



GUÍA DE LA IALA

G1006

BOYAS DE PLÁSTICO

Edición 4.0

Diciembre de 2018



Puertos del Estado



HISTORIAL DEL DOCUMENTO

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

Fecha	Detalles	Aprobación
Diciembre de 1997	1ª edición	Consejo 18
Diciembre de 2005	Documento entero Reformateado para reflejar la jerarquía de la documentación de la IALA	Consejo 35
Mayo de 2008	Documento entero Revisión y actualización en el Taller de la IALA de 2008 sobre Ayudas flotantes y EEP11/12	Consejo 43
Diciembre de 2013	Páginas 4, 6, 7, 8 y 9 Suprimidas las referencias a la GUÍA 1040 y reemplazadas por la GUÍA de la IALA “1077 Mantenimiento de ayudas a la navegación”	Consejo 56
Diciembre de 2018	Todas las páginas y todos los apartados Revisión completa y actualización del documento	Consejo 68

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

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

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

Coordinación de la edición en español y edición final:

José Carlos Díez (Puertos del Estado)

NOTA: Puertos del Estado no se responsabiliza de los errores de interpretación que puedan producirse por terceros en el uso del contenido de este documento, que corresponde a una traducción del documento original de la Asociación Internacional de Ayudas a la Navegación Marítima y Autoridades de Faros (IALA) denominado según aparece en la carátula.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	8
2. ÁMBITO DE APLICACIÓN	8
3. PUNTOS A CONSIDERAR EN LA EVALUACIÓN DE BOYAS DE PLÁSTICO	8
3.1. Prestaciones.....	8
3.2. Comparación del coste con el ciclo de vida útil	8
3.3. Tipos de materiales plásticos.....	9
3.4. Cambio de las propiedades materiales de los plásticos durante su vida útil	9
3.5. Cambio de la coloración de los plásticos durante su vida útil	9
3.5.1. General.....	9
3.5.2. Maneras de evaluar la vida útil prevista de la coloración	10
3.6. Transmisión de fuerzas y cargas de trabajo.....	10
3.7. Piezas metálicas	11
3.7.1. Tornillería.....	11
3.7.2. Inserciones metálicas	11
3.7.3. Lastres y contrapesos	11
3.8. Visibilidad de radar.....	11
3.9. Acumulación de carga eléctrica estática	11
3.10. Métodos de rotulación	12
3.11. Requisitos de diseño para la utilización de boyas de plástico en zonas de formación de hielo	13
3.11.1. Cuerpo de la boya	13
3.11.2. Forma de boyas.....	13
3.12. Requisitos de diseño para la utilización de boyas de plástico en climas muy cálidos.....	13
3.13. Requisitos de diseño para la utilización de boyas de plástico en condiciones marítimas extremas	14
3.14. Manejo y almacenamiento	14
3.15. Reparación y mantenimiento	14
3.16. Control de calidad y ensayos	14
3.16.1. General.....	14
3.16.2. Ensayos de aseguramiento de calidad	15
3.17. Reciclaje / Eliminación.....	16
4. BOYAS DE POLIETILENO	17
4.1. Polietileno – Características.....	17
4.2. Propiedades mecánicas y normas del polietileno.....	17
4.3. Consideraciones generales acerca de la construcción de boyas de polietileno	18
4.3.1. Espesor de la pared	18
4.3.2. Reserva de flotabilidad	18
4.3.3. Posibilidades de boyas de varios colores	18



ÍNDICE DE CONTENIDOS

4.3.4.	Dilatación y contracción de piezas de polietileno.....	18
4.3.5.	Relleno de boyas de polietileno	18
4.3.6.	Adherencia de pinturas y láminas para la rotulación.....	19
4.4.	Boyas de polietileno moldeadas por rotación	19
4.4.1.	Fabricación de piezas de plástico de polietileno moldeadas por rotación	19
4.4.2.	Fabricación de boyas de polietileno moldeadas por rotación y hechas de un módulo cerrado	21
4.4.3.	Fabricación de boyas de polietileno moldeadas por rotación y hechas de dos o más módulos cerrados y soldados	22
4.4.4.	Fabricación de boyas con flotador moldeado por rotación.....	24
4.5.	Boyas de polietileno de alta densidad.....	28
4.5.1.	Fabricación de piezas de plástico de polietileno de alta densidad.....	28
4.5.2.	Fabricación de boyas de polietileno de alta densidad	29
5.	PLÁSTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (GRP)	35
5.1.	General	35
5.2.	Construcción	35
5.3.	Ejemplos de boyas de plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP)	35
5.3.1.	Relleno.....	35
5.3.2.	Fijaciones / Conexión de fondeo	35
5.4.	Reparación y mantenimiento	35
6.	Espuma cubierta de poliuretano / elastómero	36
6.1.	Material de elastómero– Características.....	36
6.2.	Propiedades mecánicas y normas del plástico de elastómero	36
6.2.1.	Propiedades del elastómero de poliuretano	36
6.2.2.	Propiedades de las láminas de espuma de polietileno	37
6.3.	Detalles de la construcción de boyas de elastómero	38
6.3.1.	Fabricación de piezas de plástico	38
6.3.2.	Ensamblaje de la boya	39
6.4.	Formas y tamaños de boyas de elastómero	40
6.4.1.	Posibilidades de boyas de elastómero de varios colores	40
6.4.2.	Uso de boyas de elastómero en zonas de formación de hielo	40
7.	BOYAS DE ESPUMA DE IONÓMERO	41
7.1.	Características.....	41
7.2.	Construcción	41
7.3.	Ejemplo de boya de espuma de ionómero	41
8.	EQUIPOS DE BOYA	41
8.1.	Equipos de luz	41
8.2.	Sistemas de supervisión y sensores	42
8.3.	Reflector de radar	42
8.4.	RACON	42



ÍNDICE DE CONTENIDOS

8.5.	AIS (Sistema de Identificación Automática).....	42
8.6.	Marcas de tope	43
8.7.	Material retrorreflectante	43
9.	ACRÓNIMOS Y DEFINICIONES	43
9.1.	ACRÓNIMOS.....	43
9.2.	Definiciones	45
10.	REFERENCIAS	46

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Posibilidades de reciclaje de los distintos materiales utilizados en las boyas de plástico.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2: Tipos y procesos de fabricación del polietileno</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3: Marca fluvial o de puerto de tamaño reducido</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 4: Boyas de espeque y cónicas, soldadas.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 5: Espeques moldeados por rotación, soldadas.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 6: Boyas modulares.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 7: Boyas de espeque y cónicas de polietileno de alta densidad.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 8: Espeques de plástico de polietileno de alta densidad</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 9: Propiedades de la espuma de polietileno</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 10: Propiedades del elastómero de poliuretano</i>	<i>37</i>

Índice de Figuras

<i>Figura 1: Pintura.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2: Pintura.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3: Lámina adhesiva</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4: Planchas prerrotuladas</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5: Grabado.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 6: Método de pulverización de plástico.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 7: Gráfico moldeado.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 8: Espuma de poliestireno</i>	<i>18</i>
<i>Figura 9: Espuma de poliuretano.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 10: Bloques de poliestireno</i>	<i>19</i>
<i>Figura 11: Molde con polvo de plástico</i>	<i>20</i>



ÍNDICE DE CONTENIDOS

<i>Figura 12: Molde cerrado</i>	20
<i>Figura 13: Desmoldeado</i>	20
<i>Figura 14: Inserción</i>	20
<i>Figura 15: Flotador</i>	20
<i>Figura 16: Marca de pequeño tamaño</i>	20
<i>Figura 17: Orejeta de izado de plástico</i>	21
<i>Figura 18: Cáncamos metálicos de izado y fondeo</i>	21
<i>Figura 19: Soldadura por fusión</i>	22
<i>Figura 20: Soldadura por fusión</i>	22
<i>Figura 21: Diagrama de despiece</i>	23
<i>Figura 22: Boya cónica</i>	23
<i>Figura 23: Boya de espeque</i>	23
<i>Figura 24: Boya cónica en hielo ligero</i>	23
<i>Figura 25: Espeque</i>	24
<i>Figura 26: Espeque</i>	24
<i>Figura 27: Acumulación de hielo</i>	24
<i>Figura 28: Diagrama de despiece</i>	25
<i>Figura 29: Planchas de polietileno de colores en superestructura de polietileno</i>	25
<i>Figura 30: Diagrama de despiece</i>	26
<i>Figura 31: Superestructura de aluminio pintada</i>	26
<i>Figura 32: Diseño completo en plástico, 3 módulos</i>	27
<i>Figura 33: Diseño completo en plástico, 2 módulos</i>	27
<i>Figura 34: Proceso de extrusión</i>	28
<i>Figura 35: Diseño híbrido de metal y plástico</i>	28
<i>Figura 36: Coextrusión</i>	28
<i>Figura 37: Tubos extruidos</i>	28
<i>Figura 38: Piezas moldeadas por compresión</i>	29
<i>Figura 39: Combinación de piezas de plástico y metálicas</i>	29
<i>Figura 40: Soldadura por fusión</i>	30
<i>Figura 41: Soldadura por extrusión de Polietileno de Alta Densidad (HDPE)</i>	30
<i>Figura 42: Cilíndrica de plástico de varios colores</i>	31
<i>Figura 43: Boya de espeque flotando</i>	32
<i>Figura 44: Boya de espeque de varios colores</i>	32
<i>Figura 45: Boya de espeque</i>	32
<i>Figura 46: Espeque de varios colores</i>	33
<i>Figura 47: Espeque flotando</i>	33
<i>Figura 48: Espeque con marca de tope</i>	33



ÍNDICE DE CONTENIDOS

<i>Figura 49: Espeque en campo de hielo sólido</i>	<i>34</i>
<i>Figura 50: Boya de espeque en campo de hielo sólido</i>	<i>34</i>
<i>Figura 51: Espeque en hielo triturado.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 52: Boya de plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP).....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 53: Boya de plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP) flotando.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 54: Polietileno de célula cerrada ligado tras el calentamiento</i>	<i>38</i>
<i>Figura 55: Lámina enrollada de polietileno de célula cerrada</i>	<i>38</i>
<i>Figura 56: Recubrimiento de elastómero de poliuretano</i>	<i>38</i>
<i>Figura 57: Superficie antideslizante.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 58: Vista seccionada de una boya de elastómero.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 59: Ensamblaje de una boya de elastómero.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 60: Boya de elastómero con linterna compacta</i>	<i>40</i>
<i>Figura 61: Boya luminosa de elastómero alimentada por energía fotovoltaica</i>	<i>40</i>
<i>Figura 62: Boya luminosa de elastómero con equipos de medición alimentada por energía fotovoltaica y eólica.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 63: Espuma de ionómero.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 64: Reflector de radar</i>	<i>42</i>
<i>Figura 65: Boya con bandas retrorreflectantes montadas en un cajeadado.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 66: Cadena molecular de polietileno.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 67: Cadena molecular de polietileno, lineal y ramificado</i>	<i>45</i>

1. INTRODUCCIÓN

“Boya de plástico” se puede definir como una ayuda flotante a la navegación cuyo flotador, al menos, se construye con un material plástico. Se han fabricado y usado boyas de plástico desde la década de los 80.

Están disponibles comercialmente en una amplia gama de colores y tamaños, desde boyas pequeñas de una sola pieza con un diámetro de 0,16 m a grandes boyas modulares con diámetros de hasta 4 m. Pueden clasificarse como monocuerpo (de una sola pieza) o modulares (de múltiples componentes). Se fabrican principalmente de materiales de polietileno en distintos diseños.

2. ÁMBITO DE APLICACIÓN

Esta guía se ha elaborado para asesorar a los fabricantes de ayudas a la navegación marítima y a las autoridades (de faros) en el desarrollo y elección de boyas de plástico para diferentes fines. También ofrece información sobre los tipos de materiales plásticos, técnicas de fabricación, consideraciones sobre el control de calidad y procedimientos de ensayo que se emplean habitualmente.

3. PUNTOS A CONSIDERAR EN LA EVALUACIÓN DE BOYAS DE PLÁSTICO

3.1. PRESTACIONES

Debido a la menor densidad material del plástico con relación al acero suelen ser bastante más ligeras que las de acero. Las boyas de bajo peso necesitan un diseño cuidadoso para evitar excesivo balance y cabeceo, que reduzcan su eficacia con oleaje, viento o corrientes.

Las prestaciones deben determinarse en función de las condiciones ambientales, para determinar la elección adecuada del tipo de boya, ya que existen muchos diseños para adaptarse a esas condiciones ambientales.

El estudio hidrostático realizado por un ingeniero naval acreditado puede ser de gran ayuda en el proceso de elección. Véase la Guía G1099 de la IALA sobre el Diseño hidrostático de boyas al respecto.

3.2. COMPARACIÓN DEL COSTE CON EL CICLO DE VIDA ÚTIL

Suelen tener una vida útil más corta que las de acero y suele ser necesario sustituirlas antes que las de acero. Los factores que afectan directamente a su longevidad son el deterioro de la resistencia plástica y la decoloración.

El coste de adquisición depende de la tecnología de su construcción. Los costes de mantenimiento suelen ser menores debido a la eliminación de los procesos de chorreo de arena y de pintura, así como a la reducción de los costes de embarcaciones, personal, fondeos y transporte. La mayor parte del mantenimiento se puede realizar *in situ*, como la limpieza mediante chorreo y otras tareas habituales. Para cada material plástico le corresponde un procedimiento de mantenimiento. La *Guía de la IALA G1077 sobre el Mantenimiento de ayudas a la navegación* ofrece más información al respecto.

El ANEXO A expone las ventajas y desventajas de las boyas de plástico.

Se puede justificar su implementación para sustituir las antiguas de acero cuando los costes totales del ciclo de vida sean menores, y se cumplan a la vez los requisitos de funcionamiento operativo como una ayuda a la navegación marítima.

Para más información al respecto, véase también la *Guía G1047 de la IALA sobre la Metodología de comparación de costes de las tecnologías de boyas*.

