

## ÍNDICE DEL CAPÍTULO

	<i>Página</i>
CAPÍTULO 4. OBSERVACIONES MARINAS .....	653
4.1 Generalidades .....	653
4.2 Observaciones realizadas desde buques .....	654
4.2.1 Funcionamiento del Sistema de buques de observación voluntaria de la OMM. ....	654
4.2.2 Observaciones desde buques de observación voluntaria .....	655
4.2.2.1 Elementos observados .....	655
4.2.2.2 Equipo necesario .....	656
4.2.2.3 Automatización de las observaciones de los buques .....	656
4.2.2.4 Horas de observación .....	657
4.2.2.5 Transmisión de observaciones de los buques .....	657
4.2.2.6 Viento .....	658
4.2.2.7 Presión atmosférica, tendencia de la presión y característica de la tendencia barométrica .....	663
4.2.2.8 Temperatura y humedad del aire .....	665
4.2.2.9 Temperatura de la superficie del mar .....	666
4.2.2.10 Nubes y tiempo .....	668
4.2.2.11 Visibilidad. ....	670
4.2.2.12 Precipitación .....	670
4.2.2.13 Olas oceánicas .....	672
4.2.2.14 Hielo .....	676
4.2.2.15 Observaciones de fenómenos especiales .....	681
4.3 Boyas fondeadas .....	681
4.3.1 Presión atmosférica .....	683
4.3.2 Mediciones del viento. ....	684
4.3.3 Temperatura. ....	685
4.3.3.1 Temperatura del aire. ....	685
4.3.3.2 Temperatura del agua. ....	685
4.3.4 Estimaciones del oleaje oceánico .....	686
4.3.5 Estimaciones del oleaje oceánico no direccional. ....	686
4.3.6 Estimaciones del oleaje oceánico direccional .....	687
4.3.7 Altura de la columna de agua para la detección de tsunamis .....	687
4.3.8 Humedad relativa .....	687
4.3.9 Sensores oceánicos .....	687
4.3.10 Corrientes oceánicas superficiales. ....	688
4.3.11 Perfiles de corrientes oceánicas. ....	688
4.3.12 Salinidad .....	688
4.3.13 Precipitación .....	688
4.3.14 Mediciones de la radiación solar .....	688
4.3.15 Visibilidad. ....	689
4.4 Buques faro automáticos .....	689
4.5 Torres y plataformas .....	689
4.6 Boyas a la deriva .....	690
ANEXO 4.A. CENTROS REGIONALES DE INSTRUMENTOS MARINOS DE LA ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL Y DE LA COMISIÓN OCEANOGRÁFICA INTERGUBERNAMENTAL .....	692
ANEXO 4.B. DESCRIPCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PARA USO DE LOS OBSERVADORES DEL TIEMPO PRESENTE A BORDO DE BUQUES .....	695
ANEXO 4.C. PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS PARA LA NOTIFICACIÓN DEL MAR DE FONDO POR BUQUES QUE TRANSMITEN INFORMACIÓN MANUALMENTE .....	698
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA .....	699

## CAPÍTULO 4. OBSERVACIONES MARINAS

### 4.1 GENERALIDADES

Las observaciones marinas, en el sentido más amplio, abarcan todas las observaciones meteorológicas y de otro tipo relacionadas con el medio ambiente efectuadas en la interfaz aire-mar, bajo la superficie marina y en el aire situado sobre la superficie del mar. Las observaciones pueden hacerse utilizando plataformas fijas o móviles, *in situ* o por teledetección, y empleando técnicas en la superficie terrestre o en el espacio. Las mediciones sobre el terreno son en general observaciones realizadas en un solo punto, tratando de que sean representativas de la zona marina circundante como ocurre, por ejemplo, con la meteorología sinóptica. Las técnicas de teledetección se emplean para representar grandes zonas o volúmenes, siendo muy convenientes, en particular, para las observaciones del hielo marino.

En el presente capítulo se abordan las observaciones que se realizan en la interfaz aire-mar *in situ*, en particular los parámetros en superficie habituales que también se miden en tierra y a los que se refiere en ese contexto la parte I de esta Guía. También se analizan en este capítulo otras observaciones de importancia para la física marina y la oceanografía física, a saber: la temperatura de la superficie del mar, las olas oceánicas, el hielo marino, los icebergs y la acumulación de hielo y la salinidad. Las mediciones del aire en altitud se realizan utilizando técnicas que son fundamentalmente las mismas tanto en mar como en tierra.

Las normas oficiales detalladas para las observaciones que se realizan desde estaciones marinas figuran en el *Manual del Sistema Mundial de Observación* (OMM, 2010 y 2011a). En la *Guía de los Servicios Meteorológicos Marinos* (OMM, 2001) figuran directrices sobre requisitos y procedimientos. Las mediciones u observaciones marinas *in situ* se llevan a cabo empleando diversos tipos de plataformas, entre otras buques reclutados por los Miembros de la OMM para participar en el Sistema de buques de observación voluntaria (VOS), buques faro (tripulados o automáticos), boyas fondeadas, boyas a la deriva, torres, plataformas y torres de perforación petrolera y de gas, estaciones meteorológicas automáticas (EMA) insulares y sistemas de EMA a bordo de buques. El tipo de plataforma determina, generalmente, la gama de parámetros medidos y comunicados. Así, los VOS, que recurren tanto a las observaciones manuales como a las basadas en mediciones, comunican todas las observaciones necesarias para la meteorología sinóptica. En cambio, la mayoría de las boyas a la deriva suministran únicamente información sobre tres parámetros como máximo, a saber: la posición, la presión atmosférica en la superficie del mar y la temperatura de la superficie del mar (SST). Las observaciones realizadas desde VOS son, por lo general, recopiladas y transmitidas a tierra, desde el buque hasta la costa, en un formato de transmisión acordado a escala nacional, y seguidamente se distribuyen a nivel internacional en la clave apropiada de la OMM (por ejemplo, FM 94 BUFR, a partir de 2012, aproximadamente). Las claves de la OMM se recogen en el *Manual de claves* (OMM, 2011b y 2011c); en la parte B del volumen I.2 se proporciona información general y en la parte C del volumen I.2<sup>1</sup> figuran modelos para tipos específicos de observación marina, como el modelo B/C10 de los informes "SHIP". Se puede obtener más información en las actas de una reunión de 2009 sobre el sistema de observación de los océanos (Hall y otros, 2010), en particular información sobre los VOS (Kent y otros, 2010), buques de investigación (Smith y otros, 2010), mediciones oceanográficas realizadas desde buques (Goni y otros, 2010), flotadores perfiladores (Freeland y otros, 2010), boyas (Meldrum y otros, 2010; McPhaden y otros, 2010; Send y otros, 2010; Dohan y otros, 2010; Keeley y otros, 2010), y olas y nivel del mar (Swail y otros, 2010a; Swail y otros, 2010b; Merrifield y otros, 2010).

---

<sup>1</sup> En el volumen I.1 del *Manual de claves* también se presenta actualmente una descripción de las claves alfanuméricas tradicionales (CAT) que durante muchos años se han utilizado para distribuir datos a través del Sistema Mundial de Telecomunicación (SMT), principalmente en el contexto de los VOS en relación con la clave FM 13 SHIP. No obstante, la OMM está en proceso de abandonar por completo el uso de las CAT para la transmisión a través del SMT. Por lo tanto, es posible que en el futuro el *Manual de claves* se reestructure y el primer volumen se omita.

Por recomendación de la Comisión Técnica Mixta OMM/COI sobre Oceanografía y Meteorología Marina (CMOMM), se ha creado una red de Centros Regionales de Instrumentos Marinos (CRIM) de la OMM y de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), con el fin de contribuir a que los datos y metadatos de observación y los productos de observación procesados respeten las normas de mayor nivel aplicables a los instrumentos y métodos de observación, para lo cual se proporcionan: i) instalaciones para la calibración y el mantenimiento de instrumentos marinos y para el control del rendimiento de los instrumentos, y ii) asistencia para la intercomparación de instrumentos, así como centros de formación adecuados que complementen el apoyo que también proporcionan los fabricantes. En el anexo 4.A. figuran el mandato y la ubicación de los CRIM.

## 4.2 **OBSERVACIONES REALIZADAS DESDE BUQUES**

Esta sección contiene directrices y orientación detalladas para hacer mediciones y observaciones desde buques. En OMM (1991*a*) figura más información al respecto. En OMM (2001), capítulo 6, se proporcionan los detalles de las observaciones en superficie a realizar dentro del marco del Sistema VOS de la OMM. En OMM (2001) también se proporciona información sobre los diferentes tipos de buques de observación voluntaria. En OMM (1991*b* y 1999), Kent y otros (1993), OMM/COI (2003*a* y 2003*b*), Kent y Berry (2005), Ingleby (2010) y Kennedy y otros (2012) se recogen estudios sobre la calidad de las observaciones efectuadas desde buques, mientras que en Bradley y Fairall (2006) se presenta una discusión de la comunidad científica sobre buenas prácticas de observación así como información sobre los sensores utilizados en el medio marino por Weller y otros (2008).

### 4.2.1 **Funcionamiento del Sistema de buques de observación voluntaria de la OMM**

Los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) se ocupan del funcionamiento del Sistema de buques de observación voluntaria (VOS) de acuerdo con las directrices del Equipo de observaciones realizadas desde buques (SOT) de la CMOMM y, en particular, del Grupo de expertos sobre buques de observación voluntaria (VOSP). En OMM (2001) se proporciona la información completa sobre el Sistema de buques de observación voluntaria. Los administradores del Programa VOS trabajan con los agentes meteorológicos de puerto que normalmente actúan de enlace entre el operador del VOS y el propio buque. Un primer paso esencial para reclutar VOS es obtener el permiso de los armadores y del comandante del buque. Una vez hecho esto y seleccionado el buque, los agentes meteorológicos de puerto deberían hacer lo siguiente:

- a) instalar instrumentos calibrados de modo que su exposición sea la mejor posible;
- b) suministrar formularios en papel para el diario de navegación o instalar un diario de navegación electrónico;
- c) capacitar a los observadores en el cuidado y funcionamiento de los instrumentos;
- d) capacitar a los observadores en todos los aspectos de las prácticas de observación;
- e) demostrar cómo se utiliza el diario de navegación electrónico y cómo han de recopilarse las observaciones;
- f) registrar los metadatos necesarios del buque para su inclusión en OMM (1955-);
- g) demostrar los métodos de transmisión de la información;
- h) explicar los productos de predicción marina de los SMHN.

Una vez reclutado un buque, en teoría el agente meteorológico de puerto debería procurar visitarlo por lo menos una vez cada tres meses (dependiendo del tráfico de buques y de la disponibilidad de personal; si ello no es factible, tal vez se podrían realizar visitas menos frecuentes), para verificar la exactitud de los instrumentos y reponer las existencias de formularios, documentos, etc. Las estaciones meteorológicas automáticas y los sensores digitales pueden no necesitar más que una comprobación al año. El agente debería aprovechar la ocasión para fomentar el interés por la meteorología y explicar el interés mutuo que para los marinos y meteorólogos reviste la exactitud de las observaciones meteorológicas.

En algunos casos, una compañía (normalmente de petróleo o gas) que opera un buque o plataforma efectúa observaciones o mediciones para sus propios fines y las distribuye a través del Sistema Mundial de Telecomunicación con escasa participación del agente meteorológico de puerto. Es posible que la instalación y el mantenimiento del instrumental de meteorología oceánica, y la capacitación asociada a él, sean obra de una empresa contratada. En caso de que el buque o estación no haya sido reclutado por un agente meteorológico de puerto, se debería hacer lo posible por que los metadatos correspondientes se distribuyan a través de los canales apropiados de la OMM.

#### 4.2.2 **Observaciones desde buques de observación voluntaria**

##### 4.2.2.1 ***Elementos observados***

Lo ideal sería que los buques reclutados para el Sistema de VOS<sup>2</sup> que efectúan observaciones meteorológicas deberían registrar los parámetros siguientes:

- a) la posición del buque (determinada a partir del sistema de navegación del buque);
- b) el rumbo y la velocidad del buque (determinada a partir del sistema de navegación del buque);
- c) la velocidad y dirección del viento (medida o estimada visualmente);
- d) la presión atmosférica (medida);
- e) la tendencia de la presión y sus características (medida o estimada a partir del trazado barométrico);
- f) la temperatura del aire (medida);
- g) la humedad (medida);
- h) la temperatura de la superficie del mar (medida);
- i) el tiempo presente y pasado, y los fenómenos meteorológicos (estimados visualmente);
- j) la cantidad y el tipo de nubes y la altura de su base (estimados visualmente);
- k) la precipitación (a menudo estimada visualmente);
- l) la visibilidad (estimada visualmente);
- m) las olas oceánicas del mar de viento y del mar de fondo, en particular la altura, el período y la dirección (a menudo estimados visualmente);

---

<sup>2</sup> <http://www.bom.gov.au/jcomm/vos/resources.html>

- n) el hielo marino (a menudo estimado visualmente) y/o la acumulación de hielo (a menudo estimada visualmente) a bordo del buque, si procede;
- o) fenómenos especiales (estimados visualmente).

Algunos buques dotados de equipo especial, por ejemplo, los buques de investigación o los buques faro, pueden realizar observaciones instrumentales referidas a la precipitación, la radiación, la visibilidad y los parámetros asociados a las nubes o las olas.

En general, sería ideal que las observaciones instrumentales que requieren el uso de una fuente de luz por la noche se efectuasen después de las que no requieren el uso de instrumentos, de modo que el observador no tenga problemas con la adaptación de su vista a la oscuridad.

#### 4.2.2.2 **Equipo necesario**

Los instrumentos adecuados para utilizar en buques son:

- a) barómetro aneroide de precisión, aneroide de cuadrante o barómetro electrónico digital (capítulo 3 de la parte I);
- b) barógrafo, preferiblemente de escala abierta (es conveniente, aunque no obligatorio) o un barómetro digital que incluya trazado de la tendencia barométrica (capítulo 3 de la parte I);
- c) termómetros de líquido (mercurio<sup>3</sup> o alcohol) en cápsula de vidrio o termómetro de resistencia eléctrica (capítulo 2 de la parte I);
- d) higrómetro o psicrómetro (capítulo 4 de la parte I);
- e) termómetro para medir la temperatura del mar y recipiente adecuado para obtener muestras del agua de mar, o un sensor sumergido continuamente o un sensor de contacto en el casco que dispongan de un indicador a distancia.

Se recomienda el empleo de anemómetros ubicados en un lugar adecuado, como alternativa a la apreciación visual de la fuerza del viento, siempre que dichos instrumentos se calibren y verifiquen regularmente. Raramente se suministran pluviómetros para su uso a bordo de un VOS.

Los instrumentos utilizados en los buques deberían ajustarse a las normas establecidas o recomendadas en otros capítulos de esta Guía, excepto por cuanto se refiere a las modificaciones descritas en las secciones siguientes de este capítulo. Los instrumentos suministrados a los buques deberían ser sometidos a pruebas y verificados regularmente por los SMHN correspondientes.

#### 4.2.2.3 **Automatización de las observaciones de los buques**

Cada vez se usan más las estaciones meteorológicas automáticas o los sistemas parcialmente automáticos en los buques de observación, tanto para las observaciones como para la transmisión de datos. Se utilizan tres procedimientos básicos:

- a) Las observaciones se realizan manualmente; por lo general, se introducen en el diario de navegación electrónico<sup>4</sup> de una computadora; se cifran, según proceda; y reciben el formato necesario para su transmisión automática o manual.

<sup>3</sup> Los consejos relativos a la utilización sin riesgos del mercurio figuran en el capítulo 3 de la parte I (sección 3.2.7). El Convenio de Minamata sobre el Mercurio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente entró en vigor en octubre de 2013, y repercutirá significativamente en la utilización del mercurio para aplicaciones meteorológicas.

<sup>4</sup> <http://sot.jcommops.org/vos/resources.html>

- b) Las observaciones se realizan automáticamente, utilizando técnicas normalizadas aplicables a las EMA, como se describe en el capítulo 1 de la parte II. La posición, el rumbo y la velocidad de los buques se toman de su sistema de navegación o se calculan de forma independiente mediante un sistema de navegación por satélite, por lo general el Sistema de posicionamiento global (GPS). La transmisión de dichas observaciones puede ser totalmente automática o iniciada manualmente, según los servicios de comunicación disponibles.
- c) Las observaciones que constituyen el informe marino son una combinación de observaciones automatizadas y manuales, a saber, las observaciones automatizadas acompañadas de observaciones visuales introducidas por el observador antes de la transmisión (es decir, añadiendo visibilidad; claves meteorológicas; cantidad, tipo y altura de las nubes; altura, período y dirección de las olas; parámetros de hielos; y velocidad y dirección del viento cuando no se midieron usando un anemómetro).

#### 4.2.2.4 **Horas de observación**

Cuando se realiza manualmente, y salvo en el caso de la presión, la observación de parámetros debería efectuarse en los 10 minutos anteriores a la hora fija establecida para realizar la observación sinóptica. No obstante, la presión atmosférica debería medirse a la hora exacta, o lo más cerca posible de ese momento.

