

# Guía de la IALA n.º 1077

sobre el

## Mantenimiento de ayudas a la navegación

On

## Maintenance of Aids to Navigation

1ª Edición

Diciembre de 2009

Este documento reemplaza la Guía de la IALA n.º 1040 sobre el  
el Mantenimiento de boyas y pequeñas estructuras de ayuda a la  
navegación



10, rue des Gaudines  
78100 Saint Germain en Laye, France  
Telephone +33 1 34 51 70 01 Fax +33 1 34 51 82 05  
e-mail - [contact@iala-aism.org](mailto:contact@iala-aism.org) Internet: [www.iala-aism.org](http://www.iala-aism.org)

## Revisiones del Documento

Las revisiones realizadas al Documento de la IALA se anotarán en el siguiente cuadro antes de la difusión de un documento revisado.

| <b>Fecha</b>      | <b>Página / Sección Revisada</b> | <b>Necesidad de Revisión</b>  |
|-------------------|----------------------------------|---|
| Diciembre de 2005 | Documento completo               | Reformateado para reflejar la jerarquía de la documentación de la IALA  |
| Mayo de 2008      | Documento completo               | Revisado y actualizado en el Taller de la IALA (abril de 2008) sobre Ayudas flotantes y EEP11.<br>La Guía de pintura (1015) se ha retirado              |
| Diciembre de 2009 |                                  | Título actualizado<br>Añadidos los apartados sobre la estrategia de mantenimiento, los métodos de mantenimiento y el mantenimiento basado en el estado. |
|                   |                                  |   |
|                   |                                  |   |
|                   |                                  |   |

## Índice de Contenidos

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| <b>REVISIONES DEL DOCUMENTO</b>  | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| <b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b>  | <b>3</b>                      |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b>   | <b>3</b>                      |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>   | <b>4</b>                      |
| <b>MANTENIMIENTO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN</b>                           | <b>5</b>                      |
| <b>1 INTRODUCCIÓN</b>  | <b>5</b>                      |
| <b>2 CRITERIOS DE ORIENTACIÓN PARA UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO</b>   | <b>5</b>                      |
| 2.1 Reducir los costes del propietario                                   | 5                             |
| 2.2 Diseño para el mantenimiento   | 7                             |
| 2.2.1 Fiabilidad   | 7                             |
| 2.2.2 Facilidad de mantenimiento   | 8                             |
| 2.2.3 Facilidad de apoyo   | 9                             |
| 2.3 Reducir el impacto sobre el medio ambiente                           | 9                             |
| 2.4 Dar cumplimiento a la legislación y normas internacionales           | 10                            |
| 2.5 Considerar la seguridad e higiene de trabajadores y el público       | 10                            |
| 2.6 Evaluar y mejorar el rendimiento                                     | 10                            |
| 2.6.1 Registros de mantenimiento   | 11                            |
| <b>3 FILOSOFÍAS DE MANTENIMIENTO</b>                                     | <b>11</b>                     |
| 3.1 Mantenimiento correctivo (MC)  | 11                            |
| 3.2 Mantenimiento programado (MP)  | 12                            |
| 3.3 Mantenimiento basado en el estado (MBE)                              | 12                            |
| <b>ANEXO 1 MANTENIMIENTO DE BOYAS</b>                                    | <b>14</b>                     |
| <b>ANEXO 2 AMARRES</b>   | <b>22</b>                     |
| <b>ANEXO 3 ESTRUCTURAS</b>   | <b>25</b>                     |
| <b>ANEXO 4 EQUIPOS DE SEÑALIZACIÓN</b>                                   | <b>32</b>                     |
| <b>ANEXO 5 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN</b>                                  | <b>34</b>                     |
| <b>ANEXO 6 PATRONES DE FALLO</b>   | <b>36</b>                     |
| <b>ANEXO 7 BENEFICIOS DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL ESTADO</b>          | <b>38</b>                     |
| <b>ANEXO 8 PARÁMETROS PARA EL MANTENIMIENTO BASADO EN EL ESTADO</b>      | <b>39</b>                     |
| <b>ANEXO 9 EJEMPLO DE MANTENIMIENTO DE UNA UNIDAD DE BOYA SOLAR</b>      | <b>41</b>                     |
| <b>ANEXO 10 MANTENIMIENTO O REHABILITACIÓN DE UNA ESTRUCTURA MODULAR</b> | <b>42</b>                     |
| <b>ANEXO 11 BASE DE DATOS DEL MANTENIMIENTO DE PROPIEDADES</b>           | <b>44</b>                     |
| <b>ANEXO 12 EJEMPLO DE UN PLAN MANTENIMIENTO QUINQUENAL</b>              | <b>45</b>                     |
| <b>ANEXO 13 UNA PROPUESTA PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE FAROS</b>  | <b>48</b>                     |

## Índice de Cuadros

|          |                                  |    |
|----------|----------------------------------|----|
| Cuadro 1 | Plan de mantenimiento quinquenal | 45 |
|----------|----------------------------------|----|

## Índice de Figuras

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Figura 1 | Diagrama de toma de decisiones sobre el mantenimiento    | 13 |
| Figura 2 | Establecimiento de la frecuencia de inspección de estado | 37 |

# Mantenimiento de ayudas a la navegación

## 1 INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es necesario para asegurar que los equipos y sistemas de ayudas a la navegación continúen funcionando, a los niveles requeridos, para que los navegantes puedan navegar por las vías navegables del mundo con seguridad. Se debe adoptar un sistema de mantenimiento para asegurar que las ayudas a la navegación rindan al nivel deseado y se reduzca el coste total del propietario. Normalmente, tal rendimiento se define como el nivel de disponibilidad requerido. En función de la criticidad o categoría de la ayuda a la navegación, el mismo tipo de ayuda podría necesitar diferentes enfoques de mantenimiento para garantizar que se alcance el nivel de disponibilidad establecido para un lugar específico.

Esta guía proporciona información destinada a ayudar en el desarrollo de una estrategia de mantenimiento. Se adjuntan varios anexos que proporcionan información detallada sobre las actividades del mantenimiento de boyas, trenes de fondeo, estructuras de ayuda a la navegación, equipos de señalización y equipos de alimentación de energía. Otros anexos adicionales dan ejemplos de procesos y procedimientos de mantenimiento.

## 2 CRITERIOS DE ORIENTACIÓN PARA UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

Los criterios de orientación que figuran a continuación pueden ayudar a las Autoridades a que desarrollen su estrategia general para el mantenimiento de ayudas a la navegación. La prestación de un servicio de ayuda a la navegación comprende los requisitos del usuario, el diseño del sistema y el mantenimiento del mismo. Aunque se pretende que este documento trate del mantenimiento, se han de tener en cuenta las interrelaciones con los requisitos y el diseño. Cuando los gastos de mantenimiento de un sistema son excesivos, puede que sea oportuno revisar los diseños originales y los requisitos del usuario. La prestación de un servicio de ayuda a la navegación debe considerarse como un proceso iterativo de requisitos, diseño y mantenimiento, con el objetivo general de proporcionar una señal al navegante a un coste aceptable para la Autoridad.

### 2.1 Reducir los costes del propietario

Los proveedores de servicios de ayuda a la navegación rinden cuentas ante sus grupos de interés sobre la provisión de una red fiable de ayudas a la navegación que cumpla con las normas internacionales a un coste razonable. Las estrategias de mantenimiento adoptadas por las autoridades deben intentar la reducción de los costes totales del propietario en sus ayudas a la navegación, lo que se podrá lograr mediante:

- La introducción de nuevas tecnologías en los equipos y materiales de ayuda a la navegación;
- La consideración de requisitos futuros de mantenimiento durante la fase de diseño;
- La elección de equipos adecuados para la aplicación y las condiciones de funcionamiento;
- El alargamiento de los intervalos entre visitas, tanto para las ayudas a la navegación flotantes como para las fijas;
- La utilización de ayudas electrónicas a la navegación, como Sistemas de Identificación Automática (AIS), para establecer una combinación de ayudas físicas y virtuales a la navegación;
- La optimización en el uso de servicios, tanto los de provisión directa como los subcontratados.

Al diseñar un sistema de equipos, el enfoque tradicional consiste en reducir el coste inicial de adquisición. Sin embargo, este objetivo a corto plazo no tiene en cuenta el coste total para el propietario durante la vida útil del sistema, que incluye toda una gama de actividades, cada una con sus gastos individuales asociados: el diseño y desarrollo, adquisición y producción, mantenimiento y apoyo, y eliminación final. Entre todos estos factores, gran parte del coste total del propietario tiene lugar durante en la fase de mantenimiento y apoyo a lo largo de la vida útil del sistema. Por lo tanto, cualquier coste que se ahorre en la adquisición inicial se malgastará si el sistema final es de baja fiabilidad, o bien difícil o caro de mantener a largo plazo. Por otra parte, incrementar la fiabilidad y reducir los costes de mantenimiento puede suponer un ahorro importante para la organización en cuanto al personal, la logística, los equipos, las piezas de recambio y las instalaciones necesarias para realizar este cometido.

## 2.2 Diseño para el mantenimiento

El diseño del equipo supone la mayor parte de los gastos de mantenimiento, que son, a su vez, la proporción más significativa del coste total para el propietario del equipo o sistema. Es por lo tanto vital considerar el mantenimiento a largo plazo desde el inicio del proceso de diseño. El objetivo debe ser reducir la necesidad de mantenimiento, alargar los intervalos entre las necesarias visitas de mantenimiento, fomentar el mantenimiento según las necesidades (mantenimiento basado en el estado), facilitar las tareas del personal de mantenimiento y reducir la “huella logística” necesaria para el mantenimiento y apoyo. Todos estos factores contribuirán a la reducción del coste total del propietario a lo largo de la vida útil del equipo o sistema. Para lograrlo, el enfoque del proceso de diseño se debe orientar a asegurar que los atributos de “fiabilidad”, “facilidad de mantenimiento” y “facilidad de apoyo” sean componentes claves del equipo o sistema. Estos tres factores contribuirán a la disponibilidad de la ayuda a la navegación.

La fiabilidad es el grado en que un equipo o sistema funcionará sin fallos, de acuerdo con su diseño, en sus condiciones de funcionamiento.

La facilidad de mantenimiento consiste en la facilidad, velocidad y precisión con que se puedan reparar equipos para que alcancen su estado de funcionamiento.

Por su parte, la facilidad de apoyo es la eficacia en la provisión de varios elementos de apoyo logístico (personal, instalaciones, procesos, herramientas, piezas), para mantener el sistema a lo largo de su vida útil.

Estos atributos claves se deben optimizar e incluir en el diseño de los equipos, y no ser tratados *a posteriori*, una vez que los equipos estén en servicio y los cambios sean demasiado caros para llevarse a cabo. Es, por lo tanto, crítico que los requisitos de mantenimiento y apoyo se elaboren a la vez que el diseño de equipos, y que los expertos en estos campos trabajen en equipo con los ingenieros de diseño durante los procesos de diseño y desarrollo.

### 2.2.1 Fiabilidad

El objetivo de la estrategia de mantenimiento de las ayudas a la navegación será aumentar la fiabilidad de las mismas. Normalmente, es caro tener que dar respuestas a paradas y, potencialmente, puede trastocar los trabajos programados, causando así demoras en el cumplimiento de un programa general de mantenimiento.

Una herramienta como el control a distancia puede ayudar en el seguimiento del funcionamiento de las ayudas a la navegación, y además ser útil para dar avisos oportunos de paradas potenciales al personal de mantenimiento. Tales avisos brindan al personal de mantenimiento la posibilidad de responder al estado irregular de equipos de una manera planificada, antes de que fallen; siendo así posible atender, como parte de una actuación programada de mantenimiento a una ayuda a la navegación que indica un problema y repararla antes de que se produzca un fallo total.

Diseñar equipos para que tengan una mayor fiabilidad puede incrementar los costes de la adquisición inicial. Sin embargo, esta inversión inicial más elevada, como se ha indicado anteriormente, podría generar grandes ahorros a lo largo de la vida útil del sistema en la forma de gastos corrientes de mantenimiento más bajos. El diseño de un sistema resistente, capaz de soportar los rigores del ambiente marino, es esencial para aumentar la fiabilidad. Esto incluiría aspectos como:

- La incorporación de métodos para el control de la corrosión;
- La consideración de la resistencia a impactos y la estanqueidad de los componentes claves;
- La utilización de componentes especialmente diseñados para su uso a largo plazo en un ambiente marino en la fabricación de los equipos;
- La optimización de los diseños con el número más reducido posible de piezas;
- La seguridad de que existe redundancia en el diseño del sistema.

Tal redundancia puede ser “externa”, en cuyo caso el plan de la navegación de la zona tendrá en cuenta la posibilidad de que pueda fallar una de las ayudas a la navegación y asegurar que el sistema de otras ayudas (incluidas ayudas a la navegación y otras ayudas a bordo de buques) sea suficiente para proporcionar el nivel adecuado de servicio al navegante. O bien, la redundancia es “interna” y consiste en utilizar dos o más equipos capaces de darse respaldo en el caso de que falle uno de ellos.

Una vez diseñado el producto, se tiene que asegurar la calidad del producto final. Se deben elaborar especificaciones claras y concisas, tales como unos requisitos rigurosos y exhaustivos de ensayo y de aseguramiento de calidad. Se deben elegir proveedores con un historial de éxito con sistemas y equipos similares.

A este respecto, se puede encontrar un estudio más detallado en la Guía de la IALA n.º 1035 sobre la Disponibilidad y fiabilidad de las ayudas a la navegación - Teoría y ejemplos, 2ª Edición, diciembre de 2004.

### 2.2.2 Facilidad de mantenimiento.

En este caso, el objetivo es disminuir los gastos y el tiempo del mantenimiento necesarios mediante el diseño de los propios equipos. Los factores que figuran a continuación contribuyen a la facilidad de mantenimiento:

- Acceso. Los componentes que requieren inspecciones y mantenimiento frecuentes deben estar visibles y accesibles para el personal de mantenimiento. También se debe proporcionar acceso para que se puedan realizar las tareas de control y atenuación de la corrosión.
- Modularidad. Los componentes se deben agrupar de manera que se facilite la “retirada y sustitución”, en vez de tener que realizar reparaciones *in situ*.
- Interoperabilidad. Los recambios deben ser compatibles con conexiones normalizadas, que permitan los cambios rápidos; asimismo, los diseños asegurarán facilidad en la alineación e interconexión de componentes.
- Seguridad. Los diseños de los equipos deben evitar los riesgos relacionados con el personal que trabaje en ellos.

Un ejemplo de ello sería la reducción o eliminación del uso de materiales peligrosos en el diseño (que también reduciría los gastos de eliminación). Se debe tener en cuenta cualquier riesgo adicional y elaborar una “Declaración de Método”, que identifique el riesgo y proponga una solución práctica para reducirlo casi a cero.

La electrónica avanzada puede emplearse para detectar tendencias que conduzcan a fallos, utilizándola para evitarlos con antelación y mejorar sobre todo el mantenimiento del sistema. Esta electrónica puede incorporarse al sistema o bien ser externa al mismo. Algunos ejemplos son:

- Dispositivos de diagnóstico. Dispositivos y software de seguimiento/registro que tienen una mayor capacidad de detección de fallos, reduciendo así los tiempos de reparación. Hay que poner énfasis en la precisión, para así eliminar las falsas alarmas.
- Dispositivos de pronóstico. Dispositivos y software que hacen un seguimiento de varios componentes e indican cuando se encuentran fuera de los límites normales o la probabilidad de un fallo inminente.
- A prueba de fallos. En caso de fallo, los sistemas se pueden diseñar para que vuelvan al modo seguro, o a prueba de fallos, y así evitar daños adicionales o fallos secundarios.

### 2.2.3 Facilidad de apoyo

El objetivo de la facilidad de apoyo es reducir el coste total del propietario incrementando la disponibilidad, la gestión de la logística, reduciendo la dependencia de las piezas de recambio y reduciendo el personal de apoyo. En este caso, las consideraciones de diseño son:

- **Minimización.** El número total de piezas de un diseño, así como el de piezas diferentes, debe ser el mínimo posible. Cuando sea posible, el diseño permitirá que el mismo tipo de pieza tenga usos múltiples, ya que cada pieza tiene un coste. Mediante la minimización del número de piezas, el coste total del producto, y sobre todo el del sistema de apoyo, se reducen.
- **Uso de piezas comunes.** El uso de piezas comunes es preferible a la utilización de piezas intrincadas o complejas, que son más difíciles y caras de fabricar. De esta manera, un gran número de fabricantes podrán producir las partes comunes, reduciendo así los costes mediante economías de escala.
- **Normalización.** Los diseños de los equipos se deben normalizar, lo que permitirá que se apliquen procedimientos comunes de mantenimiento en todo el inventario. Las reparaciones se deben diseñar para que puedan realizarse con piezas normalizadas y herramientas comunes. Los equipos de apoyo, tales como los de ensayo, medición y diagnóstico, tendrán diseños normalizados que se puedan emplear en una gran variedad de aplicaciones. La documentación técnica y los materiales de formación serán consistentes y de formato homogéneo.
- **Configuración de la gestión.** Este proceso consiste en mantener la consistencia de los atributos funcionales y físicos de un elemento a lo largo de la vida útil del sistema, asegurando así la normalización del inventario y de las tareas de mantenimiento. El proceso de configuración de la gestión incluye la identificación, documentación, verificación y registro de tales características, para posteriormente controlar cualquier cambio en el elemento, así como la documentación asociada al mismo. La configuración de la gestión es una práctica muy extendida en la industria y hay bastante información al respecto en fuentes públicas, incluido Internet.

