	2,90	2,30	2,15
300	2,75	2,15	2,00
400	2,50	1,95	1,80
500	2,30	1,80	1,70
600	2,10	1,65	1,55

Tabla VII.23.- Densidades de corriente máxima admisible para conductores desnudos, aéreos

Sección nominal mm ²	Naturaleza del conductor			
	Cobre		Aluminio	
	Tipo de aislamiento			
	V	R/I	V	R/I
4	36	41	—	—
6	47	52	—	—
10	64	72	50	56
16	86	95	67	75
25	115	130	89	100
35	140	155	110	120
50	170	190	135	150
70	220	245	170	190
95	265	295	205	230
120	—	—	240	265
150	—	—	275	305

Tabla VII.24. Intensidad máxima admisible en amperios para cables aislados aéreos trenzados en haz (Servicio permanente)

Temperatura ° C	20	25	30	35	40	45	50
Aislados con policloruro de vinilo	1,23	1,18	1,12	1,06	1,00	0,93	0,86
Aislados con polietileno reticulado o clorosulfonado	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89

Tabla VII.25.- Factores de corrección de la intensidad máxima admisible, para cables aéreos aislados, del tipo trenzado en haz, en función de la temperatura ambiente

Sección nominal — mm ²	Un terno de cables unipolares (1)					Un cable tripolar o tetrapolar					Dos cables unipolares				Un cable bipolar				
																			
	TIPO DE AISLAMIENTO																		
	V	B	D	R	P	V	B	D	R	P	V	B	D	R	V	B	D	R	
1,5	16	18	18	18	30	15	17	17	17	15	22	25	27	27	20	23	25	25	
2,5	22	25	26	26	38	21	24	25	25	18	30	34	36	36	28	30	33	33	
4	30	34	35	35	48	28	32	34	34	25	40	45	48	48	35	40	44	44	
6	38	44	45	46	62	36	41	43	44	35	50	60	64	64	45	55	58	58	
10	53	61	62	64	80	50	57	60	61	50	70	80	85	85	65	75	79	79	
16	71	81	83	86	102	65	75	80	82	70	95	105	115	115	85	95	103	103	
25	96	110	115	120	130	87	100	105	110	90	125	145	155	155	115	130	138	138	
35	115	135	140	145	160	105	120	130	135	110	155	175	190	190	140	160	170	170	
50	145	165	175	180	195	130	150	160	165	140	185	210	225	225	165	190	200	200	
70	185	215	225	230	250	165	190	200	210	180	230	265	280	285	205	240	255	255	
95	235	270	280	285	305	205	235	250	260	220	285	325	345	350	255	295	310	310	
120	275	315	325	335	350	240	275	290	300	250	330	380	400	405	295	345	360	360	
150	315	360	375	385	410	475	315	335	350	295	375	430	455	465	340	390	410	415	
185	365	420	440	450	465	315	365	385	400	335	430	490	525	535	390	450	475	485	
240	435	490	515	535	530	370	435	460	475	380	505	580	615	630	480	530	560	565	
300	500	570	595	615	605	425	495	520	545	440	580	670	710	730	535	615	650	660	
400	585	660	700	720	675	495	575	610	645	500	685	770	815	840	620	715	760	770	
500	665	760	800	825	745	—	—	—	—	—	760	865	915	950	—	—	—	—	
630	765	870	915	950	810	—	—	—	—	—	880	1.015	1.080	1.100	—	—	—	—	
800	—	—	—	—	875	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1.000	—	—	—	—	925	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Tabla VII.26.- Intensidad máxima admisible en amperios para cables aislados con conductores de cobre, aéreos (servicio permanente)

(1) Incluye, además, el conductor neutro, si existe.

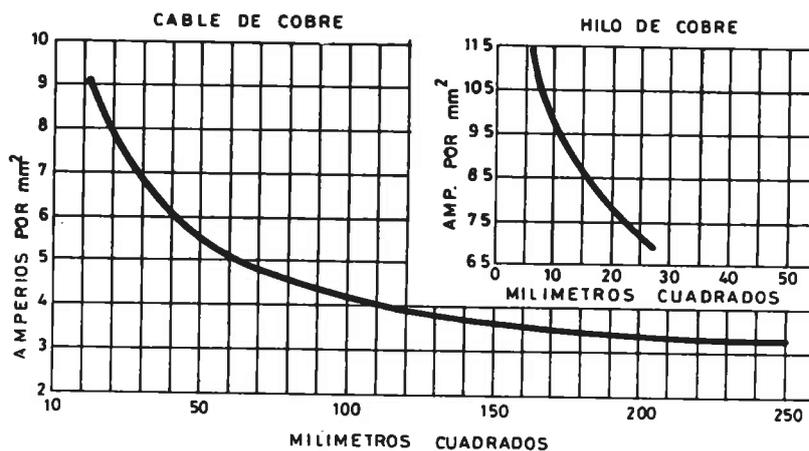


Figura VII.58.- Densidades máximas admisibles para conductores desnudos de cobre, aéreos

Sección nominal — mm ²	Un termo de cables unipolares (1)					Un cable tripolar o tetrapolar					Dos cables unipolares				Un cable bipolar				
	TIPO DE AISLAMIENTO																		
	V	B	D	R	P	V	B	D	R	P	V	B	D	R	V	B	D	R	
6	63	68	70	72	75	56	61	64	66	64	80	88	103	106	75	80	84	86	
10	85	91	94	96	98	75	82	85	88	72	120	130	135	140	98	106	112	115	
16	110	116	120	125	125	97	105	110	115	90	160	170	180	185	125	140	148	150	
25	140	150	155	160	160	125	135	140	150	125	205	225	230	240	165	175	185	190	
35	170	180	185	190	190	150	165	175	180	150	245	270	280	290	195	215	225	230	
50	200	215	225	230	235	180	195	205	215	190	285	310	325	335	230	250	260	270	
70	245	260	270	280	285	220	240	250	260	230	355	385	400	415	280	305	315	325	
95	290	315	325	335	340	265	290	305	310	270	425	465	480	500	340	365	375	385	
120	335	360	375	380	375	305	335	350	365	305	435	530	545	565	385	415	430	440	
150	370	400	415	425	430	340	370	390	400	360	545	595	610	630	430	465	480	495	
185	420	450	470	480	480	385	420	440	450	395	610	665	690	715	480	520	540	555	
240	485	520	540	550	540	445	485	505	520	445	710	775	800	830	555	605	625	635	
300	550	590	610	620	600	505	550	565	590	600	800	870	900	935	630	680	705	720	
400	615	670	690	705	660	570	615	645	665	555	910	995	1.025	1.060	710	775	800	815	
500	685	745	775	790	720	—	—	—	—	—	1.015	1.095	1.135	1.175	—	—	—	—	
630	770	840	870	885	770	—	—	—	—	—	1.165	1.270	1.315	1.350	—	—	—	—	
800	—	—	—	—	820	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1.000	—	—	—	—	870	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Tabla VII.27.- Intensidad máxima admisible en amperios para cable y conductores de cobre, enterrados (servicio permanente)

(1) incluye, además, el conductor neutro, si existe

Tipos de aislamiento:

- V = Policloruro de vinilo
- B = Goma butílica (butil)
- I = Polietileno clorosulfonado
- D = Etileno-propileno
- R = Polietileno reticulado
- P = Papel impregnado

b) Sección de un conductor en función de la caída de tensión .-

Es un cálculo para comprobar el correcto funcionamiento de la instalación .

La sección del conductor debe ser tal que la caída de tensión entre el origen de la instalación y cualquier punto de utilización sea menor al 3% de la tensión nominal en el origen para alumbrado y del 5%, para los demás usos .

La pérdida de tensión se calcula mediante la siguiente expresión:

$$E = I \sqrt{3} (R \cos \phi + 2 \pi f L \sin \phi) l$$

donde:

E = pérdida de tensión, en voltios

I = intensidad, en amperios

R = resistencia óhmica kilométrica, en ohmios (en el cobre, $0,018 \cdot 1000 : S \text{ (mm}^2) \Omega/\text{Km}$, ya que la resistividad de éste es: $\rho = 0,018 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

$\cos \phi$ = factor de potencia (0,8)

f = frecuencia en periodos/segundo (usualmente, 50)

l = longitud de la línea, en kilómetros

L = coeficiente de autoinducción, en henrios/Km

Que resulta de la expresión:

$$L = 10^{-4} (0,5 + 4,605 \log \frac{2D}{d})$$

donde:

D = distancia entre conductores, en la unidad que sea

d = diámetro de los conductores, en la misma unidad

En cables subterráneos:

$$L = 0,05 K' + 0,46 \log \frac{2D}{d}$$

milihenrios por kilómetro, donde:

D = diámetro sobre aislante

d = diámetro del conductor

ambas dimensiones expresadas en la misma unidad. El coeficiente K', introducido en la fórmula para tener en cuenta el efecto pelicular es igual a uno cuando dicho efecto es despreciable. Sus valores, cuando convenga, son los de la tabla VII.28 .

Diámetro del conductor — Milímetros	Sección del cable — Milímetros cuadrados	Cobre
18,4	200	0,990
22,5	300	0,979
29,1	500	0,946
35,6	750	0,895
41,2	1.000	0,831

Tabla VII.28.- Valores del coeficiente K' para el cobre

Los valores más frecuentes para D son:

3,5 x 10	D = 6,09 mm
3,5 x 16	D = 7,29 mm
3,5 x 25	D = 8,69 mm
3,5 x 40	D = 10,79 mm

En todos los casos, la sección del conductor, elegida en función de la caída de tensión, deberá corresponder a un valor normalizado, debiéndose efectuar la elección por exceso.

En la tabla VII.29 se exponen las secciones de los conductores utilizados corrientemente, en función de la caída de tensión admisible E_a .

Número de conductores de la conducción de energía	Sección de cada conductor mm^2	Sección total de conductores mm^2
1 fase + neutro	$\frac{2 \rho l w}{E_a U_n^2}$	$12 \frac{\rho l w}{E_a 3 U_n^2}$
2 fases	$\frac{2 \rho l w}{E_a U_t^2}$	$4 \frac{\rho l w}{E_a U_t^2}$
2 fases + neutro	$\frac{3 \rho l w}{4 E_a U_n^2}$	$\frac{27}{4} \frac{\rho l w}{E_a 3 U_n^2}$
3 fases	$\frac{\rho l w}{E_a U_t^2}$	$3 \frac{\rho l w}{E_a U_t^2}$
3 fases + neutro	$\frac{\rho l w}{E_a U_t^2}$	$3,5 \frac{\rho l w}{E_a U_t^2}$

Tabla VII.29 .- Fórmulas para el cálculo de la sección de los conductores por caídas de tensión

En la tabla VII.29, los símbolos tienen los siguientes significados:

ρ = resistividad del cobre en $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

l = longitud simple de la conducción, en metros

W = potencia instalada más allá del tramo considerado, en wa
tios

E_a = caída de tensión admisible, en %

U_n = tensión nominal entre fases y neutro, en voltios

U_t = tensión nominal entre fases, en voltios

- (1) La potencia W se considera repartida uniformemente entre las dos fases y conectada entre éstas y el neutro
- (2) La carga se considera equilibrada
- (3) Se supone el factor de potencia igual a la unidad
- (4) El neutro se supone de sección mitad que los conductores de fase

VII.1.8.2.4.- Separación entre conductores

La longitud útil de crucetas viene determinada por las siguientes condiciones:

- a) Separación mínima entre conductores, establecida reglamentariamente:

$$D = K \sqrt{f + L} + \frac{U}{150}$$

donde:

D = distancia mínima, en metros, entre conductores

K = coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento, que se tomará de la tabla VII.30

f = flecha máxima, en metros

L = longitud, en metros, de la cadena de suspensión. En el caso de conductores fijados al apoyo por cadenas de amarre o aisladores rígidos, $L = 0$

U = tensión de servicio, en Kv

Angulo de oscilación	$U \geq 30$	$1 \leq U < 30$
Superior a 65°	0,7	0,65
Comprendido entre 40° y 65°	0,65	0,6
Inferior a 40°	0,6	0,55

Tabla VII.30.- Valores del coeficiente K

b) Distancia mínima entre los conductores y los postes:

$$D = 0,1 + \frac{U}{150} \quad \text{metros}$$

con un mínimo de 0,2 metros, establecido reglamentariamente .

VII.1.8.3.- Estación de transformación

Ha de ubicarse en las inmediaciones del faro, salvo en casos especiales, como la existencia de un radiofaro, en que debe respetarse un mínimo de acuerdo con el tipo de instalación .

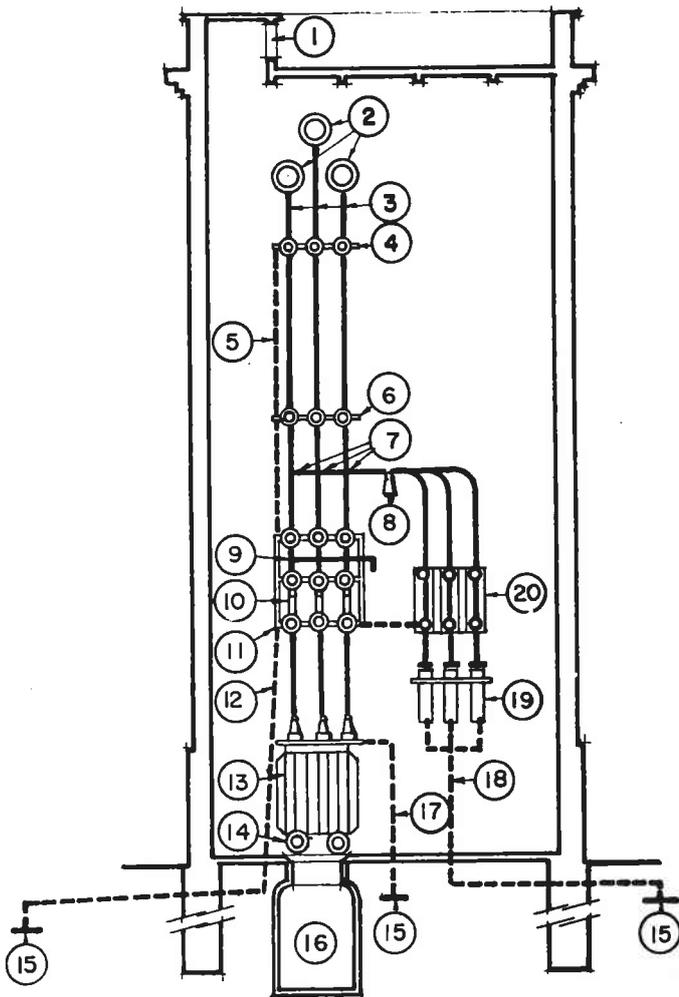
La proximidad del mar aconseja alojar todos los elementos en una caseta de fábrica. Son, éstos, los siguientes (véanse figuras VII.59 y VII.60):

- 3 discos pasamuros con pipeta
- 1 seccionador tripolar de mando lateral
- 3 seccionadores unipolares
- 3 pararrayos autoválvula
- 3 fusibles de alta
- 1 transformador conexión, tipo C-3 (estrella zig-zag, para cargas muy desequilibradas)
- Herrajes con tes de presión y varilla de conexión de 8 mm \varnothing
- Aisladores con sus soportes y portasoportes
- 1 placa de tierra para herrajes
- 1 placa de tierra para el neutro del transformador
- 1 placa de tierra para las autoválvulas
- 1 rejilla o pantalla protectora
- 1 pértiga de accionamiento del seccionador tripolar .
- 1 banquillo .

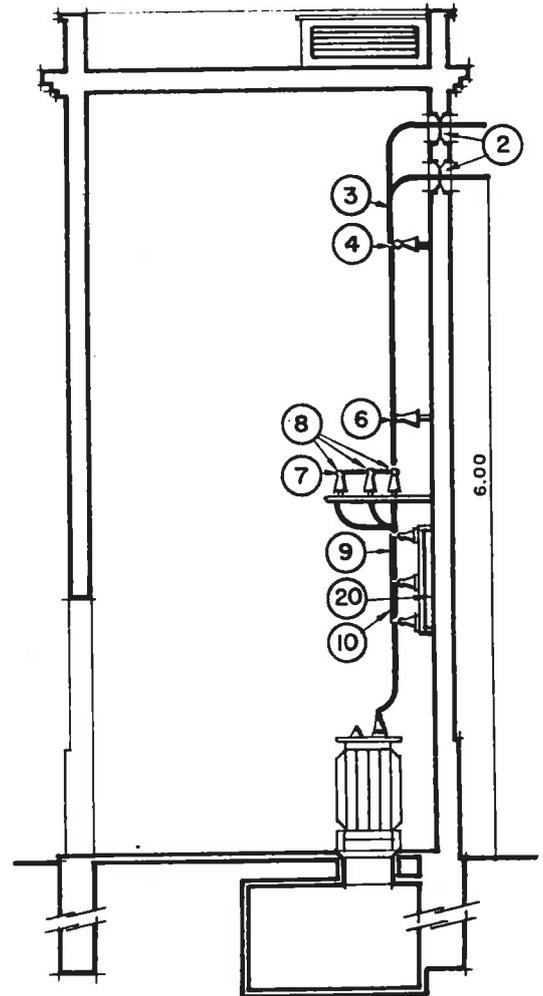
Excepcionalmente, cuando a la estación de transformación precede un tramo en cable subterráneo de alta tensión, deben aislarse las autoválvulas, con placa de tierra, en el último poste del tramo aéreo .

Las placas de tierra, entre carbón y sal, deben dotarse de un tubo de fibrocemento para facilitar su humedecimiento cuando convenga .

Para el proyecto de estaciones de transformación, se tendrán en cuenta las prescripciones del Real Decreto sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación (B.O.E. del 1 de Diciembre de 1.982) .



- 1.—Ventilación.
- 2.—Discos pasamuros.
- 3.—Varillas de cobre \varnothing mínimo 8 mm.
- 4.—Herrajes y aisladores.
- 5.—Conexión tierra de herrajes.
- 6.—Herrajes y aisladores.
- 7.—Derivación con tes de presión.
- 8.—Herrajes y aisladores.
- 9.—Interruptor tripolar de mando lateral.
- 10.—Fusibles de alta.



- 11.—Herrajes del bastidor de los aparatos 10 y 11.
- 12.—Tierra de herrajes.
- 13.—Transformador.
- 14.—Bastidor con ruedas.
- 15.—Placas de tierra.
- 16.—Foso para recogida de aceites.
- 17.—Tierra de neutro del transformador en baja.
- 18.—Conexión a tierra del pararrayos.
- 19.—Autoválvulas "Self".
- 20.—Interruptores unipolares con su bastidor.

Figura VII.59.— Esquema de una Estación de Transformación

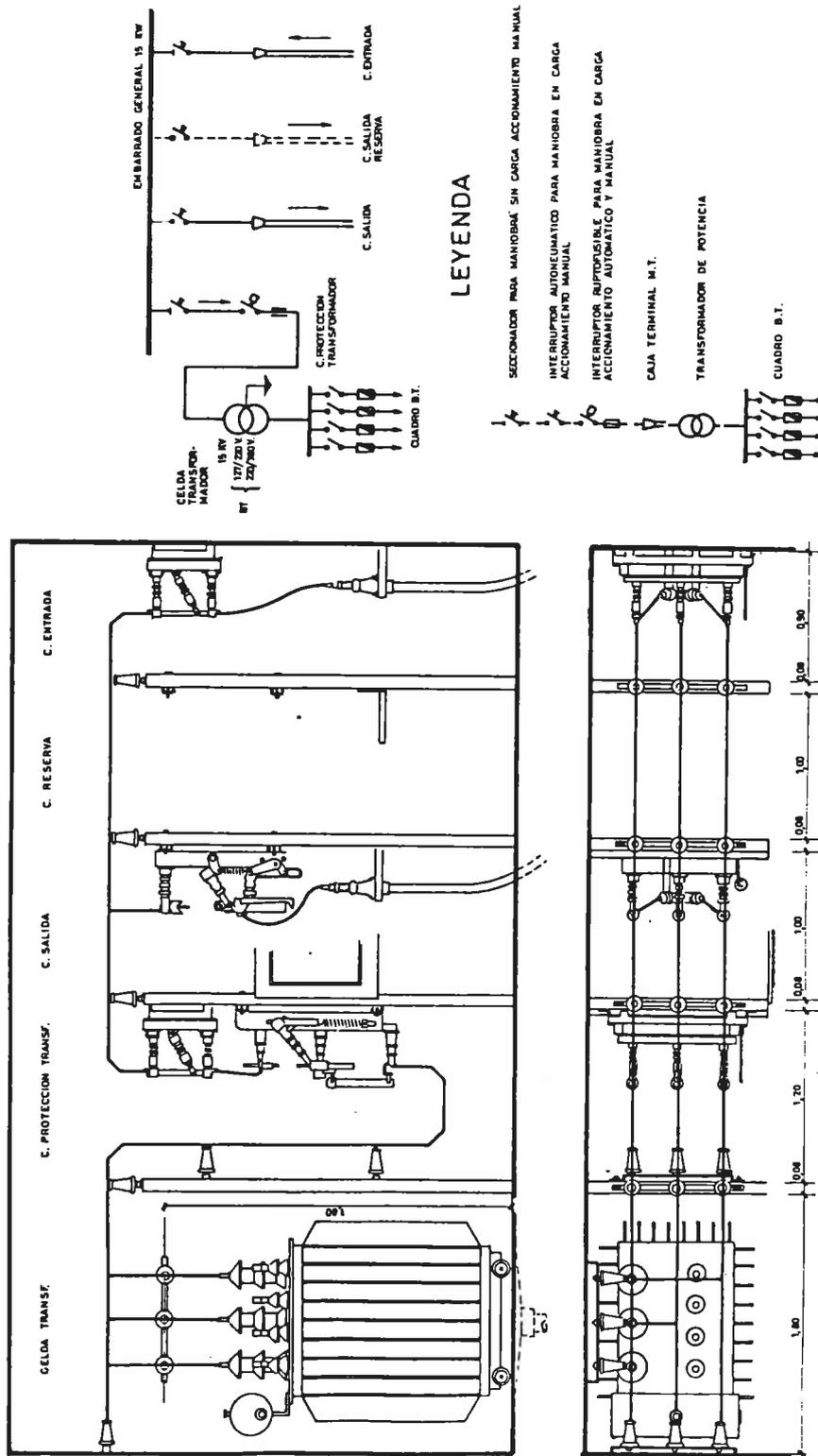


Figura VII.60.- Estación transformadora con entrada de A.T. subterránea

VII.2. DISPONIBILIDAD Y FIABILIDAD

VII.2.1.- Introducción

Actualmente, se tiende, en los países desarrollados, a calificar las ayudas o sistemas de ayudas a la navegación, mediante coeficientes de disponibilidad o fiabilidad .

La disponibilidad concierne, esencialmente, al usuario, mientras que la fiabilidad es un concepto directamente relacionado con la instalación y concierne, por tanto, al fabricante .

VII.2.2.- Definiciones

En este apartado se dan las definiciones de algunos parámetros que se utilizan usualmente en la evaluación de la fiabilidad y disponibilidad .

Algunas de estas definiciones no coinciden exactamente con las dadas en otros textos, en particular con las definiciones más formales de los diccionarios oficiales, como la publicación 271 de la CEI, en la que son mucho más largas y complejas .

Sin embargo, las definiciones dadas aquí son suficientes para las necesidades del presente documento. Han sido redactadas para poder conseguir una comprensión más clara del tema .

La fiabilidad es especialmente importante para todo aquel que intervenga en la gestión y funcionamiento de los servicios de señalización marítima .

Por comodidad, la palabra "elemento" ha sido adoptada para representar "una ayuda o sistema de ayudas". Para simplificar, se ha admitido que todas las averías se producen al azar, siendo constante la tasa de avería durante la vida útil de la instalación. Las averías del equipo debidas a defectos de fabricación y las debidas al desgaste del final de su vida útil, no se incluyen en la tasa de avería constante .

VII.2.2.1.- **Fiabilidad (R: Reliability)**

Es la capacidad que tiene una ayuda o un sistema de ayudas para cumplir una función requerida, en unas condiciones y en un tiempo dados .

VII.2.2.2.- **Disponibilidad (A: Availability)**

Es la probabilidad de que una ayuda o un sistema de ayudas cumplan una función requerida, en unas condiciones dadas, en un tiempo elegido al azar y, también, en cualquier instante .

VII.2.2.3.- **Avería**

Es el término de la capacidad que tiene un elemento para cumplir una función requerida .

VII.2.2.4.- **Tasa de avería (F: Failure Rate)**

Es el número de averías por unidad de tiempo durante el cual el elemento ha cumplido una función requerida .

VII.2.2.5.- Tiempo medio de un buen funcionamiento (MTBF: Mean Time Between Failures)

Es el valor medio del periodo de tiempo entre averías consecutivas de un elemento reparable. Resulta del número de averías aparecidas en la suma total de periodos de tiempo durante los cuales el elemento ha cumplido una función requerida. Es el inverso de la tasa de avería .

VII.2.2.6.- Tiempo medio de reparación (MTTR: Mean Time To Repair)

Es el valor medio de la duración de averías consecutivas. Resulta del número de averías aparecidas en la suma total de periodos de tiempo durante los cuales el elemento no ha cumplido una función requerida .

Este valor comprende la duración total del tiempo transcurrido desde la detección de la avería hasta la puesta en servicio, que comprende, a su vez, los retrasos en la intervención y el tiempo real de reparación del elemento. Cuando no se puede determinar con precisión el instante de aparición de la avería, se podrá estimar por métodos estadísticos .

VII.2.2.7.- Tiempo de servicio

Es el periodo total de tiempo durante el cual un elemento debe cumplir una función requerida .

VII.2.2.8.- Tiempo total de buen funcionamiento (UT: Up Time)

Es el total acumulado de periodos de tiempo durante los cuales un elemento cumple una función requerida .

VII.2.2.9.- Tiempo total de avería (DT: Down Time)

Es el total acumulado de periodos de tiempo durante los cuales un elemento no cumple una función requerida .

VII.2.2.10.- Indisponibilidad (D: Mean Percentage Down Time)

Es el tiempo total de avería, expresado como un porcentaje del tiempo de servicio ($A = 100 - D$) .

VII.2.3.- Relaciones

La fiabilidad, definida anteriormente, expresa, también, una probabilidad de ausencia de avería durante un periodo de tiempo dado, que decrece de forma exponencial (tasa de avería constante) con el tiempo, de la forma siguiente:

$$R = e^{-\frac{t}{m}} \quad \text{donde:}$$

t = periodo de tiempo dado

m = MTBF

e = base exponencial (2,7183)

De lo que se deduce que la probabilidad de avería es:

$$Q = 1 - R$$

Para distintos valores del tiempo, se tiene:

$$t = m \qquad R = 37\%$$

$$t = m/10 \qquad R = 90\%$$

$$t = m/20 \qquad R = 95\%$$

$$t = m/100 \qquad R = 99\%$$

A partir de las definiciones dadas, se obtienen las siguientes relaciones:

$$MTBF = \frac{1}{F} \qquad F = \frac{1}{MTBF}$$

$$\text{Tiempo de servicio} = UT + DT$$

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidad} &= 100 \times \frac{UT}{UT + DT} = 100 \times \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \\ &= \frac{100}{1 + F \times MTTR} \end{aligned}$$

$$D = 100 \times \frac{DT}{UT + DT}$$

VII.2.4.- Precisiones acerca de las definiciones

La definición dada para la MTBF es estrictamente correcta. Sin embargo, normalmente es consecuencia del número de averías aparecidas durante el tiempo total de servicio y no durante el tiempo total de buen funcionamiento, y los valores publicados para la MTBF son, normalmente, calculados sobre esta base .

Para estudiar la fiabilidad desde el punto de vista técnico, la primera definición es correcta, puesto que el interés se centra en el tiempo durante el cual el elemento funciona sin avería y, por ello, es necesario descontar los periodos de tiempo durante los cuales el elemento no funciona .

Sin embargo, desde el punto de vista de la gestión y del mantenimiento, la MTBF basada en el tiempo de servicio puede ser más apropiada. Es el caso de un faro, por ejemplo, donde el interés puede estar centrado en conocer el número de averías que se producen al año y, particularmente, los tiempos totales de avería y la MTTR .

Cuando el tiempo total de avería sólo representa un pequeño porcentaje del tiempo de servicio, habrá poca diferencia entre los dos métodos, pudiendo ser ignorada. Pero, si el tiempo total de avería y la MTTR son elevados, será importante indicar sobre qué bases han sido calculados los valores de MTBF .

Otra confusión puede venir dada por el hecho de que se aplique la definición estricta de la MTBF a sistemas reparables. En los sistemas no reparables no existe el tiempo de reparación y el parámetro correspondiente es la media del tiempo de buen funcionamiento antes de la avería o MTTF (Mean Time To Failure). Al igual que la MTBF, resulta del número de averías aparecidas durante el total de periodos de tiempo en los que cada elemento de un conjunto de elementos no reparables idénticos ha cumplido su función requerida .

Algunas veces se aplica sin razón la MTTF a los sistemas reparables y se utiliza la MTBF sobre la base del tiempo de servicio, lo que da, para los sistemas reparables:

$$\begin{aligned} \text{MTBF (tiempo de servicio)} &= \\ &= \text{MTTF (tiempo total de buen funcionamiento)} + \\ &+ \text{MTTR (tiempo total de averías)} \end{aligned}$$

En la figura VII.61, MTBF es la media de los periodos de tiempo b y MTTF, la media de los periodos de tiempo a .