3.3. TIPOS DE MATERIALES PLÁSTICOS

La robustez necesaria del cuerpo de la boya estará condicionada por el entorno operativo (protegido, expuesto, hielo, etc.) y de las operaciones de su manejo. Están disponibles para su fabricación diversos materiales plásticos, y cada uno tiene propiedades distintas que ofrecen características y prestaciones diferentes. Por ejemplo, determinados materiales pueden ser más resistentes a las incrustaciones marinas que otros. También deben ser lo suficientemente robustas para soportar a lo largo de su vida útil, la limpieza periódica de incrustaciones marinas mediante el raspado o el chorreo de agua a alta presión.

Para su fabricación, se utilizan principalmente los siguientes tipos de materiales plásticos:

- Polietileno (PE);
- Plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP, del inglés, *Glass Reinforced Plastic*);
- Espuma cubierta de poliuretano / elastómero;
- Espuma de ionómero.

El polietileno es el plástico más utilizado para su fabricación. Por lo tanto, esta Guía tratará principalmente de las boyas de polietileno (apartado 4).

3.4. CAMBIO DE LAS PROPIEDADES MATERIALES DE LOS PLÁSTICOS DURANTE SU VIDA ÚTIL

La degradación del plástico debido a la luz ultravioleta (UV) es una de las cuestiones que debe tenerse muy en cuenta. El tipo de material plástico elegido y la adición de los inhibidores de UV empleados para protegerlo tendrán un impacto en la vida útil. La degradación por ultravioletas hace que el plástico se vuelva más frágil, y esta pérdida de ductilidad reducirá la resistencia al impacto durante la vida útil. La intensidad de la exposición a la luz UV en la zona de operación debe tomarse en consideración, puesto que la degradación y pérdida de ductilidad se aceleran en latitudes con una mayor exposición a la energía UV.

En latitudes con mayor exposición a la luz UV y con temperaturas más altas, la pérdida de resistencia se produce con mayor rapidez que en latitudes con menor exposición a la luz UV.

La velocidad de deterioro varía en función del tipo de plástico elegido y de la adición de inhibidores o estabilizadores UV para proteger sus propiedades mecánicas. Los fabricantes deben realizar ensayos de envejecimiento acelerado para demostrar la estabilidad prevista de las propiedades mecánicas de ese plástico con respecto a la radiación UV a largo plazo. Los ensayos normalizados podrían incluir los siguientes:

- ASTM G155 Práctica para la operación de aparatos de luz de arco de xenón para la exposición de materiales no metálicos;
- ISO 4582: 2017 Plásticos - Determinación de los cambios de coloración y variaciones de las propiedades después de la exposición a la luz natural bajo vidrio, al envejecimiento natural o a las fuentes de luz de laboratorio;
- ISO 4892 (1-4) Plásticos - Métodos de exposición a fuentes luminosas de laboratorio.

3.5. CAMBIO DE LA COLORACIÓN DE LOS PLÁSTICOS DURANTE SU VIDA ÚTIL

3.5.1. GENERAL

La decoloración debido a los ultravioletas es una cuestión que debe ser tenida en cuenta. La resistencia al desvanecimiento del pigmento utilizado para colorear la base de resina plástica determinará el tiempo durante el cual el color cumplirá la recomendación *R0108 (E-108) de la IALA — Colores de superficie*

utilizados como señales visuales en ayudas a la navegación marítima y la Guía G1134 de la IALA — Colores de superficie utilizados como señales visuales en ayudas a la navegación marítima.

El comportamiento del sistema de pigmentos es un factor crucial para determinar anticipadamente la vida útil de cualquier componente plástico. La decoloración se producirá con mayor rapidez en latitudes con mayor radiación UV.

Es bastante común la percepción errónea de que se añaden inhibidores y estabilizadores de luz UV para proteger contra el desvanecimiento de la coloración. En realidad, dichos aditivos se emplean para ralentizar la velocidad del deterioro de las propiedades mecánicas del plástico y no para prevenir contra el desvanecimiento de la coloración.

Los pigmentos de color utilizados en todos los plásticos deben ser de la más alta calidad, además de ser adecuados para el uso marino y la exposición a la luz ultravioleta.

Los fabricantes deben realizar ensayos de envejecimiento acelerado del material plástico para demostrar la tasa prevista de desvanecimiento de la coloración con respecto a la radiación UV durante la vida útil del diseño.

3.5.2. MANERAS DE EVALUAR LA VIDA ÚTIL PREVISTA DE LA COLORACIÓN

Una práctica habitual en la industria para medir el desvanecimiento de la coloración es utilizar la exposición acelerada a rayos UV en un climatizador de xenón, de acuerdo con las normas correspondientes, y realizada por un laboratorio de ensayos acreditado por un tercero. Los ensayos normalizados podrían incluir los siguientes:

- ISO 4892 (1-4) Plásticos - Métodos de exposición a fuentes luminosas de laboratorio;
- EN 16472 Plásticos - Método de fotoenvejecimiento acelerado utilizando lámparas de vapor de mercurio a media presión;
- ASTM D2244 - 16 Práctica para el cálculo de tolerancias cromáticas y diferencias cromáticas a partir de coordenadas cromáticas medidas con instrumentos;
- ASTM D2565 - 16 Práctica para la exposición a arcos de xenón de plásticos destinados a aplicaciones en exteriores;
- ISO 1664-4 Evaluación colorimétrica de coordenadas cromáticas y de diferencias cromáticas de acuerdo con el espacio cromático CIELAB.

3.6. TRANSMISIÓN DE FUERZAS Y CARGAS DE TRABAJO

Debido a la menor resistencia del plástico a la tracción en comparación con el acero, se debe prestar mucha atención a las cargas generadas en el izado y fondeo. Aunque las de fondeo suelen distribuirse por todo el cuerpo de plástico, se ejercen cargas adicionales durante el despliegue y recuperación de las boyas.

La mayoría de las boyas llevan tanto una argolla de elevación como una de fondeo. En función del diseño de la boya, la argolla de elevación y la de fondeo se pueden diseñar de la siguiente manera:

- Integradas, formando parte del casco de plástico;
- Una pieza de acero galvanizado o de acero inoxidable fijada en el flotador y la superestructura.

La transmisión de fuerzas entre el punto de fondeo y el de elevación es crítica para el manejo seguro de las boyas sintéticas. Deben considerarse las condiciones operativas del despliegue y recuperación de boyas, ya que el estado del mar y las corrientes pueden generar cargas dinámicas cuando se iza la boya.

Los fabricantes deben identificar claramente en el diseño la transmisión de fuerzas, y los factores de diseño utilizados para especificar con seguridad la carga de trabajo.

3.7. PIEZAS METÁLICAS

Una boya sintética típica podría incorporar las siguientes piezas metálicas:

- Cáncamos/orejetas de izado;
- Cáncamos/orejetas de fondeo;
- Tornillería;
- Inserciones;
- Lastre (en el caso de ser hierro fundido o acero).

Las piezas metálicas deben de seleccionarse de tal manera que no se produzca corrosión galvánica al unir los distintos materiales. En determinadas ocasiones será aconsejable aislar las piezas metálicas entre si (con pintura, aislamiento del propio flotador, imprimación bituminosa, etc.).

Debido al desgaste que sufre la fijación de fondeo, su grosor tendrá suficiente material, que será el que dictamine los intervalos de mantenimiento. El desgaste se podrá determinar a través de mediciones realizadas durante el proceso de mantenimiento. En caso de ser excesivo, el sistema de fijación de fondeo tendrá que sustituirse.

3.7.1. TORNILLERÍA

Se recomienda el uso de piezas estándar y no corrosivas, como las de acero galvanizado por inmersión en caliente, aluminio de grado marino, acero inoxidable marino o bronce.

3.7.2. INSERCIONES METÁLICAS

Las inserciones metálicas se emplean para fijar elementos a la boya, tales como la linterna, las placas rotuladas, las marcas diurnas, etc. Se pueden fabricar con los materiales mencionados en el apartado **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

En el proceso de fabricación, se debe extremar el cuidado para garantizar que las inserciones de rosca se fijen y alineen correctamente con el sustrato o, de lo contrario, se impedirá su fijación a ellas.

Hay que tener especial cuidado y usar el par de apriete correcto al enroscar las fijaciones en las inserciones para evitar que se desprendan o se arranquen del cuerpo de la boya.

3.7.3. LASTRES Y CONTRAPESOS

El lastre se suele emplear para garantizar la estabilidad de la boya. Un sistema ajustable del peso de lastre (contrapesos) permite optimizar su misión en distintas condiciones operativas y ambientales.

Si se monta dentro de la boya de forma permanente, el lastre debe fijarse firmemente en su posición para garantizar que no sea posible su desplazamiento.

3.8. VISIBILIDAD DE RADAR

Las boyas de plástico necesitan tener instalado un reflector de radar pasivo para que sean visibles mediante el radar. Hay disponible más información al respecto en la NAVGUIDE de la IALA y más adelante en el apartado 8.3.

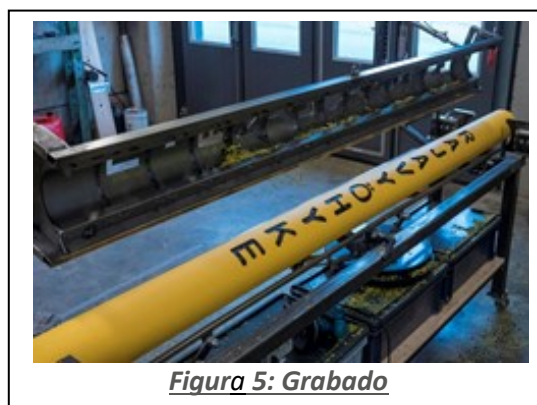
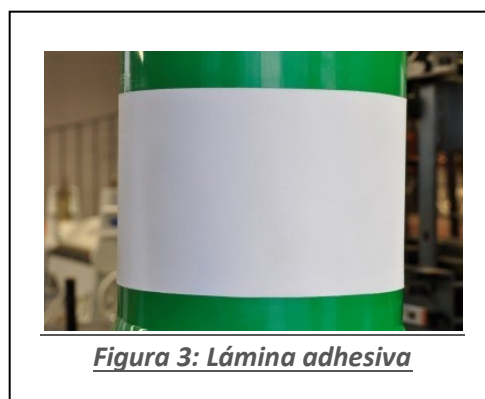
3.9. ACUMULACIÓN DE CARGA ELÉCTRICA ESTÁTICA

Es posible que haya que incorporar un elemento de puesta a tierra para evitar la acumulación de electricidad estática, que podría generar una descarga eléctrica o dañar los equipos electrónicos.

3.10. MÉTODOS DE ROTULACIÓN

La mayoría de las administraciones rotulan el nombre o el número de la boya en la parte más visible de la estructura. Se deben explorar soluciones que ofrezcan estabilidad a la rotulación a largo plazo. Las posibles soluciones (no aplicables en todos los tipos de boyas) podrían incluir:

- Pintura (figuras 1 y 2)
- Aplicación de láminas adhesivas (figura 3)
- Planchas pre-rotuladas (soldadas o fijadas mediante tornillería) (figura 4)
- Grabado (Figura 5)
- Pulverización de plástico (figura 6)
- Gráficos moldeados (aconsejable para la utilización a largo plazo de la boya en una misma posición (figura 7)



3.11. REQUISITOS DE DISEÑO PARA LA UTILIZACIÓN DE BOYAS DE PLÁSTICO EN ZONAS DE FORMACIÓN DE HIELO

El no tener que retirar las boyas en la época invernal supone un considerable ahorro al reducir drásticamente las operaciones de mantenimiento. Algunas boyas de plástico, sobre todo las de espeque y de forma cónica, son más apropiadas para unas determinadas condiciones de hielo, como pueden ser:

- Zonas de hielo flotante en corrientes o campos de hielo en movimiento;
- Zonas de campo sólido de hielo.

Los impactos sobre la boya pueden producir abrasión, cortes, efectos de compresión, tensión y flexión.

Para soportar dichas condiciones, el material del cuerpo de la boya deberá ser lo suficientemente robusto, y su forma fabricada en consecuencia.

3.11.1. CUERPO DE LA BOYA

La falta de resistencia es el motivo principal de los daños causados a las boyas por el hielo, que podría deberse al espesor insuficiente de la pared o a la abrasión, por una elección equivocada del tipo de material plástico. Los cambios del espesor de la pared ocasionarán también puntos de concentración de tensiones en la transición entre zonas de distinto espesor y, por lo tanto, el espesor de la pared debería ser homogéneo.

3.11.2. FORMA DE BOYAS

Deben ser lo suficientemente robustas para sumergirse por debajo del hielo y sobrevivir estructuralmente hasta que el hielo en movimiento la libere otra vez. La forma de la boya, la resistencia y los puntos de fondeo e izado deberán fabricarse en consecuencia. En cuanto al dimensionado de los elementos de fijación, con frecuencia se tiene que llegar a un compromiso entre el tamaño mínimo para facilitar el manejo y la reducción de los puntos de acumulación de hielo.

Cuando sea posible, deben evitarse las marcas de tope y, si se instalan, que sea posible una solución desechable, pero habrá que tener en cuenta su posterior reciclado.

Algunas boyas de polietileno son adecuadas para su utilización en condiciones de hielo. Véase los apartados 4.4.3.3 y 0 al respecto.

Más información disponible en el taller de la IALA sobre los *Retos de la prestación de servicios de ayudas a la navegación en las regiones polares* y en la Guía G1108 de la IALA sobre los *Retos de la prestación de servicios de ayuda a la navegación en regiones polares*.

3.12. REQUISITOS DE DISEÑO PARA LA UTILIZACIÓN DE BOYAS DE PLÁSTICO EN CLIMAS MUY CÁLIDOS

Cuando se utilicen en climas muy cálidos (regiones ecuatoriales), deberán tenerse en cuenta las consideraciones de diseño, puesto que algunos efectos podrían perjudicar seriamente el funcionamiento del equipo instalado.

A continuación, figuran algunos ejemplos de los problemas que podrían surgir debido a la exposición prolongada de materiales de plástico a altas temperaturas. Hay que tenerlas en cuenta para determinar si el diseño es el adecuado para la zona elegida (esta lista no pretende ser exhaustiva).