### 2.3 Minimizar el impacto sobre el medio ambiente

Las obligaciones impuestas por la legislación y las expectativas de la sociedad requieren que las autoridades con responsabilidad sobre las ayudas a la navegación no generen impactos adversos en el medio ambiente. Tanto la limpieza después de incidentes de contaminación así como la consiguiente rehabilitación del medio ambiente pueden ser caras.

Las autoridades pueden reducir el impacto que generan en el medio ambiente de las siguientes maneras:

- Alargando los intervalos entre visitas a los emplazamientos;
- Mediante la planificación de actividades y visitas a emplazamientos, considerando la época de nidificación de las aves y de reproducción de animales;
- Reduciendo el uso y almacenamiento de materiales peligrosos;
- Haciendo un uso más intensivo de productos y materiales respetuosos con el medio ambiente;
- Reduciendo la dependencia de operaciones de cargas pesadas empleando medios aéreos y marítimos;
- Contemplando la eliminación / el reciclaje de materiales durante el ciclo completo de vida durante el proceso de diseño / actualización de los equipos y sistemas de ayuda a la navegación.

Hay más información al respecto en la Guía de la IALA n.º 1036 sobre las Consideraciones medioambientales de la ingeniería de las ayudas a la navegación. Además, la norma ISO 14001 detalla los requisitos para los Sistemas de Gestión Medioambientales.

## **2.4 Cumplir con la legislación y las normas internacionales**

Las Autoridades con responsabilidad sobre ayudas a la navegación deberán asegurar que el mantenimiento se realice de conformidad con la legislación local. También se deberán proveer los servicios de ayuda a la navegación de acuerdo con las normas internacionales y las mejores prácticas, para asegurar la provisión de una red global consistente de ayudas a la navegación para los navegantes.

OMI SOLAS exige a los gobiernos contratantes que proporcionen ayudas adecuadas a la navegación en función del volumen de tráfico y el grado de riesgo. La clasificación de la IALA también considera la importancia para el navegante como una parte del riesgo asociado.

Para dar cumplimiento a la legislación pertinente, puede que sea necesario que las Autoridades incluyan en su estrategia de mantenimiento los puntos que se detallan a continuación:

- Consideraciones medioambientales, p. ej. las operaciones en zonas remotas o parques marinos sensibles podrían requerir la implantación de procedimientos operativos adicionales;
- Consideraciones de seguridad, p. ej. las operaciones realizadas desde embarcaciones de reducido tamaño o los trabajos a determinada altura podrían necesitar procedimientos adicionales de formación y seguridad;
- Las ayudas a la navegación que forman parte del patrimonio histórico podrían requerir la realización de tareas de mantenimiento y control con mayor frecuencia.
- Las ayudas a la navegación de más categoría o importancia según la IALA puede que necesiten un régimen de mantenimiento más intenso para asegurar que alcancen el nivel de rendimiento requerido.
- Se debe hacer referencia a las normas en vigencia la fase de diseño de nuevas ayudas a la navegación para asegurar que éstas cumplan con la normativa más reciente.

## **2.5 Considerar la seguridad e higiene de trabajadores y el público**

Las Autoridades deben ser conscientes de que la mayoría de las actividades descritas en este documento conllevan la aplicación de normas sobre seguridad e higiene en el trabajo. Tales requisitos varían según la región, y las Autoridades cumplirán con los que son específicos de su zona. La seguridad e higiene de los trabajadores y del público es de suma importancia. Por lo tanto, las estrategias de mantenimiento deben incluir programas de formación y concienciación para garantizar que todo el personal tenga la adecuada formación profesional para llevar a cabo las actividades y tareas que se le encomiende.

Las lesiones al personal y al público pueden tener un efecto importante en la moral de los trabajadores y en la reputación de la Autoridad. También hay un coste asociado a los programas de rehabilitación y reincorporación al trabajo. Además, será necesario contratar a trabajadores temporales para cubrir los puestos del personal que esté de baja. Es fundamental que el diseño de equipos y sistemas tome en consideración el posterior mantenimiento seguro de tales sistemas. Si cualquier actividad de mantenimiento presentara un elevado grado de riesgo, se deben implantar procesos de rediseño y controles de procedimiento para disminuir el riesgo.

## **2.6 Evaluar y mejorar el rendimiento**

Se debe realizar una evaluación continua de la fiabilidad, la facilidad de mantenimiento y la facilidad de apoyo que facilitará la mejora continua del diseño de los equipos y de los procedimientos de mantenimiento. La retroalimentación sobre el rendimiento de equipos por parte del personal de mantenimiento es un aspecto fundamental de este proceso. Es imprescindible llevar un registro del mantenimiento para medir, y así mejorar, la eficacia de un sistema.

### 2.6.1 Registros de mantenimiento

- Permiten analizar mejor el sistema y ayudan a hacer las mejoras oportunas en el diseño y en la política del sistema;
- Posibilitan los trabajos de diagnóstico en equipos y tipos específicos.

Se implantarán sistemas que controlen y registren las actividades de mantenimiento para asegurar que los trabajos de mantenimiento se lleven a cabo de manera que garanticen resultados de alta calidad que se puedan reproducir.

Muchas Autoridades y proveedores externos de servicios ya han implantado, o están en el proceso de implantar, sistemas que cumplen con los requisitos de la norma ISO 9001 sobre los Sistemas de Gestión de Calidad.

Dichos sistemas de gestión obligan a implantar la política y los procedimientos necesarios para asegurar que:

- Los sistemas estén documentados;
- Los programas necesarios de formación estén implantados;
- Los cambios se controlen, y se realice un seguimiento de ellos;
- La elección de equipos y materiales esté controlada;
- Los procesos sean auditados;
- Las deficiencias se puedan informar, y se identifiquen y corrijan;
- Las mejoras puedan realizarse.

El registro detallado de las actividades de mantenimiento y del estado de los equipos de las ayudas a la navegación permitirá a las Autoridades controlar y analizar el rendimiento de los equipos a lo largo del tiempo. El análisis de estos datos llevará a la identificación e implantación de mejoras que tengan como consecuencia la mejora global del rendimiento del equipo/sistema.

## 3 FILOSOFÍAS DE MANTENIMIENTO

Los fallos en los sistemas de ayuda a la navegación pueden tener un impacto considerable en los gastos de la prestación del servicio. Por lo tanto, el mantenimiento de sistemas para asegurar su funcionamiento continuo es un aspecto fundamental. Básicamente, hay dos maneras de llevar a cabo el mantenimiento: el mantenimiento correctivo y el preventivo. El mantenimiento correctivo restaura las funciones de un elemento después de un fallo, o si su rendimiento no alcanza los límites previstos. Por su parte, el mantenimiento preventivo puede realizarse a intervalos programados (Mantenimiento Programado), o bien de acuerdo con criterios sobre el estado (Mantenimiento Basado en el Estado), para reducir la probabilidad de fallos o de deterioro, para conseguir que el elemento siga funcionando o para detectar un fallo oculto. El mantenimiento correctivo (MC), el mantenimiento programado (MP), y el mantenimiento basado en el estado (MBE) se tratan a continuación. Al final de este apartado, se incluye un diagrama de flujo para ayudar a los que tengan la responsabilidad de tomar decisiones a identificar la metodología adecuada (o bien una mezcla de ellas) para sus propios equipos y sistemas.

### 3.1 Mantenimiento correctivo (MC)

La pronta reparación de equipos con fallos es fundamental para el éxito de cualquier negocio. El proceso de resolver paradas de equipos tras un fallo se denomina “mantenimiento correctivo” (MC). El MC puede definirse como el mantenimiento necesario cuando un elemento ha fallado, o se ha desgastado, con el fin de restaurar su funcionamiento. Probablemente, el MC es el enfoque más difundido en el conjunto de la industria, pero tiene sus limitaciones. El fallo de un equipo a menudo resulta en una disminución de su disponibilidad. Además, si fuera necesario reemplazar el equipo, el coste puede ser considerable. También es importante

considerar las implicaciones relacionadas con fallos de equipos sobre la seguridad, la salud y el medio ambiente. Si las consecuencias del fallo (como la pérdida de disponibilidad, la seguridad, el impacto ambiental y el coste del fallo) son tolerables con respecto a los costes del mantenimiento preventivo, se pueden admitir algunos fallos. Este enfoque sobre el mantenimiento se podría calificar como “mantenimiento al fallo”. Sin embargo, en otros casos, las implicaciones del fallo de un equipo pueden tener mayor alcance. Por ejemplo, los gastos de mano de obra y de transporte pueden ser considerables, y el riesgo de accidentes entre embarcaciones se verá incrementado como resultado de un fallo en una ayuda a la navegación.

### **3.2 Mantenimiento programado (MP)**

Con el MP, los equipos se inspeccionan y reparan de forma periódica para prevenir fallos. El MP se realiza a intervalos fijados con antelación (basados en el calendario, horas de funcionamiento o número de ciclos), y consiste en la reparación o sustitución periódicas de un elemento o sus componentes. El objetivo es evitar los fallos antes de que ocurran. Como probablemente se realiza un mantenimiento de los equipos de manera constante, se tendrá que decidir sobre los intervalos apropiados de mantenimiento. Estos intervalos se suelen determinar mediante el análisis de riesgos, las recomendaciones del fabricante o los registros del rendimiento de equipos similares en ambientes semejantes. El término “mantenimiento basado en los conocimientos” (*Intelligence-Based Maintenance*, en inglés) se emplea para describir el mantenimiento programado en el que las condiciones específicas del emplazamiento y el rendimiento histórico se tienen en cuenta para ajustar los intervalos de inspección. Para que se pueda implantar con efectividad el mantenimiento basado en los conocimientos, hay que recopilar datos históricos sobre el mantenimiento y el análisis de tendencias.

### **3.3 Mantenimiento basado en el estado (MBE)**

El MBE consiste en tomar decisiones sobre el mantenimiento a partir de pruebas de la necesidad, basadas éstas en el estado real del equipo, y no en intervalos de tiempo o de uso. Lo ideal sería que el mantenimiento basado en el estado permita al personal de mantenimiento realizar sólo las tareas necesarias, reduciendo así los costes de piezas de recambio, las paradas del sistema y el tiempo de mantenimiento. El MBE se basa en una interpretación correcta de datos en tiempo real (o de datos recopilados en intervalos apropiados) para priorizar y optimizar los recursos de mantenimiento. La observación del estado de un sistema se conoce como “seguimiento del estado”. Un sistema así determinará la salud del equipo y sólo entrará en acción cuando el mantenimiento sea realmente necesario. Gracias a los desarrollos de los últimos años se han incorporado instrumentos y mejores herramientas a los equipos para analizar los datos sobre el estado, lo que ha permitido que el personal de mantenimiento tome decisiones bien fundadas sobre el tiempo adecuado para realizar tareas de mantenimiento en un determinado equipo. Las inspecciones visuales y las mediciones físicas también son herramientas importantes de cara a la implantación de un sistema de MBE eficaz.

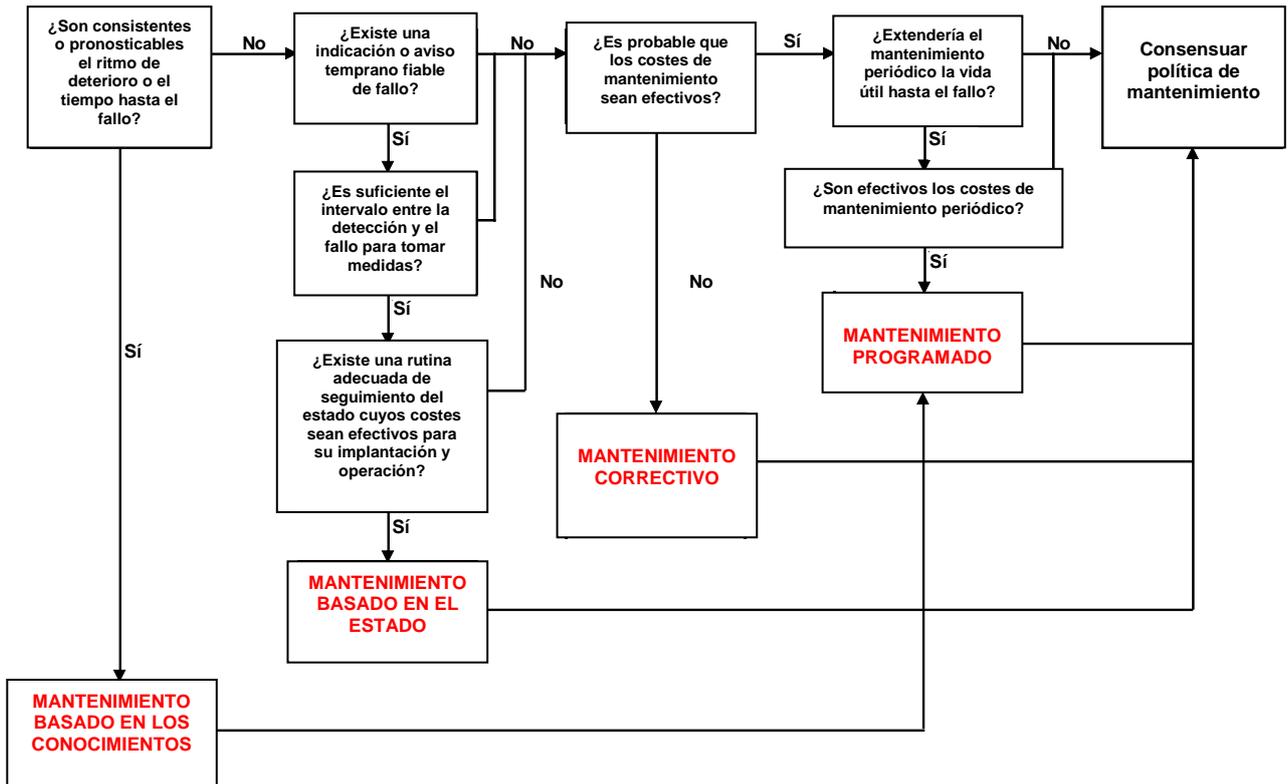


Figura 1 Diagrama de toma de decisiones sobre el mantenimiento

## **ANEXO 1 MANTENIMIENTO DE BOYAS**

### **1 BOYAS DE ACERO**

#### **1.1 Mantenimiento en tierra**

Las boyas de acero se deben reemplazar de manera periódica en el punto de fondeo, llevándose a tierra las boyas antiguas para su reparación y rehabilitación para volver al mar. En zonas de climas extremos, se realizará una vez al año (p. ej. cuando el hielo comienza a aparecer, las boyas se retiran y se reemplazan por otras boyas restauradas durante el verano). En zonas con climas más benignos, normalmente las boyas pueden permanecer en el lugar de fondeo entre inspecciones y reparaciones. En general, la inspección y reparación de una boya de acero implica los procesos de liberar los gases, el granallado, la reparación del acero y la pintura, que se tratan con más detalle a continuación.

##### **1.1.1 Liberación de gases**

Hay que ser consciente de que podría haber gases combustibles en el interior del casco de la boya. Antes de comenzar cualquier trabajo que requiera calor (limpieza por chorreo, cortes, soldadura) sobre un casco de acero, retire los cierres del bolsillo de las baterías y compruebe si hay gases combustibles en los bolsillos o en el casco, empleando un medidor de gases combustibles o explosivos. Si se detectan gases combustibles, hay que purgar el casco con aire comprimido para desplazar la atmósfera combustible.

##### **1.1.2 Limpieza por chorreo**

El personal de servicio eliminará, tanto como sea posible, la mayoría de las incrustaciones marinas antes de entregar las boyas a los talleres de mantenimiento. Esto evita la propagación de especies marinas de un área ambiental a otra durante el transporte, lo que podría perturbar el ecosistema con la introducción de especies invasivas. Asimismo, no se permitirá que las incrustaciones marinas se sequen sobre la boya. Las incrustaciones secas son muy difíciles de eliminar y, además, producen un olor fuerte y desagradable. Las incrustaciones se pueden eliminar con un lavado de agua a alta presión o un raspado. Hay que prestar especial atención a la eliminación de las incrustaciones debajo de los contrapesos de las boyas de faldón y dentro de los tubos de los silbatos. Toda incrustación restante la eliminará el personal de mantenimiento antes de proceder al granallado, ya que las incrustaciones pueden atascar y dañar la máquina de granallado cuando se emplean sistemas que reciclan la granalla. Además, la eliminación de las incrustaciones antes de del granallado reducirá la cantidad de residuos de granallado que se tendrán que eliminar. Las acumulaciones abundantes de petróleo, grasa y tierra en la boya también se eliminarán antes de proceder al granallado. Si no se hace, los materiales extraños de este tipo se incrustarán en el acero durante el granallado, lo que impedirá que la pintura se adhiera correctamente.

Antes de que comience el granallado, se deben retirar de la boya los componentes que puedan verse dañados durante el proceso, tales como cables eléctricos, equipos de alimentación y señalización, campanas, gongs y silbatos. Además, las válvulas de ventilación se quitarán y se tapan las líneas de ventilación. Todas las superficies con rosca se deben cubrir para su protección. En función del diseño de la boya, también se deben retirar partes como el castillete y los contrapesos antes del granallado.