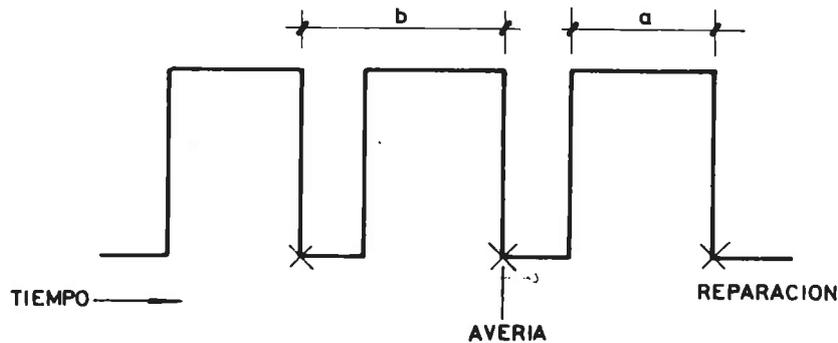


Figura VII.61.- Tiempos de funcionamiento y de reparación

Por este motivo, será necesario indicar, en cada caso particular, las bases respecto a las cuales han sido calculadas MTBF y MTTF y cómo han sido definidas .

Por definición, los elementos no reparables son reemplazados en caso de reparación de un equipo o sistema del cual forman parte. El significado de MTTF es, pues, particularmente importante para el ingeniero encargado del montaje y mantenimiento de una pieza del equipo .

El elemento no reparable que tiene mayor interés para los servicios de señalización marítima es la lámpara eléctrica. En la industria de lámparas se emplea, corrientemente, la expresión "duración de vida media", que debe distinguirse de la MTTF. La duración de vida media es el valor medio de la duración antes de avería de un conjunto de elementos no reparables. Es la duración media del tiempo durante el cual se puede esperar que un elemento funcione antes de averiarse .

La duración media de la vida de una lámpara eléctrica puede obtenerse como media de los tiempos de servicio de un número elevado de lámparas .

Si, tras 1.000 horas, quedan 20 lámparas en funcionamiento, de un total de 100, la MTTF se calculará a partir del total acumulado de los tiempos durante los cuales las 80 lámparas fundidas han estado funcionando, más las 1.000 horas de cada una de las 20 lámparas que todavía funcionan, dividido por 80 (número de averías). Por otra parte, la duración de vida media será el valor medio de la duración de vida de las 80 lámparas fundidas. Tras un tiempo suficiente, la MTTF y la duración de vida convergen. De hecho, la MTTF es un parámetro utilizado en el control y evaluación y debería estar reservado para ensayos truncados de conjuntos de elementos no reparables. Es por lo que su utilización está desaconsejada cuando se trata de la fiabilidad de un sistema de señalización marítima .

Puede ser indicado cuando la duración de vida media de una lámpara de filamento, indicada por el fabricante, es, en realidad, la duración de vida útil. Este último valor se supone igual al 50% de la duración de la vida media, para tener en cuenta la pérdida de intensidad debida al oscurecimiento de la bombilla .

Las definiciones anteriores no distinguen entre frecuencia de averías observadas en la explotación y frecuencia de averías previstas mediante extrapolación o hipótesis de tipo técnico o estadístico .

VII.2.5.- Mantenibilidad

La disponibilidad es, probablemente, el parámetro más importante para el navegante, y es función de la fiabilidad y de la "mantenibilidad" .

La "mantenibilidad" se define como la probabilidad de que un elemento averiado sea reparado y vuelva a cumplir una función requerida en un periodo de tiempo y en unas condiciones dadas. Al igual que la fiabilidad, esta probabilidad tiene una distribución exponencial .

$$\text{"Mantenibilidad"} = 1 - e^{-\frac{t}{\text{MTTR}}}$$

Las dos variables que determinan la disponibilidad son la tasa de avería y la MTTR, siendo, esta última, la que más influencia tiene .

Un equipo muy fiable, con una tasa de avería pequeña, puede incluso tener una disponibilidad insuficiente si el tiempo de reparación es excesivo .

VII.2.6.- Valores requeridos

En la Conferencia Internacional de Brighton de la IALA/AISM, de 1.985, quedó sentado el criterio de exigir un mínimo de disponibilidad de 0,95, aún cuando algunos países en vía de desarrollo notaron que era una exigencia excesiva .

Cuanto más próximo a la unidad se encuentre el valor de la disponibilidad, tanto mejor será el servicio que se presta al navegante .

Según los estudios de disponibilidad realizados en España (Faro de Cabo Mayor y Balizamiento del Puerto de Santander), el valor mínimo controlado ha sido de 0,9870 .

VII.3.- REGLAS DE SEÑALIZACION

Los tipos de señalización que se utilizan en este capítulo siguen -donde resultan de aplicación- los principios generales del Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA/AISM .

VII.3.1.- Señalización de playas

La regulación de actividades que se ejercen en una franja de mar litoral, denominada Banda Litoral, ha dado lugar a que se disponga de un adecuado balizamiento, que no es preceptivo a nivel nacional. A continuación se expone un posible sistema .

El montaje de los balizamientos, ajenos a la navegación y propios de cada temporada, suele corresponder a los Ayuntamientos del litoral, a las Asociaciones de Vecinos, a los Clubs, u otras entidades similares, pero, generalmente, no se halla a cargo de los Servicios de Balizamiento Marítimo .

Si bien se trata de un balizamiento ajeno a normas de policía, que escapa a la típica señalización marítima (es decir, la que suministra, a los navegantes, indicaciones que pueden aquéllos utilizar según su voluntad), los Servicios de faros y balizas del litoral, así como los portuarios, deben vigilar su establecimiento, al objeto de comprobar que se disponen o montan con arreglo a las presentes recomendaciones .

VII.3.1.1.- Balizamiento de la Banda Litoral

Se denomina "Banda Litoral" a la zona del mar litoral contigua a la línea de agua, de 300 metros de ancho, que se extiende a lo largo de costas, alrededor de las islas y de los islotes, y en las de embocaduras de los cursos de agua, hasta el límite de competencia que señale la vigente Ley de Puertos para la Administración Portuaria. También se extiende a las lagunas de agua dulce o salada que forman parte de la zona marítimo-terrestre o del mar litoral .

En el interior de esta banda, la velocidad de todo tipo de embarcaciones y artefactos de recreo está limitada .

El borde exterior de la banda litoral se baliza por medio de boyas cónicas de color amarillo, de 60 cm. de diámetro, fondeadas a distancias no superiores a 200 m. entre unas y otras .

VII.3.1.2.- Balizamiento de las zonas de protección en el interior de la banda litoral

En el interior de la "Banda Litoral" se establecen, a su vez, zonas de protección para baños y canales, según sigue .

VII.3.1.2.1.- Zonas de protección para baños

En estas zonas, la circulación de las embarcaciones o artefactos a motor queda absolutamente prohibida, al igual que el fondeo de artefactos .

Se balizarán mediante boyas cilíndricas amarillas, separadas, como máximo, 25 metros .

VII.3.1.2.2.- Zonas reservadas para baños

En estas zonas, que podrán establecerse excepcionalmente en el interior de la "Banda Litoral", estará absolutamente prohibida la circulación de toda clase de embarcaciones o artefactos, cualesquiera que sea el procedimiento de propulsión .

El borde de estas zonas se balizará por medio de boyas esféricas amarillas de 40 cm. de diámetro, ensartadas entre sí mediante una cuerda de plástico flotante y separadas no más de 20 metros .

VII.3.1.2.3.- Zonas prohibidas para embarcaciones a motor

Estas zonas contienen artefactos flotantes, como son los trampolines, balsas, etc., sean fijos o móviles; pero con absoluta prohibición de propulsiones a motor .

Se balizarán mediante boyas cilíndricas amarillas, separadas, como máximo, 25 metros .

VII.3.1.2.4.- Canales de paso

Estos canales se abrirán a través de la "Banda Litoral", mediante un trazado que, salvo casos excepcionales, será perpendicular a la ribera. Serán utilizados por: las lanchas de ski acuático, los artefactos de tracción de vuelos ascensionales, los pequeños barcos veleros y por los aerodeslizadores .

Estos canales tienen, como principal función, el acceso a la ribera y tendrán un ancho de unos 25 m., en los tres primeros casos, y de unos 50 m., en el último; en ellos se prohíbe, a los bañistas, a los buceadores, y a todas las demás embarcaciones y artefactos de recreo de playa, y a todos cuantos usuarios no correspondan directamente dichos canales, el permanecer en ellos, el atravesarlos, e, incluso, el enfilarlos .

La entrada en los canales transversales de paso se baliza por medio de dos boyas cónicas, con su mitad inferior amarilla y mitad superior verde o roja, según corresponda a babor o estribor sailiendo, y con diámetro de flotador de 80 cm.

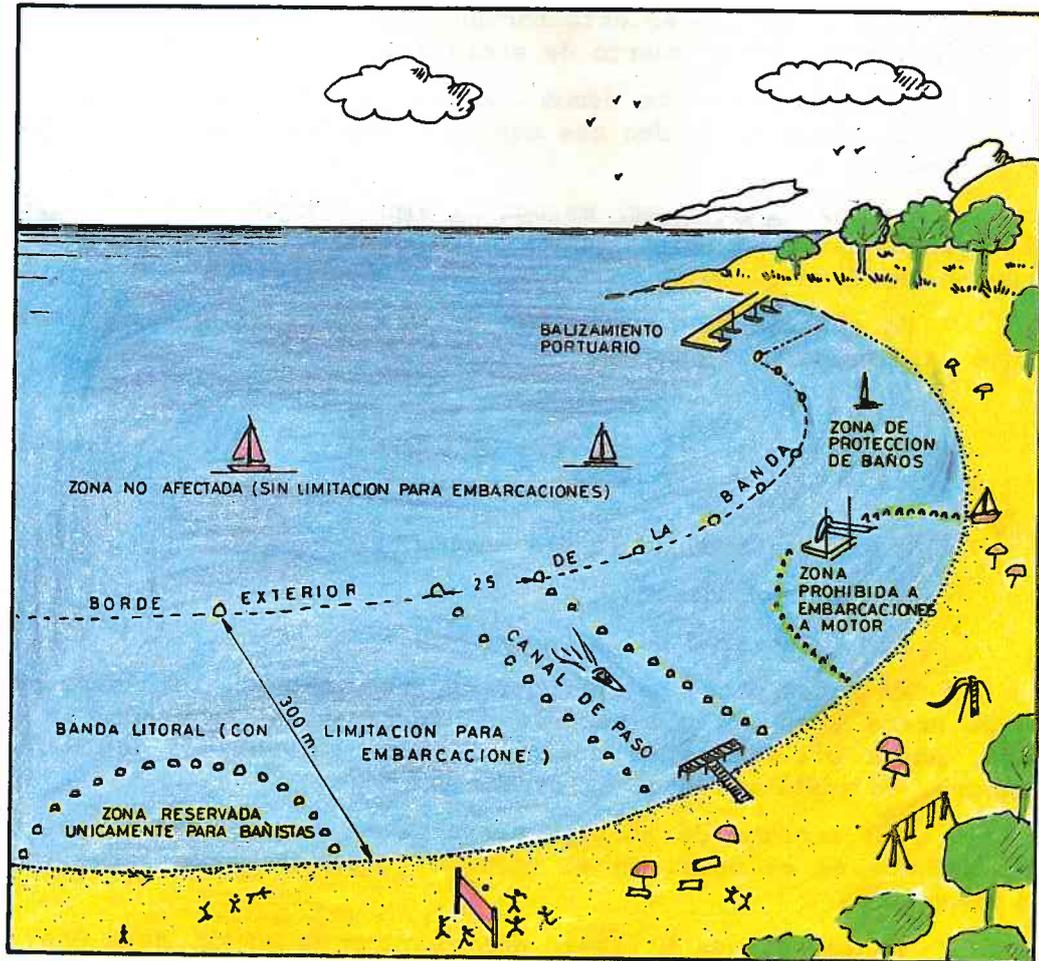


Figura VII.62.- Esquema de balizamiento en playas

Los lados del canal transversal de paso se balizan con boyas esféricas de color amarillo, de 40 cm. de diámetro, fondeadas a distancias que van disminuyendo a medida que se acercan a la costa y con un total de 11 boyas en los 300 metros.

VII.3.1.3.- Elementos constitutivos del balizamiento

VII.3.1.3.1.- Boyas

Están constituidas por un flotador cónico, cilíndrico o esférico (véase figura VII.63), unido al tren de fondeo.

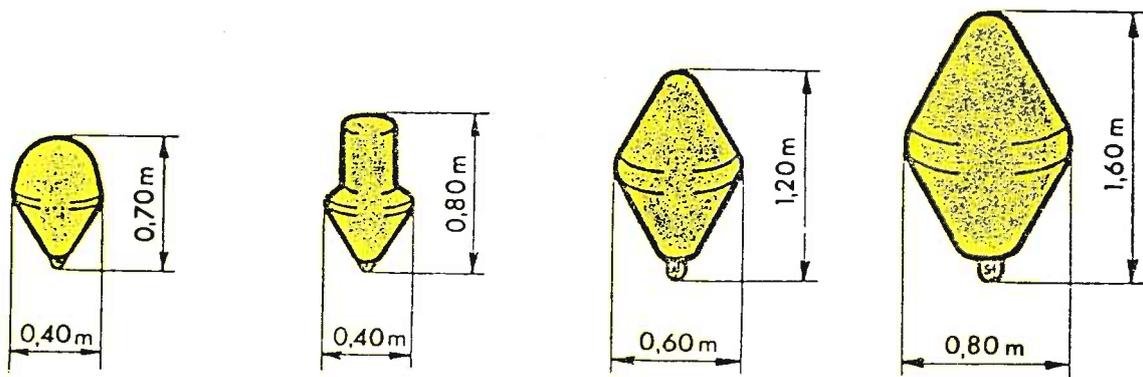


Figura VII.63.- Tipos de flotadores utilizados en la señalización de playas

El tren de fondeo está formado por una cadena, cable de acero o de nylon y un peso muerto de anclaje .

La experiencia ha demostrado que, para profundidades de 5 a 6 metros, la línea de fondeo más segura y económica es la constituida por cadenas .

La cadena de 8 mm. se adapta bien a boyas de 0,60 metros de diámetro. En zonas donde se prevean esfuerzos elevados, puede utilizarse la de 12 mm.

El cálculo de la longitud de la cadena puede realizarse mediante la expresión siguiente:

$$L = 1,3 (H + h)$$

donde:

2 h = amplitud de la ola máxima

H = profundidad

L = longitud de la cadena

En zonas donde hay gran transporte litoral, la cadena se cubre de arena y es difícil sacarla al terminar la temporada. En estos casos, puede utilizarse un cable de acero galvanizado de 10 mm. de diámetro, en sustitución de la cadena .

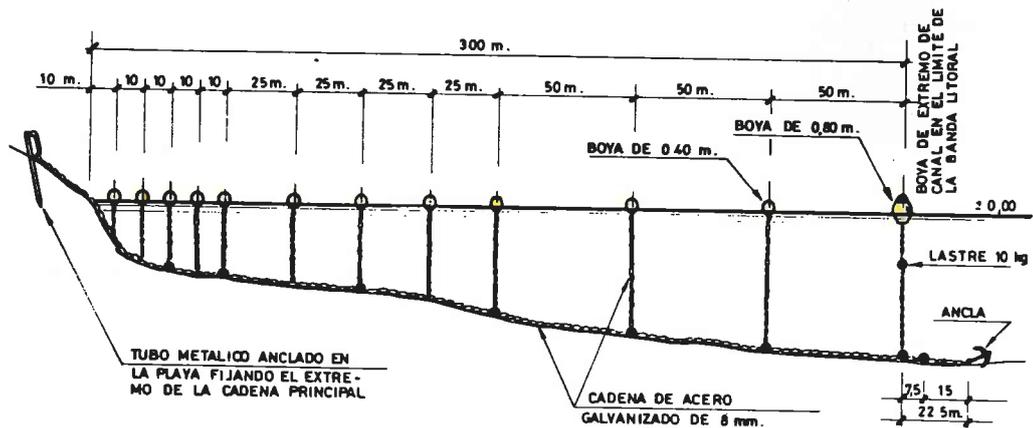
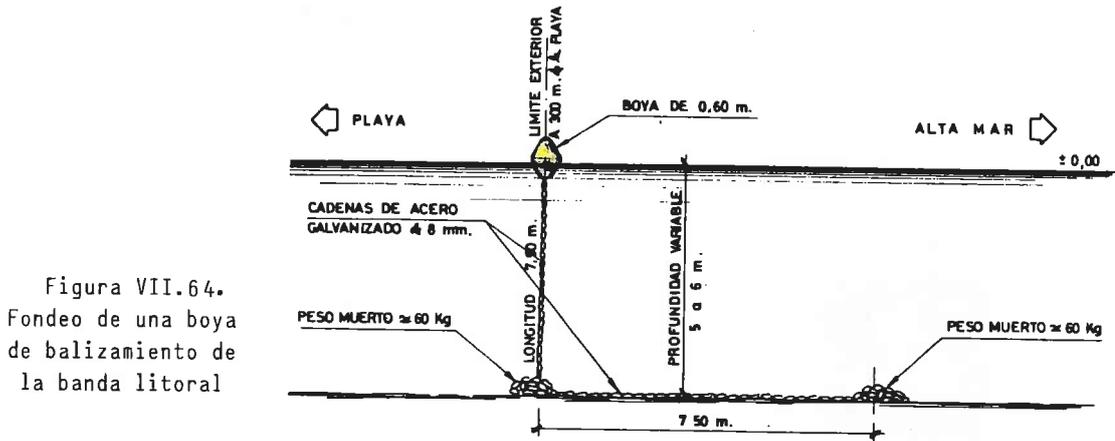
Los muertos de anclaje deben tener un peso del orden de 120 kg., medidos en el agua. En el caso de fondos de rocas lisas, pueden ser aumentados .

Se recomienda utilizar dos muertos de 60 kg. cada uno, unidos mediante una cadena de 8 mm. y de 7,5 a 10 metros de longitud. Esta disposición da una mayor elasticidad al tren de fondeo, disminuyendo los esfuerzos en el punto de unión con el flotador (véase figura VII.64) .

Los muertos de anclaje pueden ser bloques de hormigón o, mejor aún, paquetes de cadenas de 40 mm.

En los canales transversales de paso, la poca profundidad del agua impide la utilización de muertos de anclaje individuales y es por ello que se adopta una solución que ha sancionado la experiencia, consistente en unir los flotadores a un tren de fondeo principal, extendido en el fondo, consiguiéndose, así, unas alineaciones rectilíneas y paralelas. Esta disposición puede verse en la figura VII.65 .

Los flotadores se unen a la cadena principal, mediante cadenas de 8 mm., cuya longitud se calculará en función de la profundidad .



VII.3.1.3.2.- Discos de señalización

Estos discos pueden establecerse tanto en playas como en ríos, lagos y demás zonas de flotación .

Tienen forma cuadrada o rectangular, y sus dimensiones son del orden de un metro .

Las señales de prohibición están constituidas por símbolos negros sobre fondo blanco, bordeadas y cruzadas por una franja de color rojo .

Las señales de autorización están constituidas por símbolos blancos sobre fondo azul .

A título de ejemplo, se exponen en la figura VII.66 algunos discos definidos en la normativa francesa (Règlement Général de Police).

VII.3.2.- Señalización de plataformas off-shore

Las recomendaciones que se exponen a continuación fueron publicadas por la Asociación Internacional de Señalización Marítima (IALA/AISM), en Noviembre de 1.984 .

Señales de autorización	Señales de prohibición
 <p data-bbox="603 456 751 607">Autoriza la navegación de embarcaciones a motor</p>	<p data-bbox="943 456 1114 584">Prohíbe la navegación de embarcaciones a motor</p> 
 <p data-bbox="603 696 778 846">Autoriza la navegación de todas las embarcaciones de recreo</p>	<p data-bbox="943 696 1118 846">Prohíbe la navegación de todas las embarcaciones de recreo</p> 
 <p data-bbox="603 1211 778 1339">Autoriza la navegación de embarcaciones a vela</p>	<p data-bbox="943 981 1129 1070">Prohíbe la práctica del esquí náutico</p> 
 <p data-bbox="603 1458 778 1585">Autoriza la navegación de embarcaciones a remo</p>	<p data-bbox="943 1205 1145 1332">Prohíbe la navegación de embarcaciones a vela</p> 
 <p data-bbox="603 1458 778 1585">Autoriza la navegación de embarcaciones a remo</p>	<p data-bbox="943 1451 1145 1579">Prohíbe la navegación de embarcaciones a remo</p> 

Figura VII.66.- Discos de señalización para actividades náuticas utilizadas en las zonas de flotación (R.G.P., Francia)

VII.3.2.1.- Campo de aplicación

Estas recomendaciones son de aplicación en todas las estructuras fijas, temporales o permanentes, que se instalen sobre el mar, constituyendo un obstáculo para la navegación. Incluirá, por tanto, plataformas de perforación, de exploración o explotación, soportes protectores de pozos o plataformas de recogida de datos oceanográficos .

VII.3.2.2.- Señalización

Toda plataforma estará dotada, de noche, de una o varias luces blancas, de forma que, al menos, una sea visible desde cualquier dirección .

Estas luces estarán situadas a más de 6 metros y a menos de 30 del nivel de pleamar medio, y su intensidad aparente mínima será de 1.400 candelas. Estarán sincronizadas y simbolizarán la letra U del alfabeto Morse, con un periodo máximo de 15 segundos. La distribución vertical del haz luminoso será tal que sea visto desde un punto contiguo a la plataforma, hasta el límite de visibilidad de la luz.

Los extremos horizontales y verticales de las plataformas estarán señalizados conforme a las disposiciones vigentes y a los reglamentos de tráfico aéreo .

Toda plataforma deberá estar equipada con un sistema secundario de señal luminosa, que entrará automáticamente en servicio en caso de avería del equipo principal. Deberá ser capaz de operar de forma continua durante 4 días y su intensidad no será inferior a 1200 candelas .

Toda plataforma estará dotada, siempre que sea posible, de pantallas de identificación con letras o cifras negras de un metro de altura sobre fondo amarillo, bien visibles desde todas las direcciones, tanto de día como de noche. Para ello, se revestirán de cintas retrorreflexivas o se iluminarán .

Toda plataforma tendrá una o varias señales acústicas dispuestas de tal forma que sean audibles desde todas las direcciones .

Estas señales estarán a más de 6 metros y a menos de 30 del nivel de pleamar medio, pudiéndose, al menos, oír desde una distancia de 2 millas .

Simbolizarán la letra U del alfabeto Morse, con un periodo de 30 segundos, siendo, la duración mínima de un sonido de 0,75 segundos. Se pondrán en servicio cuando la distancia de visibilidad sea inferior a 2 millas .

Toda plataforma estará equipada de una señal acústica secundaria, independiente de la principal, capaz de operar de forma continua durante 4 días. Su alcance no será inferior a 0,5 millas, siendo audible desde cualquier dirección .

Cuando sea necesario identificar una plataforma en particular, se podrá instalar una baliza radar. Su alcance y su código serán definidos por la autoridad competente. Toda baliza radar instalada en una plataforma temporal no situada en las cartas, será codificada

mediante la letra D del alfabeto Morse .

Si varias plataformas se encuentran situadas de tal forma que la seguridad de la navegación está garantizada sin que cada una de ellas esté dotada de señales luminosas y acústicas conforme a estas recomendaciones, o si la autoridad competente considera que las condiciones locales permiten una derogación de las disposiciones concernientes a la intensidad de las luces, esta autoridad determinará la señalización adecuada .

Si la autoridad competente estima necesaria la instalación de boyas para balizar el contorno de un grupo de plataformas, los canales de paso a través del grupo o una plataforma en construcción o en desmontaje, sus características estarán conformes al Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA/AISM .

Donde se localicen obstáculos submarinos que constituyan peligro para la navegación, tales como pozos de bombeo o conducciones sumergidas, se establecerá un balizamiento conforme al Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA/AISM .

VII.3.2.3.- Señalización complementaria

La autoridad competente puede, en ciertos casos, para establecer buenas condiciones de navegación, exigir una señalización complementaria, que puede estar compuesta por:

- Luz de gran intensidad .
- Radiofaro marítimo de alcance, frecuencia y características específicas .
- Baliza radar de alcance y características específicas .
- Boyas conforme al Sistema de Señalización Marítima de la IALA/AISM .

VII.3.3.- Balizamiento en lagos

Los límites de las distintas zonas de actividades estarán formados por líneas de boyas amarillas .

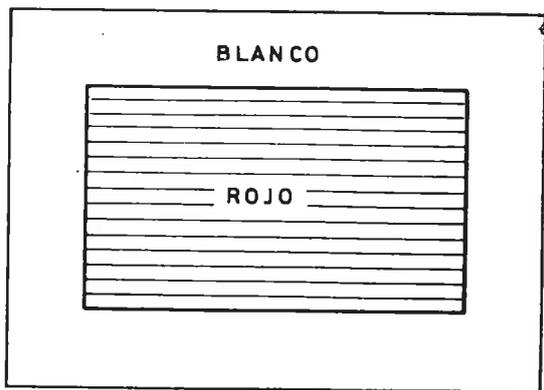
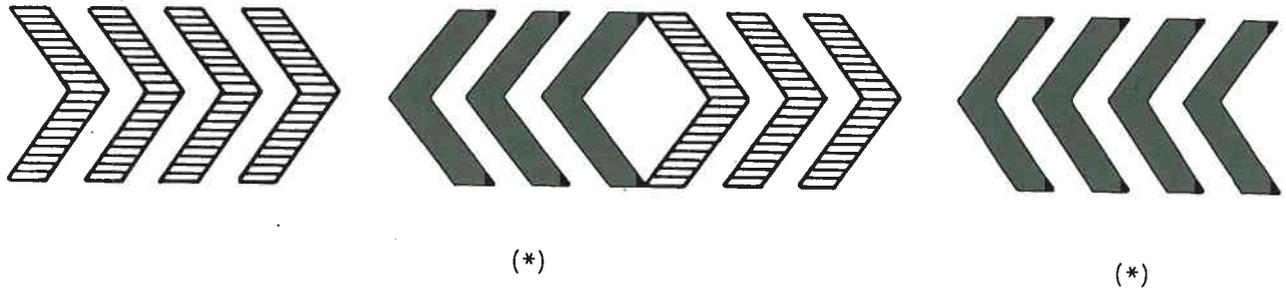
La elección de las dimensiones de las boyas y su emplazamiento dependerá de la naturaleza de las zonas a delimitar (véase VII.3.1.2) .

Para ofrecer una mayor visibilidad, las boyas pueden coronarse con banderines triangulares rígidos de color rojo .

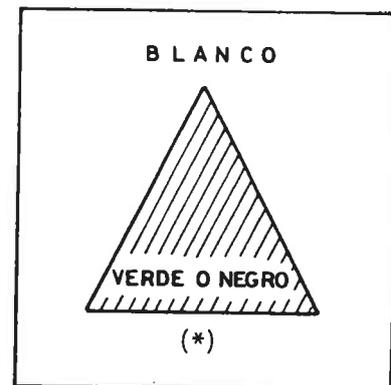
VII.3.4.- Balizamiento de diques y obras portuarias

La Asociación Internacional de Señalización Marítima ha recomendado que las partes salientes de las obras portuarias (morros de diques, extremos de pantalanés, ángulos de espigones, etc.) se balicen mediante señales diurnas del tipo de las que recoge la figura VII.67, con dos posibilidades A y B .

La señalización del tipo A utiliza bandas blancas y rojas a babor y blancas y negras a estribor, dispuestas en forma de flechas indicando la dirección de paso .



A BABOR



A ESTRIBOR

Figura VII.67.- Señalización de obras portuarias
 (*) El negro puede sustituirse por verde

La señalización del tipo B corresponde a la "Recomendación para la señalización de puentes sobre canales" (IALA/AISM, 16 de Noviembre de 1.967). Un rectángulo rojo sobre fondo blanco a babor y un triángulo equilátero verde o negro con un lado horizontal, sobre fondo blanco, a estribor. El tamaño es función de la distancia de visibilidad necesaria (véase Capítulo II) .

Si la señalización debe ser utilizada por la noche, deberá estar iluminada o, al menos, provista de película retrorreflexiva .

La prolongación de diques, construcciones o fondeo de cajones, desmontes submarinos, dragados u otra clase de obras en los puertos obliga, también, en muchas ocasiones, a la señalización diurna, para establecer por qué lado debe librarse el obstáculo. Esta señalización se realizará tal como se ha indicado anteriormente en este apartado (véase figura VII.66) .

VII.3.5.- Balizamiento de puentes sobre canales

En el caso de puentes en los que sus pilas estén fuera del canal navegable, y su altura sea suficiente para que no presenten riesgo para la navegación, la señalización del canal se realiza prescindiendo de la presencia del puente .

En los demás casos, se siguen las reglas de señalización que a continuación se exponen (IALA/AISM, 1.968 . "Recommendation for the marking of bridges over straits and estuaries").

VII.3.5.1.- Señalización visual

VII.3.5.1.1.- Señales ciegas

Un rectángulo rojo sobre fondo blanco a babor y un triángulo equilátero, con un lado horizontal, de color verde o negro, sobre fondo blanco, a estribor .

Estos paneles pueden estar situados en las pilas del puente si la navegación es posible en toda la anchura del vano, o, en caso contrario, bajo el vano en el límite del canal navegable .

Si hay varios canales de paso posibles, este sistema se aplicará a cada uno de ellos .

VII.3.5.1.2.- Señales luminosas

Pueden realizarse mediante luces verdes o rojas, fijas o intermitentes, o bien mediante la iluminación de las señales diurnas .