- Partes que se alteran por diferente dilatación y corrosiones galvánicas por diferencias de material
- Cambios en las dimensiones de los elementos, ya sea de forma total o parcialmente;
- Los recubrimientos, juntas de estanqueidad, precintos, etc. se distorsionan, se sueldan y rompen, provocando fallos mecánicos o de integridad;
- Las juntas de estanqueidad muestran tendencia a quedarse pegadas;
- Las juntas de cierre y sellado se deterioran;
- La vida útil se acorta;

- Decoloración, agrietamiento o cuarteo de los materiales de plástico;
- Desprendimiento de gases de los materiales plásticos.

Las elevadas tasas de radiación solar (UV) en estas regiones pueden provocar que la temperatura en la superficie aumente de 15 a 30°C por encima de la ambiental y alcanzar los 80°C. Por lo tanto, hay que tener en cuenta los datos del fabricante acerca de la degradación, el comportamiento y la resiliencia del material en esas condiciones extremas. Para más información al respecto, véase la *Guía G1136 de IALA sobre la Prestación de servicios de ayuda a la navegación en climas extremadamente cálidos y húmedos*.

3.13. REQUISITOS DE DISEÑO PARA LA UTILIZACIÓN DE BOYAS DE PLÁSTICO EN CONDICIONES MARÍTIMAS EXTREMAS

Las boyas de plástico se pueden utilizar en la mayoría de las condiciones marítimas. Sin embargo, las condiciones marítimas extremas (oleaje rompiente, huracanes, derrelictos) provocarán tensiones mecánicas mayores de lo normal en estructuras y fondeo. Al elegir este tipo de boyas, la posibilidad de condiciones ambientales extremas debe tenerse en cuenta para garantizar que el diseño y los materiales sean lo suficientemente robustos para resistirlas.

3.14. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

En general, su manejo no se diferencia del de una de acero. El peso suele ser mucho menor que el de las metálicas, facilitando su manejo. Los equipos necesarios para moverlas a su posición podrán ser de menor potencia ya que no necesitan la misma capacidad de elevación que las de acero.

El almacenamiento a largo plazo debe realizarse según las instrucciones del fabricante (para evitar, por ejemplo, la deformación de flotadores y estructuras).

Cuando se almacenen a la intemperie durante mucho tiempo (por ejemplo, en una explanada de almacenamiento), deben protegerse contra la luz UV para evitar el envejecimiento y decoloraciones aceleradas.

3.15. REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los procedimientos de mantenimiento se exponen en el Anexo A2 Boyas de plástico de la *Guía G1077 de la IALA sobre el Mantenimiento de ayudas a la navegación*.

3.16. CONTROL DE CALIDAD Y ENSAYOS

3.16.1. GENERAL

Una boya de plástico bien diseñada, de buena calidad y duradera puede ofrecer un funcionamiento fiable en el mar durante muchos años, con una buena retención del color y seguridad en el manejo.

Durante el proceso de fabricación del cuerpo de boya y de las piezas metálicas, se deben aplicar algunos mecanismos de control de calidad importantes:

- El fabricante debe disponer de un procedimiento interno de control de calidad, como la norma ISO 9001 o equivalente;
- Si fuera necesario, se podrá entregar con cada boya un informe de control de calidad, cuyos contenidos se establecerán con antelación para satisfacer las necesidades del cliente;
- Se debe establecer un sistema interno para supervisar el ciclo de vida de la boya.

3.16.2. ENSAYOS DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

A efectos de garantizar la longevidad de la boya, se podrán realizar los ensayos de calidad que figuran a continuación.

3.16.2.1. Confirmación del diseño

Antes de proceder a la fabricación de los prototipos, deberá revisarse al detalle el diseño para confirmar las expectativas de funcionamiento. Se recomiendan las siguientes revisiones:

- Análisis hidrostático e hidrodinámico para determinar el comportamiento previsto;
- Aprobación del diseño para la transmisión de cargas.

3.16.2.2. Ensayos de prototipo antes de la fabricación en serie

Tras la fabricación de las primeras muestras de piezas de plástico, se podrán comprobar de acuerdo con los siguientes requisitos:

- Medición de las dimensiones generales de cada pieza;
- Medición del peso de cada pieza;
- Medición del espesor de la pared en diferentes puntos;
- Comprobación mediante ensayos a presión de la estanqueidad al agua de los módulos cerrados;
- Comprobación de la superficie en busca de imperfecciones;
- Mediciones de cromaticidad;
- Ensayos mecánicos;
- Toma de muestras de material para obtener información detallada (ensayo destructivo).

Además de las inspecciones mencionadas arriba, se deberán realizar los siguientes ensayos sobre los prototipos ensamblados de la boya:

- Ensayos de tensión hasta la carga de rotura prevista para todos los puntos de izado y de fondeo;
- Ensayos de estabilidad hidrostática para confirmar el funcionamiento real con respecto al previsto (para más detalles al respecto, véase la *Guía G1099 de la IALA sobre el Diseño hidrostático de boyas*).

3.16.2.3. Ensayos de control de calidad de la fabricación

En función de las necesidades, podrán realizarse los siguientes ensayos sobre cada cuerpo de boya o lote:

- Medición de las dimensiones generales;
- Medición del peso;
- Medición del espesor de la pared en diferentes puntos;
- Comprobación de la estanqueidad al agua;
- Comprobación de la integridad del relleno de espuma (si fuera aplicable);
- Ensayos de tensión hasta la carga útil especificada;
- Comprobación del acabado de la superficie;
- Mediciones de cromaticidad (conforme a la *Recomendación R0108 (E-108) de la IALA sobre Colores de superficie utilizados como señales visuales en ayudas a la navegación marítima*).

3.16.2.4. Ensayos durante la vida de servicio

El Anexo A2 de la *Guía G1077 de la IALA sobre Mantenimiento de ayudas a la navegación* ofrece información general acerca del mantenimiento de este tipo de boyas-

En concreto, deberán realizarse a intervalos regulares los siguientes ensayos:

- Mediciones de cromaticidad para garantizar que se siguen cumpliendo los requisitos de la *Recomendación R0108 (E-108) de la IALA — Colores de superficie utilizados como señales visuales en ayudas a la navegación marítima*;

- Inspección general para detectar deterioro, ensayos de tensión para comprobar tanto los supuestos relativos a la vida útil prevista como la seguridad de todos los componentes de izado.

3.17. RECICLAJE / ELIMINACIÓN

Los componentes y materiales de las boyas se elegirán para reducir su impacto ambiental cuando se eliminen al final de su vida útil. Se deben considerar las tres “R” de la protección medioambiental, es decir, la reutilización, la reducción de residuos y el reciclaje. También es deseable que el proceso de fabricación sea respetuoso con el medio ambiente. El diseño debería ser reciclable al 100%. La tabla siguiente ofrece información acerca de las posibilidades de reciclaje de los distintos materiales utilizados.

La Guía G1036 de la IALA sobre la *Gestión medioambiental de ayudas a la navegación* ofrece más información al respecto.

Tabla 1: Posibilidades de reciclaje de los distintos materiales utilizados en las boyas de plástico

Componente	Tipo de material	Facilidad de reciclaje	Método de reciclaje
Cuerpo o flotador	Polietileno	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de plásticos
	Espuma de poliuretano	Se separa de los otros materiales de la boya	Centro de reciclaje de plásticos
	Plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP)	No reciclable	
Espuma de relleno	Poliestireno expandido fundido	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de plásticos
	Espuma de poliuretano	Se separa de los otros materiales de la boya	Centro de reciclaje de plásticos
Superestructura	Polietileno	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de plásticos
	Aluminio	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales
Reflector de radar	Aluminio	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales
Escaleras y barandillas	Acero inoxidable	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales
	Aluminio	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales
Estructura principal	Polietileno	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de plásticos
	Acero galvanizado	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales
Fijaciones de izado y amarre	Acero inoxidable	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales
	Acero galvanizado	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales
Inserciones metálicas	Acero inoxidable	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales
	Latón	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales
Tornillería	Acero inoxidable	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales
	Acero galvanizado	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales
	Aluminio	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales
Lastre y contrapesos	Hormigón	Fácil – Aceptado con facilidad	Vertedero autorizado
	Acero	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales
	Hierro fundido	Fácil – Aceptado con facilidad	Centro de reciclaje de metales

4. BOYAS DE POLIETILENO

4.1. POLIETILENO – CARACTERÍSTICAS

El polietileno es un termoplástico. Se comporta de manera plástica a una temperatura de alrededor de 100°C y se solidifica después de que se enfríe. Es fácil, por lo tanto, darle forma y soldarlo bajo los efectos de calor, lo que ofrece la capacidad de reparar esta clase de boyas. Su alta ductilidad y elevada resistencia a la rotura son una ventaja.

Dentro de la familia del polietileno, hay diversos tipos de plástico con distintas densidades y estructuras moleculares y, por consiguiente, con diferentes propiedades materiales. Los más utilizados para la fabricación de este tipo de boyas son:

- Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE, del inglés, *Linear Low Density Polyethylene*);
- Polietileno de baja densidad (LDPE, del inglés, *Low Density Polyethylene*);
- Polietileno de densidad media (MDPE, del inglés, *Medium Density Polyethylene*);
- Polietileno de alta densidad (HDPE, del inglés, *High Density Polyethylene*);
- Polietileno de ultra alta densidad (UHDPE, del inglés, *Ultra High Density Polyethylene*);

La siguiente tabla ofrece una perspectiva general de los tipos de polietileno y de los procesos de fabricación de cada uno de ellos.

Tabla 2: Tipos y procesos de fabricación del polietileno

Tipo de resina de polietileno	Proceso de moldeo por rotación	Proceso de extrusión
Lineal de baja densidad, Baja densidad, Densidad media	X	
Alta densidad		X

La diferencia principal entre ambos métodos de dar forma al plástico es la utilización de presión.

- El proceso de moldeo por rotación utiliza solamente el calor para transformar la resina de plástico en una forma acabada.
- Los tubos y las planchas de plástico fabricados mediante un proceso de extrusión se forman utilizando el calor bajo alta presión, lo que forma cadenas moleculares más robustas que ofrecen mayor resistencia a los impactos y la abrasión.

Los distintos tipos de polietileno y sus diferentes procesos de fabricación dan lugar a dos tipos principales de boyas:

- Las “boyas de polietileno moldeadas por rotación” hechas de piezas de plástico fabricadas mediante el proceso de moldeo por rotación. Véase el apartado 4.4 al respecto;
- Las “boyas de polietileno de alta densidad” hechas de piezas de plástico fabricadas con tubos, planchas y componentes de polietileno de alta densidad. Véase el apartado 4.5 al respecto.

4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS Y NORMAS DEL POLIETILENO

Las siguientes propiedades mecánicas del polietileno se deben elegir con cuidado como base para la construcción de una boya de alta calidad, y pueden ensayarse conforme a las normas relacionadas entre paréntesis tras ellas.

- Densidad (ISO 1183/ASTM D-4883/ASTM D-1505);

- Dureza (DIN 53505);
- Límite elástico (DIN EN ISO 527-1, DIN EN ISO 527-2);
- Resistencia a la fractura (DIN EN ISO 527-1, DIN EN ISO 527-2);
- Elongación (DIN EN ISO 527-1, DIN EN ISO 527-2);
- Resistencia a la abrasión (DIN 53516);
- Resistencia al impacto (ISO 6603-2).

4.3. CONSIDERACIONES GENERALES ACERCA DE LA CONSTRUCCIÓN DE BOYAS DE POLIETILENO

4.3.1. ESPESOR DE LA PARED

El espesor de la pared de las piezas de plástico se determinará en función del tamaño de la boya, su forma y el uso previsto para ella, siendo el rango de 5 a 40 mm.

4.3.2. RESERVA DE FLOTABILIDAD

La composición de una boya de varios módulos cerrados ofrece la ventaja de que una reserva de flotabilidad permanece en el caso de daños a uno o más módulos.

También se puede lograr una flotabilidad de seguridad rellenando el cuerpo de la boya con material de flotación de acuerdo con el apartado 4.3.5.

4.3.3. POSIBILIDADES DE BOYAS DE VARIOS COLORES

La composición de una boya con diferentes piezas o varios módulos cerrados ofrece la ventaja de poder realizar boyas de varios colores. Algunos ejemplos se pueden encontrar en el apartado que describe los distintos tipos de boyas.

4.3.4. DILATACIÓN Y CONTRACCIÓN DE PIEZAS DE POLIETILENO

El material de polietileno se dilata y contrae aproximadamente entre el 3 y el 5%, en función del color y la temperatura ambiente. Por lo tanto, hay que extremar el cuidado en el diseño para asegurar la compatibilidad entre los distintos materiales (p. ej. aumentando las tolerancias en los distintos tipos de fijación).

4.3.5. RELLENO DE BOYAS DE POLIETILENO

Las boyas de polietileno se pueden rellenar con poliestireno o espuma de poliuretano, que ofrecen las siguientes ventajas:

- Aumenta la estabilidad y resistencia frente a colisiones e impactos;
- En caso de vía de agua, el relleno puede evitar el hundimiento de la boya;

Si se emplea relleno, es preciso que sea uno de célula cerrada y de la máxima calidad, para evitar la absorción de agua.

Hay que tener en cuenta la información sobre la densidad y el comportamiento de la espuma con respecto a la absorción de agua.

El material de relleno tendrá la calidad suficiente para que no se altere durante la vida útil proyectada de la boya.

El uso de relleno de espuma puede presentar algunas desventajas:



Figura 4: Espuma de poliestireno

- Es posible que no se puedan reciclar ciertos tipos de espuma de poliuretano. Además, no es fácil separar la combinación de polietileno y espuma.
- Para rellenar los flotadores de espuma, es necesario efectuar algunas perforaciones adicionales. Tras el relleno, hay que sellar estos puntos cuidadosamente.