Todas las superficies externas del casco de la boya, así como las superficies internas de tubos de silbato y de los bolsillos de baterías, se someterán al granallado hasta que el metal sea casi blanco, o según las recomendaciones del fabricante del recubrimiento. Después del granallado, el perfil de la superficie deberá cumplir con las recomendaciones del fabricante del recubrimiento. El granallado debe realizarse con un producto reciclable, tal como la granalla fina de acero, la granalla de acero angular, la granalla de granate, etc. Cuando se realice el granallado del aluminio, solamente se utilizarán granallas no férricas. La escoria de carbón y cobre, la arena y la sílice cristalina no se emplearán debido a los efectos nocivos sobre la salud y el medio ambiente que producen estos materiales. El chorreo de agua a presión alta (hidrochorreo) es otra opción. Una variación del proceso de chorreo de agua a alta presión es

el chorreo abrasivo con agua, en el que se proyectan partículas abrasivas con el chorro de agua a alta presión. Después del granallado, las boyas se lavarán con agua dulce para eliminar sales y contaminantes.

### 1.1.3 Reparación de cascos de acero y apéndices

Si los trabajadores tienen que entrar en el casco de una boya para realizar reparaciones, hay que asegurarse de que se cumplan los requisitos de seguridad para la entrada en espacios confinados.

La integridad de las argollas de elevación es vital para la seguridad de las operaciones de manejo de boyas. Las argollas de elevación soportan cargas pesadas mientras están en servicio, lo que puede debilitar la soldadura y el metal que las rodea. El fallo de una argolla de elevación podría provocar heridas graves a la tripulación del buque o al personal de mantenimiento. Por lo tanto, es vital asegurar el correcto estado de uso de este componente crítico. Los dos métodos para conseguir esto son la realización de ensayos de carga y las inspecciones no destructivas (p. ej. el método de inspección con partículas magnéticas).

Los cascos de boya deben repararse o reemplazarse cuando el espesor de los mismos alcance el nivel mínimo admisible (que varía en función del diseño de la boya y la política de la Autoridad). El espesor del casco de la boya se puede medir fácilmente con un equipo de ultrasonido. Cualquier daño que penetre el casco se debe reparar. Igualmente, las abolladuras y pliegues se repararán, de manera que el casco de la boya vuelva a tener su forma original. Se realizarán pruebas de presión sobre los cascos de boya y los bolsillos de baterías que se hayan reparado, para asegurar la integridad de su estanqueidad al aire antes de pintarlos.

Los tubos doblados del contrapeso deben reemplazarse. Cuando sea necesario, las soldaduras en la unión del tubo con el cuerpo de la boya se deben inspeccionar y reparar, según proceda. Si no están en buen estado, las asas de amarre dobladas se deben enderezar o reemplazar. Hay que reparar o reemplazar los contrapesos, así como los pernos y fijaciones de los mismos.

Asimismo, deben enderezarse las patas dobladas del castillete. Los paneles del reflector de radar deben estar colocados a los ángulos establecidos en las especificaciones de diseño y, si fuese necesario, se enderezarán. La superficie de montaje de la linterna y su anillo se nivelarán paralelos a la línea de flotación. Es de gran importancia revisar/reparar las vías de acceso (escaleras, plataformas de trabajo, arneses de seguridad, etc.) para garantizar la seguridad y facilitar el acceso del personal de mantenimiento.

Se deben inspeccionar los cierres de los bolsillos de las baterías y reemplazar las juntas de estanqueidad. Se deben inspeccionar los tubos de ventilación por si sufrieran daños u obstrucciones que impidan el flujo de aire o permitan la inundación de los bolsillos de baterías, que se repararán o reemplazarán, según proceda. Se debe realizar una inspección de los tubos de ventilación que se cruzan dentro de los bolsillos de las baterías para localizar daños o obstrucciones que impidan el flujo de aire. Hay que asegurarse de que dichos tubos estén libres de granalla, escamas de pintura, suciedad o cualquier otro tipo de materiales ajenos.

Las argollas de amarre desgastadas deben repararse o sustituirse. Las argollas de amarre pueden repararse recreciéndolas a su tamaño original mediante soldadura, o insertando un casquillo. Si se ha elegido el recrecido de soldadura como método de reparación, se debe utilizar material de alta resistencia. Asegúrese de que este material sea compatible con los grilletes que se utilizarán cuando esté en servicio. Cuando se reemplace una argolla de amarre, hay que asegurarse de que las superficies de unión entre ésta y el casco de la boya se han preparado adecuadamente antes de realizar la soldadura.

Repare o reemplace los sistemas de protección catódica (p.ej. los ánodos). En todo tipo de reparaciones, asegúrese de que se aislen entre sí metales dispares en el montaje final para evitar la corrosión galvánica (p. ej. materiales diferentes con aislantes físicos o un medio de aislamiento).

### 1.1.4 Pintura

Asegúrese de que se implanten procedimientos de seguridad e higiene en el trabajo para la aplicación de sistemas de recubrimiento y que éstos se cumplan estrictamente. Se puede recabar información del fabricante sobre los requisitos específicos de seguridad e higiene en el trabajo de cualquier sistema de pintura.

Los operarios recibirán formación completa sobre el uso de todos los equipos, así como sobre la mezcla y aplicación de todos los tipos de pintura que utilizarán. Los fabricantes de pintura suelen estar dispuestos a organizar la formación de los operarios. Si los tipos de pintura se cambian, la formación se tendrá que actualizar.

La superficie a pintar reunirá las características siguientes: libre de óxido y desconchados, salvo pequeñas sombras, trazas o decoloraciones; libre de granalla, salpicaduras de soldadura y escoria; libre de pintura vieja, aceite, grasa y suciedad. Para lograrlo, puede que sea necesario realizar un chorreo de limpieza, secundario y ligero, justo antes de pintar, para asegurar que la superficie reúna las condiciones adecuadas.

Los tipos de recubrimiento varían de una Autoridad a otra, en función de la disponibilidad de productos, las condiciones de trabajo y el grado de protección medioambiental de la región. Además, cabe la posibilidad de que las partes de la boya fabricadas de diferentes materiales (como una superestructura de aluminio) necesiten una preparación especializada e imprimaciones. Existen varias opciones con respecto al uso y la eficacia de las pinturas que evitan las incrustaciones marinas y puede que las normas nacionales limiten los tipos a utilizar. Para los colores de los recubrimientos de superficie, véase la Recomendación n.º E108. Independientemente del tipo de recubrimientos utilizados, éstos deben ser productos de alto rendimiento, diseñados para su uso en un ambiente marino. Generalmente, las pinturas se aplican con brocha, rodillo o mediante pulverización, en función del área de la superficie a pintar y las instalaciones disponibles. Todas las pinturas aplicadas a una boya deben ser del mismo fabricante, ya que esto proporcionará la compatibilidad entre las diferentes manos de pintura, validará las garantías del fabricante y asegurará que la Autoridad reciba el apoyo adecuado para subsanar problemas y aumentar su productividad.

Siga las instrucciones del fabricante para la aplicación correcta del sistema de recubrimiento, cumpliendo con los límites de temperatura, humedad y punto de condensación; los tiempos de almacenamiento, mezclado y curado; y los requisitos específicos de los equipos y de las técnicas de aplicación. Todo trabajo de soldadura, mecanizado, corte, taladrado, formado o cualquier otra operación que pueda dañar el sistema de pintado se debe realizar con anterioridad. Los rincones agudos, cantos y otras zonas difíciles de pintar se deben recubrir antes de la aplicación de cada capa, para asegurar el espesor adecuado en tales zonas. Nota informativa: No pinte conexiones conductivas, tales como clavos anódicos de montaje o puntos de puesta en tierra.

Los métodos para manipular boyas recién pintadas se deben considerar con cuidado. Carece de sentido realizar un recubrimiento con pintura de alta calidad para después dañarlo a causa de una manipulación descuidada de la boya antes de que llegue al agua. Se pueden diseñar paletas que faciliten el traslado de las boyas con carretillas; de lo contrario, se tendrá mucho cuidado para evitar que los ganchos de las grúas dañen la pintura nueva. Si la boya se deja reposar en el suelo, los calzos se forrarán con cuidado, así como los cables de anclaje utilizados a bordo de un buque.

Una vez finalizada la pintura, coloque tanto las bandas reflectantes, letras y nombres, como los avisos de seguridad necesarios (p.ej. avisos de explosión en la caja de la batería).

## **1.2 Mantenimiento *in situ***

### **1.2.1 General**

Antes de comenzar los trabajos, desconecte la alimentación de energía a todos los equipos de la ayuda a la navegación que pudieran lesionar a los trabajadores o dañar los equipos (p. ej. bocinas de niebla, racones). Mientras se realicen trabajos en la boya, se debe tener cuidado para no dañar los equipos de señalización y de alimentación instalados en la boya. Antes de

desplegar la boya de nuevo, verifique que todos los equipos funcionan según las especificaciones.

#### 1.2.2 Eliminación de incrustaciones marinas

Las incrustaciones marinas pueden llegar a ser tan graves que se tendrá que elevar la boya y limpiarla a intervalos periódicos. No se deben retirar las incrustaciones marinas con raspadores mecánicos durante la visita de mantenimiento, porque causarán daños importantes en la película de pintura y acortarán la vida del sistema de pintura. Elimine las incrustaciones marinas con un chorro de agua a una presión adecuada que no dañe el sistema de pintura.

#### 1.2.3 Cascos

Las boyas se inspeccionarán para prevenir su inundación y evitar daños que puedan afectar a la integridad de su estanqueidad al agua. Puede ser necesario realizar cortes o soldaduras en el punto de fondeo para reparar este tipo de daños. Hay que extremar las precauciones por la posible presencia de gases combustibles en el casco. Antes de comenzar cualquier trabajo sobre un casco de acero que requiera calor (cortes o soldadura), retire los cierres del bolsillo de las baterías y compruebe si hay gases combustibles en ellos, empleando un medidor de gases combustibles o explosivos. Si se detectan gases combustibles, hay que purgar el casco con aire comprimido para desplazar la atmósfera combustible.

#### 1.2.4 Superestructura y apéndices

Los cierres de los bolsillos de las baterías se deben inspeccionar para identificar daños en los rebordes, las cubiertas, las bisagras o las juntas de estanqueidad. Las válvulas de ventilación se deben inspeccionar para asegurar que las bolas se mueven libremente. Las patas y pies del castillete se deben inspeccionar para detectar grietas y soldaduras rotas. Los brazos basculantes, pernos de amarre y argollas de amarre se deben inspeccionar para detectar desgastes. Cualquier problema con estas piezas debe repararse si fuera posible y, si no lo fuera, se tendrá que llevar la boya a tierra para su reparación. Repare o reemplace los sistemas de protección catódica (p.ej. los ánodos).

### 1.3 Pintura

La pintura completa de boyas en el punto de fondeo no es recomendable debido a los costes de materiales y de tiempo, además de la dificultad de cumplir con los requisitos ambientales para la adecuada aplicación de la pintura (p. ej. temperatura, humedad, etc.). Sin embargo, a veces se aplica una capa de retoque para restaurar el color apropiado de la señal diurna de la boya. Antes de pintar en el punto de fondeo, prepare la superficie de la boya con un cepillo de alambre, mediante el raspado o el chorro de agua a alta presión para eliminar tanta suciedad, óxido, deyecciones de ave, incrustaciones marinas, pintura suelta, grasa y sal como sea posible. Cuando se empleen estos métodos, se debe tener cuidado al retirar la pintura dañada, pero dejando las zonas de pintura sin dañar intactas. Si se lava con agua a alta presión, siga las recomendaciones del fabricante sobre los ajustes de presión para no dañar las capas subyacentes. La superficie se debe secar antes de proceder a pintar. Las superficies mojadas se secarán con aire comprimido o a mano con paños limpios. Siga las instrucciones del fabricante para la aplicación correcta de todas las pinturas. Asegúrese de que la pintura se haya curado apropiadamente de acuerdo con las recomendaciones del fabricante antes de desplegar la boya de nuevo en el agua.

## 2 BOYAS SINTÉTICAS

Las boyas sintéticas se pueden agrupar en cuatro categorías, basadas en su material principal de construcción: el plástico de vidrio reforzado (GRP), la espuma cubierta de polietileno, la espuma cubierta de poliuretano (elastómero) y la espuma consistente. Cada una de ellas se comenta a continuación. Hay orientación disponible sobre el diseño y utilización de estos tipos de boyas en la Guía n.º 1006 de la IALA sobre las Boyas sintéticas. Por lo general, el mantenimiento de estas boyas se realiza en tierra. El mantenimiento en el punto de fondeo se suele limitar a la eliminación de incrustaciones marinas, reparaciones menores y, quizás, algunos retoques de pintura para restaurar el color de la señal. Los componentes de

acero/aluminio de todos los tipos de boyas sintéticas necesitarán pintarse o aplicar un tratamiento galvanizado y, en el caso de argollas de amarre, reparaciones de superficie. Se realizará un control regular de la estructura interna de carga para garantizar la seguridad de manipulación, ya que los componentes pueden sufrir corrosión, fatiga o daños de abrasión.

Las boyas sintéticas vienen provistas de una gama muy amplia de configuraciones de argollas de elevación, en función del diseño específico de las mismas. La integridad de estas argollas es vital para la seguridad de las operaciones de manipulación de boyas. Se recomienda que las Autoridades dispongan de procedimientos de ensayo que comprueben el estado correcto de estos componentes a lo largo de la vida útil de la boya. Las instrucciones del fabricante se consultarán para la información sobre los procedimientos adecuados de ensayo.

Si los trabajos de mantenimiento se realizan en el punto de fondeo, primero hay que desconectar la alimentación de energía de todos los equipos de la ayuda a la navegación que pudieran lesionar a los trabajadores o dañar los equipos (p. ej. bocinas de niebla, racones). Mientras se realicen trabajos en la boya, se debe tener cuidado de no dañar los equipos de señalización y de alimentación instalados en la boya. Antes de desplegar la boya de nuevo, compruebe que todos los equipos funcionan de acuerdo con las especificaciones.

## **2.1 Plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP)**

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. La reparación del GRP suele ser sencilla, pero requiere unas normas de limpieza y altas temperaturas de trabajo que pueden ser difíciles de conseguir. En climas fríos, puede ser difícil el secado efectivo de láminas o núcleos dañados. Puede ser necesario el uso de calentadores de infrarrojo para calentar y secar las zonas dañadas, así como para asegurar el curado efectivo de la reparación. La utilización de resinas y disolventes de laminación está sujeta a un control cada vez mayor por las normas de seguridad e higiene en el trabajo.

### **2.1.1 Reparación del casco**

Cuando una boya ha estado en servicio un largo periodo de tiempo, la imprimación empezará a deteriorarse por la exposición a la radiación ultravioleta (UV). También pueden producirse la pérdida del brillo y el calcinado, que lentamente deteriora la superficie y la convierte en polvo. El pulido con cera marina puede retardar dichos efectos, pero, sin embargo, puede que sea necesario un sistema de pintura para proteger la imprimación y dar el necesario acabado brillante del color. Si la imprimación tiene rozaduras extensas, desconchados, ampollas o burbujas, se tendrá que eliminar mediante el granallado. Este trabajo lo debe realizar personal experto para evitar daños a la estructura de fibra de vidrio de la boya. Posteriormente, se lavará la boya con agua dulce a presión, dejando que se seque por completo en condiciones controladas de temperatura y humedad. Después, se aplican recubrimientos de resinas epóxicas libres de disolventes, también en condiciones controladas, para formar una barrera impermeable de la moldura de GRP. Suelen ser necesarias cinco o seis capas y, a continuación, éstas se podrán recubrir con capas de color, ahí donde sea necesaria una señal de color en la boya. En los siguientes párrafos se dan consejos adicionales sobre la pintura.

### **2.1.2 Pintura**

Antes de pintar, se tendrá que preparar la superficie para asegurar que el sistema de recubrimiento se adhiera correctamente. Durante el proceso de fabricación, se emplean agentes especiales que permiten que la boya se pueda desprender de su molde. Es fundamental eliminar dichos agentes antes de proceder a la pintura. Se deberá lavar la boya con un desengrasante, que se puede obtener del fabricante de la pintura. Este desengrasante se deja sobre la superficie de la boya durante unos 10-20 minutos y, posteriormente, se elimina mediante un lavado con agua. La superficie se debe lavar una vez más con agua dulce. Si la superficie se encuentra completamente libre de grasa, el agua se distribuirá de manera uniforme por la superficie de la misma. Si, por el contrario, aún queda grasa en la superficie, se formarán pequeñas gotas, que indican la necesidad de un lavado adicional con el desengrasante. Cualquier grieta menor e imperfección se podrá rellenar con una masilla de

resina epóxica. Se deben utilizar sólo masillas de resina epóxica, para garantizar la adhesión a largo plazo y la resistencia al agua. Para asegurar una buena adhesión de la pintura, la superficie se lijara con un papel abrasivo de grano fino. Si lo que se requiere es un acabado muy brillante, se podrá emplear tanto el papel de lijar en mojado como en seco. Todo el polvo de lijado se eliminará antes de proceder a la pintura.