Su disposición espacial será la misma que para las señales ciegas .

VII.3.5.1.3.- Señalización acústica

Puede realizarse mediante una o más señales sonoras. Sus características deben ser distintas para cada tramo específico del puente (véase Capítulo VI) .

VII.3.5.2.- Señalización radioeléctrica

Como, en general, las pilas del puente no pueden distinguirse del resto de la obra en una pantalla de radar, es necesario dotarlas de reflectores de radar (véase Capítulo V) .

La distancia entre reflectores y pilas del puente no podrá ser inferior a 20 metros .

VII.3.6.- Balizamiento de un canal de estuarios

El balizamiento más preciso es el constituido por alineaciones de señales luminosas .

Si el canal navegable es sinuoso y ocupa casi todo el intervalo entre márgenes, se baliza mediante luces situadas en las orillas cóncavas, según figura VII.68 .

La distancia entre dos luces debe ser tal que una embarca-

ción situada en el centro del canal pueda ver la luz n+1, antes de alcanzar la posición de la luz n .

En los demás casos, se sitúan boyas luminosas al tresbolillo, o emparejadas a un lado y otro del canal .

Las boyas deberán estar separadas un máximo de 1 milla .

Aunque derogado con la implantación del Sistema de la IALA/AISM, el antiguo reglamento de balizamiento de las costas españolas, se recoge en la figura VII.69 un ejemplo de balizamiento de canales, mediante el sistema lateral que utilizaba daderos blancos y rojos y blancos y negros, por si pudiera tener alguna aplicación de carácter subsidiario .

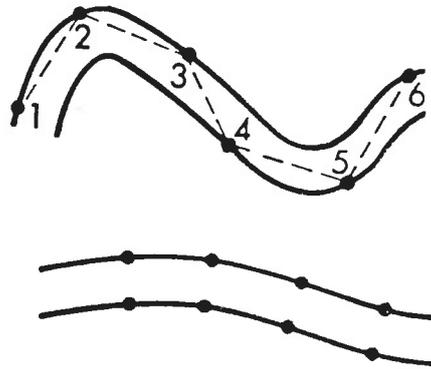


Figura VII.68.- Balizamiento de un canal navegable

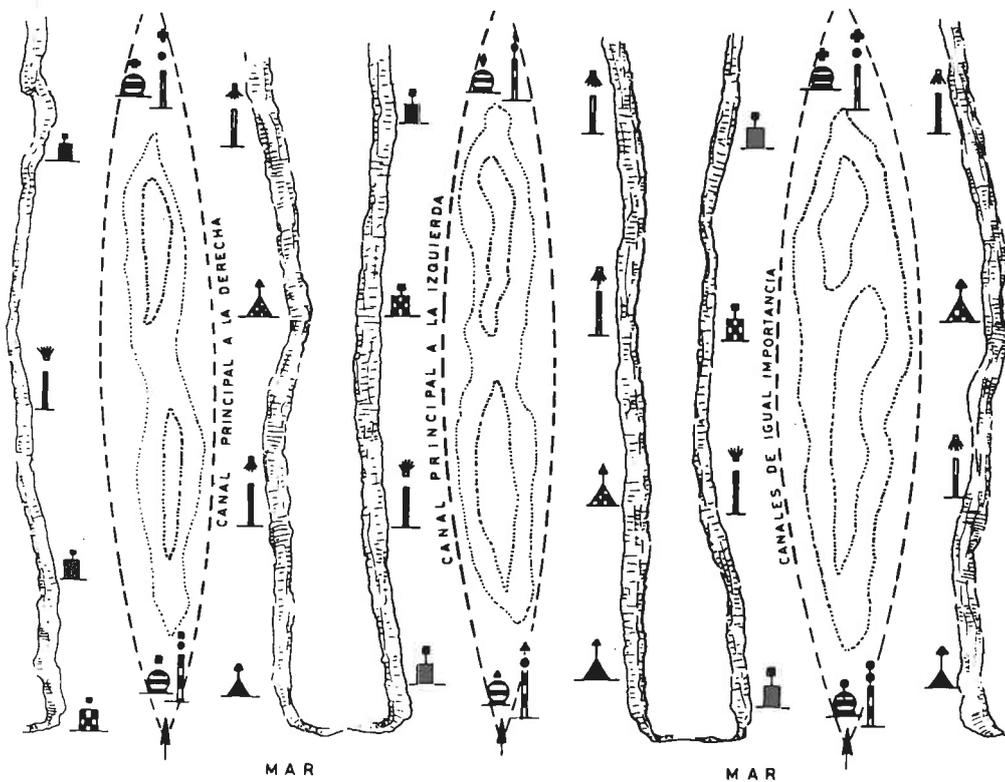


Figura VII.69.- Balizamiento de un canal con el antiguo sistema lateral

APENDICE



APENDICE

TABLAS DE PASO DEL SOL POR EL MERIDIANO DE GREENWICH
Y DECLINACION SOLAR PARA LA DETERMINACION
DEL NORTE VERDADERO

(Tomadas del Almanaque Náutico de 1.985)

En las siguientes tablas, el valor que se expresa en la columna "P.M.G." corresponde a la hora de tiempo universal -es decir, la hora local del huso meridiano Greenwich, definido por los meridianos $7,5^{\circ} 0$ a $7,5^{\circ} E$ - del paso del Sol por el meridiano, de tal modo que el valor e de la ecuación viene dado por la diferencia a 12 h (t_v) .

El valor de la declinación solar viene expresado por el ángulo α y corresponde a las 12 h.

Tanto el valor de la hora P.M.G. como el de α varían ligeramente de un año a otro, pero, a los efectos que se persiguen en los cálculos, estas pequeñas diferencias no tienen relevancia .

ENERO

FEBRERO

Día	P.M.G.		declinación α		Día	P.M.G.		declinación α	
1	12 ^h	3 ^m ,6	-23°	1',6	1	12 ^h	13 ^m ,6	-17°	2',0
2	12 ^h	4 ^m ,1	-22°	53',8	2	12 ^h	13 ^m ,8	-16°	44',7
3	12 ^h	4 ^m ,6	-22°	41',9	3	12 ^h	14 ^m ,0	-16°	27',1
4	12 ^h	5 ^m ,0	-22°	41',9	4	12 ^h	14 ^m ,0	-16°	9',2
5	12 ^h	5 ^m ,5	-22°	35',2	5	12 ^h	14 ^m ,1	-15°	51',1
6	12 ^h	5 ^m ,9	-22°	28',1	6	12 ^h	14 ^m ,1	-15°	32',7
7	12 ^h	6 ^m ,3	-22°	20',6	7	12 ^h	14 ^m ,2	-15°	14',0
8	12 ^h	6 ^m ,8	-22°	12',6	8	12 ^h	14 ^m ,2	-14°	55',1
9	12 ^h	7 ^m ,2	-22°	4',2	9	12 ^h	14 ^m ,3	-14°	35',4
10	12 ^h	7 ^m ,6	-21°	55',4	10	12 ^h	14 ^m ,3	-14°	16',5
11	12 ^h	8 ^m ,0	-21°	46',1	11	12 ^h	14 ^m ,3	-13°	56',8
12	12 ^h	8 ^m ,4	-21°	36',5	12	12 ^h	14 ^m ,3	-13°	36',9
13	12 ^h	8 ^m ,8	-21°	26',4	13	12 ^h	14 ^m ,2	-13°	16',8
14	12 ^h	9 ^m ,1	-21°	15',8	14	12 ^h	14 ^m ,2	-12°	56',4
15	12 ^h	9 ^m ,5	-21°	4',9	15	12 ^h	14 ^m ,2	-12°	35',8
16	12 ^h	9 ^m ,8	-20°	53',9	16	12 ^h	14 ^m ,1	-12°	15',1
17	12 ^h	10 ^m ,2	-20°	41',8	17	12 ^h	14 ^m ,0	-11°	54',1
18	12 ^h	10 ^m ,5	-20°	29',7	18	12 ^h	14 ^m ,0	-11°	33',0
19	12 ^h	10 ^m ,8	-20°	17',2	19	12 ^h	13 ^m ,9	-11°	11',6
20	12 ^h	11 ^m ,1	-20°	4',3	20	12 ^h	13 ^m ,8	-10°	50',1
21	12 ^h	11 ^m ,4	-19°	51',0	21	12 ^h	13 ^m ,7	-10°	28',5
22	12 ^h	11 ^m ,6	-19°	37',4	22	12 ^h	13 ^m ,5	-10°	6',6
23	12 ^h	11 ^m ,9	-19°	23',4	23	12 ^h	13 ^m ,4	-9°	44',6
24	12 ^h	12 ^m ,2	-19°	9',0	24	12 ^h	13 ^m ,3	-9°	22',5
25	12 ^h	12 ^m ,4	-18°	54',3	25	12 ^h	13 ^m ,1	-9°	0',2
26	12 ^h	12 ^m ,6	-18°	39',2	26	12 ^h	12 ^m ,9	-8°	37',8
27	12 ^h	12 ^m ,8	-18°	23',8	27	12 ^h	12 ^m ,8	-8°	15',3
28	12 ^h	13 ^m ,0	-18°	8',1	28	12 ^h	12 ^m ,6	-7°	52',6
29	12 ^h	13 ^m ,4	-17°	35',7					
30	12 ^h	13 ^m ,2	-17°	52',0					
31	12 ^h	13 ^m ,5	-17°	19',0					

MARZO

ABRIL

Día	P.M.G.	declinación α	Día	P.M.G.	declinación α
1	12 ^h 12 ^m ,4	-7° 29',8	1	12 ^h 3 ^m ,9	+4° 37',8
2	12 ^h 12 ^m ,2	-7° 7',0	2	12 ^h 3 ^m ,6	+5° 0',9
3	12 ^h 12 ^m ,0	-6° 44',0	3	12 ^h 3 ^m ,3	+5° 23',9
4	12 ^h 11 ^m ,8	-6° 20',9	4	12 ^h 3 ^m ,0	+5° 46',8
5	12 ^h 11 ^m ,5	-5° 57',8	5	12 ^h 2 ^m ,7	+6° 9',6
6	12 ^h 11 ^m ,3	-5° 34',5	6	12 ^h 2 ^m ,4	+6° 32',3
7	12 ^h 11 ^m ,1	-5° 11',1	7	12 ^h 2 ^m ,1	+6° 54',8
8	12 ^h 10 ^m ,8	-4° 47',9	8	12 ^h 1 ^m ,9	+7° 17',3
9	12 ^h 10 ^m ,6	-4° 24',4	9	12 ^h 1 ^m ,6	+7° 39',7
10	12 ^h 10 ^m ,3	-4° 0',9	10	12 ^h 1 ^m ,6	+8° 1',9
11	12 ^h 10 ^m ,0	-3° 37',4	11	12 ^h 1 ^m ,0	+8° 23',9
12	12 ^h 9 ^m ,8	-3° 13',8	12	12 ^h 0 ^m ,8	+8° 45',9
13	12 ^h 9 ^m ,5	-2° 50',2	13	12 ^h 0 ^m ,5	+9° 7',7
14	12 ^h 9 ^m ,2	-2° 26',5	14	12 ^h 0 ^m ,3	+9° 29',3
15	12 ^h 9 ^m ,0	-2° 2',8	15	12 ^h 0 ^m ,0	+9° 50',8
16	12 ^h 8 ^m ,7	-1° 39',1	16	11 ^h 59 ^m ,8	+10° 12',2
17	12 ^h 8 ^m ,4	-0° 15',4	17	11 ^h 59 ^m ,6	+10° 33',3
18	12 ^h 8 ^m ,1	-0° 51',6	18	11 ^h 59 ^m ,3	+10° 54',3
19	12 ^h 7 ^m ,8	-0° 27',9	19	11 ^h 59 ^m ,1	+11° 15',1
20	12 ^h 7 ^m ,5	-0° 4',2	20	11 ^h 58 ^m ,9	+11° 35',8
21	12 ^h 7 ^m ,2	+0° 19',5	21	11 ^h 58 ^m ,7	+11° 56',2
22	12 ^h 6 ^m ,9	+0° 43',2	22	11 ^h 58 ^m ,2	+12° 16',4
23	12 ^h 6 ^m ,6	+1° 6',9	23	11 ^h 58 ^m ,3	+12° 36',5
24	12 ^h 6 ^m ,3	+1° 30',5	24	11 ^h 58 ^m ,1	+12° 56',3
25	12 ^h 6 ^m ,0	+1° 54',1	25	11 ^h 58 ^m ,0	+13° 15',9
26	12 ^h 5 ^m ,7	+2° 17',7	26	11 ^h 57 ^m ,8	+13° 35',3
27	12 ^h 5 ^m ,4	+2° 41',1	27	11 ^h 57 ^m ,6	+13° 54',5
28	12 ^h 5 ^m ,1	+3° 4',7	28	11 ^h 57 ^m ,5	+14° 13',4
29	12 ^h 4 ^m ,8	+3° 28',1	29	11 ^h 57 ^m ,3	+14° 32',1
30	12 ^h 4 ^m ,5	+3° 51',4	30	11 ^h 57 ^m ,2	+14° 50',6
31	12 ^h 4 ^m ,2	+4° 14',6			

MAYO

JUNIO

Día	P.M.G.	declinación α	Día	P.M.G.	declinación α
1	11 ^h 57 ^m ,1	+15° 8',8	1	11 ^h 57 ^m ,8	+22° 5',2
2	11 ^h 57 ^m ,0	+15° 26',8	2	11 ^h 57 ^m ,9	+22° 13',0
3	11 ^h 56 ^m ,8	+15° 44',8	3	11 ^h 58 ^m ,1	+22° 20',5
4	11 ^h 56 ^m ,7	+16° 1',9	4	11 ^h 58 ^m ,2	+22° 27',6
5	11 ^h 56 ^m ,7	+16° 19',1	5	11 ^h 58 ^m ,4	+22° 34',3
6	11 ^h 56 ^m ,6	+16° 36',0	6	11 ^h 58 ^m ,6	+22° 40',6
7	11 ^h 56 ^m ,5	+16° 52',6	7	11 ^h 58 ^m ,8	+22° 46',5
8	11 ^h 56 ^m ,4	+17° 9',0	8	11 ^h 59',0	+22° 52',0
9	11 ^h 56 ^m ,4	+17° 25',1	9	11 ^h 59 ^m ,2	+22° 57',1
10	11 ^h 56 ^m ,4	+17° 40',8	10	11 ^h 59 ^m ,4	+23° 1',8
11	11 ^h 56 ^m ,3	+17° 56',3	11	11 ^h 59 ^m ,6	+23° 6',1
12	11 ^h 56 ^m ,3	+18° 11',5	12	11 ^h 59 ^m ,8	+23° 10',0
13	11 ^h 56 ^m ,3	+18° 26',4	13	12 ^h 0 ^m ,0	+23° 13',5
14	11 ^h 56 ^m ,3	+18° 41',0	14	12 ^h 0 ^m ,2	+23° 16',6
15	11 ^h 56 ^m ,3	+18° 55',2	15	12 ^h 0 ^m ,4	+23° 19',3
16	11 ^h 56 ^m ,3	+19° 9',2	16	12 ^h 0 ^m ,6	+23° 21',5
17	11 ^h 56 ^m ,3	+19° 22',8	17	12 ^h 0 ^m ,8	+23° 23',3
18	11 ^h 56 ^m ,4	+19° 36',1	18	12 ^h 1 ^m ,1	+23° 24',8
19	11 ^h 56 ^m ,4	+19° 49',0	19	12 ^h 1 ^m ,3	+23° 25',8
20	11 ^h 56 ^m ,5	+20° 1',6	20	12 ^h 1 ^m ,5	+23° 26',4
21	11 ^h 56 ^m ,5	+20° 13',9	21	12 ^h 1 ^m ,7	+23° 26',6
22	11 ^h 56 ^m ,6	+20° 25',8	22	12 ^h 1 ^m ,9	+23° 26',3
23	11 ^h 56 ^m ,7	+20° 37',4	23	12 ^h 2 ^m ,1	+23° 25',7
24	11 ^h 56 ^m ,8	+20° 48',6	24	12 ^h 2 ^m ,4	+23° 24',6
25	11 ^h 56 ^m ,9	+20° 59',5	25	12 ^h 2 ^m ,6	+23° 23',2
26	11 ^h 57 ^m ,0	+21° 10',0	26	12 ^h 2 ^m ,8	+23° 21',3
27	11 ^h 57 ^m ,1	+21° 20',1	27	12 ^h 3 ^m ,0	+23° 19',0
28	11 ^h 57 ^m ,2	+21° 29',9	28	12 ^h 3 ^m ,2	+23° 16',3
29	11 ^h 57 ^m ,3	+21° 39',3	29	12 ^h 3 ^m ,4	+23° 13',2
30	11 ^h 57 ^m ,5	+21° 48',3	30	12 ^h 3 ^m ,6	+23° 9',7
31	11 ^h 57 ^m ,6	+21° 56',9			

JULIO

AGOSTO

Día	P.M.G.	declinación α	Día	P.M.G.	declinación α
1	12 ^h 3 ^m ,8	+23° 5',8	1	12 ^h 6 ^m ,3	+17° 57',8
2	12 ^h 4 ^m ,0	+23° 1',4	2	12 ^h 6 ^m ,2	+17° 42',5
3	12 ^h 4 ^m ,2	+22° 56',7	3	12 ^h 6 ^m ,1	+17° 11',0
4	12 ^h 4 ^m ,3	+22° 51',6	4	12 ^h 6 ^m ,0	+17° 11',0
5	12 ^h 4 ^m ,5	+22° 46',1	5	12 ^h 5 ^m ,9	+16° 54',9
6	12 ^h 4 ^m ,7	+22° 40',2	6	12 ^h 5 ^m ,8	+16° 38',5
7	12 ^h 4 ^m ,8	+22° 33',9	7	12 ^h 5 ^m ,7	+16° 21',8
8	12 ^h 5 ^m ,0	+22° 27',2	8	12 ^h 5 ^m ,6	+16° 4',8
9	12 ^h 5 ^m ,2	+22° 20',1	9	12 ^h 5 ^m ,5	+15° 47',6
10	12 ^h 5 ^m ,3	+22° 12',6	10	12 ^h 5 ^m ,3	+15° 30',1
11	12 ^h 5 ^m ,4	+22° 4',8	11	12 ^h 5 ^m ,2	+15° 12',4
12	12 ^h 5 ^m ,6	+21° 56',5	12	12 ^h 5 ^m ,0	+14° 54',4
13	12 ^h 5 ^m ,7	+21° 38',9	13	12 ^h 4 ^m ,8	+14° 36',2
14	12 ^h 5 ^m ,8	+21° 38',9	14	12 ^h 4 ^m ,6	+14° 17',7
15	12 ^h 5 ^m ,9	+21° 29',6	15	12 ^h 4 ^m ,4	+13° 59',1
16	12 ^h 6 ^m ,0	+21° 19',9	16	12 ^h 4 ^m ,2	+13° 40',2
17	12 ^h 6 ^m ,1	+21° 9',8	17	12 ^h 4 ^m ,0	+13° 21',1
18	12 ^h 6 ^m ,2	+20° 59',3	18	12 ^h 3 ^m ,8	+13° 1',7
19	12 ^h 6 ^m ,2	+20° 48',5	19	12 ^h 3 ^m ,6	+12° 42',2
20	12 ^h 6 ^m ,3	+20° 37',4	20	12 ^h 3 ^m ,4	+12° 22',5
21	12 ^h 6 ^m ,4	+20° 25',9	21	12 ^h 3 ^m ,1	+12° 2',6
22	12 ^h 6 ^m ,4	+20° 14',0	22	12 ^h 2 ^m ,9	+11° 42',4
23	12 ^h 6 ^m ,4	+20° 1',9	23	12 ^h 2 ^m ,6	+11° 22',1
24	12 ^h 6 ^m ,5	+19° 49',4	24	12 ^h 2 ^m ,3	+11° 1',7
25	12 ^h 6 ^m ,5	+19° 36',5	25	12 ^h 2 ^m ,1	+10° 41',0
26	12 ^h 6 ^m ,5	+19° 23',4	26	12 ^h 1 ^m ,8	+10° 20',2
27	12 ^h 6 ^m ,5	+19° 9',9	27	12 ^h 1 ^m ,5	+9° 59',2
28	12 ^h 6 ^m ,5	+18° 56',1	28	12 ^h 1 ^m ,2	+9° 38',1
29	12 ^h 6 ^m ,4	+18° 42',0	29	12 ^h 0 ^m ,9	+9° 16',8
30	12 ^h 6 ^m ,4	+18° 27',5	30	12 ^h 0 ^m ,6	+8° 55',4
31	12 ^h 6 ^m ,3	+18° 12',8	31	12 ^h 0 ^m ,3	+8° 33',8

SEPTIEMBRE

OCTUBRE

Días	P.M.G.	declinación α	Días	P.M.G.	declinación α
1	12 ^h 0 ^m ,0	+8° 12',1	1	11 ^h 49 ^m ,7	-3° 16',4
2	11 ^h 59 ^m ,7	+7° 50',2	2	11 ^h 49 ^m ,3	-3° 39',6
3	11 ^h 59 ^m ,3	+7° 28',3	3	11 ^h 49 ^m ,0	-4° 2',8
4	11 ^h 59 ^m ,0	+7° 6',2	4	11 ^h 48 ^m ,7	-4° 26',0
5	11 ^h 58 ^m ,7	+6° 43',9	5	11 ^h 48 ^m ,4	-4° 49',1
6	11 ^h 58 ^m ,3	+6° 21',6	6	11 ^h 48 ^m ,1	-5° 12',1
7	11 ^h 58 ^m ,0	+5° 59',2	7	11 ^h 47 ^m ,8	-5° 35',1
8	11 ^h 57 ^m ,6	+5° 36',7	8	11 ^h 47 ^m ,5	-5° 58',0
9	11 ^h 57 ^m ,3	+5° 14',0	9	11 ^h 47 ^m ,3	-6° 20',9
10	11 ^h 57 ^m ,0	+4° 51',3	10	11 ^h 47 ^m ,0	-6° 43',6
11	11 ^h 56 ^m ,6	+4° 28',5	11	11 ^h 46 ^m ,7	-7° 6',3
12	11 ^h 56 ^m ,3	+4° 5',6	12	11 ^h 46 ^m ,5	-7° 28',9
13	11 ^h 55 ^m ,9	+3° 42',7	13	11 ^h 46 ^m ,2	-7° 51',3
14	11 ^h 55 ^m ,6	+3° 19',6	14	11 ^h 46 ^m ,0	-8° 13',7
15	11 ^h 55 ^m ,2	+2° 56',6	15	11 ^h 45 ^m ,8	-8° 36',0
16	11 ^h 54 ^m ,8	+2° 33',4	16	11 ^h 45 ^m ,6	-8° 58',1
17	11 ^h 54 ^m ,5	+2° 10',2	17	11 ^h 45 ^m ,4	-9° 20',1
18	11 ^h 54 ^m ,1	+1° 47',0	18	11 ^h 45 ^m ,2	-9° 41',9
19	11 ^h 53 ^m ,8	+1° 23',7	19	11 ^h 45 ^m ,0	-10° 3',7
20	11 ^h 53 ^m ,4	+1° 0',4	20	11 ^h 44 ^m ,8	-10° 25',2
21	11 ^h 53 ^m ,1	+0° 37',1	21	11 ^h 44 ^m ,6	-10° 46',7
22	11 ^h 52 ^m ,7	+0° 13',7	22	11 ^h 44 ^m ,5	-11° 7',9
23	11 ^h 52 ^m ,4	-0° 9',6	23	11 ^h 44 ^m ,3	-11° 29',0
24	11 ^h 52 ^m ,0	-0° 33',0	24	11 ^h 44 ^m ,2	-11° 49',9
25	11 ^h 51 ^m ,7	-0° 56',4	25	11 ^h 44 ^m ,1	-12° 10',6
26	11 ^h 51 ^m ,3	-1° 19',7	26	11 ^h 44 ^m ,0	-12° 31',2
27	11 ^h 51 ^m ,0	-1° 43',1	27	11 ^h 43 ^m ,9	-12° 51',5
28	11 ^h 50 ^m ,6	-2° 6',4	28	11 ^h 43 ^m ,8	-13° 11',7
29	11 ^h 50 ^m ,3	-2° 29',8	29	11 ^h 43 ^m ,7	-13° 31',6
30	11 ^h 50 ^m ,0	-2° 53',1	30	11 ^h 43 ^m ,7	-13° 51',3
			31	11 ^h 43 ^m ,6	-14° 10',8

NOVIEMBRE

DICIEMBRE

Días	P.M.G.	declinación α	Días	P.M.G.	declinación α
1	11 ^h 43 ^m ,6	-14° 30',1	1	11 ^h 49 ^m ,0	-21° 50',3
2	11 ^h 43 ^m ,6	-14° 49',2	2	11 ^h 49 ^m ,4	-21° 59',4
3	11 ^h 43 ^m ,6	-15° 8',0	3	11 ^h 49 ^m ,8	-22° 8',0
4	11 ^h 43 ^m ,6	-15° 26',5	4	11 ^h 50 ^m ,2	-22° 16',2
5	11 ^h 43 ^m ,6	-15° 44',8	5	11 ^h 50 ^m ,6	-22° 23',9
6	11 ^h 43 ^m ,6	-16° 2',9	6	11 ^h 51 ^m ,0	-22° 31',2
7	11 ^h 43 ^m ,7	-16° 20',7	7	11 ^h 51 ^m ,5	-22° 38',1
8	11 ^h 43 ^m ,8	-16° 38',2	8	11 ^h 51 ^m ,9	-22° 44',5
9	11 ^h 43 ^m ,8	-16° 55',4	9	11 ^h 52 ^m ,4	-22° 50',5
10	11 ^h 43 ^m ,9	-17° 12',4	10	11 ^h 52 ^m ,8	-22° 56',1
11	11 ^h 44 ^m ,0	-17° 29',0	11	11 ^h 53 ^m ,3	-23° 1',1
12	11 ^h 44 ^m ,2	-17° 45',4	12	11 ^h 53 ^m ,7	-23° 5',8
13	11 ^h 44 ^m ,3	-18° 1',4	13	11 ^h 54 ^m ,2	-23° 9',9
14	11 ^h 44 ^m ,5	-18° 17',2	14	11 ^h 54 ^m ,7	-23° 13',7
15	11 ^h 44 ^m ,6	-18° 32',6	15	11 ^h 55 ^m ,2	-23° 16',9
16	11 ^h 44 ^m ,8	-18° 47',7	16	11 ^h 55 ^m ,7	-23° 19',7
17	11 ^h 45 ^m ,0	-19° 2',4	17	11 ^h 56 ^m ,1	-23° 22',0
18	11 ^h 45 ^m ,2	-19° 16',8	18	11 ^h 56 ^m ,6	-23° 23',8
19	11 ^h 45 ^m ,4	-19° 30',9	19	11 ^h 57 ^m ,1	-23° 25',2
20	11 ^h 45 ^m ,6	-19° 44',6	20	11 ^h 57 ^m ,6	-23° 26',1
21	11 ^h 45 ^m ,9	-19° 57',9	21	11 ^h 58 ^m ,1	-23° 26',5
22	11 ^h 46 ^m ,2	-20° 10',9	22	11 ^h 58 ^m ,6	-23° 26',5
23	11 ^h 46 ^m ,4	-20° 23',5	23	11 ^h 59 ^m ,1	-23° 26',0
24	11 ^h 46 ^m ,7	-20° 35',7	24	11 ^h 59 ^m ,6	-23° 25',0
25	11 ^h 47 ^m ,0	-20° 47',6	25	12 ^h 0 ^m ,1	-23° 23',6
26	11 ^h 47 ^m ,3	-20° 59',0	26	12 ^h 0 ^m ,6	-23° 21',6
27	11 ^h 47 ^m ,6	-21° 10',1	27	12 ^h 1 ^m ,1	-23° 19',3
28	11 ^h 48 ^m ,0	-21° 20',8	28	12 ^h 1 ^m ,6	-23° 16',4
29	11 ^h 48 ^m ,3	-21° 31',0	29	12 ^h 2 ^m ,1	-23° 13',1
30	11 ^h 48 ^m ,7	-21° 40',9	30	12 ^h 2 ^m ,6	-23° 9',3
			31	12 ^h 3 ^m ,0	-23° 5',0

SIMBOLOS UTILIZADOS



SIMBOLOS UTILIZADOS

- A Amplitud, en metros (Cap. V)
 Area, en m². (Cap. II,III,V,VII)
 Autonomía de una batería (Cap. VII)
 Coeficiente de transmisión atmosférica expresado en Km. (Cap. II,IV)
 Constante de tiempo en el método de Allard (Cap. III)
 Disponibilidad (Cap. VII)
 Pérdida de intensidad sonora por kilómetro (Cap. VI)
- A_b Superficie proyectada de las partes emergidas de la boya, en m². (Cap. V)
- A_r Superficie reflectora proyectada, en m². (Cap. V)
- B Inducción magnética, en tesla (Cap. V)
- B_c Reactancia condensiva, en ohmios (Cap. V)
- B_r Reserva mínima de flotabilidad, en m³. (Cap. VII)
- C Capacidad, en faradios (Cap. V)
 Capacidad de un compresor, en litros/s (Cap. VI)
 Coeficiente de forma (Cap. VII)
 Coeficiente de reducción por utilización de válvula solar (Cap. VII)
 Coeficiente de seguridad (Cap. VII)
 Constante de tiempo en el método de Schmidt-Clausen (Cap. III)
 Consumo en instalación eléctrica, en amperios-hora (Cap. VII)
 Contraste (Cap. IV)
- C_a Capacidad de la batería, en amperios-hora (Cap. VII)
- C_c Contraste con respecto al cielo (Cap. II)
- C_d Coeficiente de tiro hidrodinámico (Cap. VII)
 Capacidad adicional de la batería, en amperios-hora (Cap. VII)
- C_s Contraste con respecto al suelo (Cap. II)
- C_u Capacidad unitaria, en picofaradios/cm. (Cap. V)
- C_w Coeficiente de tiro aerodinámico (Cap. VII)
- C (o) ... Contraste a distancia corta (Cap. II)
- C (x) ... Contraste a distancia x (Cap. II)
- CR Coeficiente de retroreflexión, en cd/lux.m² (Cap. II)
- D Alcance, en km. o m. (Cap. IV,V,VI)
 Densidad de corriente, en amperios/mm² (Cap. VII)