Las observaciones de superficie a bordo de buques por lo general se realizan de la siguiente manera:

- a) Las observaciones sinópticas de los buques de observación que transmiten información manualmente deberían efectuarse en las horas fijas principales: 0000, 0600, 1200 y 1800 UTC. Si se requieren observaciones adicionales, estas se deberían efectuar a una o más de las horas fijas intermedias: 0300, 0900, 1500 y 2100 UTC.
- b) Cuando se utilice un sistema automatizado, las observaciones se deberían efectuar cada hora (asimismo, los observadores de los buques pueden introducir información manualmente para generar, a las horas sinópticas, observaciones sinópticas completas que incluyan los parámetros visuales adicionales).
- c) Cuando, por motivos operacionales del buque, resulte imposible hacer las observaciones sinópticas a las horas fijas principales, la hora en que la observación se realice efectivamente deberá acercarse lo más posible a las horas fijas principales.
- d) Las observaciones deberían hacerse con mayor frecuencia que la requerida por las horas fijas principales cuando una tempestad se avecine o esté en curso.
- e) Cuando las condiciones meteorológicas se vuelvan repentinamente peligrosas, deberían hacerse observaciones para su transmisión inmediata sin tener en cuenta las horas fijas de observación (por ejemplo, cuando el buque se encuentre a menos de 300 millas náuticas de un sistema tropical con nombre).
- f) Las observaciones marinas son tan valiosas en las zonas costeras como en alta mar y deberían efectuarse de manera continua durante todo el viaje.

#### 4.2.2.5 **Transmisión de observaciones de los buques**

En la actualidad está muy difundido el uso de sistemas satelitales de comunicación para la difusión de datos de las observaciones de buques. Los detalles figuran en OMM (2001), sección 6.6. Los cuatro métodos más comúnmente utilizados son:

- a) El sistema internacional de recopilación de datos, que emplea satélites meteorológicos geosíncronos (GOES, METEOSAT, GMS). Ese sistema, financiado principalmente por los

SMHN, permite la transmisión de datos de manera totalmente automática a intervalos de una hora establecidos previamente. La transmisión de datos es unidireccional y la tasa de error puede ser importante. Se utiliza principalmente en conjunción con boyas fondeadas, aunque también en algunos sistemas de EMA a bordo de buques.

- b) Los sistemas de satélites comerciales mediante el sistema INMARSAT-C que llevan la mayoría de los buques oceánicos para cumplir con los requisitos del Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (SOLAS) y del Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos (SMSSM). Las observaciones meteorológicas normalmente se envían a una estación terrena terrestre (ETT) adecuada por medio de la clave especial de acceso 41, que permite a los SMHN sufragar los costos de la transmisión. En el sitio web de la OMM ([http://www.wmo.int/pages/prog/amp/mmop/inmarsat\\_les.html](http://www.wmo.int/pages/prog/amp/mmop/inmarsat_les.html)) figura una lista actualizada de las ETT que aceptan mensajes transmitidos con claves especiales de acceso. El INMARSAT-C proporciona cobertura casi mundial, salvo en las latitudes más elevadas. No obstante, se están creando otras claves especiales de acceso específicas, a fin de posibilitar el envío de mensajes del buque a la costa en un formato comprimido, con lo cual los Servicios Meteorológicos Nacionales podrán reducir los costos de transmisión de sus flotas de observación nacionales. El servicio de notificación de datos de INMARSAT-C se utiliza también para enviar datos meteorológicos comprimidos de algunos sistemas de EMA. La mayoría de los buques de observación no automatizados que transmiten información manualmente utilizan INMARSAT-C.
- c) Es cada vez más frecuente el uso de servicios de satélites comerciales, como Iridium, para los sistemas de EMA instalados a bordo de buques. El sistema de Iridium para la transmisión rápida de datos (*Short Burst Data*, o SBD), que utiliza mensajes en formato binario, permite reducir significativamente los costos de transmisión. Iridium posee la ventaja de prestar cobertura satelital a escala mundial y también puede hacer que los datos transmitidos lleguen de manera más oportuna a su destino.
- d) El servicio Argos. Este sistema está diseñado sobre todo para la localización y para la transmisión de datos, y está limitado por el número y las características orbitales de los satélites de órbita polar en los que están instalados los instrumentos Argos. El sistema Argos se utiliza tanto para la transmisión de las observaciones de buques al SMT (OMM/COI, 1995) como para su procesamiento en este último, pero puede haber varias horas de retraso, según la ubicación de la estación de observación y la estación receptora en tierra. Los costos también pueden ser apreciables cuando se los compara con los de otros sistemas satelitales. Se suele utilizar para boyas a la deriva pequeñas, aunque su sustitución por Iridium es cada vez más frecuente. También hay unos cuantos sistemas autónomos de EMA a bordo de buques que utilizan Argos para la transmisión de datos.

#### 4.2.2.6 **Viento**

Las observaciones de la velocidad y la dirección del viento se pueden hacer por medio de una apreciación visual o utilizando un anemómetro o un anemógrafo. Los vientos deberían medirse únicamente si se utiliza un instrumento cuyo mantenimiento se haya efectuado correctamente, que haya sido recientemente calibrado y que se encuentre ubicado en un lugar bien expuesto y ajeno a la influencia de la superestructura, la arboladura y las vergas. Las observaciones de la velocidad del viento pueden registrarse en nudos o en metros por segundo. Es preferible utilizar valores en nudos cuando los datos deban transmitirse desde el buque en un formato que no permita el registro de décimas.

##### 4.2.2.6.1 **Observaciones visuales**

Las apreciaciones visuales se basan en la apariencia de la superficie del mar. La velocidad del viento se evalúa refiriéndola a la escala Beaufort (véase el cuadro que figura más adelante). El número Beaufort estimado se convertirá en metros por segundo o en nudos utilizando las columnas del cuadro que contienen las equivalencias de velocidad del viento, de modo que la información transmitida sobre la velocidad del viento adopte la forma de un valor específico

expresado en metros por segundo o nudos que responda a la mejor estimación que sea capaz de realizar el observador atendiendo a los intervalos de equivalencia. Es posible que haya instrucciones nacionales que orienten sobre las prácticas preferidas. La dirección del viento se determina observando la orientación de las crestas de las olas de viento (es decir, las olas levantadas por el viento y no las olas debidas al mar de fondo), o la dirección de los penachos de espuma arrastrados en la dirección del viento. Las especificaciones de las cifras de la escala Beaufort se refieren a las condiciones en alta mar. En la práctica, la estimación visual de la dirección del viento da resultados de buena calidad.

La altura de la ola en sí no siempre es un criterio de fiar, pues esa altura depende no solo de la velocidad del viento, sino también del alcance y la duración del viento, de la profundidad de las aguas y de la presencia de mar de fondo. Por lo tanto, la escala Beaufort se basa en la relación que existe entre el estado del mar y la velocidad del viento. Sin embargo, en esa relación influyen otros factores que, en principio, deberían tenerse en cuenta al calcular la velocidad del viento. Esos factores son el desfase entre el momento en que aumenta la fuerza del viento y el momento en que el mar se levanta, la atenuación o amortiguación de los efectos del viento en la superficie del mar ocasionada por la lluvia intensa, y el efecto de las corrientes de superficie fuertes (como las corrientes de las mareas) en el aspecto del mar. Los criterios referidos al aspecto que tiene el mar son menos fiables en aguas poco profundas o muy próximas a la costa, debido a los efectos de las corrientes de las mareas y a la protección que ofrece la tierra. En esos casos, o cuando no se puede ver claramente la superficie del mar (por ejemplo, por la noche), se puede estimar la fuerza relativa del viento en la escala Beaufort atendiendo al sonido del viento o al efecto del viento sobre los objetos a bordo, como las banderas, y sobre el humo de la chimenea. En este último caso, la dirección relativa del viento también puede estimarse, por ejemplo, observando el humo de la chimenea. A partir de esas estimaciones, se puede calcular la velocidad y la dirección del viento verdadero (Servicio Meteorológico de Reino Unido, 1995). Si no se dispone de otros medios para estimar la dirección del viento, el movimiento de las nubes bajas puede ser una herramienta útil.

**Escala de Beaufort en uso operativo para los informes de la OMM sobre el viento  
estimado a una altura de 10 m sobre el nivel del mar**

Número Beaufort (fuerza)	Término descriptivo	Velocidad media del viento equivalente		Intervalo de velocidades del viento equivalentes		Condiciones durante la observación	Altura probable de las olas m	Altura máxima probable de las olas m
		nudos	$m s^{-1}$	nudos	$m s^{-1}$			
0	Calma	0	0	< 1	0-0,2	El mar está como un espejo		
1	Ventolina	2	0,8	1-3	0,3-1,5	Empieza a rizarse el mar, pero sin espuma	0,1	0,1
2	Flojito (brisa muy débil)	5	2,4	4-6	1,6-3,3	Olas pequeñas, pero más acusadas, crestas de apariencia vidriosa sin romper aún	0,2	0,3
3	Flojo (brisa débil)	9	4,3	7-10	3,4-5,4	Olas algo mayores; crestas rompientes; espuma de aspecto vidrioso, algunos borreguillos dispersos	1,6	1,0
4	Bonancible (brisa moderada)	13	6,7	11-16	5,5-7,9	Olas cada vez más largas; borreguillos francamente numerosos	1,0	1,5
5	Fresquito (brisa fresca)	19	9,3	17-21	8,0-10,7	Olas moderadas, claramente más alargadas; gran abundancia de borreguillos, eventualmente algunos rociones	2,0	2,5
6	Fresco (brisa fuerte)	24	12,3	22-27	10,8-13,8	Comienzan a formarse olas grandes; las crestas de espuma blanca se extienden por todas partes; aumentan los rociones	3,0	4,0
7	Frescachón (viento fuerte)	30	15,5	28-33	13,9-17,1	Mar gruesa; la espuma blanca de las crestas rompientes empieza a ser arrastrada en la dirección del viento	4,0	5,5
8	Temporal	37	18,9	34-40	17,2-20,7	Olas de altura media y más alargadas; del borde superior de las crestas comienzan a desprenderse rociones en forma de torbellinos; la espuma es arrastrada en nubes blancas orientadas en la dirección del viento	5,5	7,5
9	Temporal fuerte	44	22,6	41-47	20,8-24,4	Olas gruesas, la espuma es arrastrada en nubes espesas; la mar empieza a rugir; los rociones pueden dificultar la visibilidad	7,0	10,0

Número Beaufort (fuerza)	Término descriptivo	Velocidad media del viento equivalente		Intervalo de velocidades del viento equivalentes		Condiciones durante la observación	Altura probable de las olas	Altura máxima probable de las olas
		nudos	$m s^{-1}$	nudos	$m s^{-1}$		<i>A bordo de buques (mar abierto)</i>	<i>m</i>
10	Temporal duro	52	26,4	48-55	24,5-28,4	Olas muy gruesas; con grandes crestas empenachadas; la espuma se aglomera en grandes bancos, siendo arrastrada en la dirección del viento en forma de espesas estelas blancas; en su conjunto la superficie del mar parece blanca; el rugido de la mar se vuelve intenso y empiezan a oírse golpes sordos; visibilidad reducida	9,0	12,5
11	Temporal muy duro (borrasca)	60	30,5	56-63	28,5-32,6	Olas excepcionalmente grandes (los buques de pequeño y mediano tonelaje pueden perderse de vista); la mar está completamente cubierta de bancos de espuma blanca extendida en la dirección del viento; visibilidad reducida	11,5	16,0
12	Temporal huracanado (huracán)	64 y más	32,7 y más	64 y más	32,7 y más	El aire está lleno de espuma de rociones; la mar está completamente blanca debido a los bancos de espuma; visibilidad muy reducida	14 y más	–

Nótese que las alturas de las olas se indican a modo de guía para indicar a grandes rasgos las condiciones que pueden esperarse en mar abierto. Dichas alturas nunca deben utilizarse para registrar o notificar el estado del mar. En aguas circundadas por zonas terrestres o cerca de la costa, con vientos que soplen hacia la costa, la altura de las olas será menor y su inclinación mayor.

Fuente: Organización Meteorológica Internacional – Comité Meteorológico Internacional (1947)

#### 4.2.2.6.2 Mediciones con instrumentos

Los instrumentos para medir el viento instalados en buques deberían indicar la velocidad y la dirección del viento y tendrían que poder minimizar los efectos de balanceo del buque (los anemómetros de cazoletas diseñados para tal fin y las veletas dotadas de un dispositivo de amortiguación permiten reducir al mínimo los efectos del cabeceo y balanceo del buque). El medio marino es riguroso; por lo cual, los anemómetros de cazoletas o de hélice requieren mantenimiento y calibración frecuentes para producir datos fiables sobre el viento. Los anemómetros ultrasónicos no tienen partes móviles, requieren menos mantenimiento y, por consiguiente, son de uso cada vez más frecuente en los buques.

Es difícil lograr una buena exposición para los instrumentos que miden el viento a bordo de un buque (OMM/COI, 2003*b*; Yelland y otros, 2001; Moat y otros, 2005; Moat y otros, 2006). En lo posible, deberían reducirse al mínimo los efectos locales producidos por la superestructura, la arboladura y las vergas colocando el instrumento en el punto más elevado y cercano a la proa que resulte factible. Si se coloca en una verga, es preferible que los dispositivos para medir la velocidad y determinar la dirección del viento formen unidades separadas, ya que de esa forma es posible repartir de manera más uniforme el peso sobre la verga, y colocar los instrumentos en una posición más exterior. Tanto si el instrumento está sujeto a una verga como si lo está a un soporte fijo en el trinquete, cada unidad debería estar alejada del mástil a una distancia equivalente, como mínimo, a 10 veces el diámetro de este. Si ello no fuera posible, una buena técnica consiste en colocar dos instrumentos, uno de cada lado del trinquete, pero empleando siempre el que esté más expuesto a los elementos. La cima del trinquete, en su caso, suele considerarse el emplazamiento ideal para un anemómetro. Los sensores ultrasónicos de viento son eficientes y muy exactos cuando se instalan en lo alto del mástil principal.

En algunas ocasiones, se utilizan en el mar diferentes tipos de anemómetros portátiles (a menudo para ayudar en el atraque del buque). Su principal inconveniente es que difícilmente se les puede dar una exposición representativa y, en la práctica, las mediciones realizadas con esos instrumentos adolecen de gran variabilidad (Kent y otros, 1993). Solamente un observador que comprenda la naturaleza de la circulación del aire sobre el buque en diferentes circunstancias será capaz de elegir el mejor emplazamiento para efectuar esas observaciones y llegar así a resultados satisfactorios. Este método puede ser útil si las estimaciones visuales de la fuerza del viento resultan difíciles o imposibles de realizar como, por ejemplo, en las noches de poco viento.

Cuando las observaciones se hacen desde un buque en movimiento, se debe distinguir entre el viento relativo y el viento verdadero; para todos los fines meteorológicos se debe indicar el viento verdadero (aunque en el caso de los buques asociados al proyecto VOSCLim también se indica el viento aparente). En OMM/COI (2003*c*), se describe con detalle el procedimiento aplicado para calcular la verdadera velocidad y dirección del viento a partir de la velocidad y dirección relativas del viento y la velocidad, el rumbo y la derrota del buque. Cabe destacar que el rumbo y la derrota del buque pueden variar significativamente, en particular cuando el buque circula a baja velocidad o con fuerte abatimiento. Se puede emplear un sencillo diagrama de vectores o una tabla para calcular el viento verdadero a partir de las observaciones del viento relativo y de la velocidad y el rumbo del buque (Bowditch, 2002). Estos parámetros adicionales se obtienen preferiblemente de un compás magnético y de la información de la velocidad del buque. También pueden obtenerse del movimiento de la nave proveniente de un receptor GPS, pero en ese caso no se tiene en cuenta la deriva. En el pasado, esa conversión vectorial fue una fuente frecuente de errores al informar sobre los vientos. No obstante, el uso cada vez mayor de diarios de navegación electrónicos, cuyo soporte lógico calcula el viento verdadero, habrá reducido esta fuente de error. En el caso de las EMA, es probable que toda la información requerida se obtenga directamente del anemómetro y del sistema de navegación del buque.

La velocidad y dirección del viento notificadas corresponderán a la media de velocidad y dirección medidas durante los 10 minutos que precedan inmediatamente a la observación. No obstante, si durante ese período las características del viento presentaran discontinuidades, solo los datos posteriores a esa discontinuidad servirán para comunicar los valores medios, con lo cual el período en cuestión se reducirá en consecuencia.

El registro de los metadatos del buque para OMM (1955-) es especialmente importante para las observaciones del viento (Yelland y otros, 2001). Se deberían suministrar metadatos que indiquen los instrumentos utilizados, cómo están instalados a bordo del buque (en qué parte del buque y a qué altura), así como los detalles sobre el tipo de buque (Kent y otros, 2007). Los metadatos se usan en particular para interpretar de forma correcta los datos y para mejorar su coherencia (por ejemplo, para la corrección del sesgo), y para permitir la trazabilidad de los datos con respecto a las normas.