Para la mejor protección a largo plazo, se debe aplicar una mano de imprimación de resina epóxica antes de la capa del acabado elegido. Si la superficie está en muy buenas condiciones, no será necesario aplicar una imprimación, ya que la capa debajo de la pintura proporcionará la adhesión necesaria. Si la superficie ha sufrido el calcinado, podrá absorber los solventes del sistema de pintura, lo que causaría un problema de formación de micro ampollas en una fecha posterior. Para evitarlo, se debe aplicar un sistema de imprimación a base de resina epóxica a la superficie, que la sellará y proporcionará una base estable para el sistema de pintura. Las partes sumergidas de la boya, que no forman parte del color de la marca diurna, se pueden pintar con al menos tres capas de un sistema submarino de resinas epóxicas que crearán una barrera de agua para la estructura de GRP. Todas estas pinturas pueden aplicarse con brocha, rodillo o mediante pulverización, en función del área de la superficie a pintar y las instalaciones disponibles.

Todos los recubrimientos serán productos de alto rendimiento, diseñados para su uso en ambientes marinos. Todas las pinturas aplicadas a una boya deben ser del mismo fabricante, ya que esto proporcionará la compatibilidad entre las diferentes manos de pintura, validará las garantías del fabricante y asegurará que la Autoridad reciba el apoyo adecuado para subsanar problemas y aumentar la productividad. Siga las instrucciones del fabricante para la aplicación correcta del sistema de recubrimiento, cumpliendo con los límites de temperatura, humedad y punto de condensación; los tiempos de almacenamiento, mezclado y curado; y los requisitos específicos de los equipos y de las técnicas de aplicación. Asegúrese de que se implanten procedimientos de seguridad laboral para la aplicación de sistemas de recubrimiento y que éstos se cumplan estrictamente.

## **2.2 Polietileno**

Las boyas de este tipo se suelen fabricar por el moldeo rotacional.

### **2.2.1 Reparación del casco**

En función de la gravedad de los daños, la superficie de polietileno se reparará mediante la soldadura con aire caliente (también conocida como soldadura de fusión caliente). Otra opción consiste en reparar la superficie de la boya mediante la pulverización por llama del nuevo plástico en la superficie de la moldura original. Esta técnica implica el uso de un sistema de pulverización que pulverice el polvo de plástico a través de una llama de gas para depositar una capa de plástico fundido, permitiendo que se pueda acumular un grosor considerable, según proceda.

Las boyas sintéticas de grandes dimensiones suelen ser de construcción modular. Por lo tanto, se pueden recuperar las partes que todavía estén en buen estado, y volver a utilizarlas posteriormente para reparar las partes dañadas de otras boyas y así alargar su vida útil. Los fabricantes pueden ofrecer otras opciones de reparación. En términos generales, el plástico se puede reciclar.

### **2.2.2 Pintura**

La pintura de las boyas de polietileno puede suponer un desafío debido a sus problemas de adhesión en la superficie, porque el polietileno es por naturaleza resbaladizo. Se han obtenido resultados aceptables cuando la superficie de plástico se desgasta con papel de lija o mediante un tratamiento de llama, para después pintarla con el recubrimiento apropiado. La eficacia de este proceso puede variar en función de la calidad del polietileno usado en la fabricación de la boya. El proceso de pulverización con llama descrito en el párrafo 3.2.1 se puede utilizar

también para restaurar o cambiar el color de las boyas sintéticas. Además, se pueden emplear láminas de vinilo adhesivo para las marcas especiales.

### **2.3 Espuma cubierta de poliuretano**

Estas boyas se componen de una superficie gruesa y flexible de elastómeros de poliuretano marino que recubren un núcleo flexible de espuma de células cerradas. El poliuretano se puede reparar mediante la mezcla de dos componentes o compuestos con mezcla de fibras. Son fundamentales unas condiciones adecuadas de trabajo (temperatura y humedad) y se tendrán que cumplir estrictas normas de seguridad e higiene en el trabajo.

### **2.4 Espuma consistente**

Estas boyas suelen construirse envolviendo el núcleo estructural central con una espuma de células cerradas. Las capas de espuma se sellan entre sí con calor durante el proceso de envolvimiento. Para esta aplicación, un material característico es la espuma de resina de ionómero.

En general, las boyas de espuma requieren muy poco mantenimiento. Una boya con casco de espuma puede sufrir daños considerables o pérdidas de material sin hundirse y, aún así, proporcionará una señal correcta al navegante. Los cortes, los desgarros, las incisiones, las trituraciones o, incluso, la pérdida de trozos de espuma raras veces afectarán al rendimiento de la boya. Con el tiempo, las boyas de espuma perderán su color a causa de la decoloración, el calcinado, la exposición al sol y la acumulación de materiales ajenos (sal, suciedad, deyecciones de ave, etc.). Por lo general, el lavado de la superficie de la boya con agua a alta presión es suficiente para restaurar el color adecuado. Con el tiempo, las piezas de metal de una boya de espuma se deteriorarán debido a la corrosión y el desgaste normal y, en ocasiones, se podrán dañar por colisión. Las consideraciones principales son si las piezas de metal son capaces de seguir dando integridad a la boya y si la boya sigue siendo segura para poderse elevar y manipular.

Para conseguir el menor coste posible durante la vida útil de estas boyas, se deben mantener en el punto de fondeo el máximo tiempo posible, siempre y cuando se puedan reparar y continúen ofreciendo la señal adecuada al navegante. Es decir, las piezas de acero deben estar intactas, la boya debe ser segura para su manipulación y el color debe ser reconocible; las marcas deben ser identificables como cilíndricas o cónicas; y la boya debe tener la estabilidad y francobordo suficientes para proporcionar el alcance visual necesario de la ayuda. Si la boya no logra cumplir con uno o más de estos requisitos, se retirará y eliminará. Como estas boyas son de construcción modular, se podrán salvar partes de ellas, si todavía están en buen estado, y volver a utilizarlas posteriormente para reparar las partes dañadas de otras boyas y así alargar su vida útil. El fabricante de la boya ofrecerá otras opciones de reparación y reciclaje.

## **3 MATERIALES DISPARES**

Siempre que sea posible, se utilizarán materiales y anclajes compatibles en términos electroquímicos para las reparaciones, ya que las diferencias de potencial eléctrico, incluso las muy sutiles, pueden producir problemas graves de corrosión. Por ejemplo, la corrosión se producirá incluso entre el hierro fundido y el acero dulce. Si se tienen que emplear materiales dispares, se debe tener cuidado de aislarlos para evitar la corrosión galvánica, mediante el uso de elementos de aislamiento de plástico, como arandelas de plástico entre materiales dispares y también entre los anclajes y la estructura. Otra alternativa consiste en emplear anclajes recubiertos de plástico. Cuando sea inevitable el contacto entre materiales dispares, puede que sea necesario emplear un sistema de protección catódica para disminuir la corrosión galvánica.

## **4 LAVADO**

Cada vez que se inspeccione o repare una ayuda, se realizará un lavado. El lavado incluye todas las acciones necesarias para mantener el color de la señal; para eliminar incrustaciones marinas con objeto de mantener el color; para reducir el arrastre o peso de una ayuda flotante a la navegación; y para eliminar de las linternas y paneles fotovoltaicos la sal, la suciedad o las deyecciones de ave. Los equipos modernos de lavado a presión son particularmente adecuados para realizar dichos procesos *in situ*, ya que pueden eliminar todos los contaminantes, sin introducir disolventes o detergentes en el medio ambiente. Hay que tener cuidado para utilizar las presiones correctas de agua, ya que una presión excesiva puede derivar en la eliminación de capas de pintura, daños a los paneles fotovoltaicos, la eliminación de cemento en las estructuras y otros problemas similares. Aunque las incrustaciones marinas también pueden eliminarse mediante el raspado manual de las boyas, el sistema de recubrimiento podría dañarse fácilmente, y, siempre que sea posible, se debe evitar.

## **ANEXO 2 TRENES DE FONDEO**

### **1 INTRODUCCIÓN**

La vida útil de un tren de fondeo (la cadena, el cabo, los grilletes, los giratorios, los muertos, las anclas) dependerá de las condiciones locales de funcionamiento, es decir: el estado del mar, la profundidad del agua, el tipo de fondo, la presencia de partículas abrasivas en el agua, la velocidad de la corriente, etc. El desgaste más rápido se producirá en la zona de roce (o de borneo), donde la cadena se topa con el fondo marino. La Autoridad debe programar el izado y sustitución de los componentes desgastados para mantener el funcionamiento seguro del tren de fondeo, o la retirada del tren de fondeo entero antes de que se desgaste a niveles que comprometan la seguridad. La información histórica es de suma importancia para pronosticar la vida útil de los trenes de fondeo en ubicaciones específicas.

### **2 CADENA**

Una cadena de fondeo consiste en tres partes: el tramo de cadena suspendida; el tramo de roce (o de borneo), que se mueve sobre el fondo del mar siguiendo el movimiento de la boya; y el tramo durmiente, que yace sobre el fondo del mar. Al ser la sección de roce la que suele experimentar el mayor desgaste, este tramo es el más importante de inspeccionar. Dependiendo del periodo de tiempo entre las inspecciones del tren de fondeo y de la severidad ambiental, es conveniente sacarlo a flote para inspeccionarlo al completo. Al inspeccionar la cadena, es importante saber en qué estado de desgaste se encontraba durante la última inspección del tren de fondeo. El desgaste anual de un punto de fondeo de una boya en particular se calculará llevando un registro de las mediciones de la cadena en cada inspección. Dicha información se utilizará para planificar la frecuencia de las inspecciones que requerirá un punto concreto de fondeo de boya.

Para inspeccionar el desgaste de la cadena, se miden las partes menos gruesas de los eslabones más desgastados, utilizando un calibre. Habrá que reemplazar la cadena si se ha desgastado al diámetro mínimo utilizable para el tipo boya en el punto de fondeo, o si cualquiera de los eslabones se ha deformado, estirado, doblado o torcido.

Al reemplazar tramos de cadena desgastada, se debe retirar una longitud suficiente de cadena a ambos lados del tramo desgastado para asegurarse de que los grilletes no se monten en el tramo de roce cuando se enganche la cadena de reemplazo al tren de fondeo. Si un tren de fondeo tiene longitud suficiente y sólo se desgasta una sección corta de cadena, quizás se pueda retirar la sección desgastada y unir el tramo suspendido con el tramo durmiente sin añadir cadena nueva. Si las condiciones lo permiten, se pueden cortar e invertir o bien el tren de fondeo entero o bien ciertas secciones de la cadena. Esta acción pondrá la cadena “buena” en el tramo de roce y desplazará la cadena desgastada a una sección de menos desgaste, como el tramo suspendido o durmiente. Este método se puede utilizar cuando la cadena que está desgastada, pero no hasta el extremo de aplicarlo cuando haga falta sustituirla. Una cadena desgastada por debajo del diámetro utilizable para un determinado tipo de boya se puede reutilizar en otra boya que requiera un tamaño menor.

### **3 CABO SINTÉTICO**

Algunas Autoridades utilizan cabo sintético fabricado con gran variedad de materiales, tales como el nylon, el poliéster, el polipropileno y otras fibras avanzadas. Sea cual sea el material utilizado, hay que considerar varios factores sobre el uso y conservación de estos amarres, siendo éstos la necesidad de descripciones adecuadas para cada tipo de material, las especificaciones de terminación, los procedimientos de manipulación y de equipamiento, y el diseño del sistema de fondeo. Se debe tener en cuenta que los cabos sintéticos se deterioran a causa de la radiación ultravioleta y se considerará, por lo tanto, el almacenamiento a largo plazo en lugares protegidos.

La seguridad del personal es una preocupación primordial cuando se usen amarres sintéticos. La energía almacenada en el cabo cuando está bajo tensión puede ser considerable y se tendrán que adoptar las precauciones adecuadas para asegurarse de que ninguna persona se halle en una zona que pueda verse barrida por el extremo de un cabo roto.

La rozadura y los cortes son los mayores peligros de un tren de fondeo de cabo. Es fácil comprobar que un cuchillo afilado corta el cabo por cualquier parte sin dificultad, y que cualquier borde afilado presente en las rocas, las conchas marinas o el propio cabrestante del buque de mantenimiento pueden causar daños permanentes a la superficie del cabo. Permitir que el cabo resbale por el tambor del cabrestante o izarlo a través de una guía inapropiada no sólo puede tener como resultado un daño abrasivo, sino también quemaduras localizadas hasta el punto de fundir la fibra de la superficie del cabo, resultando en una debilitación significativa. Además, el cabo puede debilitarse debido a la entrada de agua o incrustaciones marinas en el punto de fondeo.

Al sacar a flote un cabo de fondeo para su retirada o inspección, hay dos aspectos que merecen especial atención:

- Cualquier guía por la que se deslice el cabo debe tener un diámetro suficiente para el cabo utilizado, además de ser de rodillo y no tener bordes afilados.
- El cabrestante debe estar diseñado para el manejo de cabos e impedir a que resbalen por el tambor del cabrestante cuando estén en tensión de carga.

Los molinetes convencionales pueden ser capaces de recuperar un cabo de amarre. Sin embargo, su tendencia a dejar que el cabo se resbale sobre el tambor del molinete puede resultar en un calentamiento excesivo que dañe el cabo. La mejor técnica consiste en utilizar cabrestantes de bobinado, donde el cabo se bobina en torno a un gran tambor giratorio. Esta técnica, sin embargo, se ve limitada por la longitud del cabo y, en consecuencia, por el número de cabos de fondeo que pueda llevar el tambor en cada momento. Si se van a tener que manejar muchos cabos de fondeo, el mejor método será utilizar un cabestrante especializado para izar cabos, que se puede instalar en el borde de la embarcación para que el cabo vaya directamente al cabrestante sin necesidad de guía. El cabestrante consiste en un juego de grandes ruedas de caucho, que presionan el cabo sin dañar la fibra de la superficie. Por lo general, el cabo sólo pasa sobre un segmento de la rueda de izado, en vez de bobinarse en torno a un tambor, de manera que se puede colocar o retirar del cabrestante, según proceda. Este tipo de cabrestante, colocado al borde de la cubierta, tiene también la ventaja de que no hay cabo bajo tensión que pase por la cubierta de la embarcación, lo que sería un gran peligro en caso de rotura.

Se pueden incorporar anillas o grilletes de manipulación al cabo, permitiendo así que el cabestrante de cubierta ize el tren de fondeo por secciones.

Deben consultarse las instrucciones del fabricante sobre el montaje, funcionamiento, inspección y conservación del cabo y sus terminaciones (p. ej. los guardacabos y empalmes).

#### **4 ELEMENTOS DE CONEXIÓN.**

Se reemplazarán los grilletes y giratorios excesivamente desgastados, deformados, estirados, doblados o torcidos. Los giratorios que se agarroten y no giren también se reemplazarán.

#### **5 PESOS MUERTOS O PLOMADAS**

Generalmente, los pesos muertos se fabrican de hormigón, hierro fundido y acero colado. Con independencia del tipo de material utilizado, el eslabón más débil será la argolla de fondeo. Si las argollas de fondeo se han desgastado hasta llegar a niveles inseguros, se deben reparar o reemplazar o, como alternativa, se sustituirá el muerto entero. Es de suma importancia que los materiales utilizados para reparar la argolla de fondeo sean compatibles con el grillete de conexión y tengan una dureza similar.

## **6 MATERIALES DISPARES**

Siempre que sea posible, se utilizarán materiales y anclajes compatibles en términos electroquímicos para las reparaciones, ya que las diferencias de potencial eléctrico, incluso las muy sutiles, pueden producir problemas graves de corrosión. Por ejemplo, la corrosión se producirá incluso entre el hierro fundido y el acero dulce. Si se tienen que emplear materiales dispares, se debe tener cuidado de aislarlos para evitar la corrosión galvánica, mediante el uso de elementos de aislamiento de plástico, como arandelas de plástico entre materiales dispares y también entre los anclajes y la estructura. Otra alternativa consiste en emplear anclajes recubiertos de plástico. Cuando sea inevitable el contacto entre materiales dispares, puede que sea necesario emplear un sistema de protección catódica para disminuir la corrosión galvánica.

## **7 LAVADO**

Cada vez que se inspeccione o repare una ayuda, se realizará un lavado. El lavado incluye todas las acciones necesarias para mantener el color de la señal; para eliminar incrustaciones marinas con objeto de mantener el color; para reducir el arrastre o peso de una ayuda flotante a la navegación; y para eliminar de las linternas y paneles fotovoltaicos la sal, la suciedad o las deyecciones de ave. Los equipos modernos de lavado a presión son particularmente adecuados para realizar dichos procesos *in situ*, ya que pueden eliminar todos los contaminantes, sin introducir disolventes o detergentes en el medio ambiente. Hay que tener cuidado para utilizar las presiones correctas de agua, ya que una presión excesiva puede derivar en la eliminación de capas de pintura, daños a los paneles fotovoltaicos, la eliminación de cemento en las estructuras y otros problemas similares. Aunque las incrustaciones marinas también pueden eliminarse mediante el raspado manual de las boyas, el sistema de recubrimiento podría dañarse fácilmente, y, siempre que sea posible, se debe evitar

## **ANEXO 3 ESTRUCTURAS**

### **1 INTRODUCCIÓN**

Este apartado proporciona orientación sobre la evaluación del estado físico de pequeñas estructuras de ayuda a la navegación (para el mantenimiento de faros, véase la Guía n.º 1007, sobre el Mantenimiento de faros). El propósito es evaluar la integridad estructural de la ayuda para asegurar las condiciones de seguridad del personal de mantenimiento que deba atenderla y para identificar posibles reparaciones necesarias. Se debe tener en cuenta que las estructuras podrían estar situadas en zonas donde haya insectos y animales peligrosos, así como plantas venenosas. Por lo tanto, se tomarán las precauciones adecuadas cuando se acceda a tales zonas. Las estructuras también pueden estar situadas en zonas ecológicas frágiles o lugares de con flora o fauna protegidas. La Guía de la IALA n.º 1036 sobre las Consideraciones medioambientales de la ingeniería de las ayudas a la navegación proporciona más orientación al respecto. También se hará un seguimiento de las condiciones meteorológicas para garantizar la seguridad del personal. Nota informativa: Algunas Autoridades pueden requerir que el personal encargado de trepar por estas estructuras esté formado o tenga certificaciones, y/o que exista un certificado de que la propia torre es segura para trepar (sobre todo para las torres de celosía).