- D Diámetro, en metros (Cap. VII)
 Distancia, en metros (Cap. V, VII)
 Distancia de la zona de silencio, en metros (Cap. VI)
 Distancia entre la fuente de luz y la ventanilla del fotómetro, en metros (Cap. III)
- D_h Alcance, en metros (Cap. V)
- D_N Alcance nominal, en millas (Cap. VI)
- D_O Alcance medio, en millas (Cap. VI)
- D_U Alcance usual, en millas (Cap. VI)
- E Energía, en kw-h (Cap. VII)
 Iluminancia, en lux (Cap. II, III, IV)
 Intensidad de campo eléctrico, en v/m (Cap. V)
 Módulo de elasticidad, en kg/mm². (Cap. VII)
 Pérdida de tensión eléctrica, en voltios (Cap. VII)
- E_a Caída de tensión admisible, en % (Cap. VII)
- E_o Umbral de percepción de la luz, en lux (Cap. IV)
- F Factor de calentamiento (Cap. VII)
 Factor de corrección por la resistencia de un circuito en ópticas de horizonte con lámparas eléctricas (Cap. III)
 Factor de forma de Schmidt-Clausen (Cap. III)
 Fuerza, en newtons (Cap. V, VII)
- G Ganancia, en decibelios (Cap. V)
- G_e Ganancia de la antena de emisión, en decibelios (Cap. V)
- G_r Ganancia de la antena de recepción en decibelios (Cap. V)
- H Altura de emisión de la señal acústica sobre el nivel del mar, en metros (Cap. VI)
 Altura de la luz posterior de la enfilación sobre el nivel del mar, en metros (Cap. IV)
 Altura de la antena transmisora, en metros (Cap. V)
 Altura del plano focal sobre el nivel del mar, en metros (Cap. IV)
 Intensidad de campo magnético, en amperio-vuelta (Cap. V)
 Número anual de horas de insolación (Cap. VII)
 Profundidad del mar, en metros (Cap. VII)
 Tiro, en kilogramos (Cap. VII)
- H' Altura de audición sobre el nivel del mar, en metros (Cap. VI).
 Altura de la luz posterior de la enfilación sobre el ojo del observador, en metros (Cap. IV)
- H_d Horas diarias de funcionamiento de lámpara y destellador (Cap. VII)

- I Intensidad eléctrica, en amperios (Cap. VII)
 Intensidad luminosa, en candelas (Cap. II, III, IV)
 Magnitud de la sensación de sonoridad, en decibelios
 (Cap. VI)
 Momento de inercia, en T.m² (Cap. VII)
- I_A Intensidad acústica de la fuente, en decibelios (Cap. VI)
- I_C Intensidad luminosa de cálculo, en candelas (Cap. IV)
- I_d Intensidad del destellador, en amperios (Cap. VII)
- I_e Intensidad eficaz, en candelas (Cap. III, IV)
- I_f Momento de inercia, en m⁴. (Cap. VII)
- I_n Intensidad nominal de la lámpara, en amperios (Cap. VI)
- I_o Intensidad estacionaria, máxima o de pico, en candelas
 (Cap. III, IV).
- I_u Nivel de intensidad de sensación, en decibelios (Cap. VI)
- J Intensidad integrada de destello, en candelas (Cap. III)
- K Coeficiente (Cap. V, VII)
 Coeficiente de proporcionalidad (Cap. VI)
 Constante característica de la repartición de la intensidad luminosa (Cap. III)
 Número de onda (Cap. V)
 Relación del flujo del haz aéreo al haz marítimo (Cap. IV)
- K' Rendimiento de un panel óptico productor del haz aéreo
 (Cap. IV)
- L Coeficiente de autoinducción, en henrios/km. (Cap. VII)
 Consumo de aire en señales acústicas de aire comprimido en litros/s. (Cap. VI)
 Longitud, en metros (Cap. VII)
 Longitud de onda, en metros (Cap. VII)
 Luminancia, en cd/m². (Cap. II, III, IV)
- L_A Luminancia de una señal marítima, en cd/m². (Cap. II)
- L_B Luminancia de una señal sobre el suelo, en cd/m².
 (Cap. II)
- L_C Luminancia del cielo, en cd/m². (Cap. II)
- L_F Luminancia del fondo de observación, en cd/m².
 (Cap. II)
- L_O Luminancia de un objeto, en cd/m². (Cap. II)

L _S	Luminancia del suelo, en cd/m ² . (Cap. II)
M	Aumento del nivel de presión acústica, en decibelios (Cap. VI)
N	Número de paneles solares necesarios para aportar la energía en el ciclo de un año. (Cap. VII)
N _D	Nivel acústico a distancia D, en decibelios (Cap. VI)
P	Carga, en Kg/m. (Cap. VII) Desplazamiento, en toneladas (Cap. VII) Perímetro, en metros (Cap. VII) Peso, en newtons (Cap. VII) Potencia, en watios (Cap. V, VII)
P ₁	Watios-hora de consumo medio por día a lo largo de un año (Cap. VII)
P.A.R. ..	Potencia aparente radiada, en watios (Cap. V)
P _D	Presión acústica a distancia D, en barias (Cap. VI)
P _e	Potencia transmitida, en watios (Cap. V)
P _m	Potencia media del aerogenerador a lo largo de un año, en watios (Cap. VII)
P _N	Potencia nominal del aerogenerador, en watios (Cap. VII)
P _o	Presión acústica umbral, en barias (Cap. VI)
P _r	Potencia captada o recibida, en watios (Cap. V)
P _S	Potencia máxima del panel solar, en watios (Cap. VII)
P _t	Potencia del transmisor en watios (Cap. V)
P _T	Potencia de salida de la turbina, en watios (Cap. VII)
P _U	Potencia de trabajo del aerogenerador, en watios (Cap. VII)
Q	Nivel acústico, en decibelios (Cap. VI) Flujo de aire en el tubo de oleaje de un generador activado por olas, en Kg/s (Cap. VII) Fuerza o reacción, en kilogramos (Cap. VII)
R	Fiabilidad (Cap. VII) Radio, en metros (Cap. VII) Radio de la tierra en Km. (Cap. IV) Relación de luz (Cap. VII) Resistencia óhmica, en ohmios (Cap. VII) Número de Reynolds (Cap. VII) Distancia, en metros (Cap. V)

- R_m Radio de borneo máximo, en metros (Cap. VII)
- R_{sf} Resistencia de radiación en el pie de la antena, en ohmios (Cap. V)
- R_t Resistencia de pérdidas de la toma de tierra, en ohmios (Cap. V)
- S Coeficiente de sensibilidad lateral (Cap. IV)
Pérdida lineal de nivel de intensidad sonora de la onda acústica, en dB/km. (cap. VI)
Sección, en mm². (Cap. VII)
Superficie, en m². (Cap. II, IV, V, VII)
- T Coeficiente de transmisión atmosférica expresado en millas (Cap. IV)
Periodo, en segundos (Cap. V)
Periodo de rotación de una óptica, en segundos (Cap. III)
Periodo propio de oscilación, en segundos (Cap. VII)
Tensión, en kilogramos (Cap. VII)
- T_o Periodo del oleaje, en segundos (Cap. VII)
- T_1 Coeficiente de transmisión por metro (Cap. V)
- U Número de grupos de frecuencias (Cap. VI)
Tensión eléctrica de servicio, en voltios (Cap. VII)
- U_A Tensión producida por una señal en las bornas del altavoz en voltios (Cap. V)
- U_P Tensión producida por los parásitos en las bornas del altavoz sin señal, en voltios (Cap. V)
- V Distancia de visibilidad meteorológica, en km. (Cap. II, IV)
Velocidad del aire o roción, en m/s (Cap. VII)
Volúmen, en litros o m³. (Cap. VI, VII)
Volumen de carena, en m³. (Cap. VII)
- W Ancho de un canal, en metros (Cap. IV)
Intensidad de la onda sonora, en w/cm². (Cap. VI)
Potencia eléctrica, en wátios (Cap. VII)
- \bar{W} Potencia de salida de una señal en las bornas del altavoz, en wátios (Cap. V)
- W_a Intensidad sonora a un centímetro del emisor en w/cm². (Cap. VI)
- W_D Intensidad sonora a una distancia D, en w/cm². (Cap. VI)
- W_o Intensidad sonora umbral, en w/cm². (Cap. VI)

- XYZ Proporciones de los colores primarios (Cap. III)
- X Alcance nominal de un radiofaro, en mn (Cap. V)
 Constante de radar, en decibelios (Cap. V)
 Distancia desde la luz anterior al extremo anterior de una enfilación, en metros (Cap. IV)
- X_o Distancia desde la luz anterior al extremo posterior de una enfilación, en metros (Cap. IV)
- Y Constante del reflector, en decibelios (Cap. V)
- Z Impedancia del medio, en ohmios (Cap. V)
- a Ancho de embarcadero, en metros (Cap. VII)
 Coeficiente de transmisión atmosférica en metros (Cap. II)
- Constante de tiempo de la visión en el método de Blondel-Rey-Douglas (Cap. III)
 Distancia entre el centro de gravedad y el centro de carena en metros (Cap. VII)
 Distancia que un buque se desvía de la enfilación, en metros (Cap. IV)
 Semiancho del canal navegable según la enfilación, en metros (Cap. IV)
 Velocidad de propagación del sonido con el aire en calma, en m/s (Cap. VI)
- a_i Superficie i, en cm². (Cap. III)
- b Diámetro de la fuente de luz, en mm. (Cap. III)
 Duración del silencio más largo dentro del periodo de una señal acústica, en minutos (Cap. VI)
- c Altura de la catenaria (Cap. VII)
 Coeficiente de transparencia atmosférica (Cap. IV)
 Velocidad de propagación de una onda, en m/s (Cap. V)
- c_i Factor eficaz de reflexión i (Cap. III)
- d Base de enfilación, en metros (Cap. IV)
 Diámetro, en m., cm. o mm. (Cap. III, V, VII)
 Dimensión de una señal marítima, en metros (Cap. II)
- d_2 Distancia de deslumbramiento, en metros (Cap. IV)
- e Fuerza electromotriz, en v/m (Cap. V)
- f Distancia focal en ópticas, en mm. (Cap. III, IV)
 Flecha, en metros (Cap. VII)
 Frecuencia, en KHz (Cap. V, VI)
 Frecuencia en periodos/segundo (Cap. VII)
- g Distancia, en ópticas, del foco al anillo catadióptrico más alejado, en mm. (Cap. III)

- h Altura de la luz anterior de enfilación sobre el nivel del mar, en metros (Cap. IV)
 Altura del ojo del observador sobre el nivel del mar, en metros (Cap. IV)
 Altura del reflector, en metros (Cap. V)
 Altura de una fuente de luz, en cm. (Cap. III, IV)
 Semialtura de ola, en metros (Cap. VII)
- h' Altura de la luz anterior de enfilación sobre el ojo del observador, en metros (Cap. IV)
 Altura óptima del reflector, en metros (Cap. V)
- h_i Altura neta de los refractores, en cm. (Cap. III)
- i (t) ... Intensidad eficaz instantánea, en candelas (Cap. III)
- k_i Factor de corrección en ópticas (Cap. III)
- l Longitud, en metros (Cap. V, VII)
- n Vueltas por minuto en ópticas giratorias (Cap. III)
- p Peso sumergido de la cadena del tren de fondeo por unidad de longitud, en N/m (Cap. VII)
 Densidad superficial del flujo, en W/m². (Cap. V)
- p_f Factor de corrección en ópticas (Cap. III)
- q Carga eléctrica, en coulomb (Cap. V)
- t Temperatura, en ° C (Cap. VII)
 Tiempo, en segundos (Cap. III, V)
- t_u Tiempo universal, en horas (Cap. IV)
- t_v Tiempo verdadero, en horas (Cap. IV)
- v Valor de luz fotométrica (Cap. III)
 Velocidad, en m/s (Cap. V)
- v_c Velocidad de la corriente marina, en m/s (Cap. VII)
- v_o Velocidad del viento, en m/s (Cap. VI, VII)
- xyz Coordenadas tricromáticas (Cap. III)
- $\bar{x}\bar{y}\bar{z}$ Distribución espectral de los colores primarios (Cap. III)
- x Distancia o longitud, en km. (Cap. II, IV)
 Distancia de visibilidad, en km. (Cap. II)
- z Distancia cenital, en grados sexagesimales (Cap. II)

- Δ Amplitud de banda de frecuencias, en Hz (Cap. VI)
- Φ Azimut del sol respecto a la línea de observación, en grados sexagesimales (Cap. II)
- Φ_e Flujo luminoso, en lúmenes (Cap. III, IV)
Flujo de energía de las ondas electromagnéticas, en vatios (Cap. V)
- Φ_m Flujo magnético, en webers (Cap. V)
- Ω Angulo sólido, en stereoradianes (Cap. IV, V)
- α Coeficiente de dilatación (Cap. VII)
Declinación del sol, en grados sexagesimales (Cap. IV)
Gradiente de velocidad del viento en relación con la altura en m/s por metro (Cap. VI)
- α_1 Altura eléctrica, en grados sexagesimales (Cap. V)
- α_{1v} Aumento de longitud, en grados sexagesimales (Cap. V)
- β Factor de luminancia de una señal (Cap. II)
- β' Factor de luminancia del fondo de observación (Cap. II)
- γ Peso específico, en T/m³. (Cap. VII)
- δ Angulo náutico de visión distinta, en radianes (Cap. IV)
- $1/\delta$ Agudeza visual en unidades Snellen (Cap. II)
- 2δ Angulo de llenado, en grados sexagesimales (Cap. III)
Divergencia del haz luminoso, en radianes (Cap. III)
- $2\delta_h$ Divergencia horizontal, en radianes (Cap. III)
- $2\delta_v$ Divergencia vertical, en radianes (Cap. III, IV)
- η Valor angular sobre el horizonte de la elevación del Sol, en grados sexagesimales (Cap. VII)
Rendimiento (Cap. V, VII)
- ϑ Angulo de incidencia del haz luminoso, en grados sexagesimales (Cap. III)
Máximo ángulo de oscilación del flotador de una boya, en radianes (Cap. VII)
- λ Longitud de onda, en m, cm. o mm. (Cap. III, V)
Longitud geográfica, en grados sexagesimales (Cap. IV)

- μ Permeabilidad magnética del medio, en Weber/A.m. (Cap. V)
- ν Viscosidad cinemática, en m^2/s (Cap. VII)
- ρ Distancia del centro de carena al metacentro, en metros (Cap. VII)
Radio de curvatura de la trayectoria de la onda sonora, en metros (Cap. VI)
Resistividad, en ohmios-metro (Cap. VII)
Relación señal ruido (Cap. V)
- ρ_a Densidad del aire, en $kg\ s^2/m^4$ (Cap. VII)
- ρ_i Coordenadas polares ($i = 1,2$) (Cap. IV)
- ρ_o Densidad del agua del mar, en $kg\ s^2/m^4$ (Cap. VII)
- σ Conductividad, en unidades c g.s. (Cap. V)
Máxima carga de trabajo, en kg/cm^2 . (Cap. VII)
Superficie de difusión, en m^2 . (Cap. V)
- σ_r Carga de rotura, en kg/mm^2 . (Cap. VII)
- τ Duración del destello, en segundos (Cap. III)
- τ_o Duración máxima del destello, en segundos (Cap. III)
- φ Latitud, en grados sexagesimales (Cap. IV, VII)
Angulo de fase, en radianes (Cap. V)
- $\varphi(\lambda)$... Distribución espectral del color secundario. (Cap. III)
- $\cos\varphi$... Factor de potencia (Cap. VII)
- ψ Angulo de un haz luminoso, en grados sexagesimales (Cap. VII)
- ω Percepción relativa de la luz.(Cap. III)
Velocidad angular, en radianes/s (Cap. V)

BIBLIOGRAFIA

La bibliografía que se reseña a continuación ha sido dividida en los tres apartados siguientes:

- A Libros y tratados
 - B Artículos, boletines, monografías y catálogos comerciales
 - C Recomendaciones y reglamentaciones, nacionales e internacionales, actualmente en vigor
-



A.- LIBROS

- A 1. RIBIERE, C. (1908). "Phares et Signaux Maritimes", Encyclopedie Scientifique. Doin. Paris.
- A 2. BERGEON P. y A. CASTEX (1927). "Líneas Eléctricas Aéreas". Editorial F. Susanna. Barcelona.
- A 3. BRUCKMANN, H. (1939). "Antennen, Ihre Theorie und Technik". Editorial Von S. Hirzel. Leipzig.
- A 4. IRIBARREN, R. (1954). "Obras Marítimas". Editorial Tipografía Artística. Madrid.
- A 5. SANCHEZ CORDOBES, J. (1958). "La Escuela del Radiotécnico". Editorial Labor, S.A. Barcelona.
- A 6. SOLER GAYA, R. (1963). "Proyecto de Señales Marítimas Luminosas". Palma de Mallorca.
- A 7. SETO, WILLIAM W. (1970). "Acústica". Editorial Mc. Graw-Hill.
- A 8. WEBER, K.L., MANNING, K.V. y M.W. WHITE (1970). "Física". Editorial Reverté. Barcelona.
- A 9. ASOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE DES CONGRES DE NAVIGATION (1975). "Diccionario Internacional de Señales Marítimas". Servicio de publicaciones del MOPU.
- A 10. BERTEAUX, H.O. (1976). "Buoy engineering". Editorial John Wiley and Sons. New York.
- A 11. FRAILE MORA, J. JESUS (1980). "Curso de Electrotecnia". ETSICCP. Madrid.
- A 12. SOLER GAYA, R. (1981). "Apuntes de Explotación y Dirección de Puertos". ETSICCP. Barcelona.
- A 13. DIRECCION GENERAL DE PUERTOS Y COSTAS (1983). "Señales Marítimas con Aerogeneradores como Fuente de Energía".
- A 14. DIRECCION GENERAL DE PUERTOS Y COSTAS (1983). "Señales Marítimas con Generadores Eléctricos por Conversión Foto-voltaica".
- A 15. DIRECTION DU SERVICE DES PHARES ET BALISES ET DE LA NAVIGATION. (1984). "Phares et Balises". Documentation technique.

B.- ARTICULOS Y MONOGRAFIAS

- B 1. IALA/AISM (1960). "Nomenclature of Lights Used for Marine Navigation".
- B 2. USCG (1960). "L'intensité Efficace des Feux à Eclats en Signalisation Maritime". Sixième Conférence Internationale des Services de Signalisation Maritime (Washington, 1960).
- B 3. DIRECTION DU SERVICE DES PHARES ET BALISES ET DE LA NAVIGATION (1967). "Couleur et Colorimétrie".
- B 4. SOLER GAYA, R. (1968). "Perfiles Tipo de Pequeños Embarcaderos en Plataformas Costeras de Suave Pendiente". Revista de Obras Públicas. Febrero 1968.
- B 5. SOLER GAYA, R. (1970). "Modernas Señales Marítimas Radioeléctricas". Revista de Obras Públicas. Abril 1970.
- B 6. IALA/AISM (1975). "Manual des Aides Radioélectriques a la Navigation".
- B 7. SOLER GAYA, R. (1975). "Limitaciones de las Ópticas de Horizonte en Señales Marítimas". Boletín de Información del MOPU.
- B 8. SOLER GAYA, R. (1976). "Los Coeficientes de Transmisión Atmosférica en los Cálculos de Señalización Marítima". Revista de Obras Públicas nº 3139.
- B 9. IALA/AISM (1979). "Puerto de Santander. Ayudas Luminosas en Recalada y Canales de Navegación". Comité Técnico de Fiabilidad y Disponibilidad.
- B 10. SOLER GAYA, R. y otros (1980). "Dimensionamiento de Formas y Marcas de Tope de Señales Diurnas de Balizamiento". Boletín de Información del MOPU nº 276.
- B 11. SERVICE DES PHARES ET BALISES (1981). "Rythmes Normalisés Utilisés par le Service des Phares et Balises et de la Navigation pour les Feux de Signalisation Maritime". Ibim 0260.
- B 12. SERVICE DES PHARES ET BALISES (1981). "Recueil des Caracteristiques des Projecteurs du Service des Phares et Balises". Ibim 0288.
- B 13. AKANET y H. IZUMI (1982). "Nuevo Tipo de Generador Activado por Olas y Boya Luminosa". Oslo, 1982.
- B 14. SERVICE DES PHARES ET BALISES (1982). "Le Système Loran". Ibim 0297
- B 15. SERVICE DES PHARES ET BALISES (1982). " Le Système Decca". Ibim 0298.

- B 16. SERVICE DES PHARES ET BALISES (1982). "Le Système Toran". Ibim 0299.
- B 17. SERVICE DES PHARES ET BALISES (1982). "Le Système Omega". Ibim 0350.
- B 18. CATALOGOS COMERCIALES: BBT, Racional, S.A. Balizamientos Marítimos, S.A., Tideland, Pintsch Bamag, La Maquinista Valenciana, S.A, AGA.
- B 19. B.B.T. "Vibradores Aéreos Electromagnéticos". Boletín nº 280.
- B 20. A.G.A. "Electric Sound Emitter".
- B 21. A.G.A. "Reflectores de Radar".Boletín 3-RR1e.
- B 22. A.G.A. "Dimensionamiento de Reflectores de Radar". Info. 602015 y PM 3945 K.
- B 23. MASSANET GIMENEZ, CRISTOFOL (1986). "Modelos para dimensionamiento de torres de faros". Tesina E.T.S.I.C.C.P. Barcelona.

C.- RECOMENDACIONES Y REGLAMENTOS

- C 1. BRITISH STANDARDS INSTITUTION (1949). "Intensities of Lighthouse Beams".
- C 2. Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía (Decreto 12-3-54 , B.O.E. 15-4-54).
- C 3. Autorización de Instalaciones Eléctricas (Decreto 20-10-66, B.O.E. 24-10-66).
- C 4. IALA/AISM (1966). "Recommendation for the Notation of Luminous Intensity and Range of Lights".
- C 5. Ley de 18 de marzo de 1966 sobre Expropiación Forzosa y Sanciones en Materia de Instalaciones Eléctricas (B.O.E. 19-3-66).
- C 6. Reglamento de la Ley sobre Expropiación Forzosa y Sanciones en Materia de Instalaciones Eléctricas (Decreto 18-3-66, B.O.E. 24-10-66).
- C 7. DIRECCION GENERAL DE PUERTOS Y SEÑALES MARITIMAS, MOPU (1967). "Proyecto de Mejora de las Señales Marítimas de España".
- C 8. IALA/AISM (1968). "Recommendation for the Marking of Bridges over Straits and Estuaries". Boletín nº 35.
- C 9. IALA/AISM (1968). "Recommendation for the Standardization of Colours of Lighted Aids to Navigation". Boletín nº 37.
- C 10. Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión (Decreto 28-11-68, B.O.E. 27-12-68).
- C 11. IALA/AISM (1969). "Recommendation for the Calculation of the Range of a Sound Signal. Boletín nº 40.
- C 12. COMISION DE ESTUDIO DE MODELOS Y NORMAS PARA SEÑALES MARITIMAS (1970). "Proyecto de Modelos Oficiales de Torres de Faros".
- C 13. IALA/AISM (1970). "Recommendation for the Marking of Protruding Parts of Port Structures". Boletín nº 46.
- C 14. IALA/AISM (1970). "Recommendations for Radar Beacons". Boletín nº 46.
- C 15. Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (Decreto 20-9-73, B.O.E. 9-10-73)*
- C 16. Instrucciones Complementarias M.I.B.T. (Orden 31-10-73, B.O.E. 27-12-73 y Orden 6-4-74, B.O.E. 15-4-74).
- C 17. IALA/AISM (1974). "Recommendation for a Definition of the Nominal Day Time Range of Maritime Signal Lights Intended for the Guidance of Shipping by Day". Boletín nº 60.

- C 18. IALA/AISM (1974). "Recommendation Concerning the Use of Racons to Supplement the Marking of New Obstructions". Boletín nº 61.
- C 19. IALA/AISM (1974). "Recommendation for a Slow Sweep X-Band Racon". Boletín Nº 63.
- C 20. IALA/AISM (1975). "Recommendation on the Design of Normal Moorings". Boletín nº 64.
- C 21. DIRECCION GENERAL DE PUERTOS Y COSTAS (1977). "Sistema A de Balizamiento" (Real Decreto 29-7-77, B.O.E. 16-9-77).
- C 22. IALA/AISM (1977). "Recommendation for Leading Lights". Boletín nº 71.
- C 23. IALA/AISM (1977). "Recommendation for the Colours of Light Signals on Aids to Navigation". Boletín nº 72.
- C 24. IALA/AISM (1978). "Recomendaciones para la Determinación de la Intensidad Luminosa de la Luz de una Señal Marítima". Dirección General de Puertos y Costas.
- C 25. Modificación de los artículos 2 y 92 del Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía (Real Decreto 2-2-79, B.O.E. 7-4-79).
- C 26. IALA/AISM (1980). "Recommendations for the Surface Colours Used as Visual Signals on Aids to Navigation". Boletín nº 84.
- C 27. IALA/AISM (1980). "Sistema de Boyado Marítimo".
- C 28. IALA/AISM (1980). Recomendaciones para el cálculo de la intensidad eficaz de una luz periódica.
- C 29. SERVICE DES PHARES ET BALISES (1981). "Regles a Suivre pour le Balisage des Côtes de France". Ibim 0212.
- C 30. Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (Real Decreto 12-11-82, B.O.E. 1-12-82).
- C 31. IALA/AISM (1982). "Recomendaciones para los Ritmos de las Luces de Señalización Marítima". Dirección General de Puertos y Costas.
- C 32. IALA/AISM (1982). "Recommendations for the Rhythmic Characters of Lights on Aids to Navigation".
- C 33. DIRECCION GENERAL DE PUERTOS Y COSTAS (1983). "Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA/AISM".
- C 34. IALA/AISM (1983). "Comisión de la IALA/AISM sobre Fiabilidad y Disponibilidad en las Ayudas a la Navegación". Boletín 1983/2.

- C 35. IALA/AISM (1983). "Recommendations for the Marking of Offshore Structures". Boletín nº 26.
- C 36. DIRECCION GENERAL DE PUERTOS Y COSTAS (1985). "Guía para la Aplicación del Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA/AISM".
- C 37. MOPU (1985). "Plan de Señales Marítimas 1985/1989". Servicio de publicaciones del MOPU.
- C 38. IALA/AISM (1985). "Recommendation for the use of retroreflecting material on aid to navigation marks within the IALA Maritime Buoyage System".

* Orden Ministerial 19-12-77, BB.OO.EE. 13-1-78, 26-1-78, 6-3-78, 27-10-78,
6-11-78

"	"	28-7-80,	B.O.E.	13-8-80
"	"	30-9-80,	B.O.E.	17-10-80
"	"	30-9-81,	B.O.E.	10-10-81
"	"	5-6-82,	B.O.E.	12-6-82
"	"	11-7-83,	B.O.E.	22-7-83
"	"	5-4-84,	B.O.E.	4-6-84

**EJERCICIOS DE APLICACION DE LAS
NORMAS TECNICAS SOBRE OBRAS E INSTALACIONES
DE AYUDAS A LA NAVEGACION**



CAPITULO II. BALIZAMIENTO DIURNO

EJERCICIO 1

Un disco blanco variable da lugar, en cielo cubierto, a contrastes relativos al cielo de 0,8, si se observa sobre bosque, y de 0,07, si se observa sobre cielo. Se pide: a) dibujar las curvas que relacionan la distancia de reconocimiento con su lado medio, cuando la visibilidad meteorológica es de 10 km; b) determinar, a partir de qué diámetro no se consigue aumentar la distancia de reconocimiento en ambos casos, y c) qué distancia es ésta .

RESOLUCION

a) Dibujo de la curva.-

Acudiendo al ábaco de la figura II.3, se dan valores para d , desde 1 a 10 y desde 1 a 4, hasta pasar la recta $d = X$. El punto de corte es el límite de visibilidad máxima .