#### 4.2.2.7 ***Presión atmosférica, tendencia de la presión y característica de la tendencia barométrica***

##### 4.2.2.7.1 **Métodos de observación**

Se puede medir la presión mediante un barómetro aneroide de precisión, un aneroide de cuadrante o un barómetro electrónico digital. La lectura del barómetro se realizará con la mayor proximidad posible a la hora de observación. En una observación manual, se leerá el barómetro al final y se incluirá en la observación justo antes de completar el informe. Los sistemas automáticos deberían establecer los promedios en períodos de 1 minuto (capítulo 1 de la parte I (anexo 1.E)). La mayoría de los buques debería notificar la presión a un decimal. No obstante, en los VOS auxiliares en que se utilicen barómetros de escala gruesa sin calibrar que no permitan leer la presión en décimas de hectopascal, debería registrarse la presión en hectopascales enteros, preferiblemente acompañada de una indicación o clave de algún tipo que señale con claridad la menor precisión de la medición (por ejemplo, en la antigua clave FM 13 SHIP (OMM, 2011b), la décima fue reemplazada por una barra oblicua para indicar que una observación tenía una precisión inferior).

Cuando las observaciones se efectúan manualmente, la característica y el valor de la tendencia barométrica en las tres horas precedentes se obtienen por lo general mediante un barógrafo marino, preferentemente un instrumento de gran escala, graduado en intervalos de un hectopascal. Sin embargo, cada vez se están utilizando más los barómetros digitales que muestran la tendencia barométrica en una pantalla de cristal líquido.

En el caso de las EMA, la característica y el valor de la tendencia barométrica en las tres horas precedentes se calculan a partir de los cuatro últimos registros horarios de los valores de la presión.

##### 4.2.2.7.2 **Instrumentos**

Todos los barómetros deberían cumplir los requisitos generales enunciados en el capítulo 3 de la parte I, y tendrían que suministrarse con un certificado que indique las correcciones (de haberlas) que han de aplicarse a las lecturas de ese instrumento. Los barómetros deberían permitir una precisión de lectura de 0,1 hPa. Los requisitos de incertidumbre para las mediciones operativas y el rendimiento de los instrumentos figuran en el capítulo 1 de la parte I (anexo 1.E). La incertidumbre de medición requerida será inferior a 0,1 hPa ( $< 0,2$  hPa tras la reducción al nivel del mar) y la incertidumbre alcanzable no debería, en ningún caso, ser peor que 0,3 hPa. Los barógrafos marinos deberían estar dotados de un dispositivo de amortiguamiento (como, por ejemplo, la cápsula aneroide contenida en un baño de aceite, o un amortiguador conectado al mecanismo de palanca) para evitar un trazado demasiado amplio producido por variaciones rápidas de la presión originadas por ráfagas de viento y fuertes movimientos del buque. Tanto el barómetro como el barógrafo deberían ventilarse hacia el exterior con una toma de presión estática de modo que las lecturas se puedan tomar con más exactitud sin que se vean afectadas si el puente de mando está cerrado ni influidas por las condiciones imperantes en el interior del buque y, si ello no fuera posible, se debería dar la instrucción de que las puertas de los alerones del puente se abran antes de efectuar una observación. Esto es especialmente importante en los buques nuevos que cuentan con cubiertas de alojamiento presurizadas o en los navíos que transportan cargas peligrosas donde la timonera puede estar herméticamente sellada.

En general, la mayoría de los SMHN, aunque no todos ellos, calibran sus barómetros aneroides de precisión y sus barómetros electrónicos a la presión del “nivel de la estación” y, por lo tanto, las observaciones deben ser corregidas a fin de obtener una lectura reducida al nivel del mar. Esta corrección de altura se calcula automáticamente con un programa informático de gestión del diario de navegación electrónico. Los barómetros aneroides de cuadrante normalmente están calibrados para indicar la presión reducida al nivel del mar.

#### 4.2.2.7.3 Exposición y utilización

##### *Barómetros y barógrafos digitales y aneroides*

Tanto los barómetros como los barógrafos deberían colocarse sobre un material que amortigüe los choques, en un lugar donde sea mínimo el riesgo de que el aparato se vea afectado por golpes y vibraciones, o por el movimiento del buque. Los mejores resultados se obtienen generalmente en una posición tan próxima al centro de flotación como sea posible. Los barógrafos deberían instalarse con el brazo de la plumilla orientado transversalmente al eje del buque (para reducir el riesgo de que el brazo se salga de la banda).

#### 4.2.2.7.4 Correcciones

Se deberían prever las siguientes correcciones:

- a) error instrumental (sesgo);
- b) reducción al nivel del mar cuando proceda;
- c) temperatura (si se dispone de las tablas aplicables y apropiadas).

Los barómetros deberían estar adecuadamente compensados en función de la temperatura; de no ser así, debería acompañar a los instrumentos una tabla de corrección por temperatura, y habría que contar con medios para medir la temperatura. También se debería disponer de una tabla para la reducción de la presión al nivel del mar cuando los barómetros estén calibrados para la altura de la estación, aunque esto no es necesario en el caso de los buques que utilizan diarios de navegación electrónicos capaces de aplicar la corrección de altura automáticamente (Bowditch, 2002, cuadros 29 a 34).

#### 4.2.2.7.5 Fuentes de error

Además de los errores a que se refiere el capítulo 3 de la parte I, en los buques se pueden producir errores apreciables por la influencia del viento en la presión del compartimento donde se halla situado el barómetro. Cuando sea posible, esos errores deberían reducirse colocando el instrumento en una cámara conectada a una toma de presión estática o conectando el dispositivo directamente a la toma de presión estática.

Los errores más frecuentes (errores humanos) de los barómetros no automatizados se deben a una falta de reducción al nivel del mar, a una incorrecta apreciación de la altura del barómetro o a una doble corrección involuntaria (por aplicarse la corrección en un barómetro que ya da la presión al nivel del mar).

#### 4.2.2.7.6 Comprobación por comparación con instrumentos patrón

Los barómetros y los barógrafos deberían revisarse, siempre que sea posible, cada tres meses aproximadamente, comparándolos con respecto al barómetro patrón de una oficina meteorológica portuaria o con respecto a un barómetro patrón de transferencia. Sin embargo, como los movimientos de los buques pueden ser muy dinámicos, esto no siempre será posible.

El agente meteorológico de puerto debería anotar en los libros de registro un informe de todas las comparaciones, y habría que adherir al barómetro una etiqueta de la calibración que muestre la fecha de comprobación del instrumento y la corrección que se debe aplicar.

Los barómetros digitales son mucho más estables y, para algunos modelos, el período entre calibraciones puede ser de hasta dos años.

#### 4.2.2.8 ***Temperatura y humedad del aire***

Las observaciones de la temperatura (capítulo 2 de la parte I) y de la humedad (capítulo 4 de la parte I) se realizan conjuntamente, ya que a menudo se miden mediante métodos psicrométricos con termómetros de bulbo húmedo y bulbo seco acoplados. No obstante, debido al uso creciente de EMA, es cada vez más habitual que estos parámetros se midan de manera independiente, con un termómetro y un higrómetro. Sea cual fuere el método empleado, los instrumentos deberían estar bien ventilados y estar bien expuestos a una corriente de aire que proceda directamente del mar y no haya estado en contacto con el buque ni pasado sobre él; asimismo, deberían estar debidamente protegidos de la radiación, la precipitación y los rociones.

En las observaciones manuales, si se emplean garitas meteorológicas de persianas, debería disponerse de dos, fijando una en cada costado del buque, de manera que siempre se puedan hacer las observaciones a barlovento. De este modo, los termómetros del higrómetro pueden estar expuestos por completo a la corriente de aire, sin verse afectados por fuentes artificiales de calor y de vapor de agua. Como solución alternativa se puede emplear solo una garita de persianas portátil, colgada en el lado que esté a barlovento, para conseguir la misma exposición. La muselina del termómetro húmedo colocado en una garita de persianas debería cambiarse una vez a la semana por lo menos, y con más frecuencia con tiempo tormentoso.

Los psicrómetros de honda, o los de aspiración, situados en el puente a barlovento, han dado resultados satisfactorios. Si se emplean psicrómetros manuales, hay que leer los termómetros tan pronto como se detenga la ventilación. Los higrómetros portátiles necesitan varios minutos para aclimatarse al ambiente exterior si antes de usarlos han estado guardados en el interior.

Para el manejo general de los psicrómetros conviene seguir las recomendaciones formuladas en el capítulo 4 de la parte I. Se debería emplear agua destilada para el termómetro de bulbo húmedo. Si no se dispone de ella fácilmente, el agua del condensador será generalmente más adecuada que el agua potable ordinaria. Nunca debería utilizarse agua contaminada con agua de mar porque cualquier traza de sal influirá considerablemente en la temperatura de bulbo húmedo.

En el caso de las EMA, o cuando se dispone de una pantalla digital a distancia, ya no es necesaria la lectura manual de los instrumentos dentro de la garita y normalmente puede instalarse una sola garita lo suficientemente alejada de la estructura del buque para proporcionar buena exposición. No obstante, ello dificulta el rellenado del reservorio del termómetro de bulbo húmedo, por lo que en las EMA suelen utilizarse sensores electrónicos de la temperatura y humedad relativa. Estos instrumentos deben calibrarse al menos una vez al año. Como se indica en el capítulo 4 de la parte I, la exactitud de tales sensores de humedad relativa probablemente será menor que la de los sensores psicrométricos, aunque todavía no se ha realizado una evaluación sistemática de la exactitud de esos sensores en el medio marino. Las EMA deberían notificar la temperatura del aire y la humedad en forma de promedios de 1 minuto.

La humedad puede representarse por medio de diferentes variables, por ejemplo, la temperatura del punto de rocío, la temperatura de bulbo húmedo o la humedad relativa (capítulo 4 de la parte I), y debería registrarse como la variable que se haya medido. Toda conversión entre variables de humedad agrega incertidumbre y se verá afectada por cualquier error en otras variables empleadas y el truncamiento necesario para adecuar el dato a los formatos de transmisión. En cuanto a las mediciones psicrométricas, la temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo deberían registrarse con una precisión de 0,1 °C. El punto de rocío debería calcularse empleando tablas normalizadas a escala nacional o aplicando fórmulas normalizadas de la OMM (capítulo 4 de la parte I (anexos 4.A y 4.B)) y el coeficiente psicrométrico apropiado para

el instrumento utilizado. La temperatura del punto de rocío debería también registrarse con una precisión de 0,1 °C. La conversión de mediciones de la temperatura de bulbo húmedo o del punto de rocío en datos de humedad relativa expresados en porcentajes enteros constituye una fuente de incertidumbre considerable, por lo que debería evitarse.

En los VOS auxiliares que utilicen termómetros de escala gruesa sin calibrar que no permitan leer la temperatura en décimas de grado, debería registrarse la temperatura en grados enteros, preferiblemente acompañada de una indicación o clave de algún tipo que señale con claridad la menor precisión de la medición (por ejemplo, en la antigua clave FM 13 SHIP, la posición de las décimas fue reemplazada por una barra oblicua para indicar que una observación tenía una precisión inferior). En todas las demás observaciones realizadas en buques debería registrarse la temperatura a una décima.

#### 4.2.2.9 **Temperatura de la superficie del mar**

La medición rutinaria consiste en tomar la temperatura del agua de mar próxima a la superficie marina o justo debajo de ésta. Es menos frecuente medir la temperatura radiométrica de la película superficial del mar.

La temperatura de la superficie del mar (SST) debería medirse con mucho cuidado. Una razón, entre otras, es que se utiliza para obtener la diferencia con la temperatura del aire, lo que proporciona una medición de la estratificación de la temperatura y la humedad y de otras características de las capas inferiores de las masas de aire marítimas. Los termómetros para agua del mar deberían permitir una resolución de lectura de 0,1 °C.

No ha sido posible establecer un dispositivo normalizado para observar las temperaturas de la superficie del mar debido a la gran diversidad de tamaño y velocidad de los buques, así como a las consideraciones relativas a costos, facilidad de manejo y mantenimiento.

La SST puede ser observada como sigue:

- a) tomando una muestra de agua de la superficie del mar con un balde especialmente diseñado;
- b) leyendo la temperatura del agua a su entrada en el condensador;
- c) exponiendo un termómetro eléctrico a la temperatura del agua del mar, directamente o a través del casco del buque (por ejemplo, incorporando un sensor en contacto con el casco);
- d) haciendo uso de un radiómetro de infrarrojos, instalado en el buque, enfocado hacia la superficie del mar;
- e) utilizando un batitermógrafo no recuperable<sup>5</sup>.

Los métodos principales empleados durante muchos años han sido el a) y el b). Se han llevado a cabo estudios de las diferencias de temperaturas ofrecidas por los dos métodos (OMM, 1972) de los que se concluye que las temperaturas del agua a su entrada son en promedio 0,3 °C superiores a las registradas en las muestras tomadas con baldes. En estudios más recientes se sugiere que este sesgo térmico se ha reducido con el tiempo (Kent y Taylor, 2006) y se indica que los detalles relativos al instrumento que mide la temperatura en la toma de agua influyen considerablemente en la calidad de la observación. En los últimos años, al haber aumentado la velocidad y la altura de los buques, el método c), que ofrece los resultados más uniformes, se ha convertido en el más utilizado (OMM, 1991b; Kent y otros, 1993). El empleo de radiómetros en los VOS es poco frecuente, pero pueden encontrarse en algunos buques de investigación o en plataformas en alta mar. De todos esos métodos, la técnica de la toma de agua del condensador es la menos aconsejable por el gran cuidado que debe tenerse para obtener buenos resultados.

<sup>5</sup> Actualmente no está previsto en OMM (1955-).

#### 4.2.2.9.1 Baldes marinos

Se baja un balde por un costado del buque para obtener una muestra de agua de mar. El balde se sube a bordo y se mide la temperatura del agua con un termómetro. La muestra se debería tomar del lado de sotavento del buque, y muy por delante de todos los conductos de desagüe. Se debería leer el termómetro tan pronto como haya alcanzado la temperatura de la muestra de agua, asegurándose de que se lee lejos de la luz solar directa. Cuando no se emplea, el balde debería colgarse en un lugar a la sombra para que escurra.

El diseño del balde marino debería permitir que el agua de mar circule en su interior durante la recogida y que el intercambio de calor debido a la radiación y a la evaporación sea mínimo. El termómetro que se emplee debería ser de respuesta rápida y fácil lectura, y preferentemente estará fijado al balde de manera permanente. Si se debe sacar el termómetro para leerlo, debería tener poca capacidad calorífica y estar dotado de una cubeta en tomo al depósito del termómetro con volumen suficiente como para que la temperatura del agua sacada con él no varíe mucho durante la lectura. El balde utilizado debería ser de un modelo que la organización que recluta el buque para esas observaciones juzgue conveniente para esos fines.

Las mediciones realizadas con baldes marinos bien diseñados suelen presentar un elevado nivel de concordancia en un amplio abanico de condiciones. Sin embargo, esos baldes resultan menos cómodos de utilizar que los instrumentos unidos al casco, y su uso depende a veces de las condiciones meteorológicas o del tamaño y la velocidad del buque.

#### 4.2.2.9.2 Termómetros de la toma de agua y del depósito

El termómetro incorporado al tubo de toma de agua cuando se construye el buque no resulta, por lo general, adecuado para medir la SST con la exactitud requerida. Así pues, en teoría, la organización que recluta el buque debería, con la autorización de la compañía armadora correspondiente, instalar un termómetro apropiado para dicho fin. El termómetro debería instalarse preferiblemente en un tubo especial que proporcione una conductividad calorífica adecuada entre el depósito del termómetro y el agua del mar circundante, y debería situarse cerca de la toma de agua, si bien esta no será siempre una solución viable.

Cuando un termómetro de lectura directa se instala de manera que no puede leerse con facilidad, se debería advertir al observador sobre la posibilidad de error por paralaje en las lecturas. Un sistema de lectura a distancia, con el indicador en otro lugar (por ejemplo, en la sala de máquinas o en el puente), resuelve este problema. El observador debería tener presente también que en el caso de buques de gran calado, o cuando existe un fuerte gradiente de temperatura en la capa superficial del mar, las lecturas de la temperatura de la toma de agua, por lo general, difieren considerablemente de las que se hacen más próximas a la superficie del mar y variará en función de la carga o lastre del buque. Por último, como es natural, la temperatura de la toma de agua no debería registrarse cuando el buque está detenido, pues entonces el agua de refrigeración no circula. Cabe señalar que la instalación *a posteriori* de un sensor en la toma de agua del buque o de un sensor en contacto con el casco para medir la SST a menudo requiere mucho tiempo y resulta complicada, y suele obligar a los técnicos o agentes meteorológicos de puerto a trabajar en un ambiente difícil (en el interior del buque, en lugares con acceso complicado, etc.).

El compartimento abierto en la parte inferior del casco del buque donde van a parar los tubos de toma de agua es buen lugar para medir la temperatura. Es un excelente emplazamiento para instalar el sensor de un termómetro de lectura a distancia. Las limitaciones ya mencionadas también se aplican a dichas instalaciones.

Aunque la mayoría de termómetros de la toma de agua solo proporcionarán lecturas de temperatura instantáneas, algunos buques pueden equiparse con sondas de temperatura que puedan muestrear las mediciones con una determinada frecuencia y establecer un promedio. En ese caso, y para obtener mediciones que sean más representativas de la SST, puede usarse un algoritmo de filtrado modal para excluir las lecturas extremas de la media calculada.

#### 4.2.2.9.3 **Termómetros unidos al casco**

Los termómetros unidos al casco proporcionan un sistema muy práctico para medir la SST con exactitud. Son, necesariamente, dispositivos de lectura a distancia en los que el sensor puede estar instalado tanto en el exterior, en contacto directo con el mar, empleando una conexión "a través del casco", como sujeto al interior del casco (tipo "lapa"), a menos que el casco sea doble. Si bien las mediciones de ambos tipos de instrumentos ofrecen un elevado grado de concordancia, el primero da una respuesta algo más rápida.