### **2 EVALUACIÓN DE ESTADO GENERAL**

Los puntos que se deben inspeccionar para obtener una impresión general del estado de la estructura y de que la estructura es segura para trepar, antes de proceder a una evaluación más completa, son los siguientes:

Hay que comprobar la alineación horizontal y vertical. ¿Está la estructura fuera de plomo? ¿Hay algún componente vertical que parezca estar doblado o mal alineado? ¿Vibra la estructura o se mueve cuando atraca un barco contra ella? ¿Se tuerce la estructura por las olas o ráfagas de viento? ¿Hay señales de daño causadas por el impacto de barcos, hielo, troncos u otros restos? ¿Es el agua por debajo de la estructura más/menos profunda que en el diseño original, o más/menos profunda que en la previa inspección?

También se comprobará si hay corrosión en las escaleras; escalones rotos, doblados o perdidos; montajes y conexiones rotas o en mal estado; o fallos en los sistemas de seguridad para evitar caídas. ¿Está la escalera mal alineada? ¿Vibra o se mueve la escalera con la corriente o las olas, o cuando atraca un barco contra ella? Se debe comprobar si hay corrosión o aflojamiento de pernos, indicada por marcas de desgaste por el movimiento de elementos, una mala alineación de superficies de unión y el aflojamiento o distorsión de elementos estructurales. Los tornillos flojos se suelen mover si se les golpea con un martillo.

De igual manera, se debe verificar la extensión de corrosión de los elementos de acero en las zonas de salpicadura. Se golpeará con un martillo la corrosión de la superficie para eliminar los subproductos de la misma y dejar el acero subyacente al aire. La eliminación de la corrosión no afectará a la integridad estructural y permitirá que se vean los defectos graves de la corrosión.

Hay que revisar la continuidad del sistema de protección de la iluminación.

### **3 PILOTES**

#### **3.1 Madera**

Tradicionalmente, se han utilizado elementos de madera para la construcción y conservación de estructuras debido a su disponibilidad, economía y facilidad de manejo frente a otros materiales de construcción. Los daños a la madera lo causan la putrefacción/deterioro a causa de hongos, organismos marinos perforadores e insectos, así como la corrosión de conexiones, el aflojamiento de tornillos y la abrasión.

Hay que revisar la parte superior de los pilotes para identificar daños físicos, pudrición e infestación de carcoma u otras plagas, así como para determinar la extensión del deterioro.

Compruebe si hay pilotes agrietados, putrefactos o desgastados, así como elementos de unión desgastados. Examine los pilotes en la zona de mareas para identificar daños causados por organismos marinos perforadores. La zona de mareas está situada entre las marcas de pleamar y bajamar y es la zona con más probabilidades de sufrir daños. Se limpiarán las incrustaciones marinas adheridas a la madera, hasta dejarla desnuda para comprobar el estado de la superficie. Se golpearán los pilotes con un martillo y se insertará con cuidado una herramienta punzante (como por ejemplo un picador de hielo) para detectar la putrefacción interna y la madera blanda.

Revise la viga por si hay daños debido a cargas excesivas o impactos. Revise la alineación del pilote y el mástil. Si la ayuda es una estructura de múltiples pilotes, revise que los pilotes se inclinen los unos hacia los otros de una manera uniforme. ¿Está el mástil fuera de plomo?

También se inspeccionarán, por si hay corrosión, los cierres de acero, incluidos los tornillos, pasadores de movimiento y cables. Normalmente, los corchetes de acero empotrados en la madera mojada se corroe más rápidamente en la parte que queda dentro de la madera y es posible que la corrosión no se detecte con una inspección visual. Por tanto, se golpeará con un martillo el final de los tornillos para verificar que no haya corrosión en el interior. A menudo se usa alambre para envolver las estructuras compuestas de grupos de pilotes de madera, a fin de mantener juntas las cabezas de los mismos. Dicho alambre se corroe con más rapidez en el interior que en el exterior y puede poner en peligro la estructura, incluso cuando el exterior del alambre sólo parezca ligeramente corroído.

### **3.2 Acero**

El acero se usa en la construcción de estructuras de ayuda a la navegación debido a la facilidad de conexión, fabricación y empalmado, así como por su ductilidad y la capacidad de hincar pilotes de acero en terreno duro. Hay seis tipos importantes de deterioro en estructuras de acero situadas en ambiente marino: la corrosión y la pérdida de recubrimiento; la abrasión; el aflojamiento de conexiones estructurales y pérdida de tornillos; la fatiga (soldaduras rotas o resquebrajadas); la carga excesiva; y la pérdida de material de los cimientos.

Hay que realizar una revisión para identificar los indicios de corrosión, tales como el óxido, las escamas y los agujeros, sobre todo en la zona de la salpicadura y debajo del nivel del agua. Se golpeará con un martillo la corrosión de la superficie para dejar el acero subyacente expuesto para su inspección. El espesor de los elementos de acero se puede medir fácilmente con un equipo de ultrasonido. Inspeccione el estado del sistema de protección catódica.

Hay que hacer revisiones para identificar deformación, distorsión o desviación. Revise también para identificar la abrasión indicada por una apariencia desgastada, lisa o pulida. Se inspeccionarán las soldaduras por si hubiera signos de corrosión, agrietamiento o rotura.

Inspeccione el recubrimiento por si hay desprendimientos, ampollas, etc. Revise los cimientos por si hay pérdida de material y/o socavones.

### **3.3 Hormigón**

El hormigón reforzado es un material de construcción que se emplea en las estructuras de ayuda a la navegación debido a su coste relativamente bajo y su durabilidad. La durabilidad del hormigón en el ambiente marino depende mucho de la calidad de la mezcla utilizada. No es raro encontrar estructuras de hormigón relativamente nuevas en malas condiciones, mientras que las estructuras más viejas adyacentes están en buenas condiciones. El deterioro del hormigón se manifiesta de las siguientes formas: corrosión del acero de refuerzo; desgaste por abrasión, que sólo suele ser importante en el hormigón de mala calidad; deterioro químico acelerado por la exposición continua al agua salada, resultando en un hormigón blando (que se puede desmenuzar a mano o con herramientas manuales); desconchados y/o roturas con manchas de óxido, que normalmente indican que el acero de refuerzo se está corroyendo; una carga excesiva, indicada por agrietamiento, desconchados o roturas en el hormigón; y el encogimiento con agrietamiento.

Se realizará una inspección para identificar agrietamiento, desconchados, corrosión del acero de refuerzo y signos visuales de manchas de óxido. Las barras sólidas de refuerzo son mucho

más tolerantes a la corrosión que el hilo pretensado (incluido el cable de alambre de alta resistencia).

Verifique si hay pruebas de deterioro químico, abrasión por desgaste y daños debidos a cargas excesivas. Haga sonar los pilotes con un martillo para detectar capas sueltas de hormigón o delaminación. Un sonido resonante y agudo indica que el hormigón está en buen estado. Una superficie blanda se detecta no sólo por un cambio de sonido, sino también por un cambio en la forma de rebotar del martillo y la sensación que produce. Un sonido sordo o hueco indica la delaminación de la capa de hormigón, probablemente debido a la dilatación del acero interior de refuerzo por la corrosión. El hormigón delaminado y suelto se retirará para inspeccionar la magnitud de la corrosión de los refuerzos subyacentes.

## **4 OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

### **4.1 Mampostería**

Las estructuras de mampostería de piedra se construyen con muchos tipos diferentes de configuraciones de bloques de piedra, tanto bloques irregulares de piedra, como de piedra cortada de forma rectangular. La mampostería de bloques de hormigón prefabricados suele emplear bloques rectangulares, que estarán o no reforzados. Los bloques pueden estar unidos mediante trabazones de hierro o de acero, o con grandes grapas de acero. La corrosión de las trabazones de unión puede ocasionar que los bloques se desprendan de la estructura. Las uniones entre los bloques se pueden dejar abiertas (construcción de mampostería en seco) o se pueden rellenar con mortero (uniones rejuntadas).

Hay que verificar si faltan bloques o si hay bloques desplazados –por lo general a causa del deterioro del mortero–, pérdida de la acuñación de piedra o corrosión en las trabazones de hierro o acero entre los bloques. Revise si hay movimientos de muro, normalmente indicados por un desajuste en la alineación vertical y/o horizontal en una parte de la estructura de mampostería, que varía con respecto a los planos de diseño o las partes adyacentes de la estructura. ¿Se arquea hacia afuera una parte de un muro originalmente recto? ¿Se ha asentado una parte de la estructura?

En la página web de Departamento de Parques de Estados Unidos (*United States Parks Department*): <http://www.cr.nps.gov/maritime/handbook.htm>, hay información detallada sobre la inspección y reparación de estructuras de mampostería.

### **4.2 Metales no féreos**

La estructura de las ayudas a la navegación puede fabricarse de aluminio marino, de acero inoxidable o de una combinación de ambos. Además, estos metales también se emplean para las partes secundarias de las estructuras, tales como plataformas, mástiles de marcas diurnas, anclajes de paneles solares y barandas de protección.

Con respecto al aluminio, se comprobará si hay corrosión, sobre todo si el aluminio está en contacto directo con el acero, el hormigón o el mortero. El aluminio debe separarse de estos materiales, utilizando a menudo separadores de plástico. Revise si existe abrasión y desgaste, ya que el aluminio es mucho más blando que el acero y se desgastará si se desliza contra otros objetos. Verifique si hay soldaduras resquebrajadas.

### **4.3 Plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP)**

Muchas formas estructurales, escaleras de mano y rejas están disponibles en compuestos de fibra de vidrio, que pueden satisfacer bien las necesidades de las estructuras de las ayudas a la navegación.

Se debe comprobar si hay algún elemento roto. El GRP es propenso a daños por impacto, particularmente en condiciones extremas de frío o calor, y al envejecimiento tras una exposición prolongada a la radiación ultravioleta. Verifique si hay conexiones sueltas. Los elementos del GRP se suelen unir con tornillos de acero inoxidable, que pueden aflojarse con el tiempo. Verifique si hay daños en el acabado de la superficie. El desgaste y la radiación

ultravioleta pueden deteriorar el acabado de la superficie, lo que puede conducir al astillamiento de la fibra de vidrio y suponer un riesgo para el personal de mantenimiento.

La reparación de estructuras de fibra de vidrio en ubicaciones remotas se realizará con sistemas de resina de poliéster, éster y epóxicas. Las reparaciones con resina epóxica son más fuertes y exotérmicas por naturaleza, debiéndose recubrir para evitar daños en la zona reparada a causa de la radiación ultravioleta. La deslaminación de núcleos de espuma hasta las láminas se puede reparar mediante el vertido de resina epóxica en el hueco entre el núcleo y la lámina de la superficie. Al reparar sistemas de resinas mixtas, se debe extremar la precaución. Las resinas epoxicas se adherirán sobre resinas de éster de vinilo y poliéster. Sin embargo, es posible que las resinas de éster de vinilo y poliéster no se curen sobre reparaciones hechas con resina epóxica.

Hay zonas estructuralmente débiles, tales como las esquinas de puertas o aperturas de trampillas en torres de GRP, que se deben reparar para que recobren su grosor y solidez originales. Se eliminará cualquier grieta en la lámina antes de proceder a una reparación con mallas de GRP y resina. Los daños menores a la imprimación se pueden reparar mediante el lijado de la zona dañada y, después, recubriéndola de nuevo con imprimación.

#### **4.4 Plástico**

En las estructuras de ayuda a la navegación se usan varias calidades de plásticos derivados del polietileno. Éstos pueden estar en forma de láminas en las defensas de la estructura frente a los buques, así como en pilotes de polietileno, con o sin refuerzo interior. En la actualidad, el refuerzo interior es principalmente de barras de refuerzo de fibra de vidrio, aunque se ha utilizado también el acero reforzado.

Verifique si hay algún elemento roto o dañado. Los plásticos son propensos a daños por impacto, particularmente en condiciones extremas de frío o calor, y al envejecimiento tras una exposición prolongada a la radiación ultravioleta. Verifique si cruje, pues puede ser el resultado del propio proceso de fabricación o de la corrosión del acero reforzado interno. Verifique si hay conexiones atornilladas sueltas.

## **4.5 Caucho**

Hay varios tipos de caucho que se usan a menudo en los cintones de defensa de las estructuras de ayuda a la navegación. El caucho se deteriorará con el tiempo después de una exposición prolongada a la radiación ultravioleta, el ozono o el petróleo. El ozono y la radiación ultravioleta producirán una superficie endurecida, y el caucho se resquebrajará con el tiempo. La exposición al petróleo hinchará y ablandará muchos tipos de caucho. El deterioro del caucho debe supervisarse en cada inspección y las partes dañadas se reemplazarán. Revise si hay señales de deterioro del caucho (endurecimiento, resquebrajamiento, abultamiento, ablandamiento).

## **5 COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA**

### **5.1 Escaleras**

Verifique si hay corrosión, roturas, inclinación, o escalones perdidos en las escaleras. Compruebe la alineación horizontal y vertical. ¿Está mal alineada la escalera? ¿Vibra o se mueve la escalera con la corriente o las olas, o cuando atraca un barco contra ella? ¿Hay señales de daño causadas por el impacto de barcos, hielo, troncos u otros restos?

Verifique si hay conexiones corroídas, sueltas o con fallos. Los tornillos sueltos se pueden localizar por las marcas de desgaste de elementos móviles, la mala alineación de superficies y distorsiones en la escalera. Si las arandelas se mueven, significa no hay tensión en los tornillos para fijar los elementos. Inspeccione las señales de corrosión, agrietamiento o rotura de las soldaduras. Si la escalera ha sufrido una deformación a causa de un impacto, las soldaduras adyacentes de los escalones y elementos de sujeción también pueden haberse agrietado. Compruebe también el estado de las defensas de la escalera.

Si la escalera viene equipada con un dispositivo de seguridad o sistema de detención de caída, debe inspeccionarse y mantenerse de acuerdo con la legislación nacional y requisitos de seguridad de la Autoridad.

### **5.2 Plataforma**

Inspeccione la integridad estructural y entereza de la plataforma de cubierta o enrejado. Verifique si hay partes rotas, muy dobladas o inseguras de cualquier manera en las barandas.

### **5.3 Torre**

Inspeccione visualmente todos los elementos estructurales y conexiones de las torres para identificar marcas evidentes de corrosión, deformación, signos de fatiga y agrietamiento. Investigue si hay corrosión excesiva en los tornillos y si las uniones están correctamente atornilladas, así como si faltan tornillos o están sueltos o dañados.

Verifique si la torre está fuera de plomo (verticalidad), ya que toda torre debe estar vertical. Una inspección visual sencilla es suficiente. Si la torre parece torcida, utilice una arista recta como referencia y asegúrese de que no es una ilusión óptica. Incluso es posible encontrarse con torres en zigzag. Una construcción inapropiada o los daños en conexiones de secciones específicas pueden causar que una sección de la torre esté fuera de plomo con respecto al resto de la estructura. Busque el motivo de cualquier distorsión inexplicable. Si la torre se inclina, algo está mal y se debe averiguar el motivo de la inclinación.

En los elementos con sección hueca, puede que no estén visibles los daños debidos a la oxidación. Cada elemento de este tipo de torre debe estar provisto orificios de drenaje en la parte inferior para evitar la acumulación de agua y los daños consiguientes. Verifique estos orificios de drenaje para asegurar que no estén obstruidos y que funcionen correctamente. La presencia de escamas o de manchas visibles de óxido puede ser una indicación de la existencia de daños internos debidos a la oxidación. El espesor de los elementos de acero se puede medir fácilmente con un equipo de ultrasonido.

## **6 CIMENTACIONES**

### **6.1 Cimientos de hormigón**

Revise las protecciones de la zona de olas, tales como las defensas de mampostería, los gaviones, las defensas para hielo (planchas de acero) y los pilotes. Controle por si hay pruebas de erosión ambiental o de tormentas, que puedan causar la pérdida de material en torno a estructura y minar los cimientos. Inspeccione los cimientos de hormigón por encima del nivel de la tierra por si hay señales de agrietamiento o desconchados. Si el estado del hormigón por encima del nivel de la tierra es malo, se tendrá que excavar una zona adyacente a la cimentación para examinar el estado del hormigón bajo tierra. Inspeccione la tierra en torno a la cimentación de la estructura en busca de pruebas de asentamiento o levantamiento. Inspeccione los anclajes que conectan los cimientos a la torre de acero por si presentan señales de deformación, tuercas sueltas, corrosión u otros defectos. Revise si hay barras de refuerzo expuestas. Se pueden utilizar buzos o cámaras de mando a distancia para inspeccionar cimentaciones sumergidas.