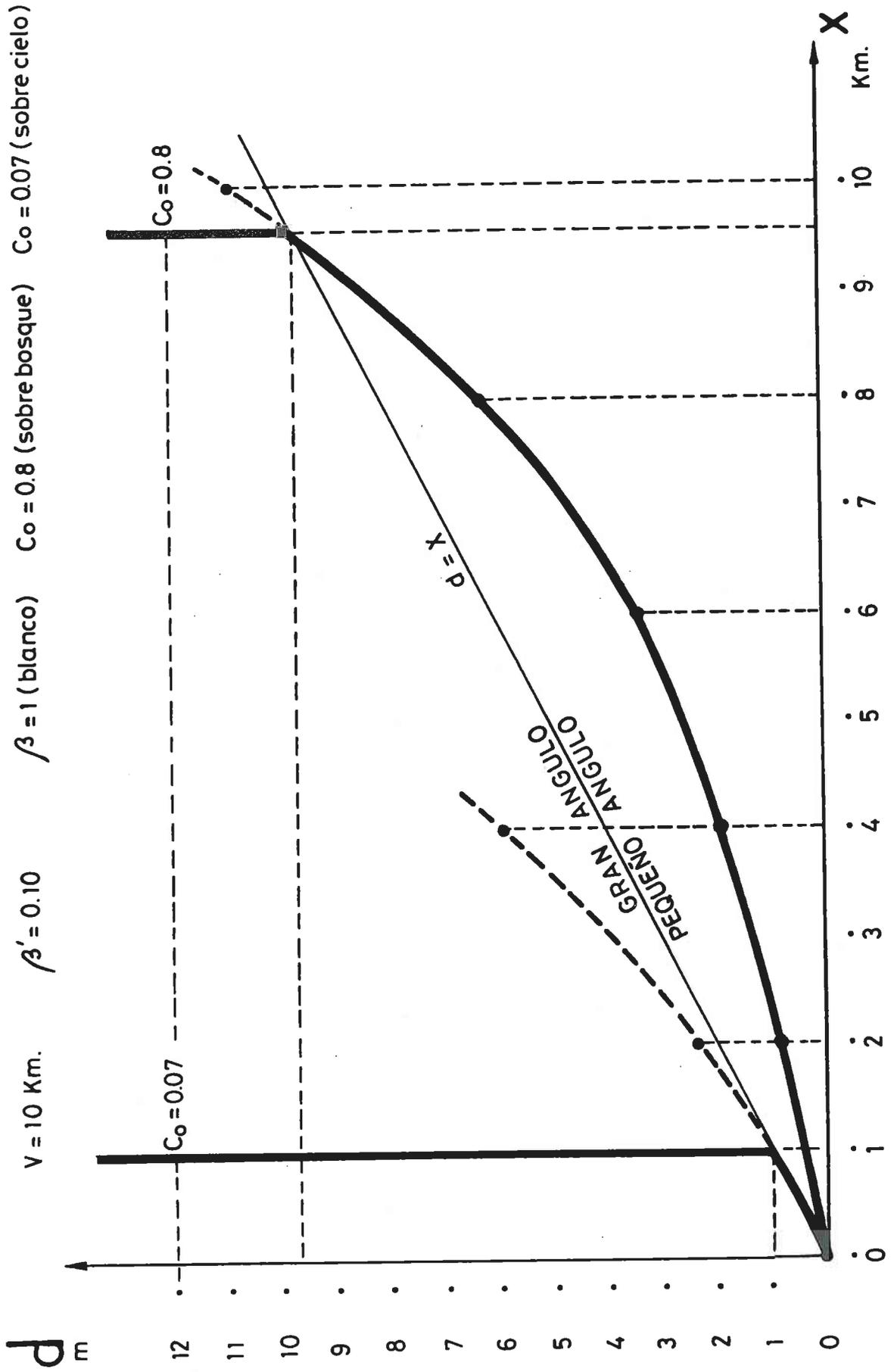
b) y c) Diámetros máximos y distancias respectivas .

Se puede proceder de dos modos: o bien entrar en el ábaco de la fig. II.4 y hallar X , y , de ahí, pasar a la figura II.3 y hallar d , o bien ver la intersección de las curvas de a) con $d = X$. Resulta así:

sobre bosque	$d = 9,6$	$9,6^2 = \pi R^2$	$R = 5,41 \text{ m}$
sobre cielo	$d = 1,0$	$1,0^2 = \pi R^2$	$R = 0,56 \text{ m}$

$D = 10,82 \text{ m}$ sobre bosque con distancia de 9,6 km

$D = 1,12 \text{ m}$ sobre cielo con distancia de 1,0 km



EJERCICIO 2

En la entrada de un puerto se balizan unas obras con un rectángulo rojo de $2 \times 1 \text{ m}^2$, baliza que se observa proyectada sobre una playa de arena blanca y limpia (sin vegetaciones). ¿A qué distancia se observará, en tiempo claro y a medio crepúsculo? ¿A qué distancia, con visibilidad metereológica de 5 km? Pueden usarse los ábacos. Cielo cubierto .

RESOLUCION

Caso de tiempo claro y valor crepuscular.-

$$\text{Agudeza visual: } \frac{0,2 + 1,0}{2} = 0,6 = \frac{1}{\delta} \quad (\text{figura II.1})$$

$$1 = d = 0,291 \frac{x}{0,6} \quad (\text{pag. 38});$$

$$x = 2,06 \text{ Km}$$

En pleno día, con $\frac{1}{\delta} = 1,2$ (max.), sería $x = 4,12 \text{ km}$

Caso de visibilidad metereológica de 5 km.-

$$\beta' = 0,6 \quad (\text{Tabla II.2}) \quad \beta = 0,132 \quad (\text{Tabla II.1})$$

$$C_c = 0,75 \quad (\text{Figura II.2}) \quad \text{observación sobre el cielo}$$

$$C_s = 1,00 \quad (\text{Figura II.2}) \quad \text{observación sobre suelo}$$

$$d = \sqrt{2 \cdot 1} = \sqrt{2} = 1,41 \text{ m}$$

$$X = 2,9 \text{ km} \quad (\text{Figura II.3}) \quad d \text{ (m)} < X \text{ (km)}$$

$$X = 2,9 \text{ km}$$

sobre la arena

Sobre el cielo, da $X = 2,5 \text{ km}$

EJERCICIO 3

Un panel blanco circular (factor de luminancia $\beta = 1$) se observa proyectado, con cielo cubierto, sobre un bosque de hoja caduca y con visibilidad meteorológica de 10 km. Si su diámetro es de 2 m., ¿a qué distancia lo distinguirá un observador? ¿qué diámetro debería tener para que se distinguiera a igual distancia, pero observado sobre el cielo cubierto? ¿qué visibilidad meteorológica ha de existir para que, en el primer caso, se distinga el panel a 1,5 km de distancia?

RESOLUCION

De las páginas 37 y 39, resulta, para $\beta' = 0,10$ (valor obtenido de la tabla II.2):

$$C_{s(0)} = \frac{3 \cdot 1 (0,308 + 0,389 \cdot 0,10) L_c - 2,34 \cdot 0,10 L_c}{L_c}$$

$$C_{s(0)} = 1,0407 - 0,234 = 0,8067$$

valor que podría hallarse, aproximadamente, por el ábaco de la figura II.2. Entrando en el ábaco de la figura II.3 con:

$$d = \sqrt{\pi \cdot 1^2} = 1,77 \text{ m.} \quad \text{y} \quad V = 10 \text{ km.}$$

resulta: $x = 4,4 \text{ km.}$

Sobre el cielo, el contraste sería (pag. 36):

$$C_c = 1,0407 - 1 = 0,0407$$

valor que también da, directamente, el ábaco de la figura II.2. Entrando, ahora, en el ábaco de la figura II.3, con el valor $x = 4,4 \text{ km.}$ y los valores de $C_c(0)$ y de V , resulta:

$d = 7,5 \text{ m.} > 4,4 \text{ (Km)}$, luego es visión bajo gran ángulo (figura II.4) y deberá ser:

$$d \geq 4,4 \text{ m.} \quad \pi \cdot r^2 = 4,4^2$$

$$r = 2,48$$

Para $x = 1,5 \text{ Km.}$, resulta $x \text{ (Km)} < d \text{ (m)}$, pues $d = 1,77 \text{ m}$; se aplica, pues, el ábaco de la figura II.4, que da, para $C_s(0) = 0,8067$:

$$V = 1,9 \text{ Km}$$

CAPITULO III. SEÑALES LUMINOSAS: INTENSIDAD

EJERCICIO 4

Un faro tiene su plano focal a 45 m. sobre el mar y está dotado de una óptica de horizonte \emptyset 500 mm. con quemador standard de acetileno por incandescencia. El haz luminoso se proyecta sobre una torre ubicada a 100 m. de distancia, quedando iluminada la franja comprendida entre las cotas 47,4 y 56,6 m. a) ¿Qué desenfoque, en cm., tiene la fuente de luz? b) ¿De qué tipo de quemador (expresado en l/h) se trata?

RESOLUCION

El centro de la franja está a $\frac{56,6 + 47,4}{2} = \frac{104}{2} = 52$ m. y debería estar a 45 (enunciado), luego el eje del haz está inclinado 7 m. hacia abajo, y, como $f = 25$ cm., el desenfoque será de $25 \frac{7}{100} = 1,75$ cm

a) Desenfoque 1,75 cm. hacia arriba

la divergencia vertical es (pág. 99):

$$2 \delta_v = \frac{56,6 - 47,4}{100} = 0,092$$

luego el diámetro de fuente de luz será:

$$b = f \cdot 2 \delta_v = 250 \cdot 0,092 = 23 \text{ mm. } \emptyset$$

que, en la tabla III.8 corresponde a quemador de 50 lts/h.

b) Quemador de 50 lts/h

**CAPITULO IV. ALCANCE DE LAS SEÑALES LUMINOSAS.
SEÑALES ESPECIALES**

EJERCICIO 5

Un paso navegable en el Atlántico, de 200 m. de ancho entre escollos, de dos millas de longitud, se baliza por medio de una enfilación, cuya longitud útil es la indicada y que tiene un cuarto de milla de base, con la luz anterior a media milla del comienzo de la longitud útil, y diferencia de altura entre luces, de 10 m.

Ambas luces son rojas, de acetileno llama desnuda, con apariencias: isofase la anterior de periodo 3", y de destellos aislados de 0,2" de duración la posterior. Para la anterior se dispone una óptica de horizonte de 100 mm. de diámetro y 100 mm. de altura y, para la posterior, un "ojo de buey" (un dioptrio) de 50 mm. de distancia focal y 45° de semiapertura angular .

Para conseguir los alcances en tiempo brumoso standard, y en el supuesto de equilibrado de iluminaciones, determínese: a) consumo, en l/h, del quemador de la luz anterior; b) id. id. de la luz posterior; c) qué calidad de enfilación se tiene en el extremo más alejado; por último, d) calcular cuál sería el aumento, en millas, del alcance de la enfilación en tiempo medio (abstracción hecha de su calidad) .

RESOLUCION

El coeficiente de transparencia atmosférica por milla (tabla IV.2) será:

$$T = 0,583 \quad (\text{para } T B 0)$$

y las intensidades de cálculo requeridas (figura IV.4.a.), serán:

$$\text{luz anterior: alcance 2,50 millas} \quad I_C^a = 15 \text{ c.d.}$$

$$\text{luz posterior: alcance 2,75 millas} \quad I_C^p = 20 \text{ c.d.}$$

Para calcular la intensidad estacionaria a partir de la de cálculo, hay que mayorar para tener en cuenta el efecto Blondel Rey (III.2.2.3.), el efecto del filtro (tabla III.25) y el empañamiento de linterna (III.3.1.). Resultan, así, unos coeficientes:

	<u>Blondel Rey</u>	<u>Filtro</u>	<u>Empañamiento</u>	<u>Total</u>
luz anterior	$\frac{1,5}{1,5 + 0,1} = 0,94$	0,22	0,75	0,155
luz posterior	$\frac{0,2}{0,2 + 0,1} = 0,67$	0,22	0,75	0,111

a) Luz anterior.-

El coeficiente K de la óptica (pág. 108) valdrá:

$$\operatorname{tag} \alpha = \frac{100}{100} = 1 \quad \alpha = 45^\circ \quad K = 0,89 \cos \alpha = 0,63$$

y el producto L . b (pág. 108), valdrá:

$$L \cdot b = \frac{15}{0,155 \cdot 10 \cdot 0,63} = 15,36 \text{ cd/cm}$$

Acudiendo a la tabla III.7 se observa que el quemador de 25 litros/hora da:

$$L \cdot b = 2,9 \cdot 6,9 = 20,01 \text{ cd/cm} > 15,36$$

a) Quemador de 25 l/h

b) Luz posterior.-

El coeficiente K de óptica (pág. 108) valdrá:

$$K = 0,85 \cos 45^\circ = 0,60$$

y, como la superficie del dióptrio es:

$$A = \pi \cdot (5 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ)^2 = 25 \cdot \pi = 78,54 \text{ cm}^2$$

la luminancia L de la fuente de luz (pág. 108) deberá ser:

$$L = \frac{20}{0,111 \cdot 78,54 \cdot 0,60} = 3,82 \text{ cd/cm}^2$$

al que correspondería (tabla III.7) un quemador de 8 l/h; pero hay que mayorar para el equilibrado de iluminaciones (IV.2.4.2):

$$K = \frac{2 (0,50 + 0,25)}{0,50 (2,00 + 0,25)} = \frac{4}{3}$$

$$L = \frac{4}{3} 3,82 = 5,09 \text{ cd/cm}^2$$

lo que corresponde (tabla III.7) a un quemador de 10 l/h .

b) Quemador de 10 l/h

c) Calidad.-

Aplicando la fórmula de la pág. 170, la sensibilidad lateral es:

$$S = \frac{200 \cdot 0,25 \cdot 1852}{2,5 \cdot 1852 \cdot 10} = 2,0$$

que corresponde a buena (tabla IV.6)

c) Calidad buena

d) Aumento de alcance en tiempo medio.-

Volviendo a la figura IV.4.a.:

$$\text{luz anterior: } I_c = \frac{20,01}{15,36} 15 = 19,54 \text{ cd. : 3,8 m.n. (T M O)}$$

$$\text{luz posterior: } I_c = \frac{5,1}{5,1} 20 = 20 \text{ cd. : 3,8 m.n. (T M O)}$$

y, como $3,80 - 0,25 = 3,55$ m.n., resulta un aumento de:

$$3,55 - 2,50 = 1,05 \text{ millas}$$

d) Aumento de 1,05 millas

La sensibilidad lateral pasa a ser: $S = \frac{2,5}{3,55} 2 = 1,41$ regular
(tabla IV.6) .

EJERCICIO 6

En cierto país está reglamentado que el alcance luminoso nominal de los faros (o sea, para $T = 0,741$ por milla) no sea inferior al geográfico para nula altura del observador. En tal supuesto, se pide: a) fórmula que da, explícitamente, el valor de la intensidad (de cálculo) de los destellos del faro, expresada en candelasdecimales, en función de la altura del plano focal del faro, expresada en metros; b) si a una instalación capaz de producir 500.000 c.d. con luz blanca se le monta un filtro de color de factor pésimo, cuál será la máxima altura operativa de la señal para cumplir la condición (error de un decímetro); c) si en vez de considerarse alcances nominales se toman los de T M M y T M O standard, y un faro de 100 m. de altura, cuál será la relación de intensidades luminosas necesarias .

RESOLUCION

a) Según pág. 155, el alcance geográfico es:

$$D = 2,08 \sqrt{H} \quad (1) \quad \begin{array}{l} D \text{ en millas} \\ H \text{ en metros} \end{array}$$

Según pág. 142, el alcance luminoso será:

$$E_o \cdot D^2 = I_c \cdot c^D \quad (2) \quad \text{donde:}$$

$$E_o = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ lux} \quad (\text{IV.1.1.3.})$$

D = alcance, en metros .

I_c = intensidad de cálculo, en candelas decimales .

c = coeficiente de transmisión atmosférica, en metros .

luego, pasando a alcances y coeficientes en base al metro:

$$c = T^{\frac{1}{1852}} \text{ y, como en (1) D viene millas, en (2) será:}$$

$$0,2 \cdot 10^{-6} (1852 D)^2 = I_c \cdot 0,741^{\frac{1}{1852} \cdot 1852 D} = I_c \cdot 0,741^D$$

$$0,68598 \cdot D^2 = I_c \cdot 0,741^D \quad \text{y, sustituyendo (1):}$$

$$2,96782 \cdot H = I_c \cdot 0,53607 \sqrt{H}$$

Fórmula: $I_c = \frac{2,96782 \cdot H}{0,53607 \sqrt{H}}$

b) Se podría aplicar la fórmula anterior y hallar H por intersección de curvas, pero es mejor acudir al ábaco de la figura IV.4.a. para el primer tanteo:

para 100.000 cd. y T = 0,741 D = 20 m.n.

$$H = \left(\frac{20}{2,08}\right)^2 = 92,45 \text{ m.}$$

que comprobamos con la fórmula:

$$I_c = \frac{2,96782 \cdot 92,45}{0,53607 \sqrt{92,45}} = \frac{274,3916}{0,002491} = 110.156 \text{ c.d.} > 100.000 \text{ c.d.}$$

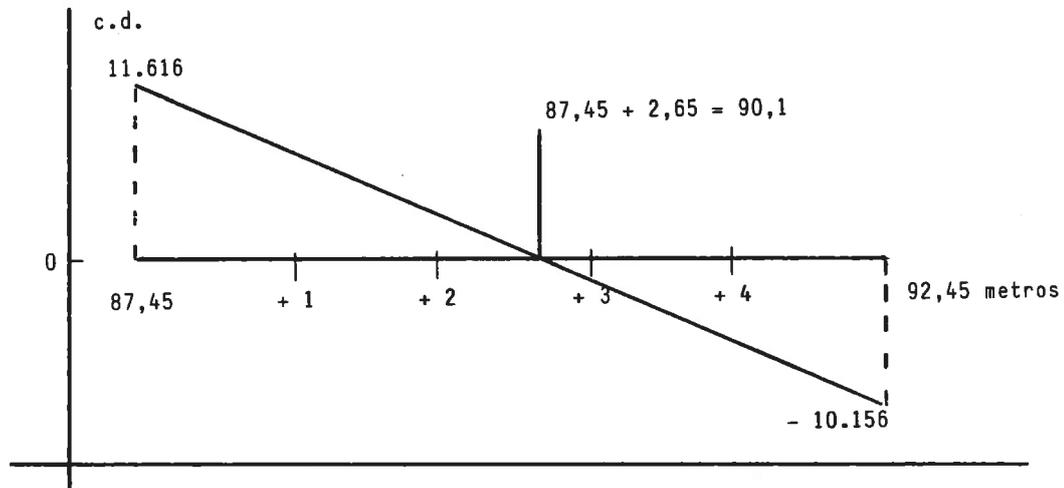
luego, volvemos a tantear con H = 87,45 m.:

$$I_c = \frac{2,96782 \cdot 87,45}{0,53607 \sqrt{87,45}} = \frac{259,5359}{0,002936} = 88.384 \text{ cd.} < 100.000 \text{ c.d.}$$

Interpolando en la curva de error:

$$100.000 - 88.384 = 11.616 \text{ cd.}$$

$$100.000 - 110.156 = 10.156 \text{ cd.}$$



b) altura $H = 90,1$ metros

C) Según la tabla IV.2:

$$TMO : T = 0,827$$

$$TMM : T = 0,866$$

por millas ambos y, si I_o ó I_m son las intensidades en Océano o Mediterráneo, evidentemente es:

$$\frac{I_o}{I_m} = \frac{0,866^{2,08\sqrt{H}}}{0,827^{2,08\sqrt{H}}} = 1,1005905 \sqrt{H} \quad (H \text{ en metros})$$

y, para $H = 100$ m.

$$\sqrt{H} = 10$$

$$c) \frac{I_o}{I_m} = 2,6077$$

EJERCICIO 7

El Monte de Montjuich en Barcelona, con 173 m. de altura, y el de Galatzó, en Mallorca, con 1.025 m. de altura, están a una distancia de 195 km. a) Qué radio de curvatura de propagación de la luz, en Km., debería haber para que ambas cumbres fueran visibles para un observador desde uno de ellos. b) A qué distancia, en Km., tendrá un observador, en Montjuich, el horizonte del mar con propagación recta de la luz. c) Si en ambas cumbres hubiera un faro, y un buque con altura de observador de 4 m., navegara entre ellos, durante cuántas millas dejarían de verse los dos faros, con refracción atmosférica normal? .

RESOLUCION

a) Según la pág. 153, deberá ser:

$$\frac{195}{1,852} = K (\sqrt{173} + \sqrt{1025}); K = \frac{105,2916}{13,153 + 32,016} = 2,331$$

$$\frac{n}{n-1} = \left(\frac{2,331}{1,927}\right)^2 = 1,209^2 = 1,463 \quad n = \frac{1,463}{0,463} = 3,1605$$

$$r = \frac{12.735,297}{2} \cdot 3,1605 = 20.125 \text{ Km}$$

a) $r = 20.125 \text{ Km}$

b) Como la propagación recta de la luz es $n = \infty$ (pág. 153),
luego:

$$D = 1,927 \sqrt{173} = 25,3457 \text{ millas náuticas} = 46,94 \text{ Km}$$

b) $D = 46,94 \text{ Km.}$

c) Con refracción normal, sería $K = 2,08$ (pág. 154) y se vería un faro en:

$$D = 2,08 (\sqrt{173} + \sqrt{1025} + 2\sqrt{4}) =$$

$$= 2,08 (13,153 + 32,016 + 4,000) = 102,27$$

luego no se vería faro alguno en:

$$\frac{195}{1,852} - 102,27 = 105,29 - 102,27 = 3,02 \text{ millas}$$

c) Durante 3,02 millas náuticas

EJERCICIO 8

En un canal de 100 metros de ancho y tres millas y media de longitud, ha de improvisarse una enfilación para buques lentos en obedecer al timón, disponiéndose sólo de ópticas dióptricas de horizonte de 300 mm. de diámetro y 90° de abertura angular. En el paraje se puede utilizar energía eléctrica a 125 voltios. La apariencia fijada es de luces rojas, con $1,5 + \underline{1,5} = 3''$ para la luz anterior y de $0,4 + \underline{1,2} + 0,4 + \underline{3} = 5''$ para la luz posterior. Para una sensibilidad lateral de calidad "buena", determinar:

- a) Base de la enfilación .
- b) Diferencia de altura de los planos focales de las dos luces .
- c) Qué lámpara eléctrica de serie debe utilizarse, en cada luz, si la enfilación funciona en tiempo brumoso atlántico y proyectada sobre luces de ciudad .
- d) Qué lapsos de tiempo deben ostentar los destelladores (distribución de contactos), si se conserva el periodo, para que observe la apariencia el navegante .

La luz anterior se halla situada a la altura del ojo del observador. No se considera equilibrado de iluminaciones .

RESOLUCION

a) Según la tabla IV.6, se tiene:

$$S = 2,5 \quad W = 2 \text{ a} = 100 \text{ m.} \quad x = 3,5 \cdot 1.852 = 6.482 \text{ m.}$$

y debe hallarse d y $H - h$, para $\delta = 0,001$ (pag. 161)

Se tiene, pues:

$$d = \frac{0,001 \cdot 6.482^2}{50 - 0,001 \cdot 6.482} = \frac{42.016}{43,518} = 965,48 \text{ m.}$$

que queda aceptada, a reserva del cumplimiento de las demás condiciones .

a) Base de la inflación = 965,48 m.

b) La diferencia de alturas. Para el límite superior de "buena" es:

$$H-h = \frac{W \cdot d}{x \cdot S} = \frac{100 \cdot 965,48}{6.482 \cdot 2,5} = 5,96 \text{ m.}$$

que no puede aceptarse, por cuanto el ángulo vertical de visión distinta (pag. 169) para $h' = 0$, vale:

$$\text{tg } \gamma = \frac{H'}{x + d} = \frac{5,96}{6.482 + 965,48} = 0,0008002$$

inferior a una milésima. Deberá ser, pues:

$$H' = 0,001 (x + d) = 7,447 \text{ m.} \quad \text{que supone:}$$

$$S = \frac{5,96}{7,44} 2,5 = 2,00$$

que sigue correspondiendo al concepto de "buena". Resulta, así:

$$\boxed{\text{b) Diferencia de alturas} = 7,44 \text{ m.}}$$

c) La intensidad eficaz de cálculo deberá ser, para TBO (figura IV.4.a) y umbral quintuple:

$$\text{Luz anterior} \quad D = 3,5 \text{ m.n.} \quad I = 55 \cdot 5 = 275 \text{ c.d.}$$

$$\text{Luz posterior} \quad D = 3,5 + \frac{965,48}{1.852} = 4,02 \text{ m.n.}$$

$$I = 90 \cdot 5 = 450 \text{ c.d.}$$

por lo que las intensidades eficaces de luz blanca deberán ser, habida cuenta de los coeficientes de III.3:

$$\text{Luz anterior} \quad I_e = \frac{450}{0,75 \cdot 0,22} = 1.677 \text{ c.d.}$$

$$\text{Luz posterior} \quad I_e = \frac{450}{0,75 \cdot 0,22} = 2.727 \text{ c.d.}$$

La luz dióptrica es (III.1.4.2):

$$h = 2 \cdot 15 \text{ tg } 45^\circ = 30 \text{ cm.}$$

Ensayemos lámpara de 100 W, con tabla III.11.a, ábaco de figura III.27.a y fórmula de pag. 108:

$$K = 0,89 \cos 45^\circ = 0,63 \quad L = 155 \text{ cd/cm}^2 \quad b = 1,2 \text{ cm.}$$

$$I_n = \frac{100}{120} = 0,8 \text{ A}$$

Luz anterior:

$$t = 1,5 \text{ "} \quad C = 0,94$$

$$I_e = C \cdot I_o = 0,94 \cdot 0,63 \cdot 155 \cdot 1,2 \cdot 30 = 3.304 \text{ c.d.}$$

Luz posterior:

$$t = 0,4 \text{ "} \quad C = 0,76$$

$$I_e = C \cdot I_o = 0,76 \cdot 0,63 \cdot 155 \cdot 1,2 \cdot 30 = 2.671 \text{ c.d.}$$

y observamos que la lámpara es válida para la luz anterior ($3.304 > 1.667$ c.d.), pero no para la posterior ($2.671 < 2.727$ c.d.) .

Ensayemos, para esta última, la lámpara de 250 W

$$b = 1,4 \text{ cm.} \quad L = 298,2 \text{ cd/cm}^2 \quad I_n = \frac{250}{125} = 2,0 \text{ A} \quad C = 0,68$$

$$I_e = C \cdot I_o = 0,68 \cdot 0,63 \cdot 298,2 \cdot 1,4 \cdot 30 = 5.365 \text{ c.d.}$$

que supera a las 2.727 c.d. necesarias .

c) Lámparas de 100 W (anterior) y de 250 W (posterior)

De la figura III.26.a resultan las diferencias de inercias:

Luz anterior: 0,8 A

In. encendido = 0,12" In. apagado = 0,05" Diferencia = 0,07"

Luz posterior: 2,0 A

In. encendido = 0,23" In. apagado = 0,09" Diferencia = 0,14"

que deben sumarse a las fases de luz en los contactos .

d) anterior: $1,57 + \underline{1,43} = 3''$
 posterior: $0,54 + \underline{1,06} + 0,54 + \underline{2,86} = 5''$

EJERCICIO 9

En un faro de altura H en el plano focal, el alcance D_1 en TMO ($T_1 = 0,827$) es del 40% mayor que el D_2 nominal ($T_2 = 0,741$), que corresponde, este último, al alcance geográfico para nula altura del observador y transmisión curva.

Determinese:

- a) Cuál es el alcance nominal D_2 en millas náuticas .
- b) Cuál es la altura del plano focal H en metros .

RESOLUCION

a) Si $R = \frac{D_1}{D_2}$, de la fórmula de Allard (IV.1.2.1) resulta:

$$\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 = R^2 = \frac{T_1 D_1}{T_2 D_2} \quad 2 \log R = D_1 \log T_1 - D_2 \log T_2$$

$$D_2 = \frac{2 \log R}{R \log T_1 - \log T_2} \quad \text{y, como } R = 1,4 \text{ (enunciado)}$$

$$D_2 = \frac{2 \log 1,4}{1,4 \log 0,827 - \log 0,741} = \frac{0,29226}{0,13018 - 0,11549} = 19,895 \text{ mm.}$$

$$\boxed{\text{a) } D_2 = 19,895 \text{ mm.}}$$

b) Aplicando la fórmula de la pag. 155:

$$H = \left(\frac{D}{2,08}\right)^2 = \left(\frac{19,895}{2,08}\right)^2 = 91,487 \text{ m.}$$

$$\boxed{\text{b) } H = 91,487 \text{ m.}}$$

EJERCICIO 10

Un arrecife de forma sensiblemente circular, de 2.000 metros de diámetro, tiene su centro situado a 5 millas exactamente al Oeste de un faro de recalada, dotado de óptica dióptrica de horizonte de 500 mm. de altura, y de 500 mm. de diámetro y luz blanca de destellos aislados $0,5 + 1,5 = 2''$. La lámpara es eléctrica, de serie y a 220 V. Se pretende que el faro tenga un alcance nominal de 12 millas, pero que los arrecifes estén marcados por un sector rojo, producido mediante un filtro circular exterior a la linterna, visible a 6 millas en T.B.O. Determinése:

a) Lámpara que debe disponerse, observado el faro sobre fon-

do oscuro .

- b) Distancia del filtro rojo al foco, al objeto de que la amplitud de los ángulos de indeterminación (luz mezclada/roja y blanca) sean inferiores a $0,5^\circ$.
- c) Amplitud angular y longitud que debe darse al filtro para que la luz proyectada sobre el arrecife sea enteramente roja .
- d) Altura mínima del filtro para que no escape, en absoluto, luz blanca .
- e) Qué demoras límites del sector rojo puro deben consignarse en el "Libro de Faros" .