Los sensores deben colocarse en posición más adelantada a la de cualquier orificio de desagüe o descarga, a una profundidad de 1 o 2 m por debajo de la línea de flotación. En el caso de buques cuyas variaciones de calado sean muy acusadas, puede ser necesario colocar más de un sensor. Pueden resultar bastante problemáticos la instalación y el cableado del sensor, por lo que es mejor realizar estas operaciones cuando el buque está en construcción. La instalación *a posteriori* del termómetro tipo "lapa" no requiere llevar el buque a dique seco.

#### 4.2.2.9.4 **Termómetros de arrastre**

Se han ideado diversos procedimientos para arrastrar en el mar el sensor de un termómetro de lectura a distancia, que mida la temperatura en el mismo lugar en que se tomaría la muestra con un balde marino. Las diferencias residen en el modo de recoger a bordo el cable de conexión y en la manera en que el sensor se expone al agua del mar. Las lecturas de esos instrumentos concuerdan bien con las de los baldes marinos que son exactos y pueden utilizarse inmediatamente. Sin embargo, dado que la experiencia en la materia es limitada, no se dispone de información sobre posibles obstrucciones debidas a algas, etc. Por ese motivo es necesario recuperarlos y lavarlos cada vez que se utilizan, como se hace con los baldes. Los termistores de arrastre son poco comunes en los VOS, pero son más frecuentes en usos relacionados con la investigación (Fairall y otros, 1997; Bradley y Fairall, 2006; Weller y otros, 2008).

#### 4.2.2.9.5 **Radiómetros**

Cualquier sustancia, en función de su temperatura, desprende energía calorífica en forma de radiación infrarroja. La cantidad de energía radiada y la longitud de onda de la radiación dependen de la temperatura de la sustancia y de su poder emisor. Así, para medir la temperatura de una sustancia pueden utilizarse radiómetros que responden a la radiación en el infrarrojo. Cuando se orienta hacia la superficie del mar, el radiómetro mide la temperatura solo de la capa más cercana a la superficie, de más o menos 1 mm de espesor, puesto que el poder emisor del agua es próximo a la unidad. Esa capa superior suele llamarse capa superficial del océano. En el océano puede haber fuertes gradientes de temperatura en los primeros centímetros de profundidad, registrándose la temperatura más baja en la parte superior, especialmente en situaciones de relativa calma.

Los radiómetros pueden ser portátiles (apuntando hacia adelante y hacia abajo), estar instalados en la proa o situados en un botalón saliente del buque. Las mediciones de los radiómetros representan la temperatura de la película superficial sometida a la evaporación y se emplean solamente en algunos buques (Barton y otros, 2004; Donlon y otros, 2008).

#### 4.2.2.10 **Nubes y tiempo**

##### 4.2.2.10.1 **Nubosidad y tipo de nube**

Para las observaciones visuales de las nubes se deberían seguir las mismas reglas aplicadas a una estación terrestre (véase el capítulo 15 de la parte I). El agente meteorológico de puerto debería suministrar instrucciones detalladas. Numerosas fuentes ofrecen guías prácticas e informan sobre cifrado, como OMM (1975 y 1987) o las publicaciones de los SMHN. La mayor parte de los programas informáticos para la gestión de diarios de navegación electrónicos incluyen una extensa colección de imágenes de nubes para ayudar a identificar los tipos de nubes. Además,

la plantilla para notificar observaciones SHIP (B/C10, en el *Manual de claves*, volumen I.2, parte C (OMM, 2011c)) proporciona información específica sobre cómo elaborar y codificar los informes de los VOS sobre las nubes.

La evaluación de la nubosidad total consiste en estimar la superficie total del cielo que está cubierta de nubes, y esta debería notificarse en octas. En las instrucciones nacionales deberían indicarse cómo convertir las octas en porcentajes (%), como exige la transmisión en FM 94 BUFR. La evaluación de la cantidad de nubes bajas se lleva a cabo de manera similar y se notifica en octas, tanto para su transmisión de buque a costa como para su transmisión en FM 94 BUFR. Si no hay nubes bajas, se notifica en cambio la cantidad de nubes medias. El tipo de nube baja, media y alta deberá determinarse conforme a lo establecido en el *Atlas Internacional de Nubes*, volumen I (OMM, 1975), o por comparación con las imágenes mostradas en el programa informático de gestión del diario de navegación electrónico.

#### 4.2.2.10.2 Altura de la base de la nube

En los VOS, la altura de la base de la nube suele determinarse por estimación. A fin de mejorar su capacidad para realizar tal estimación, habría que alentar a los observadores a que aprovechen cualquier oportunidad para comprobar sus estimaciones comparándolas con alturas conocidas como, por ejemplo, cuando se ve que una base nubosa entra en contacto con el relieve de una costa montañosa, aunque en tales circunstancias, la base de la nube puede estar más baja en la montaña que en el mar.

Hay buques especializados que disponen de instrumentos para medir la altura de la base de la nube. La observación de la altura de la base de la nube con un proyector resulta de poco valor en un buque a causa de lo corta que es la línea de referencia disponible. Se preferirán los instrumentos que no necesiten línea de referencia como, por ejemplo, los nefobasímetros láser (véase el capítulo 15 de la parte I). El instrumento debería estar instalado y situado de modo que lo pueda manipular y leer el oficial de guardia en el puente de navegación.

#### 4.2.2.10.3 Tiempo pasado y tiempo presente

El propósito principal de las observaciones sobre el tiempo pasado y el tiempo presente es constituir una descripción cualitativa de los fenómenos meteorológicos. La mayoría de los informes emitidos por los VOS respecto del tiempo pasado y el tiempo presente se elaboran mediante observaciones visuales y auditivas y están sujetos a las mismas reglas que se aplican en una estación terrestre (véase el capítulo 14 de la parte I). Hay 100 categorías de tiempo presente aplicables a las observaciones manuales de los VOS (las 100 primeras claves de la tabla de cifrado 0 20 003 de FM 94 BUFR). El tiempo pasado se notifica en 10 categorías (las 10 primeras claves en las tablas de cifrado 0 20 004 y 0 20 005 de FM 94 BUFR). Deberían comunicarse las dos categorías de tiempo pasado que ofrezcan una descripción lo más completa posible de las condiciones imperantes en el período objeto de observación. Por lo que respecta a las nubes, el agente meteorológico de puerto debería proporcionar instrucciones detalladas. En la plantilla B/C10 (OMM, 2011c) se proporciona información específica sobre cómo elaborar y codificar los informes meteorológicos de los VOS. Los observadores que utilizan programas informáticos de gestión del diario de navegación electrónico encontrarán probablemente más orientaciones en esos programas.

En el mar no es frecuente que se realicen mediciones (en lugar de observaciones manuales) del tiempo presente y el tiempo pasado. No obstante, pueden utilizarse instrumentos similares a los utilizados en tierra (véase el capítulo 14 de la parte I), y las categorías de que se dispone para el informe son diferentes a las disponibles para las observaciones manuales, debido a la naturaleza distinta de la observación (OMM, 2011c). En las plataformas fijas, se pueden realizar algunas mediciones instrumentales del tiempo presente y el tiempo pasado, en el marco de programas que en la actualidad no coordina activamente la OMM.

#### 4.2.2.11 **Visibilidad**

En el mar, la falta de objetos adecuados hace imposible estimar la visibilidad con tanta exactitud como en las estaciones terrestres. En un buque grande es posible referirse a los objetos a bordo (por ejemplo, el trinquete) para estimar la visibilidad cuando esta es muy baja, pero hay que reconocer que esas estimaciones pueden ser erróneas, puesto que el mismo buque puede influir en el aire que lo rodea. Para distancias mayores, el aspecto de la tierra al navegar cerca de la costa constituye una guía útil y, si se pueden localizar determinados puntos fijos, la distancia de ciertos puntos terrestres de referencia puede medirse en el mapa, precisamente cuando aparecen o desaparecen. Asimismo, en alta mar, cuando se ven otros buques y se conoce la distancia a la que se encuentran, por ejemplo gracias al radar, se puede calcular la visibilidad. A falta de otros objetos, el aspecto del horizonte observado desde niveles distintos puede servir de base para la estimación. Aunque una refracción anormal puede dar lugar a errores en este método de estimación, este es el único método disponible en ciertas circunstancias. De noche, el aspecto de las luces de navegación puede dar una indicación útil de la visibilidad.

Cuando la visibilidad no es uniforme en todas las direcciones, debería estimarse o medirse en la dirección de la mínima visibilidad, realizando una anotación adecuada en el diario de navegación (excluyendo la reducción de la visibilidad debida al humo del buque).

El capítulo 9 de la parte I contiene información sobre los instrumentos para medir la visibilidad. Solo deben utilizarse aquellos instrumentos que puedan emplearse con una línea de referencia o un haz de luz suficientemente cortos para permitir su uso en un buque, como es el caso de los dispersómetros frontales. Lamentablemente, los efectos del calor que produce el buque, y sus toberas, pueden conducir a mediciones poco representativas.

#### 4.2.2.12 **Precipitación**

Los VOS no suelen informar sobre la precipitación en informes codificados sobre los tipos de condiciones meteorológicas (véase la sección 4.2.2.10). No obstante, las mediciones de la precipitación pueden notificarse desde estaciones fijas o buques dotados con un medidor de precipitación. El tema de la medición de la precipitación en el mar se examina en OMM (1962 y 1981) y, en el contexto de las observaciones de buques de investigación, en los trabajos de Bradley y Fairall (2006) y de Weller y otros (2008), quienes también describen nuevos sistemas de medición, como los pluviómetros ópticos, que no suelen utilizarse para observaciones de rutina. Como ayuda para los observadores a bordo de un buque, en el anexo 4.B figuran descripciones de la precipitación en el mar que pueden utilizarse para suministrar informes sobre el tiempo presente.

La medición completa comprende la determinación tanto de la cantidad como de la duración de la precipitación. La cantidad de precipitación debería medirse con un pluviómetro adaptado para ser utilizado a bordo de un buque.

Es difícil obtener mediciones fiables de la precipitación a bordo de un buque debido al efecto aerodinámico de su superestructura, la influencia del balanceo y del cabeceo, la penetración de rociones en el instrumento de medida y los cambios de posición del buque. El equipo empleado en los buques para medir la precipitación debería construirse y estar expuesto de modo que se pudieran evitar o reducir al mínimo posible los tres primeros efectos mencionados. Para emplazar un pluviómetro a bordo de un buque, lo más efectivo parece ser situarlo lo más cerca de la proa y lo más alto posible. Sin embargo, para casos particulares se pueden encontrar otros emplazamientos que se consideren igualmente satisfactorios y que ofrezcan además un manejo más fácil del instrumento.

Las mediciones de la precipitación procedentes de estaciones fondeadas o fijas (buques faro, grandes boyas, torres, etc.) son particularmente valiosas, pues se elimina el efecto de la velocidad del buque, y los datos pueden así incluirse sin reducción en los análisis climatológicos. Sin embargo, sigue siendo imperativo tener en cuenta cualquier problema que pueda plantear el movimiento de la plataforma y la contaminación salina.

#### *Pluviómetro instalado sobre una suspensión cardán*

El instrumento más comúnmente empleado a bordo de buques para medir la precipitación es el pluviómetro instalado sobre una suspensión cardán, solución esta no muy eficaz, especialmente con muy mal tiempo, pues ese dispositivo no es capaz de mantener siempre horizontal el pluviómetro. Un dispositivo cardán eficaz es muy complicado y costoso y solo se emplea a bordo de buques especiales. Así pues, generalmente, cuando se utiliza un pluviómetro, la mejor solución parece ser una instalación fija con un dispositivo que permita la medición a distancia.

#### *Pluviómetro marino cónico*

El pluviómetro marino cónico se coloca normalmente en lo alto de un mástil. Un tubo de plástico lleva el agua a un recipiente colocado a distancia en la cubierta o en la timonera. Puede resultar un dispositivo útil para medir la precipitación, siempre que se tomen las debidas precauciones para la instalación del instrumento. La boca del pluviómetro debe quedar fija en un plano paralelo a la cubierta del buque.

#### *Pluviógrafo registrador*

Se han fabricado varios tipos de pluviógrafos registradores para utilizar en el mar. En uno de ellos, el colector está instalado al aire libre y el registrador en el interior. El agua de lluvia se lleva a través de un tubo desde el colector a un depósito próximo al registrador. Una plumilla, unida a un flotador en el depósito, registra los cambios de nivel del agua contenida en su interior sobre una banda enrollada en un tambor giratorio. El depósito se vacía de modo automático por medio de un sifón cuando la cantidad total recogida corresponde a 20 mm de lluvia.

En el pluviógrafo de contacto eléctrico, la conexión entre el pluviómetro y el registrador se logra mediante un conductor eléctrico. El agua de lluvia captada por el colector se almacena, temporalmente, en un depósito. Después de haber recogido una cantidad correspondiente a 0,5 mm de agua de lluvia, la superficie del agua del depósito se eleva y toca una aguja que cierra un circuito eléctrico. En ese momento, un motor cierra la válvula de admisión y abre simultáneamente una válvula de drenaje. Después de que el agua se haya evacuado, las válvulas vuelven a su posición original y se envía un impulso simple al registrador. Se producen errores cuando el movimiento del buque o de la boya hace que el nivel del agua fluctúe en lugar de subir de un modo uniforme. Se puede resolver este inconveniente utilizando una bomba peristáltica. Este dispositivo evacúa una cantidad fija de agua (no toda) cada vez que se establece un contacto, lo que reduce la sensibilidad a las fluctuaciones del nivel del agua. Además, con este dispositivo no se precisa ningún tipo de mantenimiento de válvulas.

La observación de la precipitación por medio de radar requiere el uso de haces de radar estrechos y de pluviómetros calibrados, además de un equipo especial para comprobar el estado del radar y aplicar las correcciones necesarias. Los radares instalados a bordo de buques para otros fines no poseen esas características, y su empleo para la medición cuantitativa de la precipitación no constituye una práctica habitual.

El tercer tipo de pluviógrafos registradores es uno específicamente diseñado para buques que utiliza un colector horizontal y un colector omnidireccional vertical para facilitar las mediciones de lluvia en caso de velocidades del viento altas (Hasse y otros, 1998). Midiendo la cantidad de agua recogida por la superficie del colector vertical, es posible efectuar una corrección del efecto del viento usando la velocidad del viento medida simultáneamente en el emplazamiento del instrumento. Las intensidades y cantidades de lluvia se miden y se calculan separadamente para los colectores superior y lateral, y se obtienen los valores de lluvia corregidos como una media ponderada en función de la velocidad del viento.

#### 4.2.2.13 **Olas oceánicas**

Los principales temas que se abordan en esta sección son las definiciones y el comportamiento de las olas, así como los métodos visuales para observarlas. Los métodos automáticos se mencionan brevemente en la sección 4.3 sobre boyas fondeadas, aunque también se utilizan con otros tipos de plataformas.

##### 4.2.2.13.1 **Definiciones y descripción de las olas**

*Alcance:* longitud del trayecto por encima de una gran superficie de agua de un viento que sopla en una dirección y con una velocidad aproximadamente uniformes.

*Ola de viento o mar de viento:* olas levantadas por el viento en la proximidad inmediata de un lugar de observación a la hora de observación.

*Mar de fondo:* cualquier sistema de olas que se propagan fuera de su zona de origen, o que se observa cuando el campo del viento que produjo las olas ya no existe.

*Longitud de onda de las olas:* distancia horizontal entre dos crestas o senos sucesivos. Es igual al período de las olas multiplicado por su velocidad.

*Altura de las olas:* distancia vertical entre el seno y la cresta de una ola.

*Período de las olas:* intervalo de tiempo transcurrido entre el paso de dos crestas de olas sucesivas por un punto fijo. Es igual a la longitud de onda de las olas dividida por su velocidad.

*Velocidad de las olas:* distancia recorrida por una ola en una unidad de tiempo. Es igual al cociente entre la longitud de onda de las olas y el período de las olas.

Las observaciones deberían incluir la medición o la estimación de las siguientes características del oleaje de la superficie del mar con respecto a cada sistema de olas que se pueda distinguir, es decir, mar de viento y mar de fondo (sistema principal y sistema secundario):

- a) dirección (de donde proceden las olas) en la escala 01-36, como para la dirección del viento;
- b) período en segundos;
- c) altura.

Para la observación de las características de las olas de cada sistema de olas deberían utilizarse, a título de orientación, los métodos que se describen a continuación.

Las olas oceánicas originadas por el viento se propagan en amplios sistemas definidos en función del campo del viento que las originó y de la posición relativa del punto de observación. Teniendo presente la diferencia entre el mar de viento y el mar de fondo, el observador debería distinguir entre los sistemas de olas reconocibles, considerando su dirección, su aspecto y su período.

La figura 4.1 representa el trazado típico de un gráfico obtenido mediante un registrador de la altura de las olas. Muestra la altura de la superficie del mar sobre un punto fijo en función del tiempo, es decir que representa el movimiento ascendente y descendente de un cuerpo flotante en la superficie del mar tal como lo vería un observador. Da una representación del aspecto normal de la superficie del mar cuando el viento la agita y forma una ola.