### **6.2 Anclajes y aparatos metálicos de atirantamiento.**

Compruebe si hay señales de movimiento en la tierra en torno al anclaje de atirantamiento. Inspeccione los anclajes, los tensores, los guardacabos, los grilletes, las abrazaderas prefabricadas de terminación, los pernos de rotura y los pasadores del cable de atirantamiento por si presentan señales de corrosión deformación y fatiga. Las abrazaderas prefabricadas se deben verificar para asegurar que no haya cambios en el aspecto de la superficie del cable adyacente a ellas. Un cambio en el aspecto de la superficie puede indicar la existencia de deslizamiento. Asegúrese de que los tensores estén bien cosidos, con alambre de seguridad, para evitar que los mismos se desenrosquen inadvertidamente. Además, las roscas de los tensores se deben recubrir con una capa fina de grasa derivada del petróleo para evitar la corrosión y el bloqueo. Inspeccione los cables que soportan la estructura por si presentan signos de separación de hebras, corrosión, fatiga, deformación y roturas de hebras. En condiciones de calma, sin viento, la existencia de un cable flojo puede indicar que algo está mal. Compruebe que los alambres de seguridad estén instalados en todas las abrazaderas, grilletes y pasadores. Inspeccione si los elementos de anclaje de acero, incluidas las superficies en contacto con la tierra, sufren corrosión. Los cables cubiertos de plástico son una posible solución para reducir la corrosión y alargar la vida útil de los cables. Además, se debe considerar la posibilidad de envolver los elementos de metal con cinta impermeabilizante (tipo cinta “Denso”).

## **7 MATERIALES DISPARES**

Siempre que sea posible, se utilizarán materiales y anclajes compatibles en términos electroquímicos para las reparaciones, ya que las diferencias de potencial eléctrico, incluso las muy sutiles, pueden producir problemas graves de corrosión. Por ejemplo, la corrosión se producirá incluso entre el hierro fundido y el acero dulce. Si se tienen que emplear materiales dispares, se debe tener cuidado de aislarlos para evitar la corrosión galvánica, mediante el uso de elementos de aislamiento de plástico, como arandelas de plástico entre materiales dispares y también entre los anclajes y la estructura. Otra alternativa consiste en emplear anclajes recubiertos de plástico. Cuando sea inevitable el contacto entre materiales dispares, puede que sea necesario emplear un sistema de protección catódica para disminuir la corrosión galvánica

## **8 LAVADO**

Cada vez que se inspeccione o repare una ayuda, se realizará un lavado. El lavado incluye todas las acciones necesarias para mantener el color de la señal; para eliminar incrustaciones marinas con objeto de mantener el color; para mantener o reducir el arrastre o peso de una ayuda flotante a la navegación; y para eliminar de las linternas y paneles fotovoltaicos la sal, la suciedad o las deyecciones de ave. Los equipos modernos de lavado a presión son

particularmente adecuados para dichos procesos *in situ*, ya que pueden eliminar todos los contaminantes, sin introducir disolventes o detergentes en el medio ambiente. Hay que tener cuidado para utilizar las presiones correctas de agua, ya que una presión excesiva puede derivar en la eliminación de capas de pintura, daños a los paneles fotovoltaicos, la eliminación de cemento en las estructuras y otros problemas similares. Aunque las incrustaciones marinas también pueden eliminarse mediante el raspado manual de las boyas, el sistema de recubrimiento podría dañarse fácilmente, y, siempre que sea posible, se debe evitar.

## **ANEXO 4 EQUIPOS DE SEÑALIZACIÓN**

### **1 LINTERNAS Y LÁMPARAS**

Inspeccione visualmente las lentes y base de la linterna por si hay grietas, cuarteo, agujeros, roturas en las púas disuasorias de aves, etc. Si fuera necesario, reemplace o repárelas. Verifique el nivelado y foco de la linterna, así como el funcionamiento del mando diurno, la salida de la señal y el carácter del destello.

Las lámparas incandescentes se deben reemplazar antes de que se exceda su vida útil. Las lámparas de las boyas y estructuras equipadas con un cambiador de lámparas se deben sustituir antes de que la última lámpara se funda. Reemplace todas lámparas fundidas y la lámpara en servicio. Rote las lámparas buenas disponibles hacia las posiciones delanteras y utilice lámparas nuevas para rellenar el resto del cambiador. Limpie las lámparas a mano con un trapo limpio, humedecido con alcohol desnaturalizado. Gire la noria del cambiador a la primera posición. El personal que se encarga de sustituir las lámparas será consciente de la importancia del correcto sellado de la linterna tras la instalación de nuevas lámparas, y de realizar después un ensayo del funcionamiento de la luz. Los fabricantes proporcionarán información sobre los intervalos de sustitución de las lámparas, aunque las condiciones ambientales de funcionamiento afectarán a la vida de las mismas. La retroalimentación de los informes de inspección permitirá que se establezcan periodos prácticos para el recambio de lámparas. Hay que asegurarse de que la lámpara empleada es la adecuada. Compruebe si se han deteriorado los colores de sectores y, además, reemplace o ajústelos, según proceda, a la posición de carta correcta.

Las linternas de diodos emisores de luz (LED, del inglés, *Light Emitting Diode*) gozan de la ventaja considerable de necesitar poco o ningún mantenimiento durante su vida útil. Cuando se utilicen linternas de LED, los periodos entre visitas de mantenimiento los establecen la necesidad de visitar la señal para eliminar deyecciones de ave y la acumulación de sal. Se debe anotar el número de LEDs fundidos en la linterna que se reemplazarán, según proceda, conforme a las directrices de la Autoridad.

### **2 SEÑALES SONORAS ELECTRÓNICAS.**

Corte la alimentación a la señal sonora. Inspeccione visualmente la integridad estructural del soporte de montaje, así como la carcasa por si hay grietas, cuarteo, agujeros, etc. Si fuera necesario, reemplace o repárelos. Inspeccione si hay restos o suciedad en las aperturas del emisor y, si fuera necesario, límpielas. Conecte la alimentación a la señal sonora e indique al detector de niebla que active la sirena (si está equipada). Asegúrese de que todos los emisores funcionan correctamente, emitiendo un tono puro que proporcione el carácter adecuado de sonido. Asegúrese de que los orificios de drenaje de los emisores de las sirenas de niebla no estén obstruidos. Además, se revisará el calibrado del detector de niebla.

### **3 SEÑALES SONORAS ACTIVADAS POR EL OLEAJE.**

Las campanas y los gongs se deben inspeccionar para verificar si emiten el tono correcto. Se inspeccionarán, junto con sus estructuras de montaje, para verificar la existencia de desgaste, grietas, la oxidación excesiva, la pérdida de cintones de choque y el aflojamiento de elementos metálicos. Las campanas y los gongs excesivamente desgastados se deben rotar o sustituir. Los soportes de campana y de gong se deben inspeccionar por si tienen grietas y, si fuera necesario, se repararán o reemplazarán. Las bisagras de martillo se deben verificar por si sufren desgaste y para asegurar que se muevan libremente. Las mazas de martillo se deben ajustar para que golpeen la campana o gong correctamente y, si fuera necesario, se sustituirán. Las mazas de martillo desgastadas se rotarán o reemplazarán. Si los brazos del martillo están rotos o doblados, sustitúyalos.

Cada vez que se revise y repare la boya, se deben sustituir las bolas de silbato. Hay que comprobar que las válvulas de bola funcionan sin impedimento y se limpiarán para eliminar la sal y la suciedad. Además, se ajustará el hueco de aire.

#### **4 MARCAS DIURNAS**

Las marcas diurnas descoloridas, dañadas o perdidas se reemplazarán.

#### **5 MATERIAL RETRORREFLECTANTE.**

Los materiales retrorreflectantes que estén desconchados o descoloridos se cambiarán.

#### **6 MARCAS DE TOPE**

Repare o reemplace las marcas de tope y sus soportes, según proceda.

#### **7 MATERIALES DISPARES**

Siempre que sea posible, se utilizarán materiales y anclajes compatibles en términos electroquímicos para las reparaciones, ya que las diferencias de potencial eléctrico, incluso las muy sutiles, pueden producir problemas graves de corrosión. Por ejemplo, la corrosión se producirá incluso entre el hierro fundido y el acero dulce. Si se tienen que emplear materiales dispares, se debe tener cuidado de aislarlos para evitar la corrosión galvánica, mediante el uso de elementos de aislamiento de plástico, como arandelas de plástico entre materiales dispares y también entre los anclajes y la estructura. Otra alternativa consiste en emplear anclajes recubiertos de plástico. Cuando sea inevitable el contacto entre materiales dispares, puede que sea necesario emplear un sistema de protección catódica para disminuir la corrosión galvánica

#### **8 LAVADO**

Cada vez que se inspeccione o repare una ayuda, se realizará un lavado. El lavado incluye todas las acciones necesarias para mantener el color de la señal; para eliminar incrustaciones marinas con objeto de mantener el color; para mantener o reducir el arrastre o peso de una ayuda flotante a la navegación; y para eliminar de las linternas y paneles fotovoltaicos la sal, la suciedad o las deyecciones de ave. Los equipos modernos de lavado a presión son particularmente adecuados para dichos procesos *in situ*, ya que pueden eliminar todos los contaminantes, sin introducir disolventes o detergentes en el medio ambiente. Hay que tener cuidado para utilizar las presiones correctas de agua, ya que una presión excesiva puede derivar en la eliminación de capas de pintura, daños a los paneles fotovoltaicos, la eliminación de cemento en las estructuras y otros problemas similares. Aunque las incrustaciones marinas también pueden eliminarse mediante el raspado manual de las boyas, el sistema de recubrimiento podría dañarse fácilmente, y, siempre que sea posible, se debe evitar.

## **ANEXO 5 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN.**

### **1 PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS.**

Revise que el ángulo de inclinación es el apropiado para la señal. Verifique si hay corrosión y tensión en el armazón y el soporte del panel solar. Compruebe que el panel solar no tenga el vidrio roto y busque señales de entrada de agua en torno a los bordes del vidrio. La decoloración de las células solares y la acumulación de material de encapsulamiento son señales típicas de la entrada de agua. Inspeccione la instalación eléctrica en busca de cortes, abrasión y deterioro a causa de la radiación ultravioleta. Ahí donde se utilicen enchufes y tomas de corriente, se comprobará si hay filtración de agua y corrosión. Limpie el panel solar con agua dulce. Ensaye la potencia de salida, incluido el regulador solar, y, si fuera necesario, sustituya el panel solar y/o el regulador solar.

### **2 BATERÍAS SECUNDARIAS.**

Las baterías secundarias se reemplazarán antes de llegar al final de su vida útil, que es difícil de especificar con precisión, ya que dependerá del sistema utilizado y el ambiente de operación. Revise las baterías en busca de grietas y corrosión en las terminales, así como el nivel del electrolito (según proceda). Además, compruebe la tensión de la batería, tanto en condiciones de carga como de descarga.

Inspeccione los bordes, las tapas, las juntas, los conductos de ventilación y los elementos de soporte de las cajas de baterías para verificar si han sufrido daños. Todo el cableado y las conexiones expuestas se deben comprobar visualmente por si hay signos de agrietamiento, deterioro y corrosión. Las abrazaderas de retención se revisarán para asegurar que el cableado esté bien sujeto. Se inspeccionarán los tubos de cableado.

### **3 BATERÍAS PRINCIPALES.**

Revise las baterías en busca de grietas y corrosión en las terminales, así como el nivel del electrolito (según proceda). Además, compruebe la tensión de la batería, tanto en condiciones de carga como de descarga. Las baterías principales se reemplazarán antes de que su capacidad se agote a causa de la carga eléctrica (linterna, sirena de niebla, racon, etc.).

### **4 BOTELLAS DE GAS**

Se puede encontrar información al respecto en las Notas Prácticas de la IALA para el Manejo Seguro de Gases, octubre de 1993.

### **5 MATERIALES DISPARES**

Siempre que sea posible, se utilizarán materiales y anclajes compatibles en términos electroquímicos para las reparaciones, ya que las diferencias de potencial eléctrico, incluso las muy sutiles, pueden producir problemas graves de corrosión. Por ejemplo, la corrosión se producirá incluso entre el hierro fundido y el acero dulce. Si se tienen que emplear materiales dispares, se debe tener cuidado de aislarlos para evitar la corrosión galvánica, mediante el uso de elementos de aislamiento de plástico, como arandelas de plástico entre materiales dispares y también entre los anclajes y la estructura. Otra alternativa consiste en emplear anclajes recubiertos de plástico. Cuando sea inevitable el contacto entre materiales dispares, puede que sea necesario emplear un sistema de protección catódica para disminuir la corrosión galvánica.

### **6 LAVADO**

Cada vez que se inspeccione o repare una ayuda, se realizará un lavado. El lavado incluye todas las acciones necesarias para mantener el color de la señal; para eliminar incrustaciones marinas con objeto de mantener el color; para mantener o reducir el arrastre o peso de una

ayuda flotante a la navegación; y para eliminar de las linternas y paneles fotovoltaicos la sal, la suciedad o las deyecciones de ave. Los equipos modernos de lavado a presión son particularmente adecuados para dichos procesos *in situ*, ya que pueden eliminar todos los contaminantes, sin introducir disolventes o detergentes en el medio ambiente. Hay que tener cuidado para utilizar las presiones correctas de agua, ya que una presión excesiva puede derivar en la eliminación de capas de pintura, daños a los paneles fotovoltaicos, la eliminación de cemento en las estructuras y otros problemas similares. Aunque las incrustaciones marinas también pueden eliminarse mediante el raspado manual de las boyas, el sistema de recubrimiento podría dañarse fácilmente, y, siempre que sea posible, se debe evitar.

## ANEXO 6 PATRONES DE FALLO

Con la introducción del avión 747 de Boeing en la década de los 60, se cuestionó el sentido de continuar con los requisitos tradicionales de mantenimiento basados en la curva en forma de “U” del paradigma de mantenimiento de aquel entonces. Las investigaciones han demostrado que la mayoría de los fallos no estaban relacionados con el tiempo en que los equipos fallaban debido a su uso prolongado. Este hallazgo significó que el mantenimiento preventivo basado en el tiempo carecía de sentido en la mayoría de los casos. El “uso relacionado con la edad” abarca los fallos de fatiga a causa de la tensión (p. ej. rotura de ejes, rotura de muelles, goteo de tubos de caldera), los de erosión/corrosión (p. ej. erosión de materiales, corrosión de metales), los de desgaste (p. ej. desgaste de neumáticos, goteo de prensaestopas) y otros fallos similares en que el tiempo de funcionamiento contribuye al fallo eventual.

¡En aquel entonces, los fallos sin relación con el tiempo eran impredecibles! El tiempo de servicio no tenía ningún efecto en entre el 77% y el 89% de los fallos, lo que no es igual a afirmar que no existe motivo para el fallo. Sin duda, un fallo tendrá sus motivos, pero no se podrá pronosticar cuándo va a ocurrir sólo a partir de la consideración de la antigüedad de los equipos. El mantenimiento de gran parte de los equipos se basará en factores que no tienen nada que ver con el tiempo.

Con el paso del tiempo, la mayoría de los equipos y componentes se adentran en un periodo prolongado de fallos debidos al azar. Aproximadamente entre el 15% y el 20% del mantenimiento se repetirá, basándose en factores relacionados con el tiempo. Esto se puede comprobar en órdenes de trabajo repetidas, para la misma reparación, a lo largo de varios años.

Los fallos relacionados con el tiempo se pueden detectar mediante un análisis de las órdenes de trabajo para cada equipo, remontándose en el tiempo lo máximo posible, y mediante la creación de un gráfico de Pareto del historial de fallos. Además, el personal y los operarios de mantenimiento proporcionarán buenas respuestas a la pregunta, “¿Qué suele fallar en cada equipo?”.

En torno al 80% o el 85% de las órdenes de trabajo de reparaciones ocurrirán de una manera aleatoria. La fecha en que van a suceder no se puede pronosticar, pero sí es posible detectar cuando han comenzado los fallos. Es posible utilizar el cambio de estado de los equipos para predecir cuándo se puede esperar un fallo.

Como el 80% de los fallos de equipos son totalmente impredecibles en función de la antigüedad de los mismos, debe existir una estrategia de mantenimiento para responder a ellos.

En torno al 20% de los fallos repetitivos basados en el tiempo se solucionan mediante la realización de mantenimiento preventivo y mantenimiento programado de sustitución. Sin embargo, los fallos que no tienen nada que ver con el tiempo no se pueden resolver mediante estrategias de mantenimiento basadas en la renovación; requieren soluciones diferentes.

Si las estrategias de mantenimiento basadas en la renovación se aplican a fallos que no están relacionados con el tiempo, se desperdiciará aproximadamente el 80% del dinero, el tiempo y el esfuerzo.

La estrategia de mantenimiento más sencilla (pero no la única) para los fallos aleatorios no relacionados con el tiempo consiste en inspeccionar los equipos en búsqueda de condiciones de deterioro. Se puede utilizar la búsqueda de tendencias de modo gráfico para realizar un seguimiento del estado (p.ej. potencia vs. rendimiento). También se pueden introducir inspecciones periódicas del estado de los equipos mediante la observación y recopilación de datos (p. ej. muestreos de lubricantes, mediciones de temperatura, etc.).

Si el seguimiento del estado se basa en inspecciones periódicas, se fijarán sus frecuencias para permitir que el cambio de estado se detecte mucho antes de que ocurra el fallo eventual. La Figura 2 muestra un periodo de frecuencia de inspecciones que detectará el deterioro del rendimiento mucho antes de que ocurra el fallo.