La Figura 4 muestra un flotador moldeado por rotación con relleno de espuma de poliestireno y la Figura muestra un flotador con relleno de espuma de poliuretano. Las boyas de polietileno de alta densidad se suelen rellenar con bloques de poliestireno, tal y como se muestra en la Figura



Figura 9: Espuma de poliuretano



Figura 10: Bloques de poliestireno

4.3.6. ADHERENCIA DE PINTURAS Y LÁMINAS PARA LA ROTULACIÓN

El polietileno ofrece una mala adherencia a la rotulación con pinturas convencionales o láminas adhesivas. Para este propósito se han utilizado con éxito algunos procesos especializados de pulverización de plástico en caliente o también la utilización de gráficos moldeados. Para más información al respecto, véase el apartado 3.10.

4.4. BOYAS DE POLIETILENO MOLDEADAS POR ROTACIÓN

En el mercado, hay una gran variedad de tipos y tamaños de boyas de polietileno moldeadas por rotación. Hay diferentes diseños, tamaños, diámetros en función de la zona de aplicación. Generalmente, las boyas de menor tamaño se fabrican de uno o más módulos compactos, mientras que las de gran tamaño pueden ser de diseños modulares de plástico o híbridos de metal y plástico.

Los siguientes apartados ofrecen una perspectiva general del proceso de fabricación de piezas de plástico mediante el moldeo por rotación y de las boyas rotomoldeadas.

4.4.1. FABRICACIÓN DE PIEZAS DE PLÁSTICO DE POLIETILENO MOLDEADAS POR ROTACIÓN

El moldeo por rotación se puede utilizar para fabricar piezas de plástico de gran tamaño, huecas y sin uniones (módulos cerrados). Durante el proceso de moldeo por rotación, la resina base (de baja densidad, baja densidad lineal o de densidad media) se transforma solamente por calor.

Un molde hueco de paredes delgadas da forma al exterior de la pieza de plástico. El molde se rellena con polvo de plástico y a continuación se rota lentamente sobre varios ejes y se calienta. La temperatura de fusión del plástico depende del material utilizado (Figura 6 y Figura 5).



Figura 6: Molde relleno con polvo de plástico

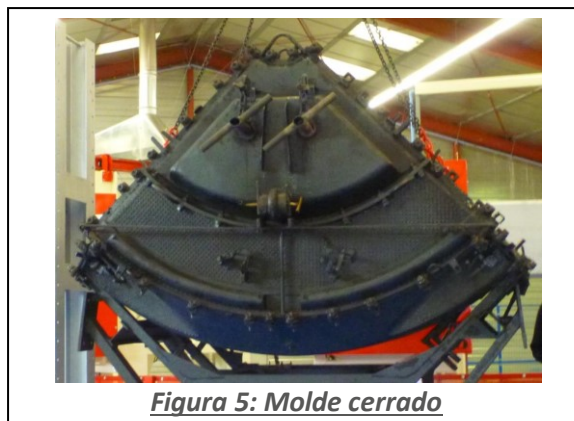


Figura 5: Molde cerrado

Durante el proceso de calentamiento, la resina de plástico se funde y se deposita lentamente en la superficie interior del molde. Se programa la rotación en múltiples ejes para crear una distribución uniforme del plástico. El plástico se calienta hasta que se cure adecuadamente y, después, comienza la fase de enfriamiento del proceso. El espesor de la pared depende de la cantidad de resina utilizada, lo cual determinará el tiempo necesario para el curado. Estos pueden ser de 5 mm a 40 mm, en función de la robustez requerida y el diseño de la boya (Figura 7).



Figura 7: Desmoldeado



Figura 8: Inserción metálica

Para los sistemas de fijación, también se pueden incorporar piezas metálicas al plástico durante el proceso de moldeo (Figura 8).

El moldeo por rotación es particularmente adecuado para la fabricación de medianas y pequeñas series. Sus ventajas son los costes relativamente bajos de los moldes y las posibilidades casi ilimitadas de crear formas.

Los módulos cerrados, fabricados según se ha descrito anteriormente, pueden utilizarse directamente como boyas, o bien ser soldados o fijados como flotadores a una estructura principal.

La Figura muestra un módulo cerrado de tamaño reducido (diámetro de 0,5 m, altura de 0,7 m) y la Figura muestra un módulo cerrado de gran tamaño (flotador, longitud de 2,17 m, radio exterior de 1,21 m, espesor de la pared de 20 mm).



Figura 15: Flotador



Figura 16: Marca de tamaño reducido

4.4.2. FABRICACIÓN DE BOYAS DE POLIETILENO MOLDEADAS POR ROTACIÓN Y HECHAS DE UN MÓDULO CERRADO

Las boyas moldeadas por rotación y hechas de un único módulo se suelen utilizar como marcas fluviales o de puerto.

Los sistemas de fijación se fabrican como parte del cuerpo de plástico (Figura 10) o de componentes metálicos adicionales (Figura 9).

La aplicación de estas boyas (de reducido tamaño) suele necesitar tan sólo una versión de un único color, sin necesidad de una variante de varios colores.

Los datos técnicos típicos son:

Tabla 3: Marca fluvial o de puerto de tamaño reducido

Parámetro	Valor
Zona de aplicación	Puertos, ríos, puertos deportivos
Diámetro en línea de flotación (m)	≈ 0,5
Altura por encima de la línea de flotación/plano focal (m)	≈ 2
Altura total (m)	≈ 3



Figura 10: Orejeta de izado de plástico



Figura 9: Cáncamos metálicos de izado y fondeo

4.4.3. FABRICACIÓN DE BOYAS DE POLIETILENO MOLDEADAS POR ROTACIÓN Y HECHAS DE DOS O MÁS MÓDULOS CERRADOS Y SOLDADOS

4.4.3.1. Proceso de fabricación de boyas de polietileno moldeadas por rotación y soldados

Las boyas de dos o más módulos cerrados suelen estar soldadas a partir de las piezas de plástico moldeadas por rotación. La Figura 12 y la Figura 11 muestran el proceso de soldadura por fusión.



Figura 12: Soldadura por fusión

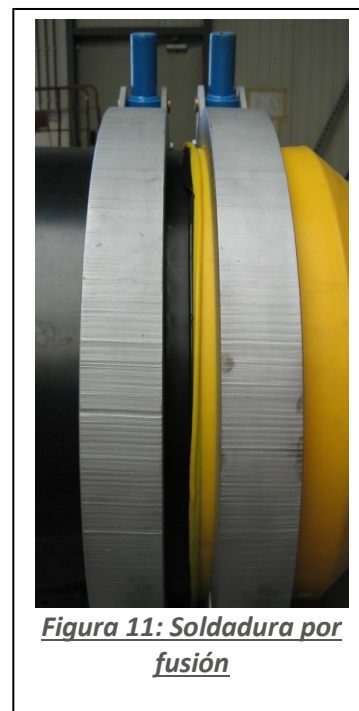


Figura 11: Soldadura por fusión

Las ventajas de emplear este diseño de módulos cerrados pueden ser:

- El espesor de la pared de los elementos inferiores puede ser mayor que el de los superiores por motivos de estabilidad y de soporte del lastre
- Los elementos sumergidos no tienen por qué realizarse en color de señalización (ahorro de costes);
- Se pueden realizar boyas de varios colores con facilidad;
- La boya se puede dividir en varias secciones estancas (reserva de flotabilidad);
- El reflector de radar y otros dispositivos pueden colocarse fácilmente en el interior del cuerpo de la boya (parte superior).

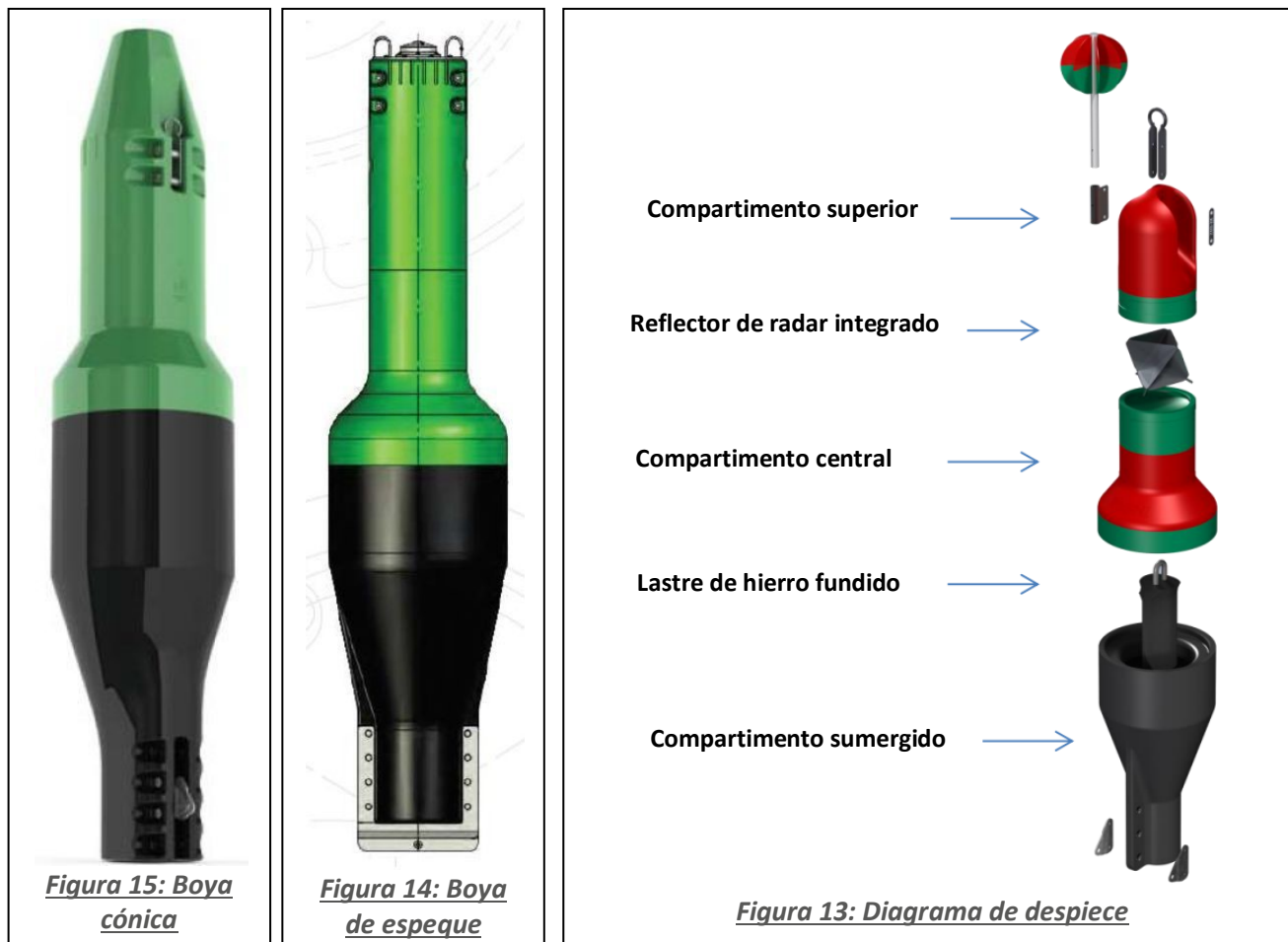
4.4.3.2. Boyas de espeque y cónicas, moldeadas por rotación y soldadas

Las boyas de espeque y las cónicas de hasta 1,5 m, ampliamente utilizadas, se describen en la siguiente tabla (3 tamaños típicos).

Tabla 4:-boyas de espeque y cónicas, soldadas

Parámetro	Boya de espeque/cónica grande	Boya de espeque/cónica mediana	Boya de espeque/cónica pequeña
Zona de aplicación	Mar, costa, estuario	Costa, estuario	Estuario, aguas someras
Diámetro máximo en línea de flotación (m)	≈ 1,0 – 1,6	≈ 0,8 – 1,0	≈ 0,4 - 0,8
Altura por encima de la línea de flotación/plano focal (m)	≈ 3	≈ 2,6	≈ 2
Altura total (m)	≈ 6	≈ 5 - 6	≈ 2 - 5

La Figura 15 y la Figura 14 muestran algunos ejemplos de estas boyas. La Figura 13 muestra un diagrama de despiece y la posibilidad de realizar combinaciones de varios colores. Mediante la soldadura de piezas individuales o de módulos cerrados, se pueden conseguir las combinaciones de colores necesarias.



4.4.3.3. Utilización de boyas de espeque y cónicas rotomoldeadas y soldadas en zonas de formación de hielo

Véase el apartado 3.11 para los requisitos generales de diseño y utilización en condiciones de hielo. Las boyas de plástico moldeados por rotación y soldadas son adecuadas para utilizarse en zonas de formación de hielo ligero. Un ejemplo de boya cónica moldeada por rotación en hielo ligero se muestra en la Figura 16.

Es el movimiento de hielo y, particularmente, el hielo que fluye libremente, lo que daña las boyas. El tipo de polietileno y el espesor de la pared del casco son factores críticos para la supervivencia. Los fabricantes deben indicar la resistencia al hielo del material utilizado. En condiciones extremas de hielo, se recomienda la utilización de boyas sintéticas de polietileno de alta densidad (véase el apartado 4.5), que son las más robustas y con mayor resistencia a la abrasión.



4.4.3.4. Espeques moldeados por rotación y soldados

Los espeques con las siguientes características son de uso habitual. Se muestran dos tamaños:

Tabla 5: Espeques moldeados por rotación, soldados

Parámetro	Espeque pequeño	Espeque mediano
Zona de aplicación	Puertos deportivos, vías navegables interiores	Zonas costeras, puertos, vías navegables interiores
Diámetro (m)	≈ 0,25 – 0,4	≈ 0,4 – 0,6
Altura por encima de la línea de flotación/plano focal (m)	≈ 0,75 – 1,5	≈ 1,5 – 2
Altura total (m)	≈ 2 – 3	≈ 4 – 5

La Figura 18 y la Figura 17 muestran ejemplos de estas boyas.



4.4.4. FABRICACIÓN DE BOYAS CON FLOTADOR MOLDEADO POR ROTACIÓN

Los módulos rotomoldeados se emplean como flotadores en boyas de gran tamaño (diámetro de 1,5 m a 4 m).