RESOLUCION

En la zona del arrecife, el alcance requerirá (figura IV.4.a):

$$I_c = 650 \text{ c.d.} \quad \text{para T.B.O.}$$

luego, con los coeficientes de la tabla III.25 y de III.3.1. (factores de minoración), la intensidad eficaz deberá ser:

$$I_e = \frac{650}{0,75 \cdot 0,22} = 3.939 \text{ c.d.}$$

Ensayemos la lámpara de 100 W (tabla III.11.a):

$$b = 1,4 \text{ cm.} \quad L = 72,4 \text{ cd/cm}^2 \quad K = 0,89 \cos 45^\circ = 0,63 \quad (\text{pag. 108})$$

$$I_n = \frac{100}{220} = 0,45 \text{ A} \quad t = 0,5'' \quad C = 0,82 \quad (\text{figura III.27.a})$$

luego la intensidad eficaz será:

$$I_e = C \cdot I_o = 0,82 \cdot 0,63 \cdot 72,4 \cdot 1,4 \cdot 50 = 2.618 \text{ c.d.}$$

inferior a las 3.939 c.d. necesarias. No es válido .

Ensayemos lámpara de 250 W, en que:

$$b = 1,6 \text{ cm.} \quad L = 184,4 \text{ cd/cm}^2 \quad I_n = \frac{250}{220} = 1,14 \text{ A} \quad C = 0,75$$

$$I_e = C \cdot I_o = 0,75 \cdot 0,63 \cdot 184,4 \cdot 1,6 \cdot 50 = 6.970 \text{ c.d.}$$

que ya supera a las 3.939 c.d. y es válido .

Veamos, ahora, si cumple la condición de alcance nominal del faro en luz blanca .

$$T = 0,741 \quad D = 13,7 \quad (\text{figura IV.4.a})$$

superior a las 12 millas pedidas .

a) lámpara de 250 W

Como el filamento es de 16 mm. \varnothing y la superficie dióptrica que lanza luz en una determinada dirección es, obviamente, de esta anchura de 16 mm., resulta que, si l es la distancia de la pantalla al foco, el ángulo de indeterminación γ (luz mezclada) vendrá dado por: ($1^\circ = 0,01748$ radianes) .

$$\text{tg} \quad = \frac{1,6 \text{ cm.}}{l} = 0,5 \cdot 0,01748 \quad l = 183 \text{ cm.}$$

b) distancia del filtro = 183 cm.

Si w es la amplitud del sector rojo puro, deberá ser:

$$\text{tg} \left(\frac{w - 0,5^\circ}{2} \right) = \frac{1}{5 \cdot 1.852} = 0,10799 \quad \frac{w}{2} = 6,16 + 0,25 \cdot 6,41^\circ$$

longitud: $2 \cdot \pi \cdot 183 \frac{2 \cdot 6,41}{360} = 40,9 \text{ cm.}$

c) amplitud angular: $12,82^\circ$ longitud: 40,9 cm.

La divergencia vertical (pag. 99) de haz, vale, para $b = 1,4$ cm. (tabla III.11.a):

$$2 \delta_v = \frac{b}{f} = \frac{1,6}{250} = 0,0064$$

luego la altura deberá ser:

$$H = 50 + 183 \cdot 0,0064 = 51,17 \text{ cm.}$$

d) altura de filtro: 51,17 cm.

Las demoras, evidentemente, serán:

$$90^\circ \pm 6,41^\circ \qquad 0,41^\circ < > 24'$$

e) del $83^\circ 36'$ al $96^\circ 24'$

EJERCICIO 11

Cuatro dioptrios con perfil de FRESNEL, perfectamente circulares y de 40 cm. de diámetro, con distancia focal de 250 mm., giran alrededor de una lámpara eléctrica de 1.000 watios a 125 V., dando 4 vueltas por minuto. Las cuatro lentes van opuestas, dos a dos, de modo que las dos líneas de ejes ópticos son perpendiculares en el plano focal. Cuáles serán los alcances: a) en tiempo medio mediterráneo; b) en tiempo brumoso Mediterráneo. Escribir las fases de luz y oscuridad de la apariencia luminosa en las inmediaciones del faro y en el límite del alcance. El faro se ve proyectado sobre un cúmulo de luces de ciudad .

RESOLUCION

La superficie del dióptrio será: $a_2 = \pi \cdot 20^2 = 1.256 \text{ cm}^2$.

La abertura angular: $\text{tg } \alpha = \frac{20}{25} = 0,8$; $\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha}} =$

$$= \frac{1}{1,64} = 0,78$$

El coeficiente de óptica K (pag. 108) valdrá:

$$K = 0,85 \cdot \cos \alpha = 0,66$$

Como la luminancia L (tabla III.11.a) vale $L = 917,6 \text{ cd/cm}^2$, la intensidad estacionaria valdrá:

$$I_o = C_2 \cdot L \cdot a_2 = 0,66 \cdot 917,6 \cdot 1.256 = 765.336 \text{ c.d.}$$

donde se desprecia la ligera disminución de L con el ángulo, admisible en los dioptrios .

El diámetro de la fuente de luz es (tabla III.11.a) $b = 1,5 \text{ cm}$.

El elemento óptico más alejado será:

$$g = \frac{f}{\cos \alpha} = \frac{25}{0,78}$$

Y, entrando en el ábaco de la figura III.23:

$$b = 15 \text{ mm.} \quad f = 250 \text{ mm.} \quad T = \frac{60}{4} = 15'' \frac{f}{g} (X) = 0,78$$

$$\tau_o = 0,13 \quad \frac{t}{t_o} = 0,88 \quad \frac{I_e}{I_o} = 0,52 \quad \text{luego:}$$

$$\tau = 0,88 \cdot 0,13 = 0,114'' \quad (\text{demasiado corto})$$

$$I_e = 0,52 \cdot 765.336 \text{ c.d.} = 397.974 \text{ c.d.}$$

y la intensidad de cálculo sobre fondo ciudad será (pag. 127):

$$I_c = 0,2 \cdot 0,8 \cdot 397.974 = 63.676 \text{ c.d.}$$

Los alcances serán (ábaco de la figura IV.4.a):

T.M.M. ($T = 0,866$ - tabla IV.2)

T.B.M. ($T = 0,784$ - tabla IV.2)

$D = 32 \text{ m.n.}$

$D = 22 \text{ m.n.}$

Dado el giro y el número de 4 paneles, el periodo para el na vegante será:

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} \cdot 60'' = 3,75''$$

Las apariencias serán, pues:

en las inmediaciones del faro
en el límite del alcance

$$0,13 + \underline{3,62} = 3,75''$$

$$0,11 + \underline{3,64} = 3,75''$$

EJERCICIO 12

Una óptica de horizonte de 200 mm. de distancia focal y 25 cm. de altura dióptrica, se combina con una lámpara eléctrica de 36 wats a 12 voltios y el destellador se regula para la apariencia $0,5 + \underline{1,5} = 2''$, sin apreciable resistencia en el circuito. ¿Cuál será la verdadera apariencia percibida por el navegante? ¿Cuál será el alcance en tiempo brumoso y fondo oscuro, si se coloca un filtro verde de factor 0,22?

RESOLUCION

La corriente será de $\frac{36}{12} = 3 \text{ A}$

que da una diferencia de inercias de encendido y apagado de (figura III.26):

$$s = 0,30 - 0,12 = 0,18''$$

luego la apariencia percibida será:

$$0,32 + \underline{1,68} = 2''$$

ya que $0,5'' - 0,18'' = 0,32''$

Entrando en el ábaco de la figura III.27.a:

para $t = 0,5$ $c = \frac{I_e}{I_o} = 0,69$

El diámetro de la fuente de luz es $b = 1,1$ mm. (tabla III.9)
y $L = 7,8$ cd/mm².

La óptica tendrá una abertura angular:

$$\operatorname{tag} \alpha = \frac{25}{2 \cdot 20} = 0,625 \quad \cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,39}} = \frac{1}{1,18} = 0,847$$

Coefficiente (pag. 108) $K = 0,89 \cos \alpha = 0,754$.

luego la intensidad estacionaria será (pag. 108):

$$I_o = K \cdot L \cdot d \cdot h = 0,754 \cdot 0,11 \cdot 780 \cdot 25 = 1.618 \text{ c.d.}$$

La intensidad eficaz:

$$I_e = 0,69 I_o = 1.116 \text{ c.d.}$$

y la de cálculo (pag. 126):

$$I_c = 0,75 \cdot 0,22 \cdot I_e = 184 \text{ c.d.}$$

y, entrando en el ábaco de la figura IV.4.a, con el valor T de la tabla IV.2, para tiempo brumoso mediterráneo ($T = 0,784$)

$$D = 7 \text{ m.n.}$$

EJERCICIO 13

Una luz blanca de recalada de puerto se halla en el morro del dique de abrigo, a 25 m. de altura; si el observador se halla en el puente del buque, con su vista a 16 m. de altura ¿Qué alcance geográfico tendrá la señal?; si la instalación es la del ejercicio 11, ¿llegará a producirse deslumbramiento al recalarse?

RESOLUCION

Alcance geográfico (pag. 155 o figura IV.2.a):

$$D = 2,08 (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}) = 2,08 (\sqrt{16} + \sqrt{25}) = 2,08 \cdot 9 =$$

$$18,7 \text{ m.n.}$$

y, procediendo según pag. 175:

$$\delta_v = \frac{h}{2f} = \frac{15}{500} = 0,030 \text{ rad.} \quad 2\delta_v = 0,030 \text{ rad.}$$

Hemos visto $I > 63.676 \text{ c.d.}$ (ejercicio anterior nº 11) .

$$\Delta H = 25 - 16 = 9 \text{ m.}$$

Y directamente, o por la figura IV.24, resulta:

$$d_1 = 300 \text{ m.} \quad \text{por la divergencia del haz}$$

$$I = 9,000 \text{ c.d.} \quad \text{por la intensidad de deslumbramiento}$$

y, como $63.676 \text{ c.d.} > 9.000 \text{ c.d.}$

habrá deslumbramiento

EJERCICIO 14

Una enfilación tiene de base 150 m. y la diferencia de cotas de planos focales entre la luz anterior a 3 m. de altura y posterior es de 8 m.; debe ser utilizada a tres millas para señalar un paso de 300 metros de ancho, navegable. ¿Qué calidad tiene la enfilación? ¿Cómo se mejoraría fácilmente?

RESOLUCION

La sensibilidad lateral (pag. 170) valdrá:

$$S = \frac{W d}{x (H - h)} = \frac{300 \cdot 150}{3 \cdot 1.852 \cdot 8} = 1,012 \quad \text{luego}$$

es regular

según tabla IV.6 (Criterio de Cicolella) .

$$\delta = \frac{a d}{x (x + d)} = \frac{150 \cdot 150}{3 \cdot 1.852 (3 \cdot 1.852 + 150)} = \frac{22.500}{5706 \cdot 5556} = 0,00071$$

$0,0005 < 0,00071 < 0,001$ luego es correcta en este sentido

Si $h' = 3$ m., debería ser (pag. 168):

$$H' = (x + d) \frac{3.000 + x}{1.000 x + 5} = 5.706 \frac{8.556}{5.556.000} = 8,78 \text{ m.}$$

$$H' - h' = 8,78 - 3,00 = 5,78 < 8,00 \text{ m., que tiene, según}$$

enunciado, luego debería corregirse

rebajando H' en 2,22 m.

y quedaría:

$$S = 1,012 \frac{8}{5,78} = 1,4 \approx 1,5, \text{ ya más aceptable.}$$

También podría aumentarse h' .

EJERCICIO 15

Una óptica de horizonte dióptrica de 500 mm. de diámetro y 400 mm. de altura se combina con una lámpara eléctrica de 1.000 vatios y 125 voltios, sin resistencias apreciables en el circuito y con un destellador que cierra contactos durante un segundo tras cuatro de interrupción de circuito. ¿Cuál será el alcance nominal de la señal? ¿Cuál será la apariencia, con fases de luz y oscuridad, para el navegante? El alcance nominal corresponde a un coeficiente de transmisión atmosférica por milla de $T = 0,741$.

RESOLUCION

Según la tabla III.11.a, la lámpara tiene:

$$b = 15 \text{ mm.} \quad L = 917,6 \text{ cd/cm}^2$$

luego la intensidad estacionaria vale:

$$I_o = K \cdot L \cdot b \cdot h = 0,695 \cdot 917 \cdot 1,5 \cdot 40 = 38.264 \text{ cd.}$$

ya que K para:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{200}{250} = \frac{4}{5} \qquad \cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2}} = \frac{5}{\sqrt{41}} = 0,78$$

vale:

$$K = 0,89 \cdot \cos \alpha = 0,695 \qquad (\text{pag. 108})$$

La intensidad eléctrica es de:

$$\frac{1.000}{125} = 8 \text{ A} \qquad \text{luego (tabla III.27.a)}$$

$$C = \frac{I_e}{I_o} = 0,80 \qquad I_e = 0,80 \cdot I_o = 30.611 \text{ cd.}$$

y, minorando la intensidad eficaz por linterna (pag. 126), resulta, para cálculo de alcances:

$$I = 0,75 \cdot 30.611 = 22.959 \text{ cd.}$$

y, entrando en la figura IV.4.a, para $T = 0,741$:

17 millas náuticas

En cuanto a la apariencia, la diferencia de inercias de encendido y apagado (figura III.26.a) es, para 8 A:

$$0,63'' - 0,23'' = 0,4'' \qquad \text{luego será:}$$

$0,6 + \underline{4,4} = 5''$

EJERCICIO 16

Un faro aeromarítimo está dotado de una óptica giratoria dióptrio-catadióptrica, de acuerdo con la figura adjunta, de 250 mm. de distancia focal, con una superficie neta en la parte dióptrica de 643 cm^2 y, en la parte catadióptrica, de 919 cm^2 , 682 cm^2 para el haz marítimo y 237 cm^2 para el haz aéreo, que se distribuyen en tres sectores según la recomendación de la O.A.C.I.

Las lentes giran alrededor de una lámpara eléctrica de filamento en semitambor de 1.500 watios y de $739,5 \text{ cd/cm}^2$ de luminaria, dando 3 vueltas por minuto .

Determinar:

- a) Duración del destello .
- b) Los alcances marítimos para tiempo medio mediterráneo y para tiempo brumoso mediterráneo .
- c) Los alcances aéreos en el supuesto de que el aerofaro es utilizado para aeronaves a gran distancia .
- d) Alcance en kilómetros, considerando el haz aéreo principal comprendido entre 800 y 6.000 metros .

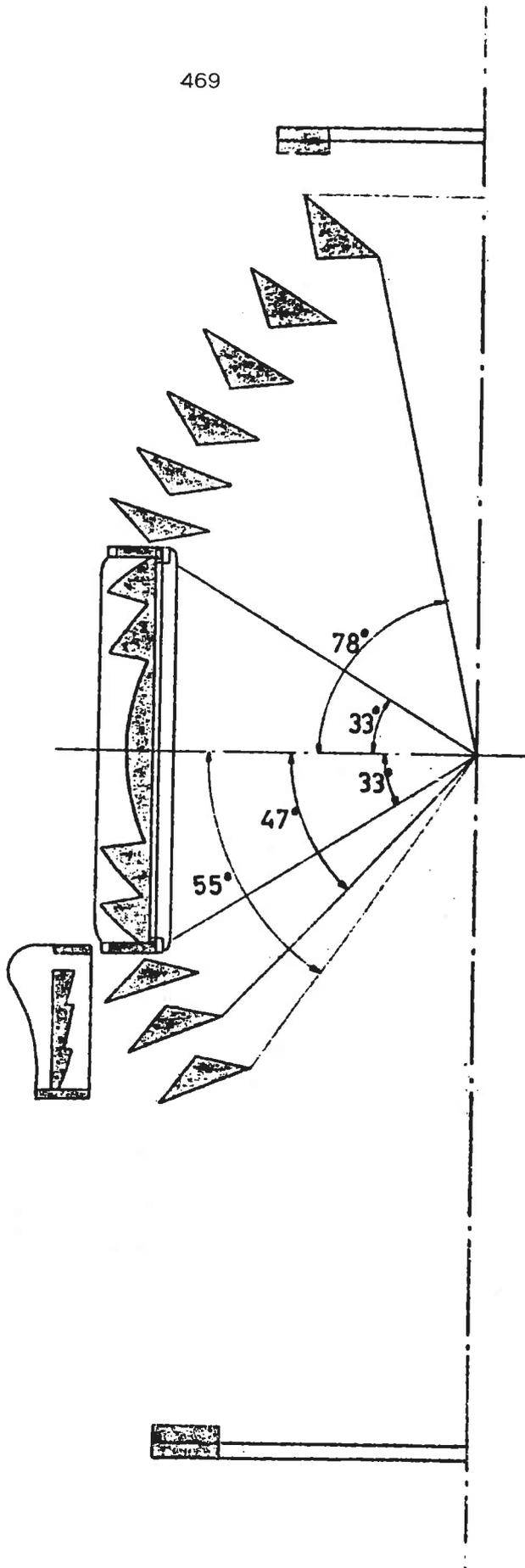
RESOLUCION

- a) Cálculo de la duración del destello.-

La duración del destello, si la rotación se realiza en 20 segundos (3 vueltas por minuto), será, según el parágrafo III.2.1.2.:

$$\tau = \frac{60 \cdot b}{2 \cdot n \cdot f \cdot \pi} = \frac{60 \cdot 1,8}{2 \cdot 3 \cdot 25 \cdot \pi} = 0,229 \text{ s}$$

a) $\tau = 0,229 \text{ s}$



b) Cálculo de los alcances marítimos.-

De III.2.2.4.2.:

$$I_o = a_2 \cdot L \cdot C_2 + a_3 \cdot L \cdot C_3 \cdot p_f$$

$$C_3 = 0,85 \text{ (pág. 113)}$$

$$C_2 = 0,70 \text{ (figura III.21)}$$

$$p_f = 0,70$$

$$\begin{aligned} I_o &= 643 \cdot 0,70 \cdot 739,5 + 682 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 739,5 = \\ &= 632.930 \text{ cd} \end{aligned}$$

donde se ha despreciado la escasa luz que se destina al haz aéreo de la parte catadióptrica inferior .

Con una constante de Blondel Rey de 0,2 (III.2.2.3.) y un descuento del 25% por montantes, posibles defectos de limpieza, etc., resulta una intensidad eficaz de:

$$I_e = \frac{\tau}{\tau + 0,2} \cdot I_o = \frac{0,229}{0,429} \cdot I_o = 337.983,99 \text{ cd}$$

y una intensidad de cálculo:

$$I_c = 0,75 \cdot I_e = 253.487,99 \text{ cd}$$

$I_c = 253.488 \text{ cd}$

De la figura IV.4.a. se obtienen los siguientes alcances:

Para T M M T = 0,866 D = 39 millas

Para T B M T = 0,784 D = 26 millas

c) Cálculo de los alcances en cada uno de los tres sectores.

La divergencia vertical $2 \delta_v$ será (pág. 181):

$$2 \delta_v = \frac{\sqrt{b^2 + h^2}}{f} = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha_0}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha_1}{2}} \quad \text{donde:}$$

$$b = 18 \text{ mm}$$

$$h = 20 \text{ mm}$$

$$f = 250 \text{ mm}$$

$$\alpha_0 = 33^\circ$$

$$\alpha_1 = 47^\circ$$

$$2 \delta_v = 0,083 \text{ radianes}$$

$$2 \delta_v = 4,731^\circ$$

Anteriormente se ha calculado la intensidad del haz marítimo en la hipótesis de dejar para el haz aéreo la parte catadióptrica inferior; si no existiera el haz aéreo, se debería sumar:

$$I_o = 0,7 \cdot 0,85 \cdot 237 \cdot 739,5 = 104.280,59 \text{ cd}$$

con lo que la intensidad estacionaria total es:

$$I_o = 737.211,25 \text{ cd}$$

y la intensidad de cálculo:

$$I_c = 295.252 \text{ cd}$$

Con el sistema de distribución en tres sectores (IV.4.2.1.):

$$I_{0,5} = \frac{Y}{100} \cdot I_o \quad \text{donde:}$$

$$Y = \frac{3.000}{\sqrt{I_o}} + 1 = 4,49$$

Si la intensidad de todo el panel principal fuera constante, teniendo en cuenta el valor de la divergencia vertical, corresponderá

al haz aéreo una superficie de panel principal $S_{0,5}$ (pág. 181):

$$S_{0,5} = \frac{2 \delta_v + 5}{2 \delta_v} = 4,49 \cdot \frac{4,73 + 5}{4,73} = 9,24 \%$$

Ahora bien, el rendimiento del paso de la luz por la óptica del haz aéreo es, aproximadamente, del 0,8, por lo que la superficie real a destinar es:

$$S_{0,5} = \frac{9,24}{0,8} = 11,55 \%$$

como la superficie total del panel es:

$$S = 643 + 682 + 237 = 1.562 \text{ cm}^2$$

se tiene:

$$S_{0,5} = 0,1155 \cdot 1.562 = 180,48 \text{ cm}^2$$

Entre 5° y 10° , se asigna una intensidad Z , igual a la quinta parte de la calculada:

$$Z = \frac{Y}{5}$$

por tanto:

$$S_{5,10} = \frac{180,48}{5} = 36,10 \text{ cm}^2$$

Entre 10° y 15° , se asigna una intensidad W , igual a la quinta parte de Z

$$S_{10,15} = 7,22 \text{ cm}^2$$

La superficie total del panel que produce el haz aéreo será, por tanto:

$$S = 180,48 + 36,10 + 7,22 = 223,79 \text{ cm}^2 < 237 \text{ cm}^2$$

$$A = 0,966 \quad (\text{IV.4.1.})$$

Como límite inferior de percepción de la luz se toma el valor:

$$E_o = 1 \cdot 10^6 \text{ lux} \quad (\text{IV.2.4.1.})$$

es decir, el quintuplo del valor habitual que se considera para el cálculo de los haces marítimos, en atención a la mayor rapidez y circunstancias especiales en que se realiza la navegación aérea .

Las intensidades de cálculo en cada uno de los sectores serán:

De 0° a 5°:

$$I_c = \frac{4,49}{80} \cdot 295.252 = 16.571 \text{ cd}$$

De 5° a 10°:

$$I_c = \frac{4,49}{80 \cdot 5} \cdot 295.252 = 3.314 \text{ cd}$$

De 10° a 15°:

$$I_c = \frac{4,49}{80 \cdot 5} \cdot 295.252 = 663 \text{ cd}$$

Acudiendo al ábaco de la figura IV.4.a., se puede calcular el alcance, pero como este ábaco corresponde a un límite de percepción de la luz de $0,2 \cdot 10^6$ lux, la intensidad necesaria para conseguir el mismo alcance será cinco veces mayor, pues $E' = 5 \cdot E$; luego se debe entrar en la figura con 1/5 de las intensidades .

$$I_{0,5} = \frac{16.571}{5} = 3.314 \text{ cd}$$

$$D_{0,5} = 32 \text{ millas}$$

$$I_{5,10} = \frac{3.314}{5} = 663 \text{ cd}$$

$$D_{5,10} = 19 \text{ millas}$$

$$I_{10,15} = \frac{663}{5} = 132 \text{ cd}$$

$$D_{10,15} = 11 \text{ millas}$$

d) Alcance, en kilómetros, del haz aéreo.-

Si la banda de vuelo está comprendida entre 800 y 6.000 metros, se tiene:

$$H_2 - H_1 = 6.000 - 800 = 5.200 \text{ m}$$

y, aplicando la expresión de la pág. 183:

$$Y = \frac{K K' I_e \delta_v}{H_1 - H_2} \quad \text{donde:}$$

$$K' = 0,8$$

$$\delta_v = 0,083$$

$$H_1 - H_2 = 5.200 \text{ m}$$

$$K = \frac{224}{1.562} = 0,143$$

$$I_e = \frac{295.252}{0,75} = 393.669 \text{ cd}$$

se obtiene:

$$Y = \frac{0,143 \cdot 0,8 \cdot 393.669 \cdot 0,083}{5.200 \cdot 10^{-3}} = 0,7188 \cdot 10^3$$

y, por tanto:

$$\frac{1}{Y} = 1,3911 \cdot 10^{-3}$$

entrando en el ábaco de la figura IV.27., para un coeficiente de transparencia atmosférica $A = 0,966$, se obtiene:

$$D = 68 \text{ km}$$

CAPITULO V. SEÑALES RADIOELECTRICAS

EJERCICIO 17

Un radiofaro debe tener un alcance de 200 m.n.en el Levante español. Dadas las características del terreno y tierra establecidos, el rendimiento del sistema radiante es de 0,15. ¿Cuál debe ser la potencia del transmisor? .

RESOLUCION

Aplicando la fórmula de Austin (pag. 202 o figura V.10), tenemos, para 200 m.n. y $75 \mu\text{v/m}$ (pag. 199):

Potencia = 28 wátios (ábaco) = potencia teórica .

Potencia aparente radiada (P.A.R.) = 280 wátios (pag. 203) .

Potencia del transmisor:

$$P_t = \frac{\text{PAR}}{\eta} = \frac{280}{0,15} =$$

1.867 wátios

EJERCICIO 18

Una boya cilíndrica de 2,00 m. de diámetro de flotador, que emerge 50 cm., ha de dotarse de un reflector de radar para asegurar un alcance de visión de 3 m.n. ¿Cuál debe ser la superficie reflectora expresada en m^2 ?

RESOLUCION

La boya de 2,00 m. de diámetro tiene (pag. 234):

$$K = 0,5$$

$$A_b = 2 \cdot 0,5 = 1,00 \text{ m}^2$$

luego:

$$3 = 3,04 \cdot \sqrt{1,4 \cdot A_r + 0,5 \cdot 1,00} = 3,04 \sqrt{1,4 A_r + 0,5}$$

$$A_r = \frac{\left(\frac{3,00}{3,04}\right)^2 - 0,5}{1,4} =$$

$$0,338 \text{ m}^2$$

EJERCICIO 19

En un radiofaro marítimo, que emite con frecuencia de 300 Khz, debe instalarse una antena en T, constituida por una rama vertical de 20 metros de longitud y de 6 mm. de diámetro y una hoja de tres ramales horizontales de la misma sección y de 40 metros de longitud neta .

La contrantena está constituida por dos series de ramales de 25 metros de longitud que adoptan forma radial (equivalente a 6 radios) y se aloja en zanjas abiertas en un terreno de resistividad 333 Ω/m .

Calcular la resistencia de radiación en el pie de la antena y comparar el rendimiento obtenido con el que se lograría con una antena en T con un solo hilo horizontal de 40 metros de longitud .

RESOLUCION

La longitud de la onda de emisión es de 1.000 metros, por lo que la altura eléctrica será (V.4.1.3.3.):

$$\alpha \cdot l = 360 \frac{l}{\lambda} = 360 \frac{20}{1000} = 7,20$$

La capacidad terminal está compuesta por una hoja de 3 cables ($N = 3$), de longitud 40 metros, con una distancia entre los extremos de 2 metros ($B = 2$). De la figura V.11 se obtiene:

$$p = \frac{B}{l} + 2 \frac{B}{l_w} = \frac{2}{20} + 2 \cdot \frac{2}{40} = 0,2$$

$$C_u = 2 \text{ p F/cm}$$

es decir, una capacidad total (pág. 204):

$$C = 2 \cdot 2.000 = 4.000 \text{ pF}$$

El cable de bajada actúa, con su imagen, como una línea de la siguiente impedancia característica:

$$Z = 276 \cdot \log \frac{2 \cdot 1}{d} = 276 \log \frac{40}{0,006} = 1.055,4 \Omega$$

Una capacidad terminal de 4.000 pF cerrando una línea de 1.055,4 Ω de impedancia característica determina, sobre ella, un alargamiento aparente αl_v , dado por la expresión (pág. 204):

$$\operatorname{tg} \alpha l_v = - \frac{Z}{B_C} \quad \text{donde:}$$

$$B_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 300 \cdot 10^3 \cdot 4.000 \cdot 10^{-12}} = 132 \Omega$$

$$\alpha l_v = \operatorname{arctg} \frac{1.055,4}{132} = \operatorname{arctg} 7,96 = 82,84^\circ$$

o sea que la línea de 7,20° de longitud aparece como una de 82,84 + 7,20 = 90,04°, que corresponde a una antena de cuarto de onda.

Extrapolando en el ábaco de la figura V.12, se obtiene:

$$R_{SF} \approx 0,9 \Omega$$

Como la toma de tierra radial tiene 25 metros de longitud de radios, según la figura V.13, se obtiene una resistencia de:

$$R_T = 18 \Omega$$

y, por tanto, un rendimiento (pág. 205):

$$\eta = \frac{0,9}{18} = 0,05$$

En el caso de tener un solo hilo horizontal, el aumento de longitud por efecto de la capacidad terminal viene dado por la expresión:

$$\alpha l_v = 360 \frac{40}{\lambda} = 14,40^\circ$$

$$\alpha l_v + \alpha l = 21,60^\circ$$

y, mediante la figura V.12, una resistencia:

$$R_{SF} \approx 0,6 \Omega$$

obteniéndose un rendimiento:

$$\eta = \frac{0,6}{18} = 0,03$$

El rendimiento es, por tanto, mayor en la antena en T de 3
ramales horizontales .

CAPITULO VI. SEÑALES ACUSTICAS

EJERCICIO 20

Una sirena sin deflector alguno tiene que habilitarse para un sonido puro, consiguiéndose sólo 200 hertzios de tono. Se quiere que tenga un alcance de 3 km. con viento en contra, con nivel de sonoridad en el límite del alcance de 55 fonios. Si el factor de transformación de energía eléctrica en sonora fuera de 0,75. ¿Qué potencia en watos se requerirá? Si el viento soplara a favor y se aumentara el tono a 2.000 hertzios con igual potencia. ¿Cuál sería el alcance? Supóngase transmisión del sonido en media esfera. ¿Qué coeficientes de transmisión sonora total por Km. supone viento a favor o en contra?