Las olas se desplazan invariablemente en grupos irregulares, con áreas de poco desarrollo, con dos o más longitudes de onda entre los grupos. Esa irregularidad es mayor en el mar de viento que en el mar de fondo. Además, y esto no se puede mostrar en un gráfico, se pueden ver grupos de dos o más olas bien formadas en un mar de viento, que se desplazan en direcciones que pueden diferir hasta 20° o 30° entre sí; como resultado de la interferencia del cruce de las olas, las crestas de las olas del mar de viento son más bien pequeñas. Las olas del mar de fondo

tienen un aspecto más regular. En general, esas olas se desplazan en sucesión más regular y en una dirección bien definida, con crestas largas y suaves. Se pueden observar olas típicas del mar de fondo no perturbadas en zonas donde ha habido poco o ningún viento durante un período de varias horas, de un día o más. En la mayoría de las zonas se entremezclan el mar de viento y el mar de fondo.

#### 4.2.2.13.2 Observaciones visuales desde buques mercantes

Al tratar de observar por separado las características de las olas de cada uno de los sistemas de olas identificables (mar de viento y mar de fondo), el observador debería tener en cuenta el hecho de que las olas más altas del mar de viento parecen olas de mar de fondo, por sus crestas comparativamente más largas y sus períodos más amplios. Podría pensarse que es posible dividir el conjunto de olas de alturas, períodos y direcciones diferentes (que en conjunto forman el sistema de un mar de viento) en dos sistemas de olas diferentes y considerar las olas más pequeñas como mar de viento y las más grandes como mar de fondo, pero ese procedimiento puede no ser correcto.

La distinción entre mar de viento y mar de fondo se debería llevar a cabo sobre la base de uno de los siguientes criterios:

*Dirección de las olas.* Si la dirección media de todas las olas de características más o menos similares (en particular, la altura y la longitud de onda) difiere en  $30^\circ$  o más de la dirección media de las olas de aspecto diferente (en particular, la altura y/o la longitud de onda), los dos conjuntos de olas deberían considerarse como pertenecientes a sistemas de olas distintos.

*Aspecto y período de las olas.* Cuando las olas típicas del mar de fondo, que se caracterizan por su aspecto regular y sus largas crestas, corresponden más o menos a la dirección de donde sopla el viento, es decir, que la desviación es inferior a  $20^\circ$ , deberían considerarse como pertenecientes a un sistema de olas diferente si su período es por lo menos 4 segundos mayor que el período de las olas más grandes del mar de viento.

Para medir el período y la altura medios de un sistema de olas se deberían considerar solamente las olas características, es decir, las olas más altas del centro de cada grupo de olas bien formadas (figura 4.1). Las olas planas y mal formadas (A) del área situada entre los grupos deben omitirse totalmente en el informe.

Lo que se necesita es el período medio y la altura media de unas 15 a 20 olas bien formadas de los centros de los grupos; naturalmente, esas olas no pueden ser consecutivas. Las perturbaciones menores en forma de ola (B), que se deben claramente a la acción del viento, y que aparecen en la parte superior de las olas más grandes, deberán omitirse también en el informe.

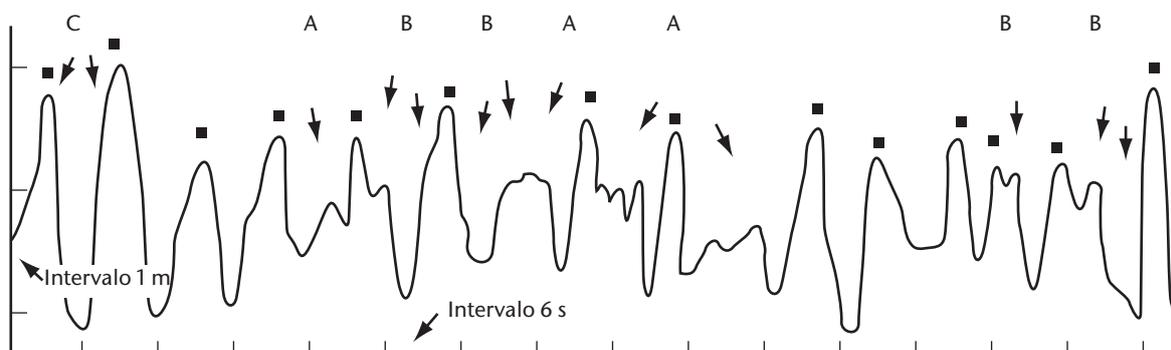


Figura 4.1. Mar de viento y mar de fondo típicos representados por un registrador de la altura de las olas

Ocurre a veces que ciertas olas rebasan literalmente la altura de las olas vecinas (C). Esas olas pueden producirse aisladamente o en grupos de dos o tres. El observador no debería concentrar su atención solo en esas olas máximas; para poder determinar el período medio y la altura media de unas 15 a 20 olas, debería considerar asimismo los grupos de olas bien formadas de altura media. En consecuencia, la altura de las olas que se comuniquen será inferior a la altura máxima de las olas observadas. Por término medio, la altura real de 1 de cada 10 olas rebasará la altura que se comunica. Es una práctica habitual definir la altura significativa de la ola medida por los registradores de altura como el promedio de altura del tercio de alturas mayores de una ola, que debería equivaler aproximadamente a la altura de las olas estimada por un observador manual.

El observador debe tener presente que únicamente deben registrarse las mediciones, o que hay que tomar nota solo de estimaciones de buena calidad. Las estimaciones imprecisas tienen poco valor. Para las observaciones, el criterio de calidad debe prevalecer sobre el de cantidad. Si pueden medirse o estimarse realmente bien solamente dos, o incluso solo uno de los tres elementos (dirección, período, altura), como puede suceder de noche, el informe seguirá siendo útil.

En la aplicación de los métodos de observación que se describen a continuación habrá que tener en cuenta las consideraciones precedentes. Se proporcionan más detalles sobre las olas en OMM (1998), OMM (2001), secciones 4.4.1 y 4.4.2, y las secciones 4.3.4 a 4.3.6 del presente capítulo.

La manera más sencilla de determinar la dirección de donde provienen las olas es enfilar las crestas con la mirada y luego dar un giro de 90° hacia el avance de las olas. En ese momento, el observador se encuentra de cara a la dirección de donde proceden las olas.

Los procedimientos recomendados para la notificación del mar de fondo por buques que transmiten información manualmente figuran en el anexo 4.C.

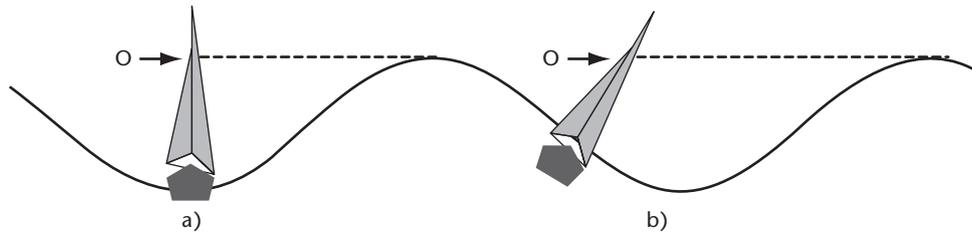
#### *Período de las olas*

Este es el único elemento que realmente puede medirse a bordo de buques mercantes en movimiento. Si se dispone de un cronómetro, basta con un solo observador; de otro modo se necesitan dos observadores y un reloj con segundero. El observador se fija en algún objeto pequeño que flote en el agua a cierta distancia del buque; si no se dispone de nada mejor, por lo general es posible encontrar una mancha de espuma bien definida que se pueda identificar durante los pocos minutos que se requieren para las observaciones. El observador acciona el cronómetro cuando el objeto aparece en la cresta de la ola. Al desplazarse la cresta de la ola, el objeto desaparece en el fondo del seno, volviendo a aparecer en la cresta siguiente, y así sucesivamente. Se anota el instante en que el objeto parece estar en lo alto de cada cresta. Se continúan las observaciones tanto tiempo como se pueda; generalmente se terminarán cuando el objeto esté demasiado distante para ser identificado a causa del movimiento del buque. Naturalmente, el período de observación será más largo si se elige un objeto que inicialmente se halle a proa tan lejos como pueda ser visto con claridad.

Otro método consiste en observar dos o más períodos distintos y consecutivos de olas de un grupo determinado sin detener el cronómetro; cuando la última cresta diferenciada de un grupo haya pasado, o cuando se piensa que el objeto va a desaparecer, se detiene el cronómetro y se vuelve a poner en marcha con el paso de la primera cresta diferenciada de un nuevo grupo. El observador cuenta el número total de períodos, hasta alcanzar 15 o 20 como mínimo.

Las observaciones también pueden realizarse mirando el cabeceo y balanceo de la proa del buque. El observador escoge el punto más alto o más bajo del ciclo y acciona el cronómetro en el momento correspondiente. Cuando regresa al mismo punto, el observador registra el tiempo. Repitiendo este proceso varias veces se puede determinar una observación fiable. Esto también funciona para las observaciones efectuadas durante la noche cuando el observador siente el ascenso y descenso en su cuerpo.

En el caso de observaciones de períodos menores de 5 segundos en condiciones de viento débil, puede que no sean fáciles de realizar las observaciones descritas, pero esas olas son menos interesantes que las de períodos mayores.



**Figura 4.2. Efecto del balanceo del buque en la estimación de la altura de la ola**

#### *Altura de las olas*

Con cierta experiencia, se pueden hacer estimaciones bastante fiables de la altura de las olas. Para estimar la altura de olas cuya longitud de onda sea mucho menor que la longitud del buque, el observador debería colocarse en un lugar del buque tan bajo como sea posible, de preferencia en el centro, donde el cabeceo es mínimo, y en el lado del buque de donde vienen las olas. Se deberían aprovechar los intervalos ocasionales durante los cuales cesa temporalmente el balanceo del buque.

En el caso de olas de una longitud de onda superior a la longitud del buque, no debe utilizarse el método anterior, pues el buque se levanta con la ola. En esas condiciones se obtienen mejores resultados si el observador sube o baja por el buque hasta hallar la posición desde la cual, cuando el buque esté en el seno de las olas y en posición vertical, las olas siguientes parezcan estar al mismo nivel que el horizonte (figura 4.2). En ese momento la altura de la ola es igual a la altura del observador sobre el nivel del agua que está debajo de él (a). Si el buque se balancea, debería asegurarse de que la ola que se aproxima esté alineada con el horizonte en el momento mismo en que el buque está en posición vertical, pues de otro modo se estimará una altura excesiva (b).

Con mucho, el caso más difícil se presenta cuando la longitud de onda de la ola supera la longitud del buque y además es una ola de poca altura. La mejor estimación de la altura se puede obtener colocándose tan cerca del agua como sea posible, pero aun así la estimación será poco precisa.

#### **4.2.2.13.3 Observaciones desde buques-estación oceánicos y otros buques especiales**

Los buques-estación oceánicos normalmente están equipados con instrumentos de medición adecuados. Sin embargo, cuando se realizan observaciones visuales se debería seguir el procedimiento antes descrito, orientando el buque de modo que reciba las olas directamente de frente. Para medir el período, se puede arrojar un objeto por el costado. Para medir la altura de las olas, se deberían pintar marcas en la parte central de los costados del buque (a intervalos de medio metro).

La mejor manera de medir la longitud de onda de las olas consiste en arrastrar una boya por la popa a una distancia tal que las crestas de dos olas sucesivas lleguen al mismo tiempo a la boya y al observador. La distancia que separa las dos crestas representa la longitud de onda de la ola.

La velocidad puede obtenerse midiendo el tiempo que tarda una ola en recorrer la distancia de la popa a la boya, teniendo en cuenta la velocidad del buque.

#### **4.2.2.13.4 Olas en aguas costeras**

Las siguientes definiciones suplementarias se aplican a la superficie del mar en las aguas costeras:

*Rompiente*: desplome de toda una ola como resultado de su avance en aguas muy poco profundas (del orden del doble de la altura de la ola).

*Resaca*: agua que rompe entre la línea de la costa y la línea exterior de los rompientes.

*Olas rompientes o mar rompiente*: desplome parcial de la cresta de una ola debido a la acción del viento, a la precipitación de las olas como consecuencia de su encuentro con una corriente opuesta o un flujo de marea, o a la precipitación de las olas a causa de su avance en aguas poco profundas, pero no tanto como para causar su rompimiento.

No cabe esperar que las observaciones de las olas efectuadas desde una estación costera sean representativas de las condiciones en alta mar; ello obedece a que las olas se ven afectadas por la profundidad del agua, por las mareas y por la reflexión de las mismas en objetos tales como rocas escarpadas y malecones. Por otra parte, si el lugar está resguardado por promontorios o, menos evidente, por bajíos, se puede ver afectada la medición de la altura y la dirección de desplazamiento de las olas. En OMM (1991b) se explican ampliamente esos fenómenos.

Cuando se efectúan observaciones a pesar de esas dificultades se deberían elegir las olas del mismo modo que en el mar. Si esas observaciones se requieren para fines de investigación sobre las olas, se debería indicar con exactitud la profundidad media del agua en el momento de la observación, y la hora de la observación.

#### 4.2.2.13.5 Terminología relativa a las olas del mar de viento y del mar de fondo

Se recomienda el empleo de la siguiente terminología en los informes que no sean mensajes cifrados, es decir, cuando se trata de suministrar información meteorológica y predicciones para la navegación, las publicaciones, los pilotos, etc.:

Para la longitud de onda de las olas del mar de fondo:	
Cortas	0 a 100 m
Medias	100 a 200 m
Largas	más de 200 m
Para la altura de las olas del mar de fondo:	
Pequeña	0 a 2 m
Moderada	2 a 4 m
Grande	más de 4 m
Para la altura de las olas del mar de viento:	
Calma (espejada)	0 m: mar llana
Calma (rizada)	0 a 0,1 m: mar rizada
Suave (olas pequeñas)	0,1 a 0,5 m: marejadilla
Poco agitada	0,5 a 1,25 m: marejada
Moderada	1,25 a 2,5 m: fuerte marejada
Erizada	2,5 a 4 m: mar gruesa
Muy erizada	4 a 6 m: mar muy gruesa
Alta	6 a 9 m: mar arbolada
Muy alta	9 a 14 m: mar montañosa
Olas enormes	más de 14 m: mar enorme

En todos los casos, la altura o la longitud de onda límite exacta queda incluida en la categoría inferior; por ejemplo, un mar de viento de 4 m de altura se define como erizado. Cuando el estado de la superficie del mar sea tan confuso que ninguno de los términos descriptivos que anteceden puede considerarse adecuado, se debería emplear el término "confusa".

#### 4.2.2.14 **Hielo**

En el mar se pueden encontrar diversas formas de hielo flotante. La más común es la que resulta de la congelación de la superficie del mar, a saber, hielos marinos. La información de hielos marinos se analiza en OMM (1970).

Otras formas son el hielo fluvial y el hielo de origen terrestre. Se encuentra hielo fluvial en los puertos y en los estuarios, donde se desplaza por efecto de las corrientes de las mareas y, por lo general, solo constituye un obstáculo pasajero para la navegación marítima. El hielo de origen terrestre, en forma de icebergs, se trata por separado más adelante.

Tanto los icebergs como los hielos marinos pueden resultar peligrosos para los buques y siempre afectan a la navegación marítima. El hielo marino afecta también el proceso normal de intercambio de energía entre el mar y el aire situado sobre el mismo. La extensión de la cobertura de los hielos marinos, que puede variar mucho de un año a otro, tiene una gran influencia tanto en las zonas oceánicas adyacentes como en las condiciones meteorológicas en extensas regiones del mundo. Por lo tanto, su distribución es de gran interés para meteorólogos y oceanógrafos. Aunque la fotografía por satélite constituye un medio revolucionario de vigilar a gran escala la extensión de la cobertura de hielos marinos, las observaciones efectuadas por estaciones costeras, buques y aviones siguen siendo esenciales para realizar observaciones detalladas y para verificar en tierra las realizadas por satélite.

Actualmente, las observaciones de los hielos flotantes se basan casi siempre en estimaciones visuales. Las únicas observaciones instrumentales se efectúan con el radar convencional y por medio de nuevas técnicas como, por ejemplo, los sensores pasivos de microondas o los radares de exploración lateral a bordo de aviones. Sin embargo, los icebergs constituyen malos reflectores para el radar y no siempre pueden detectarse por este medio.

#### 4.2.2.14.1 Observaciones relativas a la formación de hielo

La formación de hielo puede ser en extremo peligrosa para pequeños buques, en particular aquellos de menos de 1 000 toneladas brutas. Incluso en buques más grandes puede causar averías en la radio y en el radar debido al engelamiento de las antenas. También se puede ver afectada la visibilidad desde el puente. Se han planteado problemas debidos al engelamiento de las cargas de cubierta de grandes buques que transportan contenedores con lo que, además de su posible efecto sobre la estabilidad, puede originar dificultades para la descarga en el puerto de destino cuando los contenedores y sus amarras están sólidamente soldados a la cubierta por el hielo. Los barcos pesqueros son particularmente vulnerables a la formación de hielo. En OMM (1991*b*) figura más información sobre el tema, y en OMM (1974) se examinan más detalladamente los aspectos meteorológicos de esta cuestión.