Los flotadores se fijan a una estructura principal de tubos de plástico (diseño completo de plástico, apartado 4.4.4.1) o a una construcción metálica (diseño híbrido de metal y plástico, apartado 4.4.4.2).

Las ventajas de este diseño son:

- Simplifica el manejo y el transporte;
- Las piezas dañadas pueden cambiarse con facilidad;

Este tipo de boyas pueden soportar condiciones de hielo ligero. También hay que tener en cuenta los efectos de la acumulación de hielo (Figura 19).



4.4.4.1. Boyas modulares de plástico

Las boyas modulares de plástico (diseño completo de plástico) disponen de, al menos, los siguientes elementos (Figura 20):

- Módulos cerrados empleados como flotadores;
- Tubo de cola de polietileno (HDPE);
- Superestructura de polietileno;
- Elementos de fondeo y de izado de acero;
- Lastre de hierro fundido.

La principal ventaja de estas boyas es que no precisan ningún tipo de mantenimiento (salvo los elementos de fondeo e izado)

Las combinaciones de varios colores pueden lograrse de la siguiente forma:

- Los flotadores se pueden hacer de diferentes colores;
- Se pueden combinar en función de la necesidad de colores
- Otra opción es la fijación a la estructura de planchas de polietileno coloreadas (Figura 21).



4.4.4.2. Boyas modulares con diseño híbrido de metal y plástico

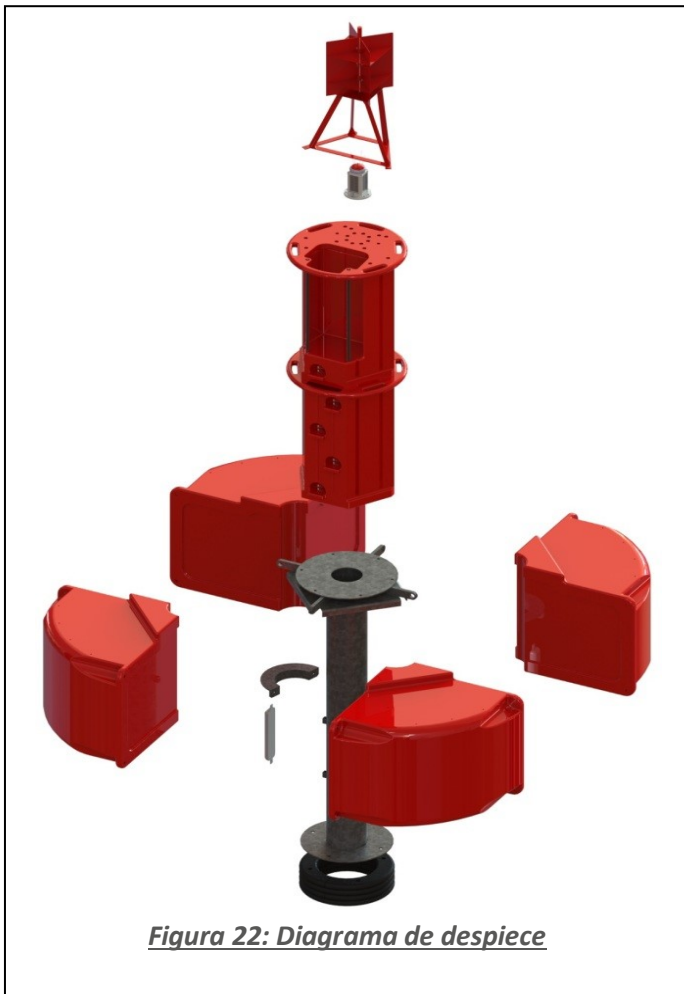
Las boyas modulares con un diseño híbrido de metal y plástico disponen de, al menos, los siguientes elementos (Figura 22):

- Módulos cerrados empleados como flotadores;
- Tubo de cola o faldón de acero;
- Superestructura de plástico o aluminio;

- Cáncamo de fondeo y de izado de acero;
- Lastre de hierro fundido.

Las combinaciones de varios colores pueden lograrse de la siguiente forma:

- Los flotadores pueden hacerse de diferentes colores y combinarlos según sea necesario;
- Se puede pintar una superestructura de aluminio con diferentes colores (Figura 23);
- Otra opción es la fijación a la estructura de planchas de polietileno coloreadas.



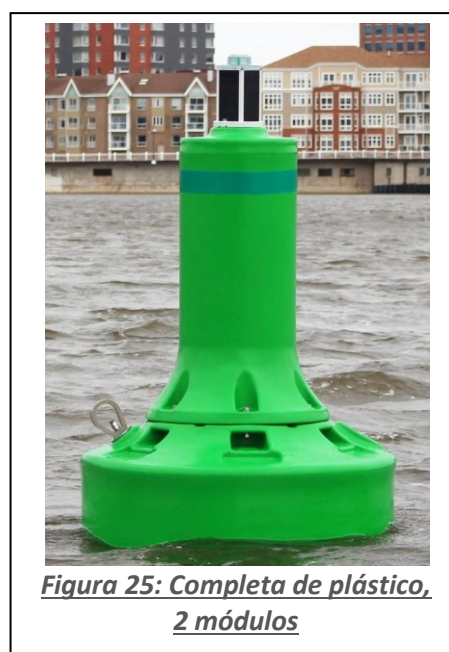
4.4.4.3. Boyas con módulos cerrados empleados como flotador

Con independencia de un diseño completo en plástico (apartado 4.4.4.1) o de uno híbrido de plástico y metal (apartado 4.4.4.2), los siguientes tamaños de boyas modulares con flotadores de polietileno suelen ser los más utilizados:

Tabla 6: Boyas modulares típicas

Parámetro	Boya modular de espeque/cónica pequeña	Boya modular de espeque/cónica mediana	Boya modular de espeque/cónica grande
Zona de aplicación	Zonas costeras, lugares abrigados, ríos, puertos	Mar abierto, zonas costeras, estuario	Mar abierto, estuario
Diámetro máximo en línea de flotación (m)	≈ 1,5/1,8/2	≈ 2,2 - 2,6	≈ 3 - 4
Altura por encima de la línea de flotación/plano focal (m)	≈ 1,7 - 4,2	≈ 3,8 - 6,5	≈ 5 - 8
Altura total (m)	≈ 2,7 - 7,9	≈ 8,6	≈ 12 - 15

La Figura 24 y la Figura 25 muestran boyas realizadas totalmente en plástico.



La boya mostrada en la Figura 27 es un ejemplo de un diseño híbrido de metal y plástico

Está equipada con flotadores grises de polietileno y un espeque de alta visibilidad, que ofrece la marca diurna de la boya. Véase la *Guía 1094 de la IALA sobre Marcas diurnas para ayudas a la navegación*.

4.5. BOYAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

4.5.1. FABRICACIÓN DE PIEZAS DE PLÁSTICO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

4.5.1.1. Tubos fabricados mediante el proceso de extrusión

La extrusión de plástico es un proceso de fabricación de elevado volumen, en el que se funde el plástico y se le da la forma de un perfil continuo. La resina base se transforma con calor bajo alta presión. Se utiliza este proceso para fabricar tubos, planchas, etc.

El peso molecular considerablemente mayor de la resina de alta densidad y el proceso de extrusión, crean un material de una robustez y resistencia a la abrasión y al impacto bastante mayor que los del polietileno formado por moldeo por rotación.



Figura 26: Proceso de extrusión



Figura 27: Diseño híbrido de metal y plástico

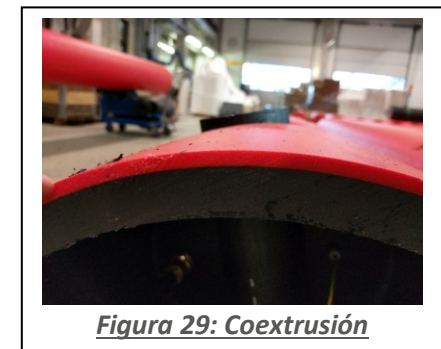


Figura 29: Coextrusión

El proceso comienza con la introducción del plástico en la extrusora a través de un túnel. En la extrusora se compacta mediante un tornillo sin fin y se funde y presiona a través de una boquilla de salida. La boquilla proporciona el perfil final al producto. A todo ello le sigue el proceso de enfriamiento, que suele efectuarse mediante baño de agua. La Figura 26 muestra la fabricación de tubos mediante el proceso de extrusión.

Es posible extruir tubos en un solo color o con un color diferente en el exterior al 20% de espesor. Este último proceso se denomina "coextrusión" resultando de color negro la capa interior más gruesa. (Figura 29).



Figura 28: Tubos extruidos

Los tubos empleados en boyas utilizan principalmente líneas bajo presión de agua u otros líquidos. Se suele utilizar el polietileno HD 100 (de alta densidad). Tanto el espesor de la pared como la clase de presión variarán en función de la relación normalizada de dimensiones SDR (Standar Dimension Ratio). SDR 17 y SDR 26 son los valores típicos para las aplicaciones en boyas. La Figura 28 muestra unos tubos extruidos como materia prima para la fabricación de espeques.

4.5.1.2. Otras piezas de plástico de polietileno de alta densidad

Se pueden hacer otras piezas de plástico de polietileno de alta densidad (piezas especiales o de pequeño tamaño), cortando planchas y tubos de polietileno de alta densidad, así como piezas moldeadas por

compresión, etc. Véase la Figura 30 al respecto. También es posible crear una combinación con piezas metálicas (Figura 31).



Figura 30: Piezas moldeadas por compresión



Figura 31: Combinación de piezas de plástico y metálicas

4.5.2. FABRICACIÓN DE BOYAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

Las boyas sintéticas de polietileno de alta densidad las fabrican técnicos cualificados, empleando tubos, planchas y piezas pequeñas de este material (HDPE). El proceso de fabricación incluye el corte y soldado de los componentes para crear la forma proyectada en el diseño.

Se pueden realizar distintas formas, pero existen ciertas limitaciones en función de los diámetros de los tubos extruidos para su uso como flotadores. La mayoría de las boyas, por lo tanto, tienen forma de espeque.

Las boyas de mayor tamaño se fabrican con mamparos para formar varios módulos estancos de flotación, que ofrecen la ventaja de disponer de una reserva de flotabilidad en caso de daños a uno o más segmentos. La seguridad adicional de tener una reserva de flotabilidad también se consigue rellenando el cuerpo de la boya con material de flotación, como el poliestireno. Véase el apartado 4.3.5 al respecto.

La fabricación de boyas mediante soldadura de secciones de tubos extruidos es particularmente adecuada para series limitadas de producción y soluciones personalizadas de boya. Las ventajas que ofrece son un cuerpo robusto de tubería extruida, con la posibilidad de integrar componentes y dispositivos dentro del cuerpo de la boya. Es posible fijar piezas metálicas con tornillos o inserciones de plástico mediante soldadura por extrusión. En cualquiera de los dos casos, la superficie de la boya distribuye las cargas uniformemente por todo el cuerpo de la misma.

Las normas para los tubos fabricados por extrusión son:

- EN 12201-1, Sistemas de canalización en materiales plásticos para conducción de agua y saneamiento con presión. Polietileno (PE). Parte 2: Tubos;
- EN ISO 1133, Plásticos – Determinación del índice de fluidez de materiales termoplásticos, en masa (MFR) y en volumen (MVR) (ISO 1133:1997).;
- EN ISO 2505, Tubos de material termoplástico. Retracción longitudinal. Métodos de ensayo y parámetros (ISO 2505:2005);
- EN ISO 3126, Sistemas de canalización en materiales plásticos – Componentes de materiales plásticos – Determinación de las dimensiones;
- EN ISO 6259-1, Tubos termoplásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 1: Método general de ensayo (ISO 6259-1:1997);

- EN ISO 13920, Soldadura – Tolerancias generales en construcciones soldadas – Dimensiones de longitudes y ángulos. Forma y posición;
- ISO 6259-3, Tubos termoplásticos – Determinación de las propiedades en tracción. – Parte 3: Tubos de poliolefina;
- ISO 13953, Tubos y accesorios de polietileno (PE) – Determinación de la resistencia a la tracción y tipo de fallo en probetas soldadas a tope;
- ISO 16770, Plásticos – Determinación de la resistencia a la fisuración bajo esfuerzo de un medioambiente activo (ESC) – Ensayo de aparición de grietas por elongación (FNCT);
- ISO/TR 10358, Tubos y accesorios de materiales plásticos – Tabla de clasificación a la resistencia química.

Los tubos de HDPE se pueden unir mediante la soldadura por fusión a tope, siendo la unión resultante más fuerte que el propio tubo (Figura 32). Dicho proceso permite la unión de tubos de diferentes colores, así como la creación de secciones estancas con la adición de mamparos internos.

Se pueden unir planchas y piezas de HDPE a los tubos, utilizando un proceso de soldadura por extrusión de HDPE, empleando calor para unir las superficies entre el tubo y la plancha fundiendo cordón de este plástico (Figura 33). Dicho proceso suele emplearse para añadir planchas de refuerzo para su izado, así como para robustecer y hacer estanca la transición entre componentes.

Las posibilidades de fabricar boyas de varios colores según el Sistema de Balizamiento Marítimo (MBS) de la IALA son las siguientes:

- Los módulos cerrados se pueden fabricar en distintos colores y se pueden unir por soldadura en función de la combinación de colores necesaria;
- Los tubos extruidos pueden fabricarse en combinaciones de distintos colores (por ejemplo, rojo y blanco) y diferentes tubos de plástico de colores se pueden unir por soldadura (Figura 34);
- Otras posibilidades incluyen la soldadura de planchas de plástico de colores al cuerpo de la boya o el montaje de una cubierta con la combinación de colores necesaria.

En el mercado, puede encontrarse una gama muy amplia de tipos y tamaños de boyas de polietileno de alta densidad. Los siguientes apartados ofrecen una perspectiva general de los tipos más comunes.