RESOLUCION

Para $S = 3 \text{ d B}$ (pag. 250), se tiene:

$$I = 155 + 20 \log 3 + 3 \cdot 3 = 155 + 9,542 + 9 = 173,542 \text{ dB}$$

que también sale de la figura VI.3, extrapolando ligeramente. De la figura VI.1 sale la mayoración del nivel de intensidad para pasar a fonios, correspondiente a 55 dB de nivel de sonoridad y 200 H_z : para 200 H_z : $I_1 = 62 \text{ dB}$, con diferencia de 7 dB (interpolado gráficamente), luego el nivel de intensidad requerido a un centímetro del emisor será:

$$I = 173,542 + 7 = 180,542 \text{ dB} < > 18,0542 \quad B = \log \frac{W_a}{10^{-16}}$$

$$W_a = 10^{-16} \cdot 10^{18,0542} = 10^{2,0542} \text{ w/cm}^2$$

y la potencia P requerida será:

$$P = \frac{2 \pi 10^{2,0542}}{0,75} = 949,116 \text{ watos}$$

$P = 949,116 \text{ W}$

Para 2.000 H_z , los fonios coinciden sensiblemente con los dB del nivel de intensidad, luego:

$$\text{para } I = 180,542 \text{ dB} \quad \text{y} \quad S = 2 \text{ dB/Km} \quad (\text{viento a favor})$$

el ábaco de la figura VI.3, en la curva I_2 da:

$$D = 5,3 \text{ Km}$$

De la pag. 250, resulta, para A:

$$\text{viento a favor: } S = 2 \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{1}{A} \right)$$

$$A = 0,6309 \text{ por Km a favor}$$

$$\text{viento en contra: } S = 3 \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{1}{A} \right)$$

$$A = 0,5012 \text{ por Km en contra}$$

EJERCICIO 21

A una señal acústica se le exigen 3 millas de alcance con viento en contra. ¿Qué intensidad sonora W_a en dB debe tener el emisor? ¿Qué potencia, en watos, correspondería a los vibradores electromagnéticos con pantalla deflectora de 180° ? Adóptese la hipótesis simplista de repartición en cuarto de esfera y rendimiento de transformación de energía eléctrica en sonora de 0,8. ¿Cuál sería el coeficiente K que correspondería, si se calculase por el método de nivel acústico?

RESOLUCION

Aplicando la fórmula de la pág. 250, resulta:

$$I = 155 + 20 \log (3 \cdot 1.852) + 3 \cdot 3 \cdot 1.852 \text{ dB}$$

pues $S = 3$ (viento en contra)

$I =$

$$186,58 \text{ dB (curva de trazos)} = W_a \text{ a 1 cm.}$$

Si el flujo ocupa π estereoradianes, o sea $1/4$ de esfera, y:

$$W_o = 10^{-16} \text{ w/cm}^2 \quad 10 \log \frac{W_a}{W_o} = 186,58 \quad \frac{W_a}{W_o} = 10^{18,658}$$

$$W_a = 10^{2,658} \text{ wátios/cm}^2, \text{ a 1 cm. de distancia.}$$

la potencia eléctrica será:

$$P = \frac{\pi \cdot 10^{2,658}}{0,8} \text{ wátios} = \frac{3,14 \cdot 455}{0,80} =$$

$$1.786 \text{ wátios} = P$$

aplicando la fórmula de la pág. 252:

$$N_{30} = K \log \frac{3.000 \cdot 1.852}{30} + 55$$

$$N_{30} = K \log 185,2 + 55 = 2,268 K + 55$$

$$10 \log \frac{P_{30}}{P_o} = N_{30} \quad P_o = 0,002 \text{ barias } \text{ó} \text{ } 10^{-16} \text{ w/cm}^2$$

$$P_{30} = 10^{-16} \cdot 10^{0,1N_{30}} = 10^{0,2268 \cdot K - 10,5} \text{ w/cm}^2 \text{ a 3.000 cm de distancia}$$

La potencia es de 1.786 wátios, luego:

$$1.786 = \frac{3.000^2 \cdot \pi \cdot 10^{0,2268 \cdot K - 10,5}}{0,8}$$

$$10^{0,2268 \cdot K - 10,5} = 5,05 \cdot 10^{-5}$$

$$0,2268 \cdot K - 10,5 = 0,7035 - 5 \quad K = \frac{6,2035}{0,2268} = 27,35$$

$$K = 27,35$$

EJERCICIO 22

Una sirena sin deflector alguno tiene que habilitarse para un sonido puro, consiguiéndose sólo 200 hertzios de tono. Se quiere que tenga un alcance de 3 Km., con viento en contra, con nivel de sonoridad en el límite del alcance de 55 fonios. Si el factor de transformación de energía eléctrica en sonora fuera de 0,75, ¿qué potencia, en wattios, se requeriría? Si el viento soplara a favor y su aumentara el tono a 2.000 hertzios, con igual potencia, ¿cuál sería el alcance? Supón gase transmisión de sonido en media esfera. ¿Qué coeficientes de transmisión sonora total, por Km., supone viento a favor o en contra? Si la velocidad del sonido es de 340 m/seg., la del viento, de 150 Km./h. y con los 200 H_z, ¿qué relación tienen los alcances, según el viento sople a favor o en contra?

RESOLUCION

Para $S = 3$ dB (pág. 250), se tiene:

$$I = 155 + 20 \log 3 + 3 \cdot 3 = 155 + 9,542 + 9 = 173,542 \text{ dB}$$

que también sale de la figura VI.3 extrapolando ligeramente. De la figura VI.1 sale la mayoración del nivel de intensidad para pasar a fonios, correspondiente a 55 dB de nivel de sonoridad y 200 H_z: para 200 H_z : $I_1 = 62$ dB, con diferencia de 7 dB (interpolando gráficamente), luego el nivel de intensidad requerido a un centímetro del emisor, será:

$$I = 173,542 + 7 = 180,542 \text{ dB} \quad 18,0542 \text{ B} = \log \frac{W}{10^{-16} a}$$

$$W_a = 10^{-16} \cdot 10^{18,0542} = 10^{2,0542} \text{ w/cm}^2$$

y la potencia P requerida, será:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot 10^{2,0542}}{0,75} = 949,116 \text{ wátios}$$

$$P = 949,116 \text{ w}$$

Para 2.000 Hz, los fonios coinciden sensiblemente con los dB del nivel de intensidad, luego:

$$\text{para } I = 180,542 \text{ dB} \quad \text{y} \quad S = 2 \text{ dB/Km (viento a favor)}$$

el ábaco de la figura VI.3 da, en la curva I_2 :

$$D = 5,3 \text{ Km.}$$

De la pág. 250 resulta, para S:

$$\text{viento a favor: } S = 2 \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{1}{A} \right)$$

$$S = 0,6309 \text{ por Km. a favor}$$

$$\text{viento en contra: } S = 3 \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{1}{A} \right)$$

$$S = 0,5012 \text{ por Km. en contra}$$

La velocidad del sonido de 340 m./seg. y la velocidad del viento V_o , de

$$V_o = \frac{150.000}{3.600} = 42 \text{ m/seg.}$$

modifican el tono aparente en el oído del receptor, según sigue:

$$\text{con viento a favor: } 200 \cdot \frac{340 + 42}{340} = 225 \text{ H}_z$$

$$\text{con viento en contra: } 200 \cdot \frac{340 - 42}{340} = 175 \text{ H}_z$$

que, para 55 fonios suponen (figura VI.1) unos niveles de 63 y 61 dB.

Si D_1 y D_2 son los alcances por nivel acústico (pág. 252), tendremos:

$$N_{30} = 20 \log \frac{D_2}{30} + 63 \text{ dB} \quad \text{con viento en contra}$$

$$N_{30} = 20 \log \frac{D_1}{30} + 61 \text{ dB} \quad \text{con viento a favor}$$

$$2 = 20 \log \frac{D_1}{D_2} \quad \log \frac{D_1}{D_2} = 0,1 \quad D_1 = 1,25 D_2$$

$$D_1 = 1,25 D_2$$

$$\alpha l_v + \alpha l = 21,60^\circ$$

y, mediante la figura V.12, una resistencia:

$$R_{SF} \approx 0,6 \Omega$$

obteniéndose un rendimiento:

$$\eta = \frac{0,6}{18} = 0,03$$

El rendimiento es, por tanto, mayor en la antena en T de 3 ramales horizontales .

**CAPITULO VII. INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS Y
NORMAS ESPECIALES**

EJERCICIO 23

En las inmediaciones de la boca de un puerto se produce un naufragio que debe balizarse mediante una boya que señale aguas navegables al Este (Marca Cardinal), según el Sistema de la IALA/AISM .

La boya lleva linterna con óptica de horizonte de \varnothing 200 mm. y 180 mm. de altura. La instalación es de gas acetileno con llama desnuda .

El temporal más desfavorable tiene, como parámetros:

longitud de ola = 160 m.

Altura de ola = 4,50 m.

y la relación del periodo propio de oscilación de la boya al del periodo del oleaje es de 0,5 .

Se pretende que, en tiempo brumoso mediterráneo standard, se distinga la señal a cinco millas, aun oscilando la boya. El eclipse entre destellos es un doceavo del de entre grupos de destellos. La apariencia luminosa, con un periodo de 5", cumple estrictamente las recomendaciones (eclipse = destello en el grupo) .

Determinar:

- a) Fases de luz y oscuridad de la luz .
- b) Consumo, en l/h, del quemador de acetileno a disponer .

RESOLUCION

Según la tabla III.14, la apariencia ha de ser de grupos de tres destellos (Señal Este), luego la duración de las fases dividiendo 5" en 17 partes, sería:

3 partes para fase de luz	(1 + 1 + 1)
14 partes para fase de oscuridad	(1 + 1 + 12)

17 partes para el periodo de 5"

luego la duración del destello, más el eclipse, sería de:

$$\frac{5''}{17} \cdot 2 = 0,588''$$

que supone, al minuto:

$$\frac{60}{0,588} = 102 \text{ destellos/minuto}$$

Destello: 0,588 : 2	= 0,294''
Eclipse entre destellos	= 0,294''
Eclipse entre grupos (doce veces)	= 3,528'' \approx 3,530''

$$\text{a) } 0,294'' + \underline{0,294''} + 0,294'' + \underline{0,294''} + 0,294'' + \underline{3,530''} = 5''$$

b) Según la pág. 270, el máximo ángulo de oscilación ϑ será:

$$\vartheta = \frac{\pi \cdot 4,5}{160} \cdot \frac{1}{1 - 0,5^2} = 0,11781 \text{ rad}$$

luego la divergencia vertical (III.2.1.3) ha de ser superior a:

$$2 \vartheta = 0,23562 \text{ rad} \leq 2 \delta_v$$

y la altura de la llama:

$$b \geq f \cdot 2 \delta_v = 100 \cdot 0,23562 = 23,56 \text{ mm.}$$

que, muy estrictamente, corresponde (tabla III.7) al quemador de 20 l/h, en que $b = 23 \text{ mm.}$

La intensidad estacionaria I_o (III.2.2.4), será:

$$\text{tag } \vartheta = \frac{180}{200} = 0,9 \quad K = 0,89 \cos \alpha = \frac{0,89}{\sqrt{1 + 0,9^2}} = 0,662$$

y, como (tabla III.7) $I = 6,4 \text{ cd/cm}^2$ y $b = 2,3 \text{ cm.}$,

$$I_o = 0,662 \cdot 6,4 \cdot 2,3 \cdot 18 = 175,27 \text{ c.d.}$$

y la intensidad eficaz I_e (III.2.5.4) será:

$$I_e = \frac{0,294}{0,294 + 0,12} I_o = 0,710 I_o = 124 \text{ c.d.}$$

y la intensidad del cálculo será (III.3):

$$I_c = 0,75 I_e = 93 \text{ c.d.}$$

con luz blanca .

Con tiempo brumoso mediterráneo standard (tabla IV.2), $T = 0,784$ y, entrando en la figura IV.4.a., resulta su alcance de 5,8 mn., superior al requerido, luego la solución es válida .

b) Quemador de 20 l/h

EJERCICIO 24

En un islote del freo de Formentera, se ha de disponer, en una baliza, un conjunto de paneles solares y de baterías para alimentar la instalación luminosa a lo largo de un ciclo anual .

Los paneles tienen, cada uno, una potencia pico de 40 watos y son aptos para cargar baterías de 24 voltios de tensión nominal. Cada batería es de 120 amperios/hora de capacidad .

La instalación luminosa tiene lámpara de 100 watos y destellador de 52,5 watos con 3,2" de total de fases de luz sobre un periodo de 20"; en el solsticio de invierno transcurren 16 horas de un caso a otro; se quiere tener una autonomía de 15 días para reserva por averías de panel en la época más desfavorable del solsticio de invierno y disponer sólo el número justo de paneles que requiere un ciclo anual de acumulación y gasto de energía en baterías. Se pide: a) número de paneles solares a instalar; b) número de baterías a disponer;

c) qué tanto por ciento de aumento sobre el número estricto de baterías del ciclo anual supone tener la reserva; d) qué capacidad total de baterías resultaría, aplicando la regla simplificada .

RESOLUCION

a) Número de paneles solares de 40 W (VII.1.4.1.1) .

Como la relación de luz y la intensidad nominal son:

$$R = \frac{3,2}{20} = 0,16 \quad I_n = \frac{100}{24} = 4,16 \text{ A}$$

y el factor de calentamiento medio (ver VII.1.3.2) es de $F = 1,50$ (dado el corto destello), la tensión nominal es de 24 V y, para un funcionamiento medio de 12 h. diarias, se tendrá (VII.1.3.2.1):

$$P_1 = (52,5 + 0,16 \cdot 100 \cdot 1,5) \cdot 12 = 918 \text{ watios. hora/día}$$

y, como $H = 2.300$ horas/año (ver figura VII.33) ($K = 10$ en mapa de figura VII.32), los paneles necesarios serán:

$$N = \frac{365}{2.300} \cdot \frac{10 \cdot 918}{40} = 36,39$$

$$N = 37 \text{ paneles}$$

b) Número de baterías de 120 A.h.

Aplicando la fórmula de VII.1.4.1.2 y con una intensidad media:

$$A = 0,16 \cdot 4,16 \cdot 1,5 + \frac{52,5}{24} = 0,99 + 2,19 = 3,18 \text{ Amperios}$$

$$n = 15 \text{ días}$$

$$D = 16 - 12 = 4 \text{ horas .}$$

se tiene:

$$C_a = 12 \cdot 3,18 \cdot 15 + (116,18 + 15) \cdot 3,18 \cdot 4 = 2.241 \text{ A.h.}$$

luego: $N = \frac{2.238,4}{120} = 18,68$

$$N^{\circ} = 19 \text{ baterías}$$

C) Porcentaje de aumento de la reserva:

Según la deducción de la fórmula, será:

$$\% = 100 \frac{n \cdot (D + 12) \cdot A}{116,18 \text{ A.D.}} = 100 \frac{15 \cdot (4 + 12)}{116,18 \cdot 4} = 51,55$$

51,55 % de aumento

d) Cálculo según regla simplificada (VII.1.4.1.2.):

Al lugar corresponden, según la figura, 30 días de consumo.

Luego será:

$$C = 30 \cdot 16 \cdot 3,18 = 1.526,4 \text{ A.h.}$$

$$N^{\circ} = \frac{1.526,4}{120} = 12,72$$

N° = 13 baterías (sin reserva)

similar al N° de:

$$\frac{18,65}{1,5155} = 12,30 \text{ baterías}$$

que resulta del cálculo más exacto con la fórmula .

EJERCICIO 25

En un terreno arenoso seco, de resistividad media para su clase, debe disponerse una tierra, cuya resistencia no supere valores de tolerancia habitual. Se dispone de piquetes de 1,80 m. ¿Cuántos habrán de hincarse? .

RESOLUCION

Tomados los valores de la pág. 362:

Con $\rho = \frac{100 + 100}{2} = 550 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$, será por piquete:

$r = \frac{550}{1,80} = 305,6 \text{ } \Omega$ y, si $R = 10 \text{ } \Omega$ y $n = n^{\circ}$ de piquetes:

$$\frac{1}{R} = \frac{n}{r} \quad n = \frac{r}{R} = 30,56$$

$n = 31$

EJERCICIO 26

Una señal flotante en espeque está constituida por un tubo de acero (p.e. = 7,85) de un milímetro de espesor y radio exterior de un decímetro; la longitud del tubo es de 128 decímetros, de los que los 8 extremos están perfectamente rellenos de fundición (p.e. = 7,85) para actuar de contrapeso, funcionando el propio tubo como boya o flotador. La parte emergida del tubo se pinta de fajas horizontales blancas ($\beta = 1,000$) y rojo baliza ($\beta = 0,132$) de 0,4 metros de altura .

En el supuesto de que sean despreciables los efectos del tren de fondeo (flotación libre), se pide: ¿Cuál será el periodo propio de oscilación del espeque? Con una visibilidad meteorológica de 1 km., y observada sobre un bosque de coníferas. ¿A qué distancia, un observador, podrá formarse cabal idea de la señal? Peso específico del agua de mar = $1,026 \text{ kg/dcm}^3$.

Fórmulas de apoyo:

Momento de inercia del cilindro hueco en relación a un eje perpendicular al cilindro y que pase por su c.d.g.:

$$I = \frac{P}{4} (R^2 + r^2 + \frac{h^2}{3})$$

Momento de inercia del círculo en relación a un diámetro:

$$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4}$$

RESOLUCION

a) Determinación del periodo.-

Se aplica el parágrafo VII.1.1.1. (pág. 269) .

Cálculo del peso.-

Tubo	$\pi \cdot (1^2 \cdot 0,99^2) \cdot 120$	=	7,5021	dcm ³
Contrapeso	$\pi \cdot 1^2 \cdot 8$	=	25,1327	
			Total	32,6349
Peso	$32,6349 \cdot 7,85$	=	256,1837	kg

Cálculo del peso de carena.-

El fondo A del contrapeso estará de la superficie 0 a la profundidad:

$$AO = \frac{256,1837}{\pi \cdot 1^2 \cdot 1,026} = 79,4793 \text{ dcm}$$

luego el centro de carena C, estará a:

$$AC = \frac{AO}{2} = 39,7397 \text{ dcm}$$

Cálculo del centro de gravedad G.-

Tomando momentos en A:

$$AG = \frac{4 \cdot 25,1327 + 68 \cdot 7,5021}{32,6349} = 18,7123 \text{ dcm}$$

Cálculo del radio metacéntrico.-

La distancia del metacentro M al centro de carena C será:

$$\rho = MC = \frac{I_f}{V} = \frac{\pi \cdot 1^4}{4 \cdot \pi \cdot 1^2 \cdot 79,4793} = 0,0031$$

- Cuadro auxiliar para calcular el momento de inercia -
 con aplicación del Teorema de Steiner

5
 dcm

Tubo solo

Volumen : $(1,00^2 - 0,99^2) \cdot \pi \cdot 120 = 7,5021 \text{ dcm}^3$

Valor auxiliar : $\frac{1,00^2 + 0,99^2 + 120^2}{4} / 3 = \frac{4,801,9801}{4} = 1.200,4950 \text{ dcm}^2$

Momento de inercia (del volumen) relativo al eje horizontal que pasa por su c.d.g. : $1.200,4950 (1,00^2 - 0,99^2) \cdot \pi \cdot 120 = 9.006,2616$

Momento de inercia (del volumen) relativo al eje horizontal que pasa por G : $7,5021 (68,0000 - 18,7123)^2 = 18.224,6818$

Contrapeso solo

Volumen : $\pi \cdot 1,00^2 \cdot 8 = 25,1327 \text{ dcm}^3$

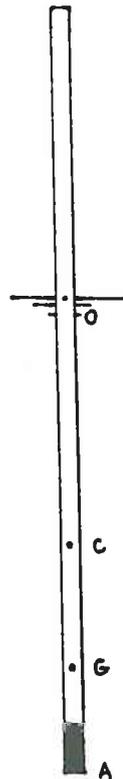
Valor auxiliar : $\frac{1,00^2 + 8,00^2}{4} / 3 = \frac{22,33}{4} = 5,5833 \text{ dcm}^2$

Momento de inercia (del volumen) relativo al eje horizontal que pasa por su c.d.g. : $5,5833 \cdot \pi \cdot 1,00^2 \cdot 8 = 140,3245$

Momento de inercia (del volumen) relativo al eje horizontal que pasa por G : $25,1328 (18,7123 - 4,00)^2 = 5.440,0391$

TOTAL $I_v = 32.811,31070$

Y el peso será : $I = 32.811,31 \cdot 7,85 = 257.568,76 \text{ kg dcm}^2$



Cálculo del brazo en palanca metacéntrico $\rho + a$ (pág. 271):

$$\begin{aligned}\rho + a &= MC + CG = 0,0031 + 39,7397 - 18,7123 = \\ &= 21,0305 \quad \text{dcm}\end{aligned}$$

Cálculo del momento de inercia.-

Del cuadro auxiliar, resulta:

$$I = 257.568,76 \quad \text{kg dcm}^2$$

y, aplicando la fórmula del pág. 270:

$$I = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{256.568,76}{98,1 \cdot 256,18 \cdot 21,03}} = 4,39''$$

$$T = 4,39''$$

d) Determinación de la distancia de reconocimiento.-

De las pág. 37 y 39 y las tabla II.1 y II.2:

$$C = \frac{L_A - L_S}{L_C} = 3 \beta (0,308 + 0,389 \beta') - 2,34$$

Para el rojo: $\beta' = 0,03$ $\beta = 0,132$

$$C_S = 0,396 (0,308 + 0,012) - 0,070 = 0,057$$

Para el blanco: $\beta' = 0,03$ $\beta = 1,000$

$$C_S = 3 (0,308 + 0,012) - 0,070 = 0,890$$

y, entrando en el ábaco de la figura II.3 con:

$$d = \sqrt{0,2 \cdot 0,4} = \sqrt{0,08} = 0,2828 \quad \text{m}$$

y la visibilidad meteorológica: $V = 1 \text{ km}$

Para el rojo: $X = 0,22 \text{ km} < d \text{ (m)}$, luego es un gran angu-

lo: $X = 0,03 \text{ Km}$ (figura II.4, prolongando escala de X) .

para el blanco: $X = 0,50 \text{ Km}$. (figura II.3)

luego la señal completa se percibirá a

$$X = 30 \text{ cm.}$$

admitiendo la licencia de considerar cada color por separado sobre un solo fondo .

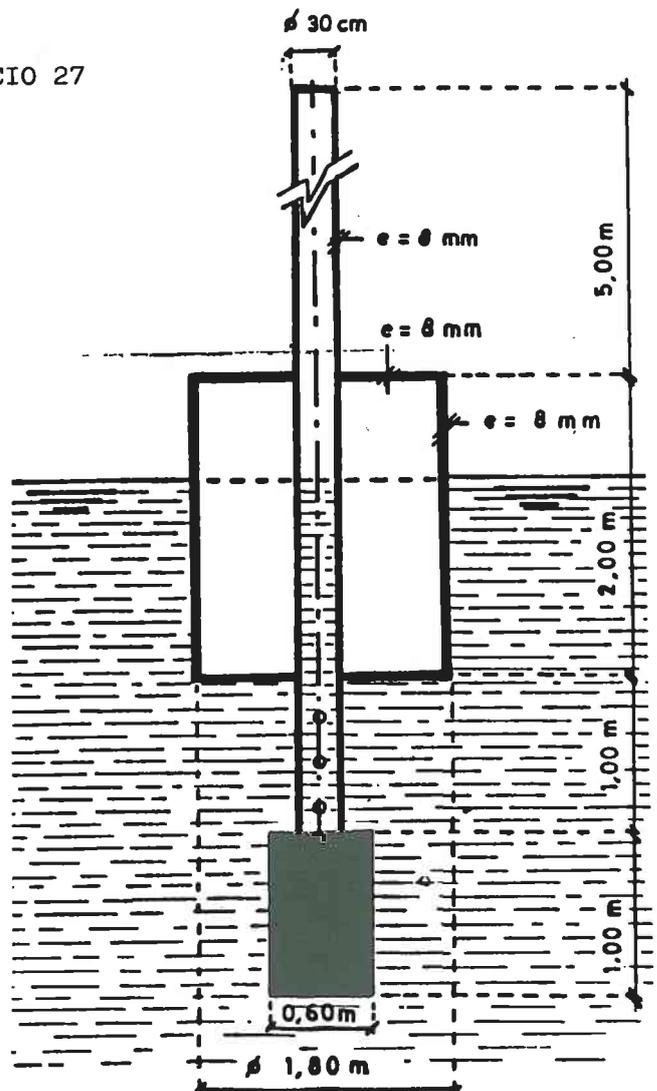
EJERCICIO 27

Una boya en espeque baliza un canal en el que se producen oleajes de hasta 12 seg. de periodo; si puede esquematizarse con arreglo a las dimensiones del dibujo adjunto y admitiendo que, sobre su oscilación, son despreciables los efectos de su tren de fondo. ¿Hay peligro de que la oscilación de la boya entre en resonancia? .

Considere peso específico del agua igual a la unidad, que el interior del tubo del espeque está en comunicación con el agua, pero que su contenido es arrastrado en la oscilación. Sección cilíndrica horizontal .

Fórmulas accesorias:

Momento de inercia de un cilindro hueco, de masa M y de radios R



y r, con altura h, alrededor de un eje perpendicular al del cilindro que pase por su centro de gravedad .

$$I = \frac{M}{4} (R^2 + r^2 + \frac{1}{3} h^2)$$

Momento de inercia de un círculo, en relación con un eje que pase por su centro:

$$I = \frac{\pi}{4} R^4$$

RESOLUCION

Se aplica el parágrafo VII.1.1.1 (pág. 269) .

Cálculo del peso de la boya .

Según las partes metálicas:

	<u>dc³</u>
2 . π . 1,5 . 0,08 . 80 (cilindro del espeque)	60,3187
2 . π . 9 ² . 0,08 . 20 (laterales de flotador)	90,4781
2 . π . 9 ² . 0,08 (fondos de flotador)	40,7152
π . 3 ² . 10 (contrapeso de cola)	282,7440
Cubicación total del metal	<u>474,2560</u>
peso total con p.e. = 7,85 Kg/dcm ³	3.722.9096 kg

Cálculo del centro de carena C.-

El cuerpo de boya se hundirá con el fondo A a una profundidad:

$$\frac{3.722,9096 - 282,7440}{\pi \cdot (9^2 - 1,5^2)} = \frac{3.440,1656}{\pi \cdot 78,75} = 13,9052 \text{ dcm.}$$

y el centro de carena C estará, del fondo, a:

$$AC = \frac{13,9052}{2} = 6,9526 \text{ dcm.} = 0,6953 \text{ m.}$$

Cálculo del centro de gravedad G (con agua aprisionada).-

Tomando como referencia el fondo del flotador A:

Cuerpo	Peso (Kg)	Brazo (m)	Momento (kg x m)
Cilindro del espeque	473,5018	3,00	1.420,5054
Flotador (con licencias)	1.029,8674	1,00	1.029,8674
Contrapeso	2.219,5404	-1,50	- 3.329,3106
Total	3.722,9096		- 878,9378
Agua aprisionada:			
$\pi \cdot 45^2 \cdot 23,9052$:	168,9763	0,1952	32,9943
		Total	845,9435

luego el centro G estará bajo el fondo A, a:

$$AG = \frac{845,9435}{3.722,9096 + 168,9763} = 0,2174 \text{ m.}$$

Cálculo del radio metacéntrico.-

La distancia del metacentro M al centro de carena C será:

$$\rho = MC = \frac{I_f}{V} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 0,9^4}{\pi \cdot (0,9^2 - 0,15^2) \cdot 1,3905 + \pi \cdot 0,3^2 \cdot 1,0} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 0,6561}{\pi \cdot 1,1850} = 0,1384 \text{ m.}$$

Cálculo del brazo de palanca metacéntrico.-

La distancia GM será:

$$\rho + a = GM = 0,2174 + 0,6953 + 0,1384 = 1,0511 \text{ m.}$$

Cálculo del momento de inercia .

En relación con un eje horizontal que pasa por G, y aplicando el teorema de Steiner con la fórmula:

$$I = \frac{P}{4} (R^2 + r^2 + \frac{h^2}{3})$$

Formamos el cuadro de cálculos auxiliar anexo, que nos da:

$$I = 1.187.428,72 \text{ kg} \cdot \text{dcm}^2$$

Cuadro de cálculos auxiliares del momento de inercia .

Cuerpo	(1) R dcm	(2) r dcm	(3) h dcm	(4) R ² dcm ²	(5) r ² dcm ²	(6) h ² dcm ²	(7) $R^2 + r^2 + \frac{h^2}{3}$ dcm ²	(8) $(R^2 - r^2) \cdot h$ Kg	(9) $I_1 = \frac{(7) \cdot (8)}{2 \cdot 4}$ Kg. dcm ²
DIRECTOS									
Cilindro de cola-esp.	1,50	1,42	80,00	2,25	2,02	6.400,00	2.137,00	144,44	38.594,37
Paredes flotador	9,00	8,92	20,00	81,00	79,57	400,00	293,90	224,51	8.247,94
Fondo s. flotador	9,00	0,00	0,08	81,00	0,00	0,01	81,00	50,87	515,06
Fondo i. flotador	9,00	0,00	0,08	81,00	0,00	0,01	81,00	50,87	515,06
Contrapeso	3,00	0,00	10,00	9,00	0,00	100,00	42,33	706,50	3.738,27
Agua aprisionada	1,42	0,00	23,91	2,02	0,00	571,69	192,58	48,30	1.162,70
Total									52.773,40
ADICIONALES									
	d dcm			d ² dcm ²				$R^2 - r^2 \cdot \gamma \cdot h$ Kg	I_2 / π Kg. dcm ²
Cilindro de cola-esp.	32,17			1.034,91				144,44	149.482,40
Paredes flotador	12,17			148,11				224,51	33.252,18
Fondo s. flotador	22,21			493,28				50,87	25.093,15
Fondo i. flotador	2,21			4,88				50,87	248,25
Contrapeso	12,83			164,61				706,50	116.296,19
Agua aprisionada	4,13			17,06				48,30	823,85
Total									325.196,02

$$I_1 + I_2 = 1.187.428,72 \text{ kg. dcm}^2$$

Nota: también puede hallarse el momento de inercia aplicando el Teorema de Steiner .