En el mar se producen principalmente dos tipos de engelamiento: el engelamiento debido al agua de mar y el debido al agua dulce. El primero puede tener su origen en los rociones y en el agua de mar levantada por la interacción entre el buque o instalación y las olas, en los rociones lanzados por las crestas de las olas, o en ambas causas. El engelamiento debido al agua dulce puede provenir de la lluvia y/o llovizna engelante; otras veces, está causado por la nieve húmeda a la que sigue un descenso de la temperatura, o por la niebla engelante. Ambos tipos de congelación pueden ocurrir a un mismo tiempo.

Los elementos meteorológicos más importantes que rigen la formación de hielo en el mar son la velocidad del viento y la temperatura del aire. Cuanta más alta es la velocidad del viento respecto del buque y más baja la temperatura del aire, mayor es la rapidez con que se forma el hielo. Parece ser que no hay limitación de temperatura por debajo de la cual disminuya el riesgo de engelamiento.

En la clave de la OMM para los buques (OMM, 2011*b* y 2011*c*), que se emplea para transmitir informes meteorológicos por radio de los buques en el mar, figuran disposiciones relativas a los informes sobre la formación de hielos. La notificación puede hacerse en clave o en lenguaje claro. La clave, en un solo grupo de cinco cifras, sirve para enviar informes de la causa del engelamiento, el espesor del hielo y la velocidad de formación. Los informes en lenguaje claro deben ir precedidos de la palabra ICING, y están particularmente recomendados para indicar las formas de engelamiento que son peligrosas para los buques.

#### 4.2.2.14.2 Formación y evolución del hielo marino

##### *Hielo de menos de 30 cm de espesor*

El primer indicio de formación de hielo es la aparición de pequeñas agujas o placas de hielo en los centímetros superiores del agua. Esas agujas, conocidas como cristales de hielo, se forman en grandes cantidades y dan al mar un aspecto oleaginoso. Conforme prosigue el enfriamiento, los cristales de hielo se funden formando un hielo grasiento, de aspecto esmerilado. En condiciones próximas al englamamiento, pero aún sin hielo, la nieve que caiga puede hacer que la superficie del mar se vea como si estuviese cubierta por una capa de grasa. Esas formaciones pueden agruparse por la acción del viento y de las olas formando una acumulación de terrones de hielo conocida como shuga, y todo el conjunto se clasifica como hielo nuevo. Al proseguir el enfriamiento, se forman hojas de costra de hielo, o nilas, según la velocidad de enfriamiento y la salinidad del agua. La costra de hielo se forma cuando se congela agua de poca salinidad, creándose una delgada capa de hielo quebradizo que apenas contiene sal; en cambio, cuando se congela agua de salinidad elevada, en especial si el proceso es rápido y el viento muy débil, el hielo tiene una propiedad elástica que es característica de las nilas. Esta última forma de hielo se subdivide, según su espesor, en nilas oscuros y claros; la segunda forma, más avanzada, alcanza un espesor máximo de 10 cm.

La acción del viento y de las olas puede romper la costra de hielo o nilas, formando el hielo panqueque, que a su vez puede congelarse y espesarse formando hielo gris y hielo gris-blanco; este último puede alcanzar espesores de hasta 30 cm. Esas formas de hielo se denominan en conjunto hielo joven. Una mar gruesa puede romper estos hielos, convirtiéndolos en tortas de hielo o bandejonos de diversos tamaños.

##### *Hielo de 30 cm a 2 m de espesor*

La siguiente etapa de evolución se conoce como hielo del primer año y se subdivide en las siguientes categorías: delgado, medio y grueso. El hielo delgado del primer año tiene un espesor que va de 30 a 70 cm. El hielo medio del primer año tiene espesores que varían entre 70 y 120 cm, mientras que en las zonas polares el hielo grueso del primer año puede alcanzar al final del invierno un espesor de unos 2 m.

##### *Hielo viejo*

Se denomina hielo viejo al hielo grueso del primer año que ha sobrevivido al derretimiento producido en la estación del verano. Esta categoría se subdivide en hielo del segundo año o hielo de varios años, dependiendo de que los bloques de hielo hayan sobrevivido uno o más veranos. El espesor del hielo viejo oscila normalmente entre 1,2 y 3 m, e incluso más, antes del comienzo de la estación de fusión. Al final de la estación estival de fusión, el espesor del hielo viejo puede haberse reducido de modo considerable. Se puede identificar con frecuencia el hielo viejo por su superficie de color azulado que contrasta con la de tono verdoso del hielo del primer año.

##### *Capa de nieve*

Durante el invierno, el hielo se cubre generalmente de nieve que lo aísla del aire que está por encima y tiende a reducir su ritmo de crecimiento. El espesor de la capa de nieve difiere mucho de una región a otra como consecuencia de las distintas condiciones climáticas. Su profundidad puede variar también mucho, en distancias muy pequeñas, debido a los vientos variables y a la topografía del hielo.

##### *Fusión del hielo marino*

Mientras la capa de nieve persiste, casi el 90% de la radiación recibida es devuelta por reflexión al espacio. Ulteriormente, sin embargo, la nieve empieza a fundirse al subir la temperatura del aire por encima de 0 °C, al principio del verano, formándose charcos de agua derretida en la superficie. Esos charcos absorben el 90% de la radiación entrante y aumentan rápidamente conforme van fundiéndose la nieve o el hielo circundantes. Por último, los charcos penetran hasta la superficie inferior de los hielos flotantes y se conocen como alveolos de fusión. Este

lento proceso de fusión es característico del hielo en el océano Ártico y en los mares donde el movimiento se ve limitado por la costa o por islas. Allí donde el hielo puede desplazarse libremente hacia aguas más templadas (por ejemplo, la Antártida, Groenlandia oriental y el mar de Labrador), se acelera la fusión como consecuencia de la acción erosiva de las olas, así como de las temperaturas más altas del aire y del mar.

#### *Movimiento del hielo marino*

El hielo marino se puede clasificar en dos tipos principales según su movilidad. Uno de ellos es el hielo a la deriva, que está continuamente en movimiento por la acción del viento y las fuerzas de las corrientes; el otro es el hielo fijo, sujeto a las costas o a las islas y que no se mueve. Cuando el hielo está muy concentrado (es decir, 7/10 o más) en vez de hielo a la deriva puede hablarse de banquisa.

La fuerza del viento sobre el hielo a la deriva hace que los bandejones se muevan, aproximadamente, en la dirección del viento. La fuerza de desviación debida a la rotación de la Tierra (fuerza de Coriolis) hace que en el hemisferio norte los bandejones se desvíen unos 30° a la derecha de la dirección del viento en superficie. Puesto que el mismo viento en superficie se desvía otro tanto del viento geostrófico, pero en sentido opuesto (siendo medido directamente el viento geostrófico a partir de las isobaras), la dirección del movimiento de los bandejones debida solo al arrastre del viento puede considerarse paralela a las isobaras.

La velocidad de desplazamiento del hielo marino debida al viento varía no solo en función de la velocidad del viento, sino también en función de la concentración de hielo a la deriva y del grado de deformación (véase la subsección siguiente). En el caso del hielo flotante muy abierto (concentraciones de 1/10 a 3/10), hay mucha más libertad para responder al viento que cuando se trata de hielo flotante cerrado (7/10 a 8/10), donde el espacio libre es muy limitado. El 2% de la velocidad del viento es un promedio razonable para la velocidad de deriva del hielo originada por el viento en caso de hielo flotante cerrado, pero se pueden observar velocidades de deriva del hielo mucho mayores para el hielo flotante abierto. Dado que esos hielos flotan, se produce un empuje por parte de las corrientes marinas de las capas superiores del mar, ya se trate de mareas o de corrientes de otro origen con una dirección más estable. En general, es muy difícil distinguir entre la deriva debida al viento y la que producen las corrientes, pero, de cualquier modo, cuando ambas actúan, el movimiento resultante es siempre la suma vectorial de ambas. Normalmente predomina la fuerza del viento, sobre todo en zonas alejadas de la costa.

#### *Deformación del hielo marino*

La superficie del hielo marino sometido a presión sufre deformaciones. Cuando se trata de hielo nuevo o joven, las deformaciones producen un sobrecurrimiento a medida que los bandejones se superponen unos a otros. Si se trata de hielo más grueso, de acuerdo con las fuerzas convergentes debidas a la presión, se producen cordones de hielo o montículos. A medida que los bloques de hielo se superponen por encima del nivel medio del hielo a la deriva y forman cordones o montículos, una gran cantidad de hielo es empujada hacia abajo para poder soportar así el peso de esos cordones o montículos. Como el calado de estos puede ser de tres a cinco veces su altura, estas deformaciones dificultan seriamente la navegación. Por eso, en general, es más fácil navegar a través de cordones recientes que de cordones viejos, consolidados y modificados por la intemperie.

#### 4.2.2.14.3 Icebergs

Los icebergs son grandes masas de hielo flotante que provienen de los glaciares y, en particular, de las mesetas de hielo. Su profundidad debajo del agua, en comparación con la altura sobre ella, varía mucho según las diferentes formas de icebergs. La masa sumergida de un iceberg del Antártico, que proviene de una meseta de hielo flotante, es casi siempre menor que la masa sumergida de los icebergs que provienen de los glaciares de Groenlandia. En el caso de un iceberg tabular típico del Antártico, cuyos 10 o 20 m superiores están compuestos de nieve

vieja, la parte de su masa sobre el agua será la quinta parte de la masa sumergida. Sin embargo, tratándose de un iceberg del Ártico, compuesto casi totalmente de hielo con mucha menos nieve, la relación es normalmente de 1:8.

Los icebergs disminuyen de tamaño como consecuencia de tres procesos distintos: por desprendimiento, por fusión y por la erosión ocasionada por las olas. Se habla de desprendimiento cuando se quiebra y se separa una parte del mismo; ello perturba el equilibrio del iceberg, de modo que flota con un ángulo distinto al de su posición de equilibrio e incluso puede dar una vuelta de campana. Una de las características generales de los icebergs son sus grandes proporciones salientes por debajo del agua, que pueden ser difíciles de observar. En aguas frías, la fusión se produce principalmente en la línea de flotación, mientras que en aguas cálidas la fusión ocurre sobre todo en la parte sumergida y, con frecuencia, fragmenta los icebergs. Es muy peligroso aproximarse a un iceberg que se está fundiendo en aguas cálidas porque es inestable y puede fragmentarse o volcarse en cualquier momento. En torno a los icebergs que se están desintegrando rápidamente suele haber numerosos gruñones y tempanitos que constituyen un peligro, particularmente para la navegación.

Los icebergs son malos reflectores de las ondas radioeléctricas y, por consiguiente, no siempre pueden ser detectados por radar. Los fragmentos del iceberg (tempanitos y gruñones) son todavía más difíciles de detectar por medio del radar del buque, pues frecuentemente los ecos quedan cubiertos por el ruido de los ecos de fondo que forman las olas y el mar de fondo. Esos fragmentos menores son especialmente peligrosos para la navegación pues, a pesar de su pequeño tamaño, tienen una masa suficiente como para dañar a un buque que entre en contacto con ellos a velocidad normal de crucero. Algunos gruñones, constituidos por hielo puro, apenas sobresalen de la superficie del mar y resultan extremadamente difíciles de detectar.

#### 4.2.2.14.4 Observaciones del hielo marino y de los icebergs

La clave para realizar una buena observación de los hielos reside en una familiarización con la nomenclatura de los mismos y en la adquisición de una buena experiencia en la materia. La publicación OMM (1970), con sus ilustraciones, es la mejor guía a disposición del marino para reconocer e identificar los hielos marinos.

Las cuatro características más importantes de los hielos marinos que afectan a la navegación son:

- a) espesor: grado de evolución (es decir, hielo nuevo, hielo joven, hielo del primer año o hielo viejo y sus subdivisiones);
- b) cantidad: concentración (estimada en décimas de la superficie del mar cubierta por el hielo);
- c) forma: si es hielo fijo o hielo a la deriva y el tamaño de los bandejones que lo conforman;
- d) movimiento: sobre todo con respecto a sus efectos en la deformación.

Dado que los icebergs constituyen un grave peligro para la navegación, en particular de noche o con mala visibilidad, es también importante señalar el número de icebergs a la vista en el momento de la observación, especialmente en aguas donde se observan con menos frecuencia.

Se puede señalar la presencia de hielo marino en lenguaje claro o por medio de claves. La OMM ha adoptado dos claves para el cifrado del hielo marino, que se utilizan a nivel internacional. La más sencilla está constituida por el grupo ICE agregado al final de la clave SHIP. La clave ICEAN ha sido elaborada para uso de los especialistas con miras a la transmisión de los análisis y pronósticos de hielos marinos.

Para la observación de los hielos marinos a bordo de buques y en las estaciones costeras rigen dos reglas básicas:

- a) disponer de un amplio campo de visión haciendo la observación desde un punto conveniente, lo más alto posible sobre la superficie del mar (por ejemplo, desde lo alto de un faro, desde el puente o desde la posición del vigía del buque);
- b) no intentar señalar las condiciones de hielo en el mar más allá de un radio superior a la mitad de la distancia que separa el punto de observación de la línea de horizonte.

La OMM ha elaborado una serie de símbolos para emplear en los mapas que representan las condiciones observadas o previstas en relación con los hielos marinos. Esos símbolos tienen por objeto permitir el intercambio internacional de información sobre hielos marinos y la transmisión de datos sobre los hielos por radiofacésimil.

#### 4.2.2.15 **Observaciones de fenómenos especiales**

Los observadores marinos pueden elaborar informes sobre fenómenos naturales utilizando diarios de navegación tradicionales o, en algunos casos, electrónicos. No obstante, tales observaciones especiales no pueden distribuirse normalmente a través del Sistema Mundial de Telecomunicación (SMT) debido a la existencia de limitaciones internacionales referidas al formato. Las observaciones pueden consistir en descripciones escritas, bosquejos o imágenes, o en una combinación de estas. Puede notificarse una gran variedad de fenómenos, en particular:

- a) fenómenos astronómicos (por ejemplo, eclipses, cometas, luz zodiacal, manchas solares y novas);
- b) fenómenos de la alta atmósfera (por ejemplo, desvanecimiento o interrupción de las señales radioeléctricas de alta frecuencia, perturbaciones y tormentas magnéticas, resplandor celeste, auroras, meteoros y bolas de fuego, y nubes noctilucetas);
- c) fenómenos de la atmósfera baja (por ejemplo, refracción anormal y espejismos, gloria o espectros de Brocken, soles y lunas coloreadas, coronas, fuego de San Telmo, rayos crepusculares, caída de polvo, destello verde, fenómenos de halo, nube iridiscente, relámpagos, arco iris, centelleo, color inusual del cielo y trombas marinas). Nótese que al describir las trombas marinas, siempre debería indicarse el sentido de la rotación como si se observaran desde arriba;
- d) avistamiento de mamíferos marinos, aves, peces, invertebrados y los efectos de la presencia masiva de plancton, como la bioluminiscencia, mareas rojas y aguas descoloradas;
- e) otros fenómenos marinos (por ejemplo, desviaciones anormales del compás, cambios en el nivel del mar o en las olas).

En las publicaciones nacionales, o en la información suministrada por los diarios de navegación electrónicos, se indica cuáles son los tipos de fenómenos de interés y qué información comunicar sobre cada tipo de fenómeno.

### 4.3 **BOYAS FONDEADAS**

Las boyas fondeadas pueden ser de configuración muy diversa (por ejemplo en lo que se refiere a diseño del amarre, tipos de sensor, sistemas de muestreo, técnicas de montaje, telemetría, etc.), abarcando una gran variedad de aplicaciones y disciplinas, tanto operativas como de investigación. Esta sección, que no refleja la amplia gama de posibilidades utilizadas en los sistemas actualmente en funcionamiento, se centra en las necesidades en materia de mediciones meteorológicas marinas a partir de las boyas meteorológicas operativas fondeadas. Puede encontrarse información relativa a otros sistemas que abordan las necesidades de aplicaciones de investigación en otras publicaciones y sitios web, como por ejemplo:

- Boyas fondeadas en aguas tropicales pertenecientes al sistema autónomo ATLAS de obtención de temperaturas: [http://www.pmel.noaa.gov/tao/proj\\_over/mooring.shtml](http://www.pmel.noaa.gov/tao/proj_over/mooring.shtml)
- Estaciones climáticas oceánicas: <http://www.pmel.noaa.gov/OCS/>
- Boyas TRITON fondeadas en aguas del océano Pacífico occidental tropical: [http://www.jamstec.go.jp/jamstec/TRITON/real\\_time/php/top.php](http://www.jamstec.go.jp/jamstec/TRITON/real_time/php/top.php)
- Boyas m-TRITON (más recientes) fondeadas en aguas del océano Índico: <http://www.jamstec.go.jp/iorgc/iomics/index.html>
- Guía de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) para realizar observaciones meteorológicas y climáticas de calidad y mediciones de flujo en el mar (Bradley y Fairall, 2006)

Por lo general, las boyas fondeadas diseñadas para actividades en alta mar están equipadas con sensores para medir las siguientes variables:

- a) la velocidad del viento;
- b) la dirección del viento;
- c) la presión atmosférica;
- d) la temperatura de la superficie del mar;
- e) la altura y el período de las olas;
- f) la temperatura del aire;
- g) la temperatura del punto de rocío o la humedad relativa.