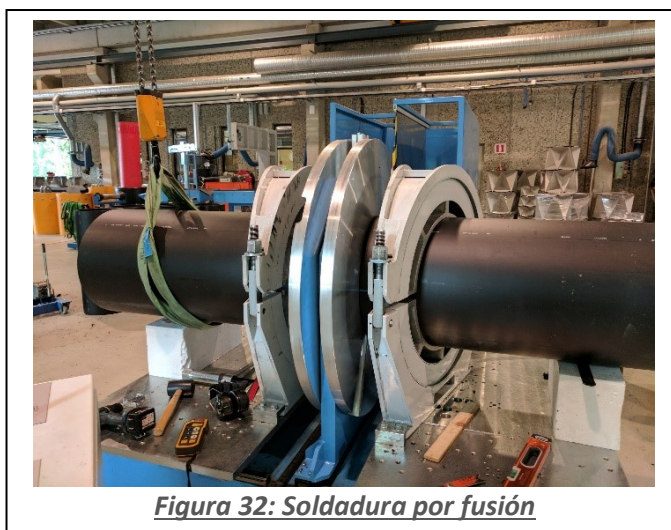


Figura 32: Soldadura por fusión



Figura 33: Soldeo por extrusión de HDPE



Figura 34: Tubos de plástico de varios colores

4.5.2.1. Típicas boyas sintéticas de espeque y cónicas de polietileno de alta densidad

Las boyas de espeque y cónicas de hasta 1,5 m, que son muy utilizadas, son las que se describen en la tabla a continuación (3 tamaños típicos). La Figura 36, la Figura 37 y la Figura 35 muestran algunos ejemplos.

Tabla 7: Boyas típicas de espeque y cónicas de polietileno de alta densidad

Parámetro	Boya de espeque/cónica grande	Boya de espeque/cónica mediana	Boya de espeque/cónica pequeña
Zona de aplicación	Mar, costa, estuario	Costa, estuario	Estuario, aguas someras
Diámetro máximo en línea de flotación (m)	≈ 1,0 – 1,6	≈ 0,8 – 1	≈ 0,4 - 0,8
Altura por encima de la línea de flotación/plano focal (m)	≈ 3	≈ 2,6	≈ 2
Altura total (m)	≈ 6	≈ 5 - 6	≈ 2 - 5



Figura 36: Boya de espeque flotando



Figura 37: Boya de espeque de varios colores



Figura 35: Boya de espeque

4.5.2.2. Espeques de polietileno de alta densidad

La mayoría de los espeques de HDPE tienen una o más secciones de tubo de plástico fabricadas por un proceso de extrusión. Las partes superiores e inferiores también están hechas de plástico y se unen al tubo mediante soldadura por fusión.

- Se puede dividir en varias secciones estancas;
- El reflector de radar y otros dispositivos suelen colocarse en el interior del cuerpo de la boya;
- Pueden personalizarse según las especificaciones concretas;
- Puede instalarse equipo luminoso (linterna compacta con sistema integrado de energía o alimentada por batería);
- Se suelen rellenar con espuma de poliestireno o poliuretano;
- La mayoría de los espeques pueden utilizarse durante todo el año en zonas cubiertas de hielo.
- Los de gran tamaño con espesores de pared por encima de los 30 mm pueden emplearse como boyas de hielo en zonas árticas. Los espeques con las características que figuran a continuación son los más comunes. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, la Figura 39 y la Figura 38 muestran algunos ejemplos.

Parámetro	Espeque pequeño	Espeque mediano	Espeque grande
Zona de aplicación	Puertos deportivos, aguas interiores	Zonas costeras, puertos, aguas interiores	Mar adentro, zonas costeras
Diámetro (m)	≈ 0,16 – 0,3	≈ 0,4 – 0,7	≈ 0,8 – 1
Altura por encima de la línea de flotación/plano focal (m)	≈ 2,0 – 3	≈ 2,5 – 3,5	≈ 3,0- 4
Altura total (m)	≈ 2,5 – 6	≈ 6,0 – 9	≈ 8,0 – 11

Tabla 8: Espeques típicos de plástico de polietileno de alta densidad



Figura 40: Espeque de varios colores



Figura 39: Espeque flotando



Figura 38: Espeque con marca de tope

4.5.2.3. Utilización de boyas de polietileno de alta densidad en zonas de formación de hielo

Véase el apartado 3.11 para los requisitos generales del diseño de boyas de plástico para condiciones de hielo.

Se recomiendan particularmente las boyas fabricadas en HDPE extruido, caracterizado por su mayor robustez y resistencia a la abrasión, para su uso en este tipo de condiciones extremas.

La Figura 43 y la Figura 41 muestran una boya de polietileno de alta densidad en un campo de hielo sólido. La Figura 42 muestra una boya en hielo fragmentado.

La falta de resistencia del material es el motivo principal de los daños causados por el hielo a las boyas de plástico. Tanto el espesor de la pared como el material de polietileno deben elegirse en función de la aplicación y deben fabricarse de manera homogénea durante el proceso de producción.



Figura 43: Espeque en campo de hielo sólido



Figura 41: Boya de espeque en campo de hielo sólido



Figura 42: Espeque en hielo fragmentado

5. PLÁSTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (GRP)

5.1. GENERAL

GRP (del inglés, *Glass Reinforced Plastic*) es la abreviatura habitual para el plástico reforzado con fibra de vidrio que, en su forma más común, consiste en mallas de fibra de vidrio unidas con resina de poliéster.

5.2. CONSTRUCCIÓN

Se pueden fabricar formas complejas laminando a mano (o mediante pulverización) en un molde la resina y el refuerzo de fibra de vidrio. Normalmente, el cuerpo cilíndrico de la boya genera uniendo dos medios cuerpos. Es importante resaltar que la unión entre ellos suele ser la zona más débil.

La resistencia del GRP depende de la proporción de la fibra de vidrio y la resina, por lo que requerirá normas específicas y control de calidad. Se puede lograr un mayor grado de resistencia (necesario en condiciones de hielo) mediante la utilización de fibras de carbono o de Kevlar, aunque los costes podrían ser elevados. Dichas fibras se pueden utilizar en zonas concretas de tensión.

La capa exterior, el gelcoat, evita la absorción de agua y debe protegerse de daños mecánicos. Esto normalmente se consigue utilizando algún tipo de defensa.

5.3. EJEMPLOS DE BOYAS DE PLÁSTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (GRP)

La Figura 45 y la Figura 44 muestran algunos ejemplos de boyas de plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP).

5.3.1. RELLENO

En caso de colisión, una boya de GRP podría agrietarse a causa de un impacto que tan sólo abollaría a una de acero. Para evitar que se hunda, la boya debe estar dividida en compartimentos estancos o bien rellenarse con espuma de poliuretano o de poliestireno.



Figura 45: Boya de plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP)



Figura 44: Boya de plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP)

5.3.2. FIJACIONES / CONEXIÓN DE FONDEO

Se debe extremar el cuidado cuando se inserte una fijación metálica al GRP, debido a la considerable diferencia de los coeficientes de dilatación entre los metales y los plásticos, así como a la flexibilidad inherente del GRP. Otra opción es instalarlas con una robusta plancha interior atornillada, o con recubrimientos de refuerzo entre el metal y el GRP.

5.4. REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las boyas de GRP requieren limpieza, pintura y las reparaciones necesarias del gelcoat.

La reparación del GRP suele ser sencilla, pero requiere unas normas de limpieza y temperaturas específicas de trabajo. En climas fríos, puede ser difícil el secado efectivo de láminas o núcleos de espuma dañados y puede ser necesario el uso de calentadores para secar las zonas dañadas, así como para asegurar el curado efectivo de la reparación.

El color definitivo de la superficie de las boyas de GRP normalmente se incorpora al gelcoat exterior. Si no fuera este el caso o si fuera necesario un cambio de color, las boyas se pintarán de manera convencional para obtener la apariencia exigida.

Pueden lavarse *in situ* mediante el chorreo de agua. No obstante, se debe extremar el cuidado de no contaminar el entorno con escamas de pintura y materiales de la superficie.

Se debe tener en cuenta la zona en la que se emplean las boyas con relleno de espuma, ya que el agua oleaginosa en un puerto y su entorno puede penetrar en las boyas dañadas, lo que dificulta mucho su reparación.

6. ESPUMA CUBIERTA DE POLIURETANO / ELASTÓMERO

6.1. MATERIAL DE ELASTÓMERO– CARACTERÍSTICAS

Estas boyas se componen de una capa externa gruesa y flexible de elastómeros de poliuretano marino sobre un núcleo flexible de espuma de célula cerrada. Tienen la ventaja de ofrecer un conjunto flexible y resistente. Esta flexibilidad también será una ventaja cuando su mantenimiento tenga que realizarse en condiciones meteorológicas adversas.

La característica principal de las boyas de elastómero es su flotador de bajo peso y de alta elasticidad, que se fabrica con una espuma sólida de polietileno de celda cerrada (sin absorción de agua) y recubierta con una capa de 8 - 20 mm de espesor de elastómero de poliuretano pigmentado.

Debido a su robusta construcción, es casi imposible hundirlas, incluso en caso de un impacto fuerte. Además, son capaces de resistir repetidas colisiones sin deformación alguna (capacidad de recuperación). El elastómero de poliuretano permite la aplicación de un tratamiento contra incrustaciones marinas.

6.2. PROPIEDADES MECÁNICAS Y NORMAS DEL PLÁSTICO DE ELASTÓMERO

6.2.1. PROPIEDADES DEL ELASTÓMERO DE POLIURETANO

Como base para una boya sintética de alta calidad, se deben elegir con cuidado las propiedades mecánicas del elastómero de poliuretano que figuran a continuación, que pueden ensayarse conforme a las normas relacionadas entre paréntesis tras ellas.

- Densidad (BS 4370);
- Resistencia a la tracción (ISO 527);
- Elongación máxima (ISO 527);
- Dureza (DIN 53505);
- Resistencia a la rotura (DIN EN ISO 6383-1);
- Resistencia a la transmisión de vapor de agua (EN 1931);
- Resistencia a la fatiga por flexión (EOTA TR008).

6.2.2. PROPIEDADES DE LAS LÁMINAS DE ESPUMA DE POLIETILENO

Tabla 9: Propiedades de la espuma de polietileno

Estado físico	Sólido
Color	Coloreado
Punto de fusión	105 - 110 °C
Punto de inflamación	420 - 440 °C (ASTM D1929-16)
Temperatura de ignición	430 - 450 °C (DIN 54836)
Densidad	De 30 a 100 kg/m ³
Hidrosolubilidad	Insoluble
Absorción de agua	1 - 2%

Tabla 10: Propiedades del elastómero de poliuretano

Propiedades	Valor	Resultado	Método
Densidad	kg/m ³	≈ 900	Bs 4370
Resistencia a la tracción	MPa	≈ 17	ISO 527
Alargamiento a la rotura	%	≈ 342	ISO 527
Dureza Shore (A)		≈ 90	DIN 53505
Resistencia a la rotura	N/mm	≈ 35	DIN EN ISO 6383-1
Resistencia al fuego	Auto extinguable		
Resistencia térmica	Comportamiento consistente en temperaturas de -40 °C a +180 °C		

6.3. DETALLES DE LA CONSTRUCCIÓN DE BOYAS DE ELASTÓMERO

6.3.1. FABRICACIÓN DE PIEZAS DE PLÁSTICO

El proceso de fabricación del flotador de las boyas de elastómero se basa en el enrollado de una lámina de espuma de polietileno de célula cerrada, ligada por el calor (Figura 47, Figura 46), en la que no interviene ninguna sustancia química.

El espesor de la capa exterior de elastómero de poliuretano debe ser el suficiente para el tamaño, la forma, las condiciones ambientales y el uso previsto de la boya. El rango de espesores suele ser de 8 a 20 mm.

Se recubre el cuerpo enrollado con una capa de elastómero de poliuretano (Figura 48), formando así una superficie elástica sobre un núcleo elástico, para que el cuerpo de la boya sea compacto y extremadamente flexible, con una gran capacidad de recuperación y sin ninguna absorción de agua. El color inicial del cuerpo viene dado por el recubrimiento de elastómero pigmentado. También esta superficie permite ser pintada posteriormente.

Los núcleos pueden fabricarse con materiales de distintas densidades, lo que permite la adaptación a las necesidades locales en función del lugar, las condiciones ambientales o las influencias externas.



Figura 46: Polietileno de célula cerrada ligado tras el calentamiento

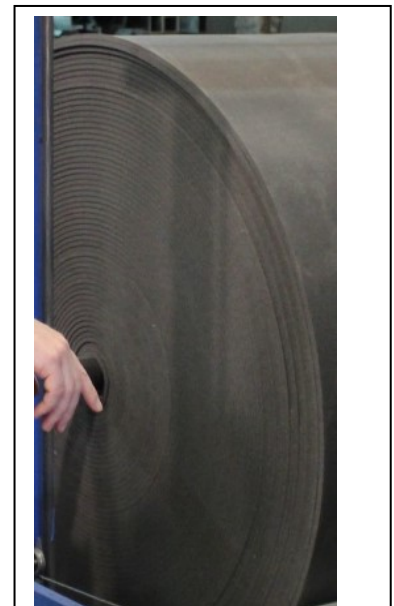


Figura 47: Cuerpo enrollado de polietileno de célula cerrada



Figura 48: Recubrimiento de elastómero de poliuretano

A la zona superior del flotador, se aplica un recubrimiento de granulado de sílice para generar una superficie antideslizante al personal de mantenimiento (Figura 49).

El flotador es una pieza monolítica y no se fabrica en módulos. El proceso de fabricación y los materiales empleados en los flotadores de elastómero son los mismos que se utilizan en las defensas para el atraque de buques en puertos. Son capaces de resistir colisiones repetidas veces y, por lo tanto, no se anticipa su sustitución.



Figura 49: Superficie antideslizante

6.3.2. ENSAMBLAJE DE LA BOYA

El ensamblaje de las partes de la boya incluye otras piezas, como la estructura metálica, el tubo de la cola, la superestructura, etc. (Figura 50).

Es importante evitar el movimiento o la fricción entre las piezas de plástico y las metálicas.

La Figura 51 muestra el ensamblaje de una boya de elastómero (diámetro de 3 m), en posición horizontal.