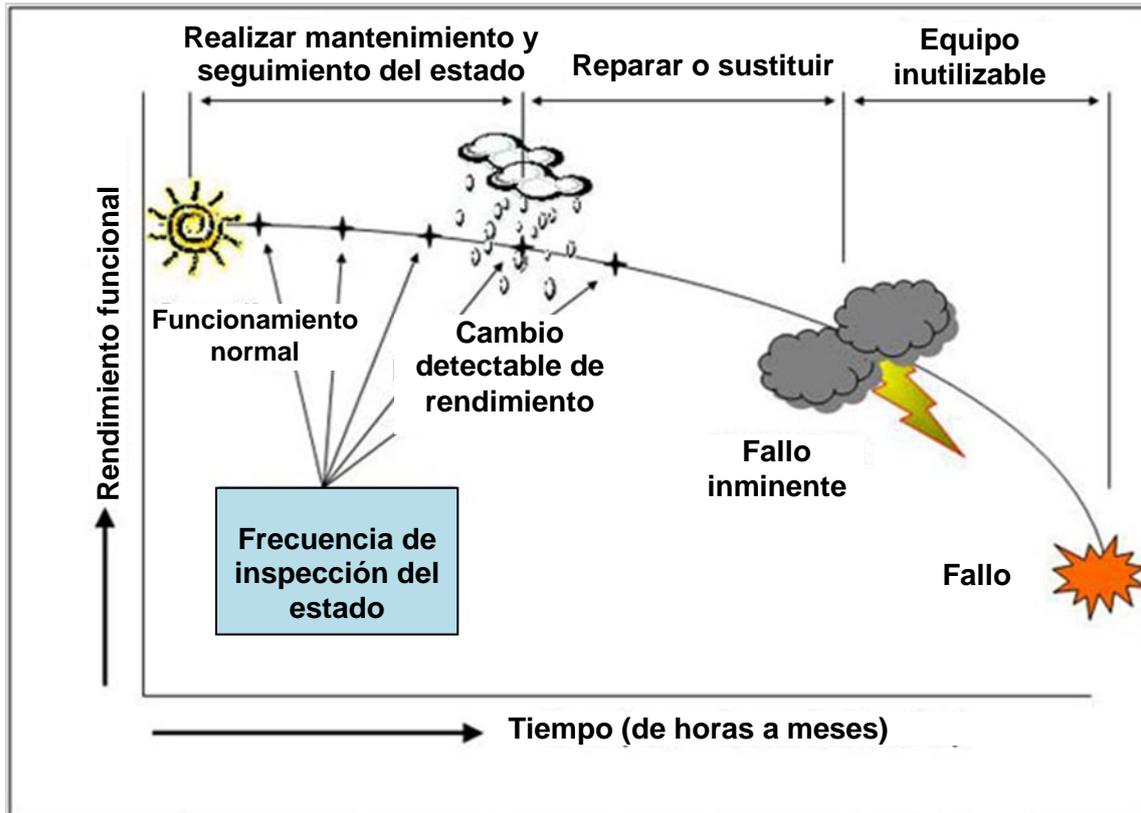


Figura 2 Establecimiento de la frecuencia de inspección de estado

Al detectar el comienzo de un fallo, se puede preparar su reparación o se pueden implantar estrategias y realizar cambios en su uso para prolongar el tiempo hasta que ocurra el fallo.

Sin embargo, la realización del mantenimiento basado en el estado sólo reducirá los gastos de mantenimiento de manera marginal. Lo principal que hace el seguimiento del estado es indicar la existencia de un problema a tiempo para que se pueda solucionar de la manera más económica posible. Sin embargo, no evita el problema.

Ahora, hace falta dar un paso más para reducir los gastos de mantenimiento de manera drástica. Se debe eliminar la situación de fallo. Al descubrir la causa de un fallo mediante el seguimiento del estado, ésta se debe eliminar, si no, puede volver a ocurrir en cualquier momento tras su reparación. Sólo si se eliminan las situaciones de fallo se podrá reducir, de manera significativa, la necesidad de mantenimiento en el futuro.

## **ANEXO 7 BENEFICIOS DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL ESTADO**

Los siguientes ejemplos ponen de manifiesto los beneficios del mantenimiento basado en el estado.

Para demostrar la diferencia entre el sistema tradicional de mantenimiento preventivo programado y el enfoque basado en el estado, se considera a continuación cómo se aplicarían ambos enfoques en una acería.

La acería consiste en una serie de rodillos accionados por motores eléctricos que funcionan a través de multiplicadoras. Se introduce el lingote de acero en el primer rodillo, que lo lamina parcialmente. Pasa a través de los sucesivos rodillos, laminándose progresivamente hasta formar una lámina de acero de poco grosor en el último rodillo.

El sistema tradicional de mantenimiento preventivo programado implica un desmontaje completo cuando la fábrica se cierra durante las vacaciones de verano. En este periodo de parada, se abren las multiplicadoras, se cambia el aceite, se reemplazan todos los rodamientos y se limpian las bombas de aceite, además de revisar los engranajes por si están dañados. En cuanto a los motores, se sustituyen los cojinetes y los cepillos, se limpian los conmutadores y se revisan el cableado y todas las conexiones. Los rodamientos de los rodillos también se reemplazan.

Durante el año siguiente, ocurren fallos periódicos de rodamientos, ya que el patrón de fallo de los mismos es aleatorio. También se producen pérdidas de aceite en las multiplicadoras, cuando las cubiertas o cierres de inspección no se sustituyen correctamente o si se reemplazan sin juntas. En una ocasión, se dejó un trapo de manera accidental en la multiplicadora, que llegó hasta la salida de aceite, lo que ocasionó el bloqueo del sistema de lubricación por aceite y, en consecuencia, un fallo importante en la multiplicadora. En otra ocasión, se dejó un trozo de madera de manera accidental en la multiplicadora, que bloqueó los engranajes, causando, una vez más, daños graves a la misma.

Otro motivo recurrente de fallo surgió cuando dos láminas de acero se pegaron de manera accidental y entraron en un rodillo, lo que causó que se bloqueara. En este caso, se gripó el rodillo, causando serios daños al árbol y a la multiplicadora.

Un enfoque basado en el estado daría una perspectiva diferente de estos acontecimientos.

Como es aleatorio el patrón de fallo de los rodamientos, se tomaron mediciones semanales de temperatura y vibración para identificar los rodamientos que estaban a punto de fallar. Por lo tanto, no se reemplazaron los rodamientos durante la parada anual. Esta medida eliminó de inmediato el coste anual innecesario de sustituir los rodamientos y también evitó la sustitución de rodamientos en buen estado por otros nuevos, pero más débiles.

Se tomaron muestras de aceite a intervalos semanales, realizándose ensayos de viscosidad y para detectar el contenido de granos. Solamente se cambiaba el aceite cuando estos parámetros se encontraban fuera de sus límites, lo que significó que sólo se cambiaba el aceite a intervalos muy infrecuentes y no durante la parada anual. Esta medida eliminó el tiempo necesario para el cambio de aceite, así como los fallos inducidos por el mantenimiento que solían ocurrir.

Se instaló un sistema de pernos de rotura en el tren de potencia, entre cada una de las multiplicadoras y los rodillos, para que el perno de rotura desconectara el rodillo de la multiplicadora en caso de bloqueo de los rodillos, evitando así que se causaran daños al tren de potencia. Una vez resuelto el bloqueo, se instalaba un nuevo perno de rotura y, a los pocos minutos, se restauraba la cadena de producción.

Por lo tanto, queda claro que el enfoque basado en el estado no sólo redujo la cantidad de trabajo necesario durante la parada anual de mantenimiento, sino que también mejoró de manera considerable la fiabilidad de la cadena de producción.

## **ANEXO 8 PARÁMETROS PARA EL MANTENIMIENTO BASADO EN EL ESTADO**

La aplicación de este enfoque a sistemas de faros y de ayudas a la navegación proporcionaría, sin duda, un sistema de mantenimiento más eficaz en cuanto a los costes. Como el concepto básico reside en medir unos parámetros críticos y en realizar sólo el mantenimiento definido por los parámetros de tolerancia, se elaboró la relación de parámetros medibles, que figura a continuación:

- 1 Desgaste de la cadena de fondeo;
- 2 Vibración de rodamientos;
- 3 Temperatura de rodamientos;
- 4 Admitancia/ conductancia de la batería;
- 5 Consumo de agua de la batería;
- 6 Tensión de la batería, con corrección de temperatura, según proceda;
- 7 Estado del cargador de batería – normal/fallo;
- 8 Gravedad específica del electrolito de la batería;
- 9 Posición de la ayuda flotante;
- 10 Posición (p. ej. monitor de la integridad del DGPS);
- 11 Color de la superficie;
- 12 Grosor de la pintura;
- 13 Grosor del metal de la estructura;
- 14 Humedad del edificio – higrómetro y termómetro húmedo/seco de bombilla;
- 15 Temperatura del edificio;
- 16 Cámara infrarrojos del edificio;
- 17 Consumo del ánodo catódico;
- 18 Vida útil / consumo de repuestos de la lámpara;
- 19 Deterioro de intensidad luminosa de la fuente luminosa;
- 20 Consumo de energía eléctrica;
- 21 Corriente eléctrica;
- 22 Tensión eléctrica;
- 23 Frecuencia eléctrica;
- 24 Control de salida de energía eólica / solar contra condiciones meteorológicas;
- 25 Contaminación por suciedad;
- 26 Temperatura de contacto/ conexión/ zona;
- 27 Consumo de aceite;
- 28 Temperatura del aceite;
- 29 Presión del aceite;
- 30 Calidad del aceite – viscosidad y contenido de suciedad;
- 31 Sistemas electrónicos:
  - a Corrosión visible de la marca diurna;
  - b Temperatura, empleando cámara infrarrojos;

- c Ensayo de salida según especificación.
- 32 Software:
  - a Ensayo funcional;
  - b Autodiagnóstico.
- 33 Ensayo funcional, incluyendo sistemas redundantes;
- 34 Resistencia del aislamiento;
- 35 Inductancia;
- 36 Resistencia de tierra;
- 37 Historial de potencia de salida;
- 38 Verticalidad de torre de celosía;
- 39 Forma de marca diurna;
- 40 Intensidad de luz;
- 41 Ensayo funcional del conmutador diurno;
- 42 Control de encendido / apagado de la luz, empleando una estrategia de mantenimiento enfocada a la fiabilidad (RCMS);
- 43 Ensayos de buque:
  - a Obstrucción de luz;
  - b Control de sectores.
- 44 Verificaciones de inspección visual:
  - a Raíles de arnés de seguridad;
  - b Corrosión de la superficie;
  - c Condición del edificio;
  - d Rutas de acceso;
  - e Rejuntado de estructuras de piedra/ muros;
  - f Obstrucción incrementada en torno a luces, antenas, módulos solares, etc.;
  - g Deyecciones de ave sobre los módulos solares, el vidrio de la linterna y el vidrio del conmutador de sol.
- 45 Verificaciones de seguridad.

## **ANEXO 9 EJEMPLO DE MANTENIMIENTO DE UNA UNIDAD SOLAR DE BOYA**

### **1 ÁMBITO DE APLICACIÓN**

Este procedimiento abarca el mantenimiento o renovación de boyas normales equipadas con unidades solares después de 5 años de servicio en el punto de fondeo, para hacerlas aptas para otros 5 años más de servicio.

### **2 INSPECCIÓN Y LAVADO DESPUÉS DE SU DEVOLUCIÓN DE LA EMBARCACIÓN**

El estado y el funcionamiento del equipo solar se revisarán a fondo, tan pronto como sea posible, después de que se devuelva a las instalaciones de mantenimiento.

Todo el exterior del equipo solar se lavará con agua dulce para eliminar los depósitos de sal y las deyecciones de aves.

EL estado de todos los cables eléctricos, prensaestopas y conexiones, incluidas las conexiones de batería, se deben revisar. Si están en condiciones dudosas, se sustituirán los cables. Los montajes de los módulos solares y del regulador se devolverán al proveedor cuando los cables formen parte de estos elementos.

La unidad solar se revisará para asegurar el cumplimiento con los planos de diseño y las especificaciones más recientes.

### **3 DESMONTAJE DE LA UNIDAD SOLAR**

Los elementos detallados a continuación se deben desmontar de la unidad solar:

- Baterías;
- Linterna;
- Regulador, si no se puede realizar un ensayo completo *in situ*.

### **4 BATERÍAS**

Procedimiento Técnico Núm. TP010 Unidad Solar de Boya - Mantenimiento TP010 – 2ª Edición – Noviembre de 2004 Página 2 de 4

Siga las instrucciones del suministrador de la batería. Procedimiento Técnico Núm. TP010 Unidad Solar de Boya - Mantenimiento TP010 – 2ª Edición – Noviembre de 2004 Página 3 de 4

## **ANEXO 10 MANTENIMIENTO O REHABILITACIÓN DE UNA ESTRUCTURA MODULAR**

### **1 ÁMBITO DE APLICACIÓN**

Este procedimiento abarca el mantenimiento o renovación de una superestructura modular después de 10 años de servicio en el punto de fondeo, para adecuarla para otros 10 años más de servicio.

Los trabajos se realizarán en las instalaciones de mantenimiento de Harwich y Swansea bajo la dirección del Responsable de Boyas.

### **2 INSPECCIÓN Y LAVADO DESPUÉS DE SU DEVOLUCIÓN DESDE LA EMBARCACIÓN**

El estado y el funcionamiento de los equipos de la superestructura modular se revisarán a fondo, tan pronto como sea posible, después de que se devuelva a las instalaciones de mantenimiento.

El exterior de la superestructura modular se lavará con agua dulce para eliminar los depósitos de sal y las deyecciones de aves.

El estado de todos los cables eléctricos, prensaestopas y conexiones, incluidas las terminales de batería, se deben revisar. Si están en un estado dudoso, los cables y/o los montajes se reemplazarán.

La superestructura modular se revisará para asegurar el cumplimiento con los planos de diseño y las especificaciones más recientes.

### **3 DESMONTAJE DE LA SUPERESTRUCTURA MODULAR**

Todos los elementos eléctricos se retirarán de la superestructura modular y se inspeccionarán para identificar un deterioro de su estado físico.

Los cubículos, los paneles solares y la linterna sólo se podrán reutilizar una vez para un ciclo de servicio completo. Después del segundo ciclo de servicio, estos elementos se eliminarán de acuerdo con las normas y procedimientos locales sobre el medio ambiente.

### **4 BATERÍAS**

En función de los tipos de batería, todas las baterías se reemplazarán para garantizar su correcto estado de funcionamiento. Las baterías antiguas se eliminarán de acuerdo con las normas y procedimientos locales sobre el medio ambiente.

### **5 MÓDULOS SOLARES**

Revise el vidrio de los módulos solares por si tienen grietas o señales de la entrada de agua.

Sustituya todos los cierres de expansión.

### **6 PIEZAS MECÁNICAS**

Revise visualmente por si hay grietas en soldaduras, elementos de la batería y fijaciones. Si están en un estado dudoso, retire los elementos de la zona dañada, y límpiela e inspecciónela con una luz de inspección y una lupa. Si fuera necesario, realice pruebas con tintes penetrantes.

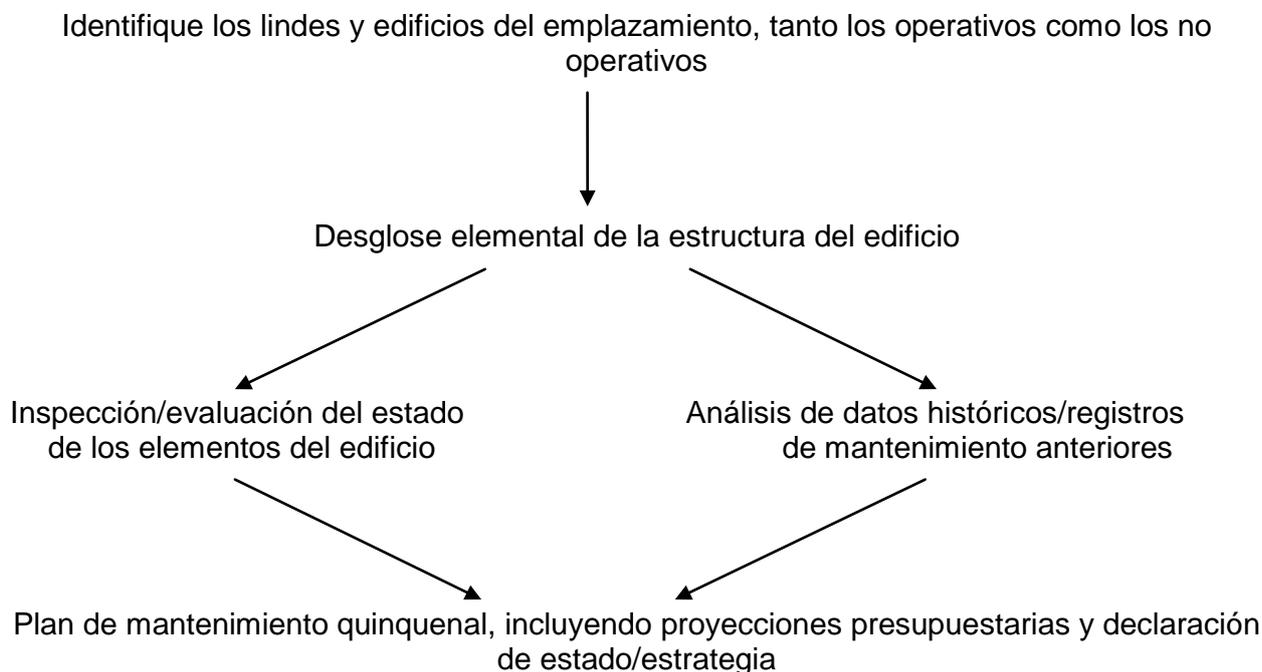
Revise por si hay corrosión excesiva, particularmente en huecos y en superficies de contacto entre metales dispares. Si hubiera excesiva corrosión, retire los elementos de la zona corroída, y límpiela de depósitos de sal y de corrosión.