Otros elementos que pueden medirse con algunas de esas boyas son:

- a) la ráfaga del viento máxima;
- b) el espectro de olas (direccional y no direccional);
- c) la radiación solar (radiación de onda corta descendente);
- d) la corriente de la superficie o el perfil de la corriente;
- e) la salinidad de la superficie del mar;
- f) la temperatura y salinidad subsuperficial hasta 500 m o 750 m;
- g) la visibilidad atmosférica;
- h) la precipitación;
- i) la concentración de dióxido de carbono en la superficie.

Para las olas se suelen medir o estimar las variables siguientes utilizando las definiciones que se citan a continuación (véase también la sección 4.2.2.13 para completar estas definiciones):

*Altura significativa de la ola:* estimación del promedio de altura del tercio de alturas mayores de una ola.

*Altura máxima de la ola:* altura máxima de una única ola que se observa durante un período de tiempo determinado.

*Período medio de corte por cero de la ola:* período medio entre cortes por cero descendente; es decir, el intervalo de tiempo, promediado según el número de cortes, transcurrido entre dos cortes sucesivos de la superficie del mar por el plano horizontal de referencia (nivel cero) en sentido descendente. También puede estimarse a partir del momento de segundo orden de la frecuencia del espectro de energía de las olas.

*Altura de pico:* altura de la ola que corresponde al pico del espectro de energía de las olas (la parte del espectro con la energía de olas más alta).

*Período de pico:* período de la ola que corresponde a la altura de pico del espectro de energía de las olas.

*Período espectral de la ola:* período de la ola que corresponde a la frecuencia media del espectro.

Además de las mediciones meteorológicas y oceanográficas, es necesario verificar la ubicación de la boya y diversos parámetros de mantenimiento de rutina que se emplean en el control de la calidad de los datos y en el mantenimiento. La tecnología de las boyas fondeadas se ha perfeccionado hasta tal punto que es frecuente mantenerlas en funcionamiento automáticamente por seis meses y hasta por dos años, incluso en las condiciones más difíciles. La vida operativa está determinada sobre todo por la duración de los sensores, que se cambian a intervalos de 12 a 18 meses.

En la actualidad se considera que las mediciones obtenidas con boyas fondeadas son mejores que las realizadas a bordo de buques, por cuanto se refiere a la exactitud y a la fiabilidad de la medición (Wilkerson y Earle, 1990; Ingleby, 2010). De hecho, generalmente se considera que las boyas fondeadas proporcionan las observaciones de más alta calidad de una amplia gama de variables meteorológicas marinas y, además de su uso por los predictores y su asimilación en modelos de predicción numérica del tiempo, los datos también se utilizan para ofrecer información sobre la climatología de las zonas oceánicas, datos de referencia verificados sobre el terreno para la calibración y validación de satélites, y estimaciones de los flujos superficiales (por ejemplo, Bourras, 2006).

Las incertidumbres típicas de las medidas proporcionadas por esas boyas son:

Velocidad del viento	1 m s <sup>-1</sup> o 5% por encima de 20 m s <sup>-1</sup>
Dirección del viento	10°
Temperatura del aire	0,2 °C
Presión al nivel del mar	0,2 hPa
Temperatura de la superficie del mar	0,2 °C
Temperatura del punto de rocío	0,5°
Altura significativa de la ola	10% o 0,2 m
Dirección de la ola	10°
Período de la ola	1 s

La serie de sensores normalizados que están situados en las boyas fondeadas toman muestras de la velocidad del viento, la ráfaga máxima (por ejemplo, ráfaga de 3 a 5 segundos según los requisitos nacionales); la dirección del viento; la presión barométrica; la temperatura del aire; la temperatura del agua; y los espectros de energía no direccional de las olas oceánicas, a partir de los cuales se determinan la altura significativa de la ola y el período pico (o medio) de la ola. En el caso de los tsunámíetros, la medida de referencia es la altura de la columna de agua.

#### 4.3.1 Presión atmosférica

La presión atmosférica y su variabilidad tanto en el tiempo como en el espacio tienen una importancia considerable para la predicción numérica del tiempo y para el análisis y la predicción meteorológicos. La mayoría de las boyas mide la presión atmosférica por medio de barómetros aneroides digitales. La presión se obtiene a partir de la capacitancia eléctrica entre las placas paralelas sensibles a la presión. La capacitancia entre las placas aumenta cuando lo hace la presión. Las mediciones de presión realizadas son las siguientes:

- a) La presión de la estación es la medida real efectuada por el barómetro a la elevación de la estación en hectopascales. En algunos casos se pueden usar dos barómetros y promediar sus valores.
- b) La presión al nivel del mar es la presión reducida al nivel del mar de la presión de la estación en unidades de hectopascal. Para boyas desplegadas en el mar esta es muy cercana a la presión de la estación. Se observa una gran diferencia entre la presión al nivel del mar y la presión de la estación de las boyas desplegadas en los lagos a gran altitud. La conversión a la presión al nivel del mar se efectúa utilizando los procedimientos descritos en el manual del Servicio Meteorológico, el Ejército y la Armada de Estados Unidos de América (WBAN) (Servicio Meteorológico de Estados Unidos, 1963).

Muchas boyas que se despliegan en regiones afectadas por huracanes o por intensos sistemas de baja presión tienen la capacidad de medir datos complementarios de presión media de 1 minuto. Estos datos se graban después de que los datos de presión de cada hora caigan por debajo de un umbral predeterminado (por ejemplo, 1 008 hPa en los trópicos). Estos datos complementarios de presión se identifican como sigue:

- a) La presión barométrica mínima de 1 minuto en hectopascales del barómetro primario (y del secundario si se instala) es la presión barométrica media mínima de 1 minuto durante la hora entera.
- b) El tiempo es el minuto dentro de la hora en que ocurrió la presión mínima.

#### 4.3.2 Mediciones del viento

Las mediciones del viento constituyen una de las mediciones más importantes efectuadas por las boyas fondeadas. Son esenciales para el predictor de meteorología marina.

Definiciones:

*Dirección del viento:* dirección desde la que sopla el viento, en grados, en sentido dextrorso a partir del norte verdadero. Se determina como el vector unitario promedio de las direcciones del viento registradas.

*Velocidad del viento:* valor medio escalar de la velocidad del viento durante el intervalo de muestreo (generalmente 10 minutos).

*Máxima velocidad del viento:* velocidad del viento más alta en el registro del viento. Las ráfagas de viento se determinan a partir de la media móvil más alta del registro en un intervalo de tiempo corto (por ejemplo, 5 segundos).

Las mediciones del viento suelen realizarse con un anemómetro de hélice o con un anemómetro de cazoletas y una veleta. Para evitar el desgaste mecánico se están empezando a utilizar en las boyas fondeadas sensores ultrasónicos de velocidad y dirección del viento sin piezas móviles. La medida de la dirección del viento está normalmente vinculada con una brújula para que la dirección relativa del viento con respecto a la boya pueda corregirse a la real.

En sus boyas meteorológicas fondeadas, algunos Miembros usan generalmente un sensor de veleta con aspas de cuatro hojas que acciona un rotor. El valor final de una medida resulta de un tratamiento estadístico del viento de la serie temporal de muestras del viento instantáneas tomadas a una frecuencia mínima de 1 hercio (Hz) en un período de tiempo determinado. La velocidad de muestreo es función de la carga útil. La mayoría de las boyas fondeadas utilizan un período de adquisición de 8 minutos. Las mediciones normales del viento subsiguientes se producen cada hora.

Las boyas meteorológicas fondeadas de algunos Miembros realizan el procesamiento estadístico de los datos al final de cada período de adquisición y el mensaje obtenido se actualiza con las nuevas estadísticas y 6 segmentos de 10 minutos. El procesamiento estadístico incluye el cálculo

del valor medio tanto de la dirección como de la velocidad y la desviación típica de la velocidad. Los datos horarios no representan los datos del minuto 0 al minuto 59, sino que, más bien, representan los últimos 6 segmentos completos de 10 minutos antes de la finalización de la última adquisición. Los segmentos de 10 minutos, sin embargo, están limitados a los minutos 0, 10, 20, etc.

Para las boyas fondeadas de algunos Miembros, las velocidades del viento a 10 y a 20 m sobre la elevación del lugar se obtienen a partir de un algoritmo (Liu y otros, 1979) que utiliza la altura del anemómetro, la velocidad del viento, una humedad relativa constante del 85%, una presión al nivel del mar constante de 1 013,25 hPa, y las temperaturas del aire y del agua. Si se desconoce la temperatura del aire o la del agua, entonces se supondrá una estabilidad neutra, teniendo en cuenta que esta puede introducir un error de hasta un 5%. Si ambas temperaturas son desconocidas, entonces no se realizarán las observaciones de velocidades del viento ni a 10 ni a 20 m.

Las boyas fondeadas de la serie K de Reino Unido, Francia e Irlanda han utilizado tradicionalmente un anemómetro de cazoletas y una veleta autorreferenciada para medir la velocidad y la dirección del viento durante un período de adquisición de 10 minutos cada hora. Sin embargo, durante el funcionamiento el agua salada traspasa los sellos y, con el tiempo, se produce el fallo de los instrumentos cuando en el lubricante se forman cristales de sal que dan lugar a averías mecánicas de las partes móviles. Estas boyas fondeadas tienen sistemas duales de viento para mejorar la capacidad de recuperación en caso de que el anemómetro falle. Para mejorar aún más la fiabilidad, algunos Miembros los están reemplazando con un nuevo sistema de medición del viento que utiliza un anemómetro sónico y una brújula electrónica.

### 4.3.3 **Temperatura**

La temperatura es una de las mediciones meteorológicas básicas. Generalmente se utilizan termistores electrónicos para efectuar todas las mediciones de temperatura, que se expresan en grados Celsius. También se pueden utilizar las mediciones de temperatura para obtener la presión al nivel del mar y la velocidad del viento a una altura estándar a partir de la presión atmosférica a una altura no estándar y de las mediciones del viento respectivamente.

#### 4.3.3.1 **Temperatura del aire**

Por lo general las mediciones de la temperatura del aire son muy fiables; sin embargo, es importante señalar que la ubicación física de los sensores de temperatura puede afectar las mediciones de forma negativa. Las cajas protectoras pueden conducir a lecturas no representativas de la temperatura del aire en condiciones de baja velocidad del viento. Durante el período de muestreo (por lo general, 1 Hz o 0,1 Hz) se toman muestras de la temperatura del aire a una cierta frecuencia.

#### 4.3.3.2 **Temperatura del agua**

Aunque por lo general hay pocos problemas con las mediciones de la temperatura del agua, cabe señalar que la profundidad de los sensores de temperatura del agua varía con el casco de la boya, y que las sondas de temperatura en las boyas se sujetan en el interior del casco. Dado que los cascos de la boya tienen una alta conductividad térmica, las temperaturas medidas pueden reflejar la temperatura media del agua alrededor del casco sumergido en lugar de la temperatura del agua más cercana a la sonda. Cuando el agua está muy estratificada, sobre todo durante las horas de la tarde en condiciones de viento en calma, la temperatura del agua comunicada desde una boya puede ser de 2 a 3 °C por debajo de la temperatura de la superficie del agua.

#### 4.3.4 Estimaciones del oleaje oceánico

Las estimaciones del estado del mar son probablemente las mediciones más complejas efectuadas por las boyas fondeadas y son sumamente importantes para marinos, predictores marinos, ingenieros en ciencias oceánicas y científicos. En una boya todas las mediciones básicas de olas se obtienen de alguna manera a partir de las series temporales del movimiento de las boyas. En Centro Nacional de Boyas de Acopio de Datos de Estados Unidos (2003 y 2009) pueden encontrarse los detalles completos de las mediciones de olas efectuadas por dicho Centro.

El estado del mar es una descripción de las propiedades de las olas en la superficie del mar en un lugar y momento dados, y podría expresarse en función del espectro de olas, o más simplemente, en función de la altura significativa de las olas y de cierta medida del período de las olas (Sociedad Meteorológica de Estados Unidos, 2000). Muchas boyas fondeadas proporcionan una medida de la densidad espectral de la varianza (Frigaard y otros, 1997) que se denominará densidad espectral de las olas. La mayoría de las boyas obtienen todos los parámetros no direccionales de las olas, alturas y períodos, pendiente, etc. a partir de las densidades espectrales de las olas. Además, muchas boyas miden el espectro direccional de las olas y de ahí determinan las direcciones media y principal de las olas, y la primera y segunda coordenadas polares normalizadas obtenidas con los coeficientes de Fourier que los centros difunden a través de las claves alfanuméricas FM-65 WAVEOB de la OMM (OMM, 2011b y 2011c).

#### 4.3.5 Estimaciones del oleaje oceánico no direccional

La mayoría de las boyas usa acelerómetros para medir el movimiento de desplazamiento vertical de la boya. Los acelerómetros, que están fijados para permanecer en posición vertical en relación al casco o estabilizados paralelamente a la vertical de la Tierra, se utilizan en las boyas y efectúan la inmensa mayoría de las mediciones de las olas oceánicas. La estabilización vertical, cuando se utiliza, se logra mediante el uso de un sensor de desplazamiento vertical, cabeceo y balanceo cuyo plano de referencia está montado en una plataforma estabilizada por gravedad y que mantiene un período natural del orden de 40 segundos. Este tipo de equipo es costoso y tiene un sistema mecánico incorporado para mantener el acelerómetro en posición vertical cuando la boya y el sensor se inclinan.

Los sistemas operativos de medición del oleaje no direccional comunican las estimaciones de los espectros de aceleración o de desplazamiento. Si no se comunican directamente, los espectros de desplazamiento se obtienen a partir de los espectros de aceleración como parte de los cálculos relacionados con el procesamiento en tierra de los datos de olas. A partir de estos espectros se calculan el período medio de las olas, el período de las olas dominantes, la altura significativa de las olas y la pendiente. Estos parámetros del oleaje no direccional se definen como sigue.

El período medio de las olas, en segundos, se puede calcular de diferentes maneras. Puede corresponder a la frecuencia de la ola que divide el espectro de olas en áreas iguales o puede estar basado en el momento de segundo orden de la frecuencia de la densidad espectral no direccional. También puede estimarse usando un método de corte del nivel cero.

El período dominante de las olas o período de pico de las olas, en segundos, es el período de la ola que corresponde a la frecuencia central de la banda de frecuencias con la máxima densidad espectral no direccional.

La altura significativa de las olas,  $H_{m0}$ , se estima a partir de la varianza del registro de desplazamiento de las olas obtenido a partir del espectro de desplazamiento según la ecuación siguiente:

$$H_{m0} = 4 \left[ \int_{f_1}^{f_2} S(f) df \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde  $S(f)$  es la densidad espectral de desplazamiento,  $df$  es la anchura de la banda de frecuencias,  $f_u$  es el límite superior de frecuencia, y  $f_l$  es el límite inferior de frecuencia.

#### 4.3.6 Estimaciones del oleaje oceánico direccional

Además de medir la aceleración o el desplazamiento vertical, los sistemas de medición del oleaje direccional requieren también el acimut, el cabeceo y el balanceo de la boya, ya que estos ángulos permiten calcular las pendientes de inclinación del oleaje en las direcciones este a oeste y norte a sur. La mayoría de las boyas utilizan varios métodos y series de sensores diferentes para medir estos ángulos.

Se recomienda que (Swail y otros, 2010a; Swail y otros, 2010b), a fin de prestar servicios a todos los usuarios, los sistemas de medición del espectro direccional del oleaje deberían estimar de manera fiable la denominada regla de "los cinco primeros". Técnicamente, esto se refiere a las cinco variables que definen una frecuencia de ola en particular (o período de la ola). La primera variable es la energía de la ola, que está relacionada con la altura de la ola, y las otras cuatro variables son los cuatro primeros coeficientes de la serie de Fourier que define la distribución direccional de esa energía. En cada banda de frecuencia, no solo se define la dirección de la ola sino la dispersión (momento de segundo orden), la asimetría (momento de tercer orden) y la curtosis (momento de cuarto orden). La asimetría resuelve cómo se concentra la distribución direccional (a la izquierda o a la derecha de la media) y la curtosis define el grado de apuntamiento o de aplastamiento de la distribución. La obtención de estos tres parámetros adicionales (la dispersión, la asimetría y la curtosis) para cada banda de frecuencia produce una mejor representación del campo de olas.

Las mediciones de las olas de las boyas fondeadas también se usan para validar las mediciones de las olas obtenidas de los instrumentos de radar de alta frecuencia.

#### 4.3.7 Altura de la columna de agua para la detección de tsunamis

La mayoría de los tsunámetros de las boyas comunican el nivel del mar (en realidad la altura de la columna de agua) a partir de las mediciones de presión y de temperatura efectuadas en el fondo marino y convertidas a altura de la columna de agua multiplicando la presión por una constante de 670 mm por libra por pulgada cuadrada absoluta.

#### 4.3.8 Humedad relativa

Los sensores de humedad utilizados por las boyas emplean un circuito que mide la humedad a través del cambio en la capacitancia eléctrica de un polímero delgado cuando se expone a las variaciones del vapor de agua. Una membrana permeable al gas protege las partes electrónicas de los efectos de los rociones y de la materia particulada, pero permite la entrada de aire en la caja protectora del instrumento. El sensor es sensible a la temperatura y está equipado con una sonda de temperatura para proporcionar una corrección de la temperatura en el cálculo de la humedad relativa. El sensor se prueba con cierta frecuencia durante el período de muestreo (por ejemplo, 1 Hz para las boyas meteorológicas fondeadas de Estados Unidos y Canadá). En el caso de las boyas de la serie K de Reino Unido, Francia e Irlanda se toma un valor instantáneo del elemento del circuito eléctrico higrométrico a la hora de observación.