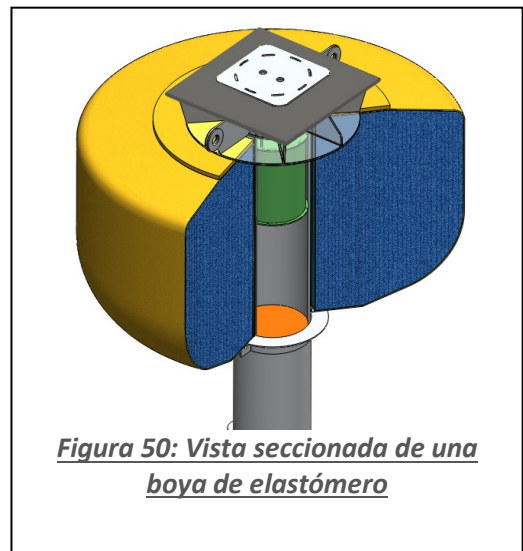


Figura 50: Vista seccionada de una boya de elastómero



Figura 51: Ensamblaje de una boya de elastómero

6.4. FORMAS Y TAMAÑOS DE BOYAS DE ELASTÓMERO

Visto que no precisan un molde, la elección de formas y tamaños es flexible. Los diámetros de las boyas de elastómero disponibles en el mercado varían entre 0,8 m a 3,6 m, y la altura del flotador puede llegar a ser de hasta 2,8 m. La Figura 54, la Figura 53 y la Figura 52 muestran algunos ejemplos de boyas de elastómero.

6.4.1. POSIBILIDADES DE BOYAS DE ELASTÓMERO DE VARIOS COLORES

El elastómero ofrece una buena adherencia a las pinturas para la fabricación de boyas en varios colores.

6.4.2. USO DE BOYAS DE ELASTÓMERO EN ZONAS DE FORMACIÓN DE HIELO

Véase el apartado 3.11 para los requisitos generales del diseño y de la utilización de boyas de plástico en condiciones de hielo.

- Los flotadores de las boyas de elastómero son flexibles y tienen una buena capacidad de recuperación;
- Si fuera necesario, se podrá añadir una malla de refuerzo al núcleo de espuma de polietileno y/o al recubrimiento de elastómero de poliuretano.



Figura 52: Boya de elastómero con linterna compacta



Figura 53: Boya de elastómero con equipo luminoso alimentado por energía solar



Figura 54: Boya de elastómero con equipos de medición alimentada por energía solar y eólica

7. BOYAS DE ESPUMA DE IONÓMERO

7.1. CARACTERÍSTICAS

Tanto la vida útil como la durabilidad de las boyas de espuma de ionómero dependen por completo de la calidad de la espuma empleada. La flexibilidad de la espuma proporciona una buena resistencia al impacto, pero su resistencia a la abrasión agresiva es baja. Este último factor es importante para las boyas que puedan quedar en seco en zonas de mareas, o las que soporten condiciones de hielo en movimiento.

Este tipo de boyas pueden sufrir daños considerables o pérdidas de material sin llegar a hundirse. Las boyas dañadas no se pueden reparar y el material no es reciclable.

7.2. CONSTRUCCIÓN

Estas boyas suelen construirse envolviendo el núcleo estructural central con espuma de célula cerrada (la espuma de ionómero se produce en forma de láminas). Las capas de espuma se unen entre sí mediante calor durante el proceso de enrollamiento. La capa externa de espuma se puede “densificar” mediante la aplicación de presión y calor para crear una superficie dura y lisa.

Durante el proceso de extrusión, se suelen incorporar pigmentos de color a la espuma para que el color sea homogéneo en todo el casco y la marca diurna. Las boyas incluyen un bastidor estructural de acero, elementos de fondeo e izado de acero, así como elementos de conexión de acero inoxidable.

La técnica de fabricación se presta especialmente a la producción de diseños únicos, ya que es posible producir una gran variedad de formas de casco sin la necesidad de un molde. Las boyas de este tipo son bastante más ligeras que las de acero del mismo tamaño.

7.3. EJEMPLO DE BOYA DE ESPUMA DE IONÓMERO

La Figura 55 muestra un ejemplo de una boya de espuma de ionómero.



8. EQUIPOS DE BOYA

Al igual que en las boyas de acero, en las de plástico se pueden fijar equipos adicionales. Los siguientes apartados ofrecen una perspectiva general sobre dichos componentes.

8.1. EQUIPOS DE LUZ

Pueden estar equipadas con linternas (de energía solar, eólica, undimotriz o alimentadas por una batería primaria) o linternas compactas (linternas con sistema integrado de energía - IP SL).

Las linternas con sistema integrado de energía son cada vez más compactas, mientras sus prestaciones mejoran sustancialmente. La NAVGUIDE de la IALA del año 2018 y la *Guía G1064 de la IALA sobre Linternas con sistema integrado de energía* ofrecen información detallada al respecto.

Si se van a utilizar en condiciones de hielo, la linterna compacta o autónoma también tendrá que estar diseñada para resistir el hielo de acuerdo con los apartados 3.11, 4.4.3.3 y 0. En algunas (especialmente las de espeque) se utiliza una batería primaria en lugar de una fuente de energía solar.

8.2. SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y SENSORES

Las linternas modernas con sistema de integrado de energía (IPSL) se pueden equipar con sistemas de supervisión y control remoto o sensores. En función de la ubicación de la boya, podrán utilizarse distintos métodos de comunicación para la transmisión de datos.

El estado de la linterna, de las fuentes de energía y de otros dispositivos, así como los datos relacionados con la boya, se podrán recopilar, transmitir y representar, lo que permitirá optimizar aún más las operaciones de mantenimiento técnico, particularmente en lo que respecta a la flota de embarcaciones de servicio de boyas.

La *Guía G1008 de la IALA sobre el Control y supervisión remota de ayudas a la navegación* ofrece información detallada al respecto.

8.3. REFLECTOR DE RADAR

Un reflector de radar es un dispositivo pasivo diseñado para aumentar la visibilidad radar de las ayudas a la navegación (Figura 56). La NAVGUIDE de la IALA ofrece más información al respecto.

La mayoría de las boyas de plástico están equipadas con un reflector de radar, que se monta en el interior o en la parte exterior del cuerpo de la boya.

La ventaja de un sistema integrado de reflector de radar es que estará protegido de las condiciones ambientales.

La desventaja radica en que la pared de plástico que lo rodea reduce el rendimiento del reflector, por lo tanto, sus efectos tendrán que tomarse en consideración. Atendiendo a la experiencia y las mediciones, esa reducción del rendimiento, debido a las paredes de material de plástico de polietileno es escasa.

En general, no se debe fijar el reflector de radar por detrás de componentes conductores, como son, por ejemplo, los paneles solares, las planchas de rotulación, etc.

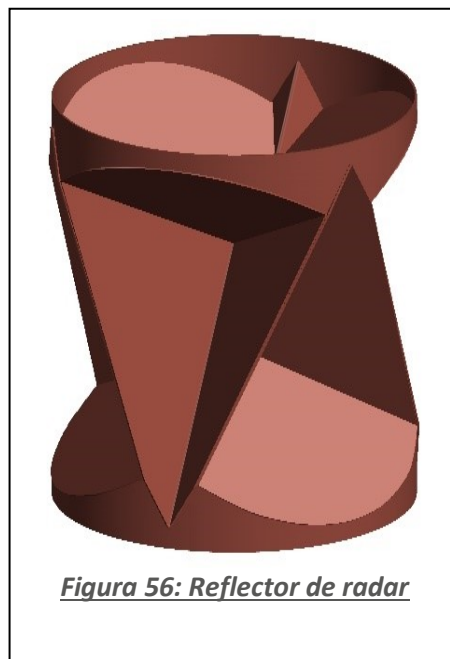


Figura 56: Reflector de radar

8.4. RACON

Un RACON (baliza activa de radar) mejora la detección e identificación por radar del objeto en que se instala. Para información detallada al respecto, véase la NAVGUIDE de la IALA y la *Guía G1010 de la IALA sobre el Prestaciones y alcance de Racones*.

8.5. AIS (SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA)

Las balizas de radar se pueden equipar con transpondedores AIS para transmitir diferentes mensajes. La supervisión remota también es posible. Para información detallada al respecto, véase la *Recomendación A-126 de la IALA sobre la Utilización del Sistema de Identificación Automática (AIS) en servicios de ayuda a la navegación marítima* y la *Guía G1098 de la IALA sobre la Aplicación de AIS-AtoN en boyas*.

8.6. MARCAS DE TOPE

La forma y las dimensiones de las marcas de tope, que también pueden diseñarse para mejorar la respuesta de radar, se describen en la *Guía G1094 de la IALA sobre Marcas diurnas para ayudas a la navegación*.

En zonas de formación de hielo, debe evitarse la utilización de marcas de tope, puesto que el hielo puede dañarlas.

8.7. MATERIAL RETRORREFLECTANTE

Las boyas de plástico pueden equiparse con materiales retrorreflectantes para que el navegante pueda detectar de noche, mediante el uso de un foco, su posición y color (Figura 57).

Para información detallada al respecto, véase la *Guía G1094 de la IALA sobre Marcas diurnas para ayudas a la navegación* y la *Recomendación R0106 (E-106) de la IALA sobre Materiales retrorreflectantes en marcas de ayudas a la navegación dentro del Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA*.

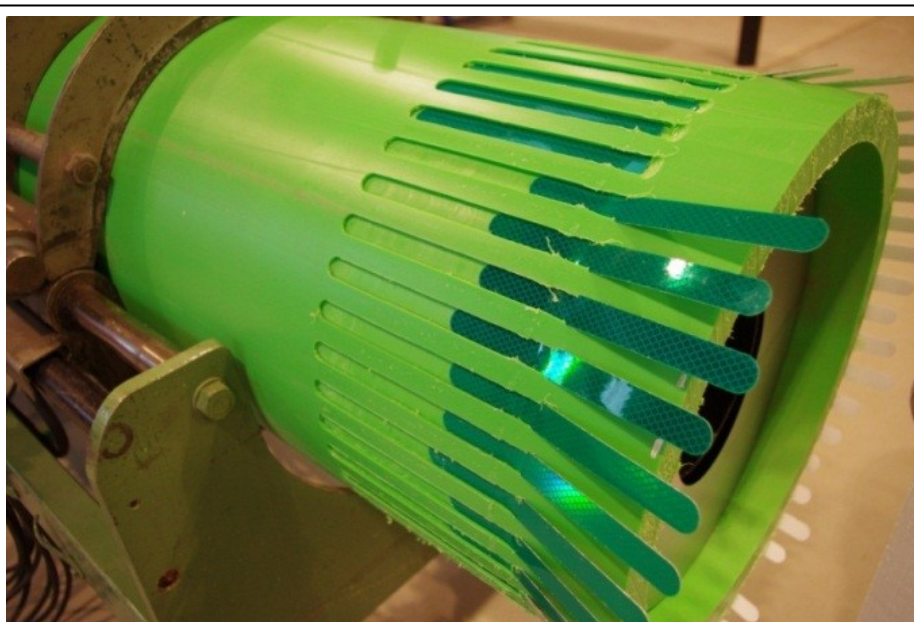


Figura 57: Boya con bandas retrorreflectantes montadas en un cajero

9. ACRÓNIMOS Y DEFINICIONES

9.1. ACRÓNIMOS

AIS	(Automatic Identification System) Sistema de Identificación Automática
ASTM	(American Society for Testing and Materials) Sociedad Americana de Ensayos y Materiales
AtoN	(Aid to Navigation) Ayuda a la navegación
BS	(British Standard) Norma británica
°C	Grados Celsius
CIE	(Comisión Internationale de l'Eclairage) Comisión Internacional de la Iluminación



DIN	<i>(Deutsches Institut für Normung)</i> Instituto Alemán de Normalización
EN	Norma Europea
EOTA	<i>(European Organisation for Technical Assessment)</i> Organización Europea de Evaluación Técnica
ESC	<i>(Environmental Stress Cracking)</i> Agrietamiento por esfuerzos debidos al factor ambiental
FNCT	<i>(Full-notch Creep Test)</i> Ensayo de aparición de grietas por elongación
GRP	<i>(Glass Reinforced Plastic)</i> Plástico reforzado con fibra de vidrio
HDPE	<i>(High density Polyethylene)</i> Polietileno de alta densidad
IALA	Asociación Internacional de Autoridades de Faros, International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities - AISM
IPSL	<i>(Integrated Power System Lantern)</i> Linterna con sistema integrado de energía
ISO	<i>(International Standardization Organization)</i> Organización Internacional de Normalización
kg	Kilogramo
LDPE	<i>(Low-Density Polyethylene)</i> Polietileno de baja densidad
LLDPE	<i>(Linear Low-Density Polyethylene)</i> Polietileno lineal de baja densidad
MDPE	<i>(Medium Density Polyethylene)</i> Polietileno de densidad media
m	Metro
m ³	Metro cúbico
MBS	<i>(Maritime Buoyage System)</i> Sistema de Balizamiento Marítimo
MFR	<i>(Mass-Flow Rate)</i> Caudal másico
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
MVR	<i>(Melt Volume-flow Rate)</i> Tasa de flujo de volumen de masa fundida
N	Newton
NCS	<i>(Natural Colour System)</i> Sistema de Colores Naturales
nm	nanómetro
PE	Polietileno
RACON	(Radar Beacon) Baliza activa de Radar
RADAR	(Radio Detection and Ranging) Radar
RCS	<i>(Radar Cross Section)</i> Sección Transversal de Radar
SDR	<i>(Standard Dimension Ratio)</i> Relación normalizada de dimensiones
TR	<i>(Technical Report)</i> Informe técnico
UNE	Asociación Española de Normalización
UV	Ultravioleta (luz de 10-380 nm)

9.2. DEFINICIONES

Polietileno (PE) - El polietileno es probablemente el polímero más utilizado en la vida cotidiana. Es uno de los polímeros conocidos como poliolefinas. Tiene una estructura muy sencilla, la más sencilla entre todos los polímeros comerciales. Una molécula de polietileno es sólo una larga cadena de átomos de carbono, con dos átomos de hidrógeno unidos a cada uno de los de carbono. La siguiente imagen ilustra la estructura del polietileno lineal, aunque la cadena molecular puede llegar a tener una longitud de muchos miles de átomos.