## **7 REMONTAJE**

Para asegurar que se pueda desplegar la superestructura modular después del mantenimiento, se deberá seguir en adelante la Lista de Construcción de Boyas desde la fase anterior a la puesta en servicio. Es fundamental que se realicen todas las verificaciones y ensayos para evitar problemas en el punto de fondeo.

## ANEXO 11 BASE DE DATOS DEL MANTENIMIENTO DE PROPIEDADES

Este anexo es un ejemplo de la estructura de una base de datos de mantenimiento.



El diagrama de flujo que figura con antelación muestra los pasos básicos para realizar una base de datos de mantenimiento. Sin embargo, la base de datos tendrá múltiples facetas y contendrá toda la información y los datos relevantes de cada estación. Se propone que la información que contenga incluya los siguientes puntos:

- 1 El registro de amianto para dar cumplimiento al Reglamento de Control del Amianto en el Ámbito Laboral de 2002.
- 2 Planos.
- 3 Servicios del emplazamiento.
- 4 Programa de pintura.
- 5 El fichero de seguridad e higiene en el trabajo del edificio de acuerdo con el Reglamento de 1994 (de Diseño y Gestión).
- 6 Información jurídica sobre arrendamientos, lindes, servidumbres etc.
- 7 Datos de contacto de todas las partes implicadas, incluyendo los responsables, los contratistas, los servicios públicos, los municipios, etc.
- 8 Información, equipos, especificaciones, carácter etc. de las ayudas a la navegación.
- 9 Rutinas de mantenimiento normalizadas.
- 10 Sistema de emisión de órdenes de trabajo.

## ANEXO 12 EJEMPLO DE UN PLAN MANTENIMIENTO QUINQUENAL

Este anexo presenta un cuadro de un plan de mantenimiento quinquenal.

Todas las cantidades que figuran en el cuadro están en libras esterlinas.

*Cuadro 1 Plan de mantenimiento quinquenal*

| Epígrafe | Ubicación                      | Trabajos de reparación  | Trabajos de emergencia | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5  |
|----------|--------------------------------|---|------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 6.1.00   | Cubiertas                      | Mantenimiento periódico/ seguimiento y sustitución eventual   |                        | 32300 | 4050  | 1050  | 1050  | 243650 |
| 6.2.00   | Estribos                       | Reparación/ rejuntado/ rehabilitación   |                        |       |       |       |       | 47700  |
| 6.3.00   | Parapetos                      | Reparación/ rejuntado/ rehabilitación   | 750                    | 16000 |       |       |       | 40450  |
| 6.4.00   | Construcción de cubierta       | Revisión conjunta del estado de vigas de madera y plataformas   |                        |       |       |       |       | 4000   |
| 6.5.00   | Luces de cubierta              | Sustituciones principales incluidas en trabajos de cubierta. Inspección periódica/rehabilitación                            |                        |       | 500   |       | 500   |        |
| 6.6.00   | Elementos para aguas pluviales | Rehabilitación /sustitución   |                        | 16000 | 9000  |       | 2000  | 37500  |
| 6.7.00   | Bajo cubiertas                 | Aumento del espesor del aislamiento durante trabajos principales de cubiertas. Inspección periódica/rehabilitación          |                        | -     | -     | -     | -     | 11000  |
| 6.7.03   | Bajo cubiertas                 | Instalación de barandas y pasamanos del acceso, aislamiento del tanque pequeño y tubería hacia al fondo de la bajo cubierta | 5650                   |       |       |       |       |        |

|         |                                   |  |      |       |       |       |       |        |
|---------|-----------------------------------|--|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 6.8.00  | Habitáculo del motor del ascensor | Reparación/ rejuntado/ rehabilitación de soffitos, muros y escalera de acceso de acero.        | 1200 | 7650  |       |       |       |        |
| 6.9.00  | Bastidor                          | Revisión e instalación de protección contra incendios necesaria en aceros expuestos del sótano |      |       | 3500  |       |       |        |
| 6.10.00 | Muros externos                    | rehabilitación/rejuntado   |      | 2400  | 3000  |       |       | 96000  |
| 6.11.00 | Impermeabilización                | Reparaciones   |      | 3750  |       | 15000 |       |        |
| 6.12.00 | Ventanas y puertas                | Revisión del estado de cristales de ventana habitación 121                                     | 350  |       |       |       |       |        |
|         |                                   | Reparaciones<br>Sustitución  |      | 44050 | 1550  | 42050 | 1550  | 178750 |
| 6.13.00 | Decoraciones externas             | Redecoración según programa cíclica  |      |       |       |       |       | 59500  |
| 6.14.00 | Saneamientos                      | Inspección y reparación periódicas   |      | 1500  | 1500  | 1500  | 1500  | 1500   |
| 6.15.00 | Solados                           | Sustitución periódica de acabados dañados y desgastados  |      | 5000  | 5000  | 5000  | 5000  | 5000   |
| 6.16.00 | Techos                            | Sustitución de techo falso en cocina y sustitución periódica en todo el edificio               |      | 5500  | 1500  | 1500  | 1500  | 1500   |
| 6.17.00 | Puertas internas                  | Reparación y sustitución periódicas  |      | 4500  | 4500  | 4500  | 4500  | 4500   |
| 6.18.00 | Decoración interna                | Redecoración según programa cíclico de sustitución   |      | 16000 | 16000 | 16000 | 16000 | 16000  |
| 6.19.00 | Saneamiento bajo tierra           | Revisión y desatasco periódicos  |      |       | 600   |       |       | 600    |

|         |   |   |             |               |               |               |              |               |
|---------|---|---|-------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| 6.20.00 | Materiales peligrosos                       | Ensayar y retirar, según proceda  | 2000        | 3000          |               |               |              | 3000          |
| 6.21.00 | Medios de escape y equipos contra incendios | Mantenimiento de normas de rutas de escape y ensayo/reparación anual de los equipos   |             | 2250          | 2250          | 2250          | 2250         | 2250          |
| 6.22.00 | Ahorro energético                           | Sustitución, mejora de ventanas, incluida anteriormente en 6.12.01<br><br>Aumento del aislamiento en bajo cubiertas, incluida previamente en 6.7.04 |             |               |               |               |              |               |
| 6.23.00 | Accesos                                     | Revisión y reparación periódicas de puertas y todos los accesorios, según proceda   |             | 1750          | 1750          | 1750          | 1750         | 1750          |
| 6.24.00 | Medioambiental                              | Limpieza a fondo de losetas de la cocina  |             | 1050          |               |               |              |               |
| 6.25.00 | Equipos de seguridad                        | Probar tornillos con argollas en ventanas/ añadir tornillos con argollas a restantes ventanas   |             | 6500          | 1500          | 1500          | 1500         | 1500          |
| 7.00.00 | Eléctricos                                  | Ensayo/reparaciones/actualización   |             | 154750        | 271250        | 167750        | 15750        | 15750         |
| 8.00.00 | Mecánicas                                   | Ensayos/reparaciones periódicos   |             | 17000         | 17000         | 17000         | 17000        | 17000         |
|         | <b>TOTALES</b>                              |   | <b>9950</b> | <b>340950</b> | <b>344450</b> | <b>276850</b> | <b>71850</b> | <b>788900</b> |

## **ANEXO 13 UNA PROPUESTA PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE FAROS**

### **1 ANTECEDENTES**

Trinity House lleva ejecutando un sistema informático de mantenimiento programado durante aproximadamente los últimos 15 años con una selección de tipos de software. En la actualidad, el sistema se utiliza en un sistema ENGICA Q4.

La mayoría de los faros de Trinity House se han modernizado en los últimos años y se actualizarán en 2007 siete luces importantes. Al término de este programa, todas las estaciones estarán equipadas con sistemas modernos de control que cumplan con las normas, empleando la electrónica dedicada o PCL con componentes comunes. En tanto sea práctico, el sistema se empleará para reducir la formación así como el inventario de piezas de recambio.

Todas las estaciones están equipadas con dispositivos de seguimiento y control remoto vía telemetría desde el centro de Harwich, incluido el seguimiento de sistemas analógicos críticos.

Las estaciones costeras suelen tener una alimentación de baterías de carga flotante de la red y hay alternadores de respaldo en las estaciones DGPS. Las estaciones ubicadas mar adentro están equipadas con energía solar, o bien con sistemas híbridos de energía solar/ diesel o de energía solar/ eólica/ diesel. En el caso de las estaciones híbridas, el sistema solar es la principal fuente de energía y las alternativas se emplean como fuentes de respaldo o complementarias.

Hay documentación exhaustiva sobre todas las estaciones, que incluye instrucciones de funcionamiento, planos de todos los sistemas, instrucciones de mantenimiento, listas de piezas de recambio y manuales del fabricante. Esta documentación se elabora conforme a un procedimiento establecido. Toda la formación pertinente concluye antes de la entrega del faro actualizado por el Departamento de ingeniería al de Operaciones. .

La última etapa de modernización ha tenido como resultado un nivel de fiabilidad mucho mayor y el diseño ha eliminado los equipos que no habían demostrado fiabilidad. A la finalización de cada proyecto de modernización, se realiza un procedimiento formal de entrega entre el Departamento de Ingeniería y el de Operaciones, que asegura el mantenimiento de altos niveles de calidad.

### **2 EL ENFOQUE ALTERNATIVO AL MANTENIMIENTO ADOPTADO POR TRINITY HOUSE**

Trinity House es del parecer de que un enfoque que combina el mantenimiento programado con el mantenimiento basado en el estado es el más adecuado para el mantenimiento de sistemas, que por naturaleza son más complejos. Se ha adoptado un enfoque menos estricto para revisar las necesidades de mantenimiento que, al mismo tiempo, mantiene un proceso de revisión estructurado. El uso del enfoque adoptado por Trinity House garantiza que sea capaz de adaptar su metodología de mantenimiento a la demanda cambiante de la tecnología.

A partir de la suposición de que todas las estaciones se han diseñado para lograr un alto nivel de fiabilidad, y que los programas de mantenimiento actuales conservan las estaciones en condiciones que permitan a Trinity House superar todos los requisitos de fiabilidad y de disponibilidad de la IALA, se realizó una revisión de las necesidades de mantenimiento. Todas las estaciones se han diseñado para que sus procesos más críticos tengan un nivel de redundancia doble o triple, lo que los hace muy resistentes, como se ha demostrado por el bajo nivel de fallos que han sufrido.

Como parte de un programa quinquenal sobre el rendimiento del mantenimiento, se elaboró el informe *Maintenance Way Ahead 2002-2007* (El camino a seguir para el mantenimiento 2002-2007), que se basa en el informe anterior que abarca los años entre 1995 y 2000.

El informe de los años 2002-2007 identificó algunos cambios deseables sobre la manera de realizar el mantenimiento en Trinity House, para reflejar las considerables mejoras conseguidas con respecto a la fiabilidad y la facilidad de mantenimiento debido al último programa de modernización de faros.

El programa existente de mantenimiento se basaba en personal contratado que visitaba mensualmente cada estación costera o las ubicadas en islas (los fareros suelen ser empleados de Trinity House) para realizar tareas rutinarias. Un equipo de dos o tres técnicos visitaba cada estación dos veces al año para realizar tareas intrusivas de mantenimiento programado. Esta carga de trabajo supone una media de 30 días de trabajo de técnicos por estación que, cuando se suma a la gestión, el apoyo y los gastos corrientes programados, resulta en un coste anual medio de 20.000 libras esterlinas por estación.

Se reconoció que este nivel de mantenimiento en las estaciones modernizadas era innecesario y que el mantenimiento intrusivo de los sistemas electrónicos no era capaz de mejorar su fiabilidad. Se decidió, por lo tanto, que el mantenimiento podría llevarse a cabo mejor con un sistema de tres niveles:

- Nivel Uno – un servicio no intrusivo, encargado principalmente de confirmar la funcionalidad de la estación y de realizar revisiones de los sistemas claves, que se realizan durante la visita mensual del personal contratado.
- Nivel Dos – un servicio anual realizado por un equipo de técnicos, que realizan tanto el mantenimiento preventivo programado como las tareas programadas de mantenimiento.
- Nivel Tres – una rutina irregular de mantenimiento para realizar puestas a punto o trabajos de reparación importantes como, por ejemplo, la puesta a punto de motores de diesel (según las horas de funcionamiento), la limpieza de cubetas de mercurio (cada cinco años), cambios de batería (según el estado) o reparaciones del acristalamiento (según el estado). Normalmente, estos trabajos se planifican con un año de antelación y forman parte del mantenimiento preventivo programado de la estación. Estos trabajos los suelen realizar equipos de técnicos especializados, posiblemente para que no formen parte de las visitas rutinarias del periodo principal de mantenimiento (PPM).

Se considera que la estrategia de mantenimiento descrita con antelación reducirá por aproximadamente el 35% el esfuerzo realizado por los técnicos de mantenimiento, lo que lleva a una revisión de las instalaciones de mantenimiento y de la plantilla.

Al mismo tiempo, se reconoció que no era óptima la fiabilidad de determinados sistemas, sobre todo los sistemas de señales de niebla. Estas cuestiones se abordan mediante un sistema interno para identificar defectos, denominado *Internal Defect Aquaint*, en el que el Departamento de Operaciones solicita al de Ingeniería que revise el diseño de los sistemas.

Para determinar los requisitos de mantenimiento de las estaciones modernizadas, se adoptó el enfoque detallado a continuación.

La biblioteca existente de rutinas normalizadas de mantenimiento se revisó y actualizó para que reflejara los niveles cambiantes de equipamiento en las estaciones. Como ejemplo, ya que no hay señales neumáticas de niebla en servicio, no se trasladó a las listas actualizadas ninguna referencia a estos sistemas.

Se realizó una revisión del inventario de piezas de recambio, comparándola con el equipamiento normal de una estación, y se encontró que se estaba gestionando bien.

Para cada estación:

- 1 Un control para asegurar que la estación supera los requisitos de la IALA en cuanto a la disponibilidad.

- 2 Una revisión del mantenimiento preventivo programado, el mantenimiento programado de la estación y de la mano de obra utilizada en los dos últimos años.
- 3 Una revisión para asegurar que toda la documentación esté actualizada.
- 4 Una revisión del historial de fallos de cada estación, sobre todo para determinar si el nivel de mantenimiento ha tenido un impacto en las causas del fallo.
- 5 Identificación de los principales sistemas de la estación:
  - a General;
  - b Baterías;
  - c Motores;
  - d Seguridad e higiene en el trabajo;
  - e Ayuda a la navegación;
  - f Telemetría;
  - g Dependencias.
- 6 Revisión de las rutinas actuales de mantenimiento programado para la estación.
- 7 Visita a la estación de un responsable de Mecánica/Electricidad y de Control/Comunicaciones y dos técnicos para revisar los requisitos de mantenimiento de cada sistema con respecto a:
  - a Equipamiento de la estación;
  - b Diseño de la estación;
  - c Rutinas actuales de mantenimiento;
  - d Fiabilidad de la estación.
- 8 Selección de la biblioteca revisada de rutinas normalizadas de mantenimiento adecuadas para la estación a revisar.
- 9 Elaboración de la rutina revisada de mantenimiento, junto con las horas programadas por consenso.

Un ejemplo es la estación de Saint Bees, ubicada en la costa del noroeste, que se revisó de acuerdo con la metodología detallada más arriba y las rutinas revisadas de mantenimiento, que se basaron en las visitas mensuales del personal contratado y la visita anual del técnico. El resultado fue una reducción de aproximadamente el 15% anual en el tiempo programado de visitas a la estación. Esta revisión se realizó en un día y medio día de trabajo de oficina por parte de dos responsables de área.

Las características de la estación, así como las rutinas revisadas de mantenimiento, tanto para el personal contratado como para el técnico, se adjuntan a este documento.

### **3 TRINITY HOUSE LIGHTHOUSE MAINTENANCE REVIEW WAY AHEAD (EL CAMINO A SEGUIR PARA EL MANTENIMIENTO DE FAROS DE TRINITY HOUSE)**

Las rutinas revisadas se están poniendo a prueba en quince estaciones entre los años 2002 y 2003, y se añadirán unas quince o veinte estaciones entre los años 2003 y 2004. En los años 2002 y 2003, todas las estaciones son costeras, alimentadas por batería con carga flotante de la red. Varias de las estaciones en los años 2003 y 2004 serán estaciones ubicadas en islas, con alimentación de energía solar y una estará alimentada por un sistema de diesel de carga cíclica.

En los años 2004 y 2005, todas las estaciones modernizadas funcionarán de acuerdo con las programaciones revisadas de mantenimiento.

Con vistas a la inminente sustitución del software del Sistema de Programación del Mantenimiento, se ha tomado la decisión de operar con el sistema piloto en formato de papel hasta la introducción del nuevo software entre los años 2003 y 2004.

Este programa tiene un impacto en las instalaciones de mantenimiento, los requisitos de mano de obra de técnicos y responsables, el despliegue de personal y el apoyo en cuanto a la utilización de helicópteros y buques.