Determinación del periodo .

Estamos, ya, en condiciones de aplicar la fórmula de la pág.

270

$$T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{1.187.428,72}{98,1 \cdot 3.891,89 \cdot 10,51}} = 3,42''$$

Veamos que el periodo de oscilación propio de la boya está muy alejado del oleaje, luego:

no hay peligro de resonancia

EJERCICIO 28

Una boya de balizamiento se halla sometida a una corriente máxima y a un viento que producen, sobre ella, una fuerza horizontal de 3 Tm. El oleaje puede alcanzar los 2 h = 5,00 m. de altura; la profundidad es de 20 m. Se dispone de cadena de fondeo de calibre de \emptyset 35 mm. ¿Qué longitud debe dársele para que trabaje con coeficiente de seguridad 7 sobre rotura? ¿Qué flotabilidad neta debe tener, como mínimo, la boya para que no se hunda todo su flotador? Pueden utilizarse los ábacos .

RESOLUCION

El peso unitario de la cadena (pág. 297) será, aparentemente:

$$p = \frac{6,85}{7,85} 26,8 = 23,39 \text{ Kg/ml.}$$

luego (pág. 295), tenemos:

$$x = \frac{F}{p H} = \frac{3.000}{23,39 \cdot 20} = 6,41$$

y, como la carga de rotura es (pág. 297) igual a 57,7 Tm., la tensión T admisible será:

$$T = \frac{57,7}{7} = 8,242 \text{ Tm.}$$

que, expresada en unidades p H, vale:

$$R = \frac{8,242}{23,39 \cdot 20} = 17,62$$

la cual debe minorarse (figura VII.15), por efecto del oleaje:

$$\frac{2h}{H} = \frac{5}{20} = 0,25 \quad C = 2,2$$

$$T = \frac{17,62}{2,2} = 8,01$$

luego, la ordenanza y del ábaco de la fig. VII.16.a, será:

$$y = \sqrt{8,01^2 - 6,41^2} = \sqrt{64,15 - 41,1} = \sqrt{23,05} = 4,80$$

y el punto (6,41 ; 4,80) corresponde a la rama de hipérbola (figura VII.16.b):

$$\frac{L}{H} = 2,0 - \frac{2}{27} 0,5 = 2,0 - 0,04 = 1,96$$

$$L = 20 \cdot 1,96 =$$

39,2 m.

Para la flotabilidad neta:

$$y = \frac{P^1}{p H} = 4,80$$

$$P^1 = 4,80 \cdot 23,39 \cdot 20 = 2.245 \text{ kg.}$$

p = 2,245 kg.

EJERCICIO 29

Para balizar un islote del Mediterráneo español, se ha dispuesto que se establezca una luz blanca de destellos aislados, en que el navegante perciba una fase de luz de 0,5" y un periodo de 2", con alcance de 10 millas náuticas en tiempo medio standard. El islote no se observa proyectado sobre luces de ciudad. Se destinan, a la instalación, una óptica dióptrica con perfil Fresnel, de 200 mm. \emptyset , baterías ácidas de 12 V y de 120 A.h. de capacidad, lámparas de 12 V y 36 W y un destellador, que funciona a 12 V, con intensidad de 1,25 A. La resistencia del circuito es el 40% del de la lámpara en caliente. Hallar: a) Altura dióptrica teórica para satisfacer las exigencias. b) Cómo debe disponerse el tiempo entre contactos de destellador (aparición según contactos). c) Cuántas unidades de batería se precisan para asegurar dos meses de autonomía de funcionamiento, con relé de crepúsculo. d) A qué distancia producirá deslumbramiento. e) A qué altura debería situarse el plano focal para no deslumbrar a navegantes con vista a 10 m. sobre el nivel del mar, cualquiera sea la distancia de observación .

RESOLUCION

a) Para el alcance de 10 m.n., según figura IV.4.a., se precisan:

$$I_e = 290 \text{ c.d.} \quad (\text{para } T M M = 0,866)$$

luego (figura III.27.a.), la intensidad eficaz útil será, con la corriente de 36 : 12 = 3 A:

$$\text{para } 3 \text{ A y } 0,5'' : \frac{I_e}{I_o} = 0,7$$

Tomando un coeficiente de envejecimiento de la lámpara de 0,75 (pág. 126):

$$I_o = \frac{290}{0,7 \cdot 0,75} = 552 \text{ c.d.}$$

Según pág. 108 y tabla III.9, tendremos:

$$K \cdot L \cdot d \cdot h = 552 \quad K \cdot h = \frac{552}{0,11 \cdot 780} = 6,434 \quad K^2 \cdot h^2 = 41,391$$

y, como (pág. 108):

$$K = 0,85 \cos \alpha = \frac{0,85}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} = \frac{0,85}{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{10}\right)^2}} \quad K^2 = \frac{0,7225}{1 + \left(\frac{h}{10}\right)^2}$$

$$\frac{41,391}{h^2} = \frac{0,7225}{1 + \left(\frac{h}{10}\right)^2} \quad 41,391 + 0,41391 h^2 = 0,7225 h^2$$

$$h^2 = \frac{41,391}{0,3086} = 134,13 \quad h = 11,58 \text{ cm.}$$

a) Altura dióptrica = 11,58 cm.

b) Para 3 A, según la figura III.26.a., las inercias serán:

de encendido	0,300"
de apagado	0,125"
Diferencia	<u>0,175"</u>

Que debe corregirse para $R = 0,4$, que da $F = 1,28$ (figura III.26.b), luego:

$$1,28 \cdot 0,175 = 0,224"$$

y el tiempo entre contactos, deberá ser:

$$0,500" + 0,224" = 0,724"$$

y la apariencia según contactos será:

$$b) 0,724" + 1,276" = 2"$$

c) La capacidad se calcula según pág. 326 .

Factor de calentamiento para $I_n = 3 \text{ A}$ (figura VII.31):

$$F = 1,29$$

$H = 17$ horas, por estar en Zona Templada del Globo Terráqueo .

$$C_a = 61 \cdot 17 \left(3 \cdot 1,29 \frac{0,724}{2} + 1,25 \right) = 1.037 (1,4009 + 125) = \\ = 2.749 \text{ A.h.}$$

y el número de batería preciso, será:

$$n^{\circ} = \frac{2.749}{120} = 22,9 = 23$$

c) 23 baterías

d) Según pág. 176, la distancia de deslumbramiento es:

$$d_2 = \sqrt{\frac{I_e}{0,01}} = \sqrt{2.900} = 53,9 \text{ m.}$$

d) Distancia = 53,9 cm.

e) Según la tabla III.9, la altura del filamento es:

$$h = 6 \text{ mm.}$$

luego, aplicando la fórmula de la pág. 176, la sobrealtura sobre la vista del observador deberá ser:

$$\triangle H = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,6}{10} \cdot 53,9 = 1,61 \text{ m.}$$

$$H = 10,00 + 1,61 = 11,61 \text{ m.}$$

e) Altura plano focal = 11,61 m.

EJERCICIO 30

Dos edificios, uno de planta cuadrada de 20 m. de lado, y otro, de planta circular, de 10 m. de radio, se hallan con los centros distantes entre sí 40 m. Tienen cubierta plana horizontal, sin pretil, y a igual altura; en el centro del primero de ellos se levanta una torre de faro, cuyo remate de cúpula de linterna se halla a 20 m. sobre la cubierta. Si todo el edificio del faro ha de quedar incluido en el volumen protegido por el pararrayos, ¿cuál deberá ser la longitud de la barra de éste?

RESOLUCION

Del paraboloides de Findeisen (figura VII.53), resulta:

$$\text{Diámetro edificio} = 20 \sqrt{2}$$

Altura necesaria vértice:

$$x = \frac{y^2}{8} = \left(\frac{20 \cdot \sqrt{2}}{2} \right)^2 : 8 = \frac{200}{8} = 25 \text{ m.}$$

y, como hay 20 m., la barra deberá tener $25 - 20 = 5$ m.

barra de 5 m.

EJERCICIO 31

Una línea eléctrica en alta tensión a un faro tiene un recorrido de 5.200 metros y se dota de conductores desnudos de sección mínima de cobre electrolítico de 4,5 mm. de diámetro, con 141 gr. de peso por metro .

Las hipótesis de tendido y construcción de la línea son las siguientes:

Tensión específica de tiro de la línea

$$\frac{T}{15,90} = 3,00 \text{ kg/mm}^2$$

Temperatura de tendido

18° C

Temperatura mínima	10° C
Temperatura máxima	40° C
Presión del viento	125 kg/m ²
Coeficiente de forma por reducción de dicha presión para superficies redondeadas	0,7
Energía a transportar	215.000 W
Tensión	15.000 V
Tensión de rotura del poste de madera	650 kg/cm ²

Compruébese si resulta admisible el establecimiento de un vano entre postes de 50 metros y calcúlese el diámetro del poste de madera en base y cogolla, así como la altura del mismo y el momento flector de la zanca y tensiones máximas que se originan en el terreno por la misma .

Los conductores están situados en los vértices de crucetas en forma de triángulo equilátero de 1 metro de lado, y los postes están enclavados en zancas de hormigón de 2,10 metros de altura y de 26x x 16 cm. de sección, con 1,20 metros anclados en el terreno .

RESOLUCION

a) Flecha del tendido.-

La flecha es (pág. 379):

$$f = \frac{50^2 \cdot 0,141}{8 \cdot 3 \cdot 15,90} = 0,924 \text{ m}$$

El conductor alcanzará la tensión de 3 kg/mm² cuando la flecha, en condiciones normales, sea de 0,924 m.

b) Tensión producida por una baja de temperatura.-

Dada la temperatura mínima para la que se proyecta la línea, no es de esperar que se produzcan manguitos de hielo. La tensión que se produce en este supuesto viene dada por la ecuación que relaciona los valores que intervienen en el cambio de condiciones (VII.1.8.2.2.a)

$$T_2^2 \left(T_2 + \frac{S \cdot a^2 \cdot E}{24} \cdot \frac{P_1^2}{T_1^2} + S \cdot \alpha \cdot E \cdot (t_2 - t_1) - T_1 \right) = \\ = \frac{S \cdot a^2}{24} P_2^2 \cdot E$$

donde T_1 = tensión a la temperatura $t_1 = 18^\circ \text{C}$, o sea:

$$T_1 = 3 \times 15,9 = 47,70 \text{ kg}$$

T_2 = tensión a la temperatura $t_2 = 10^\circ \text{C}$, desconocida .

$$P_1 = P_2 = \text{carga de la línea} = P$$

Se supone que, en el momento de producirse este descenso de temperatura, no carga sobre el conductor más que el peso propio .

$T_2^2 (T_2 + 100,015) = 395.134,87$, que resulta por tanteos, da $T_2 = 51,2 \text{ kg.}$, que corresponde a una tensión específica de $\frac{51,2}{15,9} = 3,22 \text{ kg/mm}^2$, inferior a la de $13,33 \text{ kg/mm}^2$, que resulta como tensión específica admisible, al considerar la carga de rotura de 40 kg/mm^2 dividida por un coeficiente de seguridad de 3 .

c) Tensión producida por el viento.-

Se considera que el máximo viento que da la presión de $0,7 \times 125 \text{ kg/m}^2$ tiene dirección horizontal normal a los conductores y que tiene lugar a la temperatura de 10°C , dado el lugar donde se tiende la línea. Se aplica la misma fórmula del caso anterior, donde:

T_1 = tensión a la temperatura de montaje $t_1 = 18^\circ \text{C}$, o sea:

$$T_1 = 47,70 \text{ kg}$$

T_2 = tensión a la temperatura de $t_2 = 10^\circ \text{C}$ y bajo la acción del viento

P_1 = carga de la línea por el peso propio = p

P_2 = carga de la línea por el peso propio y la acción del viento que resulta:

Acción del viento sobre un metro de conductor:

$$P = 0,0045 \cdot 125 \cdot 0,7 = 0,394 \text{ kg/m.l.}$$

Componiendo geométricamente las dos acciones:

$$P_2 = \sqrt{0,141^2 + 0,394^2} = 0,418 \text{ kg/m.l.}$$

El valor T_2 viene dado por:

$$T_2^2 \left(T_2 + \frac{15,90 \cdot 50^2}{24} \cdot 12.000 \cdot \frac{0,141^2}{9 \cdot 15,9^2} + \right. \\ \left. + 15,90 \cdot 0,000017 \cdot 12.000 (10^\circ - 18^\circ) - 3 \cdot 15,90 \right) = \\ = \frac{15,90 \cdot 50^2}{24} \cdot 12.000 \cdot 0,418^2$$

$T_2^2 (T_2 + 100,21) = 3.472.693,50$, que, resuelta por tanteos, da $T_2 = 124,5$ kg, que da lugar a una tensión específica de

$$\frac{124,5}{15,90} = 7,83 \text{ kg/mm}^2$$

inferior a la admisible de $13,33 \text{ kg/mm}^2$, que resulta de considerar un coeficiente de seguridad de 3 .

d) Aumento de flecha producido por elevación de temperatura.-

Para calcular la flecha, se halla previamente la tensión de los conductores a 40° C , de un modo análogo a los casos anteriores .

T_1 = tensión a la temperatura de montaje $t_1 = 18^\circ \text{ C}$, de valor $T_1 = 47,70$ kg.

T_2 = tensión a la temperatura del supuesto $t_2 = 40^\circ \text{ C}$, sin otro influjo .

P_1 = carga de la línea por el peso propio = p

P_2 = carga de la línea por el peso propio = p

$$P_1 = P_2 = P = 0,141 \text{ kg}$$

$$T_2^2 \left(T_2 + \frac{15,90 \cdot 50^2}{24} \cdot 12.000 \cdot \frac{0,141^2}{9 \cdot 15,9^2} + \right. \\ \left. + 15,90 \cdot 0,000017 \cdot 12.000 (40^\circ - 18^\circ) - 3 \cdot 15,90 \right) = \\ = \frac{15,90 \cdot 50^2}{24} \cdot 12.000 \cdot 0,141^2$$

$T_2^2 (T_2 + 197,32) = 395.134,87$, cuya solución hallada por

tanteo es

$T_2 = 407$ kg. Por la fórmula de la flecha, se deduce:

$$f = \frac{50^2 \cdot 0,141}{8 \cdot 40,7} = 1,08 \text{ m}$$

que se tiene en cuenta al calcular, a continuación los postes .

e) Cálculo de los postes.-

Sumando la máxima flecha de 1,08 a los seis metros de altura mínima reglamentaria, se obtiene la máxima altura de los dos conductores inferiores de $6 + 1,08 = 7,08$ m. Como los tres conductores están situados en los vértices de un triángulo equilátero de lado 1 m., la máxima altura sobre el suelo del conductor superior será: $7,08 + \frac{\sqrt{3}}{2}$.
 $1,00 = 7,08 + 0,87 = 7,95$ m. Estando roscado el aislador superior a 20 cm. sobre la cogolla del poste, resulta una longitud, para este, de $7,95 - 0,20 = 7,75$ m. Se adoptan postes de 7,80 m. de longitud. Para calcular su diámetro, se admite una carga de rotura, para la madera, a tracción o compresión, de 650 kg/cm^2 y, para la sujeción al terreno, se utilizarán zancas de hormigón de 2,10 m. de longitud, con 1,20 m. anclados en el suelo y 0,90 m. al aire libre. Se comprueban, a los efectos del viento y del tiro longitudinal, la sección de un poste de 12 cm. en la cogolla y 24 cm. en la base, despreciando, en el cálculo, el peso propio del poste, de los conductores y demás elementos, dada la escasa importancia que tienen los esfuerzos de compresión simple, comparados con los de flexión. Se considera la sección situada a 0,80 m. sobre el terreno, a la altura de la abrazadera superior de sujeción del poste a la zanca .

Diámetro en la cogolla del poste = 12 cm.

Diámetro en la base del poste = 24 cm.

Diámetro en la sección considerada $12 + 12 \cdot \frac{7,00}{7,8} = 23$ cm

Altura del c.d.g. del trapecio expuesto al viento, sobre la sección $h = 3,13$

Acción del viento sobre el poste: $0,7 \cdot 125 \cdot \frac{0,23 + 0,12}{2}$.
 $\cdot 7,40 = 108$ kg.

Como $\cos \varphi = 0,8$
 $\text{sen } \varphi = 0,6$
 $f = 50 \text{ periodos/segundo}$

el coeficiente de autoinducción L es (pág. 386):

$$L = 10^{-4} (0,5 + 4,605 \cdot \log \frac{2D}{d}) \quad \text{donde:}$$

$$D = 1 \text{ m}$$

$$d = 0,45 \text{ cm}$$

$$L = 0,00127 \text{ henrios/km}$$

y, utilizando la expresión aproximada para la caída de tensión (pág. 386):

$$E = 5,97 \sqrt{3} (1,13 \cdot 0,8 + 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,00127 \cdot 0,6) \cdot 5,2 =$$

$$= 3,868 \text{ voltios}$$

que representa el:

$$\frac{3,868 \cdot 100}{15.000} = 0,03 \% < 5 \%$$

cantidad muy pequeña que da lugar a una escasa pérdida de potencia total, muy inferior a la reglamentaria .

Por tanto, el diseño de la línea expuesto en el enunciado es válido .

EJERCICIO 32

Una boya sin timón (figura VII.4.a.) está dimensionada con 2,20 metros de diámetro para peso de cadena de 1 Tm; cada elemento del contrapeso de cola de fundición (p.e. = $7,85 \text{ kg/cm}^3$) tiene 25 litros de volumen. Si está sometida a un viento de 120 km/h de velocidad y rotación intenso de densidad $\rho_a = 2,12 \text{ kg/m}^3$, a una corriente coincidente de 4 nudos y a un oleaje de 5 metros en un fondo de 25 metros fondeada con muerto y catenaria de tangente horizontal. ¿Qué calibre y longitud de cadena habrá de tener con un coeficiente de seguridad de 5 sobre rotura de cadena nueva? Con coeficiente 3 y muerto de hormigón de

p.e. = 3,00, ¿cuál será el volumen del muerto?, ¿cuántos elementos del contrapeso deben quitarse?. Pueden usarse los ábacos y tablas de las páginas 294, 295, 296 y 297 .

RESOLUCION

Acción debida al viento (pág. 287).-	<u>Superficie expuesta</u>
Cilindro: $1,00 \cdot 2,20 = 2,20 \text{ m}^2$ coef. 0,6	$S_e^1 = 1,32 \text{ m}^2$
Castillete etc.: $(0,7 \cdot 2,2 + 0,75 \cdot 1,2 +$ $+ 1,00 \cdot 0,4) = 1,6 + 0,8 + 0,4 =$ $2,8 \text{ m}^2$ coef. 1,9	$S_e^2 = 5,31 \text{ m}^2$
	<hr/> $S_e = 6,63 \text{ m}^2$

y de la pág. 288:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot 2,12 \cdot 33,33^2 \cdot 6,63 = 7.808,67 \text{ N}$$

Acción debida a la corriente.-

Cuerpo: $1,60 \cdot 2,20 =$	$3,52 \text{ m}^2$
Cola: $0,50 \times 1,80 =$	$0,90 \text{ m}^2$
Contrapeso: $0,90 \cdot 1,00 =$	$0,90 \text{ m}^2$
	<hr/> $5,32 \text{ m}^2$

$$c = \frac{4 \cdot 1.852}{3.600} = \frac{1.852}{900} = 2,05 \text{ m/seg}$$

y de la pág. 288:

$$C_d = 1,2$$

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 1.026 \cdot 5,32 \cdot 2,05^2 = 13.763,15 \text{ N}$$

Acción total horizontal:

$$F = F_v + F_c = 21.571,82 \text{ N} \quad H = 25 \text{ m}$$

a) Ensayando cadena de $\varnothing 30 \text{ mm}$.-

$$p = \frac{6,85}{7,85} \cdot 19,6 = 17,1 \text{ kg/m.l.} \quad (\text{Tabla VII.2})$$

y entrando en el ábaco de la figura VII.6.a.:

$$x = \frac{21.571,82}{17,1 \cdot 25 \cdot 9,81} = 5,14 \quad y = 3,36$$

$$P_1 = 3,36 \cdot p \cdot H = 3,36 \cdot 427,5 = 1.435,8 \text{ kg}$$

$$T = 6,14 \cdot p \cdot H = 6,14 \cdot 427,5 = 2.626 \text{ kg}$$

Mayoración oleaje y coeficiente de seguridad:

$$\frac{2h}{H} = \frac{5}{25} = 0,2 \quad C = 1,9 \text{ (figura VII.15)}$$

$$T' = 1,9 \cdot 5 \cdot 2,626 = 25 \text{ Tm} \quad 42,4 \text{ de la } \emptyset 30 \text{ mm (tabla VII.2)}$$

b) Ensayando cadena de $\emptyset 19$ mm.-

$$p = \frac{6,85}{7,85} \cdot 8 = 6,98 \text{ kg/m.l.}$$

$$x = \frac{2.199}{6,98 \cdot 25} = 12,60 \quad y = 5,12$$

$$P_1 = 5,12 \cdot p \cdot H = 5,12 \cdot 174,5 = 894 \text{ kg}$$

$$T = 13,6 \cdot p \cdot H = 13,6 \cdot 174,5 = 2.374 \text{ kg}$$

Mayoración oleaje y coeficiente de seguridad:

$$C = 1,9 \text{ y } 5 \quad \text{respectivamente}$$

$$T' = 1,9 \cdot 5 \cdot 2,374 = 22,6 \text{ Tm} \quad 17 \text{ de la } \emptyset 19 \text{ mm (tabla VII.2)}$$

c) Cadena apropiada.-

Interpolando entre las cadenas $\emptyset 30$ mm y $\emptyset 19$ mm:

$$\emptyset 30 \text{ mm} = 42,4 - 25 = 17,4 \text{ Tm}$$

$$\emptyset 19 \text{ mm} = 17,0 - 22,6 = 5,6 \text{ Tm}$$

$$\frac{d}{5,6} = \frac{11}{23}$$

$$\emptyset = 19 + 11 \frac{5,6}{23} = 19 + 2,68 = 21,68 \text{ mm}$$

Se puede tantear el valor de \emptyset 25 mm.

$$p = 14,1 \frac{6,85}{7,85} = 12,3 \text{ kg/m.l.}$$

$$p \cdot H = 307,5 \text{ kg}$$

$$x = \frac{2.199}{307,5} = 7,15$$

$$y = 3,91$$

$$P_1 = 3,91 \cdot 307,5 = 1.203 \text{ kg}$$

$$T' = 1,9 \cdot 5 \cdot 8,15 \cdot 0,03075 = 23,81 \text{ Tm} < 29,4 \text{ Tm de la } \emptyset 25 \text{ mm}$$

Comprobación del calibre:

\emptyset 25 mm por exceso ó 22 mm por defecto

El exceso de peso es de $1.203 \text{ kg} - 1.000 \text{ kg} = 203 \text{ kg}$ y, como cada elemento tiene 25 litros, suponen:

$$\frac{203}{25 \cdot 6,85} = 1,19 \text{ elementos}$$

por lo que

debe quitarse uno

La longitud de la cadena será:

$$\frac{1.203 \cdot 7,85}{6,85 \cdot 14,1} =$$

98 m de longitud

Para el volumen del muerto, con coeficiente de seguridad de 3, debe pesar $2.199 \cdot 3 = 6.597 \text{ kg}$

$$\frac{6.597}{3-1} = 3.298,5 \text{ litros de muerto} =$$

$3,3 \text{ m}^3$

EJERCICIO 33

En la boya del ejercicio nº 32, la cadena \emptyset 25 mm queda sobredimensionada (pues no hay tipo entre \emptyset 22 y \emptyset 25) ¿Qué longitud debería tener para agotar su capacidad resistente, con igual coeficiente de seguridad, en catenaria estirada? En tal caso, ¿qué volumen de muerto se precisaría con igual coeficiente de seguridad?

RESOLUCION

De la tabla VII.2:

$$p \cdot H = \frac{6,85}{7,85} \cdot 14,1 \cdot 25 = 307,6 \quad x = \frac{2.199}{307,6} = 7,15$$

La tensión deberá ser, como máximo:

$$T' = \frac{29.400}{1,9 \cdot 5} = 3.095 \text{ kg} \quad \frac{T'}{p \cdot H} = 10,06$$

y con estos valores de T' y x , se entra en el ábaco de la figura VII.16.a.

El círculo de 10.06 y la abscisa $x = 7,15$ se cortan en un punto

$$\frac{L}{H} = 1,5$$

$$L = 37,5 \text{ m}$$

$$y = 7,0 \quad P_1 = y \cdot p \cdot H = 7 \cdot 307,6 = 2.153,2 \text{ kg}$$

$$P_2 = 2.153,2 - 37,5 \cdot 14,1 \cdot \frac{6,85}{7,85} = 2.153,2 - 461,4 = 1.692 \text{ kg}$$

$$F_2 + P_2 = 2,199 + 1,692 = 3,891 \text{ Tm}$$

El muerto deberá pesar:

$$3.891 \cdot 3 = 11.672 \text{ kg}$$

$$\frac{11.672}{3 - 1} = 5.836,2 \text{ litros de muerto}$$

$5,836 \text{ m}^3$

EJERCICIO 34

A la señal flotante en espeque del ejercicio 26 se la dota de una marca de tope constituida por dos esferas huecas de 5 dcm de diámetro y de 5 mm de espesor de fundición (p.e. = 7,85), en la disposición de la figura II.5.a (pág. 45) .

Calcular la variación del periodo propio de oscilación de la señal .

Fórmula de apoyo:

Momento de inercia de una esfera hueca de radios R y r respecto a su diámetro:

$$I = P \frac{2}{5} \frac{R^5 - r^5}{R^3 - r^3}$$

RESOLUCION

El volumen de una esfera de 5 mm de espesor es:

$$V = \frac{A}{3} \pi (2,5^3 - 2,45^3) = 3,85 \text{ dcm}^3$$

El peso de la marca de tope será:

$$P = 2 \cdot 3,85 \cdot 7,85 = 60,43 \text{ kg}$$

y el peso total: $256,18 + 60,43 = 316,61 \text{ kg}$

Cálculo del centro de carena.-

EL fondo A del contrapeso estará de la superficie O a la profundidad:

$$AO = \frac{316,61}{\pi \cdot 1^2 \cdot 1,026} = 98,23 \quad \text{dcm}$$

luego el centro de la carena C estará a:

$$AC = \frac{AO}{2} = 49,11 \quad \text{dcm}$$

Cálculo del centro de gravedad G.-

Tomando momentos en A:

$$AG = \frac{4 \cdot 25,1327 + 68 \cdot 7,5021 + 2 \cdot 3,85 \cdot 138,5}{40,3328} = 41,5821 \quad \text{dcm}$$

Cálculo del radio metacéntrico.-

La distancia del metacentro M al centro de carena C será:

$$\rho = MC = \frac{I_f}{V} = \frac{\pi \cdot 1^4}{4 \cdot \pi \cdot 1^2 \cdot 98,23} = 0,0025 \quad \text{dcm}$$

Cálculo del brazo de palanca metacéntrico $\rho + a$ (pág. 271):

$$\rho + a = MC + CG = 0,0025 + 49,1135 - 41,5821 = 7,5339 \quad \text{dcm}$$

Cálculo del momento de inercia.-

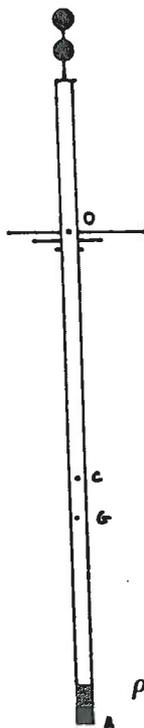
Momento de inercia de la marca de tope relativo al eje horizontal que pasa por su c.d.g.:

$$60,43 \cdot \frac{2}{5} \cdot \frac{2,5^5 - 2,45^5}{2,5^3 - 2,45^3} + 60,43 \cdot 5^2 = 1.757,57 \quad \text{kg dcm}^2$$

Momento de inercia relativo al eje horizontal que pasa por G:

$$60,43 \cdot (138,50 - 41,58)^2 = 567.623,78 \quad \text{kg dcm}^2$$

Momento de inercia del tubo, relativo al eje horizontal que pasa por G: $7,5021 \cdot (68 - 41,58)^2 = 5.235,76 \quad \text{dcm}^5$



Momento de inercia del contrapeso, relativo al eje horizontal que pasa por G: $25,1328 \cdot (41,58 - 4,00)^2 = 35.497,92 \text{ dcm}^5$

$$I = 7,85 \cdot (9.006,26 + 5.235,76 + 140,32 + 35.497,92) +$$

$$+ 1.757,57 + 567,623,78 = 960.941,48 \text{ kg dcm}^2$$

y, aplicando la fórmula de la pág. 270:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{960.941,48}{98,1 \cdot 316,61 \cdot 7,53}} = 12,73''$$

$$T = 12,73''$$