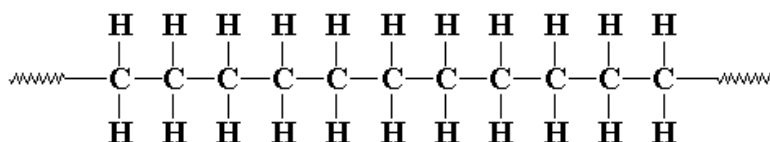


Figura 58: Cadena molecular de polietileno

Polietileno de alta densidad (HDPE) – El HDPE se conoce como polietileno lineal, con una cadena de átomos de carbono con dos hidrógenos enlazados con ellos. Es mucho más robusto que los polietilenos que tienen ramificaciones de polietileno unidas con átomos de carbono y que generalmente tienen menor coste de fabricación.

Polietileno de baja densidad (LDPE) - El polietileno LDPE no es tan robusto como el de alta densidad, tiene un menor coste de fabricación y una estructura distinta que reduce su robustez. En lugar de átomos de hidrógeno enlazados a ellos, algunos átomos de carbono se unen con largas cadenas de polietileno, lo que se conoce como el polietileno ramificado o de baja densidad.

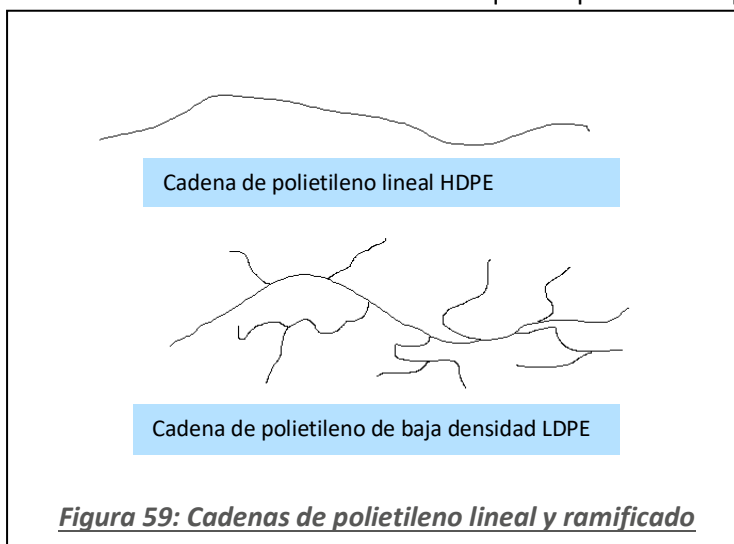


Figura 59: Cadenas de polietileno lineal y ramificado

Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) - Es un polímero esencialmente lineal con un número significativo de ramificaciones cortas. La estructura del polietileno lineal de baja densidad difiere de la del polietileno convencional de baja densidad (LDPE) en la diferencia de longitud de las cadenas moleculares ramificadas. La linealidad del LLDPE es el resultado de la combinación de procesos de fabricación del LLDPE y del LDPE.

Polietileno de densidad media (MDPE) - Para aplicaciones que requieran mayor robustez o dureza, se prefiere sobre el LDPE. Además de la facilidad de procesamiento, el MDPE se caracteriza por tener menor número de cadenas ramificadas y más cortas que el LDPE.

Plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP) - Es un material compuesto, un polímero hecho de un plástico reforzado por finas fibras de vidrio. Es más robusto que muchos metales (cuando se comparan por peso), y puede moldearse para crear formas complejas. La matriz plástica suele ser un polímero termoestable, tal como un epoxy o una resina de poliéster, o en determinadas ocasiones un termoplástico.

Espuma de poliuretano - Es un polímero compuesto de unidades orgánicas unidas por carbamato (uretano). Tradicionalmente y con mayor frecuencia, los polímeros de poliuretano se forman provocando una reacción de un diisocianato o un poliisocianato con un poliol. La espuma de poliuretano puede fabricarse utilizando pequeñas cantidades de agentes espumantes para obtener una espuma menos densa, que proporcione una mayor amortiguación/absorción de energía o aislamiento térmico.

Espuma de poliestireno expandido - Es una espuma rígida y resistente de célula cerrada, con una densidad en el rango de los 11 a 32 kg/m³. Suele ser blanca y hecho de perlitas de poliestireno preexpandidas que se funden entre si en una fase final de expansión, utilizando vapor para proporcionar calor y presión.

Recubrimiento de elastómero. Esencialmente, un elastómero es un polímero compuesto de carbono, hidrógeno, oxígeno y/o silicio que ofrece excelentes propiedades de elasticidad, Presentan la propiedad de la viscoelasticidad, lo que significa que tienen tanta viscosidad como elasticidad, así como fuerzas intermoleculares muy bajas, es decir un módulo elástico bajo. A temperatura ambiente, son blandos y deformables. Un recubrimiento de elastómero puede utilizarse para sellar, trabajar como adhesivo o proteger objetos flexibles.

La estructura molecular de este polímero tiene la propiedad de cuando se estira vuelve a recuperar su estado normal. En función del elastómero concreto que se ha creado, la elasticidad que puede ofrecer es de entorno al 5-700%. Si el elastómero tuviera cadenas cortas o no ramificadas, la estructura no tendría propiedades elásticas y cualquier deformación sería permanente. Cuando los elastómeros se enfrían, tienen menos propiedades elásticas, puesto que las cadenas móviles se reducen.

Espuma de ionómero – Es Un copolímero de etileno y ácido metacrílico que, normalmente, se utiliza como material de recubrimiento o embalaje. También puede ser extruido como una lámina continua de espuma con una estructura de célula cerrada. Dentro de ciertos límites físicos, se puede variar la densidad de la espuma, la estructura celular y el espesor de la lámina, según las necesidades. Cambiando los cabezales de la extrusora, se logran láminas de diferentes anchos. Se pueden crear capas de láminas unidas mediante calor para formar rollos o cilindros.

Espuma de célula cerrada - Espuma en la que al menos el 90% de las pequeñas células que la componen están completamente cerradas. Al contrario que las “espumas de célula abierta”, en donde las paredes celulares están rotas y el aire o el agua pueden llenar el espacio “abierto” dentro del material. Las espumas de célula cerrada absorben un bajo porcentaje de agua, porcentaje que varía en función del tipo de espuma.

10. REFERENCIAS

- NAVGUIDE de la IALA
- Recomendación R0106 (E-106) de la IALA sobre Materiales retrorreflectantes en marcas de ayuda a la navegación dentro del Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA;
- Recomendación R0108 (E-108) de la IALA sobre Colores de superficie utilizados como señales visuales en ayudas a la navegación marítima;
- Recomendación A-126 de la IALA sobre el Uso de los Sistemas de Identificación Automática (AIS) en los servicios de ayuda a la navegación;
- Guía 1008 de la IALA sobre el Control y supervisión remoto de ayudas a la navegación;
- Guía G1010 de la IALA sobre el Comportamiento del alcance de racones;
- Guía G1036 de la IALA sobre la Gestión medioambiental en las ayudas a la navegación;
- Guía G1047 de la IALA sobre la Metodología para la comparación de costes entre las tecnologías de boyas;



- Guía G1064 de la IALA sobre Linternas con sistema integrado de energía;
- Guía G1077 de la IALA sobre el Mantenimiento de ayudas a la navegación;
- Guía G1094 de la IALA sobre Marcas diurnas para ayudas a la navegación;
- Guía G1098 de la IALA sobre la Aplicación de AIS-AtoN en boyas;
- Guía G1099 de la IALA sobre el Diseño hidrostático de boyas;
- Guía G1108 de la IALA sobre los Retos de la prestación de servicios de ayuda a la navegación en regiones polares;
- Guía G1134 de la IALA sobre Colores de superficie utilizados como señales visuales en ayudas a la navegación
- La NAVGUIDE de la IALA;
- Guía G1136 de la IALA sobre la Prestación de servicios de ayuda a la navegación en climas extremadamente cálidos y húmedos;
- Informe del Taller de la IALA sobre los Retos de la prestación de servicios de ayuda a la navegación en regiones polares, 2013;
- ASTM G155 Práctica para la operación de aparatos de luz de arco de xenón para la exposición de materiales no metálicos;
- ISO 4582: 2017 Plásticos - Determinación de los cambios de coloración y variaciones de las propiedades después de la exposición a la luz natural bajo vidrio, al envejecimiento natural o a las fuentes de luz de laboratorio;
- ISO 4892 (1-4) Plásticos - Métodos de exposición a fuentes luminosas de laboratorio;
- ISO 9001 - Gestión de calidad;
- EN 16472 Plásticos – Método de fotoenvejecimiento acelerado utilizando lámparas de vapor de mercurio a media presión;
- ASTM D2244 - 16 Práctica para el cálculo de tolerancias cromáticas diferencias cromáticas a partir de coordenadas cromáticas medidas con instrumentos;
- ASTM D2565 - 16 Práctica para la exposición a arcos de xenón de plásticos destinados a aplicaciones en exteriores;
- ISO 1664-4 Evaluación colorimétrica de coordenadas cromáticas y de diferencias cromáticas de acuerdo con el espacio cromático CIELAB, aproximadamente uniforme;
- ISO 1183 Plásticos – Métodos para determinar la densidad de plásticos no celulares;
- ASTM D-4883 Método de ensayo normalizado para la densidad del polietileno por la técnica de ultrasonidos;
- ASTM D-1505 Método de ensayo normalizado para la densidad de plásticos por la técnica del gradiente de densidad;
- BS 4370 Métodos de ensayo de materiales celulares rígidos;
- DIN 53505 Ensayos de caucho – Ensayos de dureza Shore A y Shore D;
- DIN EN ISO 527-1 Plásticos – Determinación de las propiedades en tracción – Parte 1: Principios generales;

- DIN EN ISO 527-2 Plásticos - Determinación de las propiedades en tracción – Parte 2: Condiciones de ensayo para plástico de moldeo y extrusión;
- DIN 53516 Ensayos de caucho y elastómeros; determinación de resistencia a la abrasión;
- ISO 6603-2 Plásticos – Determinación del comportamiento de los plásticos rígidos a la perforación por efecto de un impacto – Parte 2: Ensayo de impacto instrumentado;
- DIN EN ISO 6383-1 Plásticos – Películas y láminas de plástico – Determinación de la resistencia al rasgado – Parte 1: Método de la probeta pantalón;
- EN 1931 Láminas flexibles para impermeabilización – Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas – Determinación de las propiedades de transmisión del vapor de agua;
- EOTA TR008 Determinación de la resistencia a los movimientos de la fatiga;
- EN 12201-1 Sistemas de canalización en materiales plásticos para conducción de agua y saneamiento con presión. Polietileno (PE). Parte 2: Tubos;
- EN ISO 1133 Plásticos – Determinación del índice de fluidez de materiales termoplásticos, en masa (MFR) y en volumen (MVR) (ISO 1133:1997);
- EN ISO 2505 Tubos de material termoplástico. Retracción longitudinal. Métodos de ensayo y parámetros (ISO 2505:2005);
- EN ISO 3126 Sistemas de canalización en materiales plásticos – Componentes de materiales plásticos. Determinación de las dimensiones;
- EN ISO 6259-1 Tubos termoplásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 1: Método general de ensayo (ISO 6259-1:1997);
- EN ISO 13920 Soldadura– Tolerancias en construcciones soldadas – Dimensiones de longitudes y ángulos, forma y posición;
- ISO 6259-3 Tubos termoplásticos – Determinación de las propiedades en tracción. – Parte 3: Tubos de poliolefina;
- ISO 13953 Tubos y accesorios de polietileno (PE) – Determinación de la resistencia a la tracción y tipo de fallo en probetas soldadas a tope;
- ISO 16770 Plásticos – Determinación de la resistencia al agrietamiento por esfuerzos debidos a factores ambientales (ESC) – Ensayo de aparición de grietas por elongación (FNCT);
- ISO/TR 10358 Tubos y accesorios de materiales plásticos – Tabla de clasificación de la resistencia química;
- ASTM D1929-16 Método de ensayo normalizado para la determinación de la temperatura de ignición de plásticos;
- DIN 54836 Ensayo de materiales combustibles; Determinación de temperatura de ignición.

ANEXO A VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOYAS DE PLÁSTICO

VENTAJAS

- El plástico no se corroe.
- Es más fácil de mantener: tan sólo requiere la eliminación de incrustaciones marinas, no hay que pintar las piezas de plástico.
- Las partes de plástico requieren menos mantenimiento en tierra (no hay necesidad de chorreo de arena ni de pintura, con la excepción del GRP) y, por lo tanto, se podrán emplear menos recursos.
- El peso es significativamente menor (con una masa entre la mitad y un tercio de la masa de las boyas de acero de un diámetro equivalente). El servicio de mantenimiento, por lo tanto, podrá emplear embarcaciones de menor tamaño.
- Los costes a lo largo de la vida útil pueden ser menores que los de las boyas de acero. Véase también la Guía G1047 de la IALA sobre la Metodología para la comparación de costes entre las tecnologías de boyas.
- Se han empleado con éxito desde la década de los 80.
- Hay un cierto número de empresas comerciales que ofrecen boyas sintéticas.
- La mayoría de los plásticos se pueden reciclar.
- Cuando sean de construcción modular, se pueden sustituir segmentos o piezas individuales dañadas o que necesiten un recambio.
- Las boyas modulares de gran tamaño son más fáciles de transportar y de almacenar, ya que las piezas se pueden desmontar en piezas.
- Se puede reducir el número de piezas de recambio (se almacenan boyas enteras).
- Es posible encajar un reflector de radar dentro de la superestructura de una boya de sintética.

DESVENTAJAS

- Cambiar el color de una boya de plástico es más difícil, puesto que la pintura convencional no ofrece ninguna fiabilidad sobre superficies de plástico.
- En general, las boyas de plástico tienen una vida útil más corta que las de acero.
- Sus componentes son específicos de cada fabricante y, por lo tanto, es posible que no sean intercambiables.