#### 4.3.9 Sensores oceánicos

Para comprender y predecir el océano, se deben vigilar sus propiedades. Muchas boyas ayudan a vigilar el océano midiendo también las corrientes de la superficie, los perfiles de corrientes oceánicas, la temperatura cerca de la superficie y los parámetros de calidad del agua. Entre los parámetros de calidad del agua cabe citar la turbiedad, el potencial redox (Eh), el pH, la

concentración de clorofila a, y el oxígeno disuelto. La calidad de los datos de las boyas se controla en tiempo real y, donde sea posible hacerlo, los datos se distribuyen por el Sistema Mundial de Telecomunicación.

#### 4.3.10 **Corrientes oceánicas superficiales**

Se recopilan datos de corrientes superficiales para apoyar el comercio, la seguridad en las operaciones, las tareas de búsqueda y rescate, la respuesta a los vertidos de petróleo y, en el caso de las corrientes cerca de las entradas de los puertos, porque tienen repercusiones sobre el transporte oceánico. También se usa la información de las corrientes superficiales medidas por las boyas para validar las corrientes superficiales obtenidas por instrumentos de radar de alta frecuencia. La mayoría de las boyas adquiere estas mediciones usando muestreadores Doppler acústicos montados en boyas.

#### 4.3.11 **Perfiles de corrientes oceánicas**

Los perfiles de corrientes oceánicas proporcionan el movimiento del océano a distintos niveles de la columna de agua. Esta información es esencial para evaluar la dispersión de los vertidos de petróleo, las operaciones de búsqueda y rescate, las presiones sobre las plataformas en alta mar y la validación de modelos oceánicos. Estos datos son comúnmente adquiridos desde sistemas montados en boyas o en jaulas apuntando hacia abajo. En las plataformas petrolíferas en alta mar, los perfiles de corrientes pueden ser descendentes desde distintos niveles en la columna de agua, o ascendentes desde un sistema montado en el fondo de las mismas.

La mayoría de las boyas utiliza la tecnología de los perfiladores de corriente de efecto Doppler como sensor primario para la recopilación de los datos de perfiles de corrientes oceánicas. Estos emiten impulsos cortos de alta frecuencia de energía acústica en haces estrechos. Los dispersores (se supone que son necton y plancton pasivos) dentro de la columna de agua hacen retornar la energía retrodispersada y los instrumentos pueden resolver la desviación de la frecuencia Doppler a lo largo del haz en coordenadas terrestres ortogonales para obtener las corrientes oceánicas a distintos niveles de la columna de agua.

#### 4.3.12 **Salinidad**

La salinidad es necesaria para la inicialización de los modelos oceánicos que se utilizan para emitir las predicciones oceánicas y para predecir la circulación en los océanos (que viene determinada en gran medida por la densidad). La salinidad se obtiene normalmente a partir de las mediciones de la conductividad del agua de mar. Algunos instrumentos proporcionan la salinidad directamente (a través de cálculos internos) y otros suministran la conductividad, la temperatura y la profundidad necesarias para calcular la salinidad. Las mediciones de salinidad se basan en la escala práctica de salinidad que hace uso de la relación empírica entre la salinidad y la conductividad del agua de mar (aunque una nueva ecuación termodinámica del agua de mar 2010 (TEOS-10) internacional fue aprobada recientemente por la Asamblea de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) mediante la Resolución XXV-7). Las unidades de salinidad se expresan en unidades prácticas de salinidad.

#### 4.3.13 **Precipitación**

En algunas boyas fondeadas se han instalado pluviómetros de sifón.

#### 4.3.14 **Mediciones de la radiación solar**

La radiación solar tiene una influencia importante en los procesos físicos, biológicos y químicos cerca de la interfaz aire-mar y es, por consiguiente, de interés para científicos e ingenieros. Se

han usado mediciones de la radiación solar tomadas en la superficie para calibrar los radiómetros de rango visible instalados en los satélites meteorológicos. El sensor se sitúa tan alto como sea posible en la plataforma para evitar las sombras. El flujo radiativo solar se mide en vatios por metro cuadrado y la radiación activa de fotosíntesis, en micromoles por metro cuadrado por segundo.

#### 4.3.15 **Visibilidad**

Se han colocado sensores de visibilidad en algunas estaciones donde la visibilidad constituye un problema crítico para la seguridad de la navegación. El sensor mide la extinción de la luz en un volumen pequeño de aire entre un emisor y un colector. Es importante señalar que estas son mediciones en un solo punto, y que hay diversas definiciones similares aunque distintas.

### 4.4 **BUQUES FARO AUTOMÁTICOS**

Estas plataformas son, en muchos sentidos, similares a las boyas fondeadas. Sin embargo, debido a su mayor tamaño y capacidad de carga instrumental, son más adecuadas para instalar sensores adicionales, tales como los sensores para observar la visibilidad. En caso de tiempo extremo, esos sensores pueden ser afectados por rociones de mar generados por la misma plataforma. Con todo, en la mayoría de condiciones, su rendimiento es idéntico al de los instrumentos que se encuentran en las estaciones meteorológicas automáticas terrestres.

### 4.5 **TORRES Y PLATAFORMAS**

En las torres (sobre todo en aguas relativamente poco profundas, cerca de la costa), y en las plataformas en las zonas más remotas, es posible poner en funcionamiento estaciones meteorológicas automáticas normalizadas, similares en diseño a las estaciones meteorológicas automáticas terrestres (véase el capítulo 1 de la parte II). Con frecuencia se emplean instrumentos adicionales como, por ejemplo, nefobasímetros y visibilímetros, así como sensores que sirven para medir la altura de las olas y el nivel medio del agua por encima de un punto de referencia. Las plataformas fijas pueden incluir grandes estructuras de gravedad, y plataformas móviles autoelevables (jack-up) y semisumergibles. Las plataformas autoelevables y semisumergibles, así como los buques de perforación, podrían considerarse como plataformas estacionarias porque están fondeadas o dinámicamente posicionadas para permanecer en un mismo lugar mientras están en funcionamiento. En plataformas dotadas de personal, los datos obtenidos pueden complementarse con observaciones visuales de las nubes, la visibilidad y el tiempo, para tener informes sinópticos completos. Las observaciones visuales desde las plataformas petrolíferas y gasísticas deberían efectuarse según los procedimientos recomendados en la sección 4.2. Sin embargo, hay casos donde se aplican diferentes procedimientos. Por ejemplo, una plataforma puede incluir los datos de olas provenientes de una boya de medición de olas, fondeada en las proximidades, y la temperatura de la superficie del mar medida por un buque de suministro cercano.

Algunas plataformas marinas petrolíferas y gasísticas, tanto fijas como estacionarias, provistas de personal, pueden incluir la altura de la ola significativa y alguna medición del período de las olas en su informe meteorológico (utilizando las mismas partes de la clave FM 13 SHIP que las boyas fondeadas), empleando la salida de una boya cercana de medición de olas o de un radar de olas de a bordo.

Las plataformas y torres son estructuras convenientes para instalar sensores meteorológicos. La instalación y el mantenimiento pueden resultar menos complicados y más económicos que para una boya fondeada, por lo que ofrecen datos con mayor frecuencia y fiabilidad. A la calidad de los datos no le afecta el movimiento del buque o de la boya y es menos susceptible a los errores de los sensores dañados por la acción de las olas.

Sin embargo, los sensores de temperatura y humedad requieren una instalación muy cuidadosa, ya que casi siempre existen fuentes de calor y evacuación que modificarán el entorno local, lo que hace que los valores sean poco representativos de las condiciones ambientales. Las mediciones del viento deben realizarse a alturas superiores a los 100 m sobre el nivel medio del mar y requieren una corrección para obtener el valor equivalente de los vientos de superficie a 10 m de altura (cabe señalar que lo ideal sería disponer también de la observación real y su altura). En el caso de torres más cercanas a la costa, la altura de la marea puede alterar considerablemente la altura efectiva del sensor del viento.

En conclusión, las torres fijas y las plataformas en alta mar pueden proporcionar una fuente de datos rentable liberando así las boyas fondeadas para su utilización en zonas más remotas donde no haya otra alternativa.

#### 4.6 BOYAS A LA DERIVA

Las boyas a la deriva se han venido utilizando durante muchos años en actividades oceanográficas, sobre todo para la medición de las corrientes marinas en la superficie de los mares y océanos; sin embargo, la creación de sistemas fiables de seguimiento y retransmisión de datos por satélite (OMM/COI, 1995) ha producido un importante aumento en el número de boyas oceánicas a la deriva desplegadas, y se han alcanzado grandes progresos en cuanto a la capacidad de los sensores de esas boyas con fines meteorológicos y oceanográficos.

En UNESCO (1988) se presenta una descripción de los sistemas de boyas a la deriva y sus modos de funcionamiento. Más recientemente, el Grupo de cooperación OMM/COI sobre boyas de acopio de datos (GCBD) publicó un informe sobre diseño de boyas a la deriva equipadas con barómetros titulado *Global Drifter Programme Barometer Drifter Design Reference* (OMM/COI, 2009a). Véanse también los informes anuales y las actas del taller del GCBD, así como OMM/COI (2004a y 2004b).

La evolución de la tecnología en materia de boyas a la deriva se ha debido a las necesidades de la investigación oceanográfica, por una parte, y de la meteorología operativa, por otra. De esa manera, se distinguen tres tipos diferentes de boyas:

- a) Para investigación oceanográfica, y en particular para el Experimento Mundial sobre la Circulación Oceánica (Programa sobre la velocidad de las corrientes en superficie (SVP), 1988 a 1993), se han fabricado y lanzado en extensas regiones de los océanos del mundo boyas a la deriva que siguen las corrientes de la superficie del mar, y que además permiten medir la temperatura de la superficie del mar.
- b) Para meteorología operativa se ha mejorado el modelo de boya a la deriva basado en la boya utilizada para el Primer Experimento Mundial del Programa de Investigación de la Atmósfera Global; esas boyas sirven para medir sobre todo la presión atmosférica, la temperatura de la superficie del mar y la temperatura del aire.
- c) Para aplicaciones polares se han diseñado flotadores de hielo diversos para medir las variables atmosféricas tradicionales así como las condiciones del hielo y la nieve (temperatura del hielo y de la nieve y perfiles térmicos del hielo, espesor del hielo, tensión del hielo, condiciones del agua por debajo de la capa de hielo). Es posible estimar el movimiento del hielo siguiendo la posición de las boyas en el mismo. Se han llevado a cabo esfuerzos para desarrollar boyas que permitan satisfacer las necesidades de la investigación oceanográfica y de la meteorología operativa, y que han llevado a la introducción de:
  - i) la boya SVP-B, fundamentalmente una boya a la deriva que sigue las corrientes de superficie, a la cual se le ha añadido un sensor para medir la presión atmosférica;
  - ii) la boya SVP-BW (o Minimet), que es esencialmente una boya SVP-B con capacidad de medir el viento y que usa la tecnología de observación del viento a partir del ruido ambiental (WOTAN);

- iii) la boya de perfil del viento y temperatura, que es básicamente una boya a la deriva destinada a medir parámetros meteorológicos, a la cual se le han añadido sensores para medir la velocidad del viento y una cadena de termistores subsuperficiales para obtener el perfil de la temperatura a profundidades de hasta 100 m aproximadamente; en esas boyas, la dirección del viento se mide al orientar la boya hacia el viento, utilizando un mástil chato o una veleta fija;
- iv) la adición de sensores de salinidad a las boyas SVP.

Las boyas a la deriva son dispositivos fungibles, de manera que su rendimiento se evalúa teniendo en cuenta la función que realiza y su costo. Se debería señalar que al costo del equipo ha de añadirse el costo del procesamiento y la difusión de datos a través del sistema de satélites Argos, que es elevado y puede constituir un factor limitante, aunque el más reciente uso del sistema Iridium de telecomunicaciones de datos procedentes de satélites está ayudando a resolver este problema. Sin embargo, el rendimiento de los sensores instalados en las boyas a la deriva es adecuado para los fines de la meteorología sinóptica y de la oceanografía, según proceda. Cabe señalar que la calidad de las observaciones de la velocidad del viento es cuestionable y, en consecuencia, no son utilizadas por los centros operativos (Ingleby, 2010).

Las incertidumbres típicas en las mediciones realizadas con sistemas operativos son:

Temperatura de la superficie del mar	0,21 °C <sup>a</sup>
Presión atmosférica	0,84 hPa <sup>b</sup>
Velocidad del viento	3,5 m s <sup>-1</sup> o 10% <sup>abc</sup>
Dirección del viento	18,5° <sup>b</sup>
Temperatura de la capa subsuperficial del mar	0,1 °C

Notas:

- a Fuente: O'Carroll y otros (2008).
- b Fuente: estadísticas de vigilancia de boyas, Centro europeo de predicción meteorológica a medio plazo, enero de 2012.
- c En vista de la baja altura a la que está ubicado el sensor (aproximadamente 1 m sobre el nivel del mar), esas incertidumbres se aplican solo en situaciones de baja velocidad del viento y mar tranquilo.

## **ANEXO 4.A. CENTROS REGIONALES DE INSTRUMENTOS MARINOS DE LA ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL Y DE LA COMISIÓN OCEANOGRÁFICA INTERGUBERNAMENTAL**

1. Considerado la necesidad de obtener mediciones meteorológicas marinas y oceanográficas de alta calidad de todos los océanos del mundo para satisfacer las necesidades de los programas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y de programas copatrocinados, la necesidad en el ámbito regional de instalaciones para la calibración y el mantenimiento de instrumentos marinos y para el control del rendimiento de los instrumentos con el fin de lograr que las observaciones de los océanos y de sus metadatos asociados cumplan las normas de alto nivel para los instrumentos y métodos de observación, la necesidad de recopilar información sobre los métodos de medición para comprender los errores generados por cada tipo de instrumento y para elaborar métodos que permitan corregir esos errores a fin de producir y utilizar conjuntos de datos coherentes, se ha recomendado lo siguiente<sup>1</sup>:

Los Centros Regionales de Instrumentos Marinos (CRIM) deberían tener las capacidades siguientes para llevar a cabo sus correspondientes funciones:

### **Capacidades:**

- a) Un CRIM debe disponer de las instalaciones y los equipos de laboratorio pertinentes, o poder acceder a ellos, a fin de realizar las funciones necesarias para la calibración de instrumentos meteorológicos y de instrumentos oceanográficos conexos utilizados para satisfacer las necesidades comunes de los programas relativos al mar y de los programas copatrocinados de la OMM y de la COI de la UNESCO<sup>2</sup>.
- b) Un CRIM debe mantener un conjunto de instrumentos meteorológicos y oceanográficos patrón o sus referencias y establecer la trazabilidad de sus propios patrones de medición y de sus instrumentos de medición al Sistema Internacional de Unidades (SI).
- c) Un CRIM debe disponer de personal de gestión y técnico cualificado y con la experiencia necesaria para cumplir sus funciones.
- d) Un CRIM debe elaborar sus propios procedimientos técnicos para la calibración de instrumentos meteorológicos y oceanográficos conexos utilizando sus propios equipos de calibración.
- e) Un CRIM debe elaborar sus propios procedimientos de garantía de la calidad.
- f) Un CRIM debe organizar comparaciones entre laboratorios de los instrumentos y métodos de calibración patrón o participar en ellas.
- g) Un CRIM debe utilizar los recursos y las capacidades de su región de interés de conformidad con los intereses de la región, cuando proceda.
- h) Un CRIM debe aplicar, siempre que sea posible, las normas internacionales correspondientes a los laboratorios de calibración, tales como la ISO/IEC 17025.
- i) Una autoridad reconocida<sup>3</sup> debe evaluar al CRIM, por lo menos cada cinco años, para comprobar sus capacidades y desempeño.

<sup>1</sup> Por recomendación de la Comisión Técnica Mixta OMM/COI sobre Oceanografía y Meteorología Marina en su tercera reunión, celebrada en 2009.

<sup>2</sup> Fundamentalmente instrumentos geofísicos utilizados en el entorno de la superficie del mar o bajo la superficie.

<sup>3</sup> La CMOMM será el órgano que proponga formalmente los nuevos CRIM y las autoridades que realizarán las evaluaciones.

**Funciones correspondientes:**

- a) Un CRIM debe ayudar a los Miembros de la OMM y a los Estados Miembros de la COI de la UNESCO de su región en la calibración de sus patrones meteorológicos nacionales y de los instrumentos oceanográficos de control asociados, de conformidad con las capacidades del CRIM.
- b) Un CRIM debe organizar comparaciones de instrumentos regionales y/o en el marco de la Comisión Técnica Mixta OMM/COI sobre Oceanografía y Meteorología Marina (CMOMM), o participar en ellas, siguiendo las recomendaciones pertinentes de la CMOMM.
- c) Un CRIM debe aportar contribuciones positivas a los Miembros y los Estados Miembros en lo que se refiere a la calidad de las mediciones.
- d) Un CRIM debe responder a las consultas de los Miembros y los Estados Miembros sobre las prestaciones y el mantenimiento de los instrumentos y la disponibilidad de material de orientación correspondiente.
- e) Un CRIM debe participar o colaborar activamente en la organización de cursillos regionales sobre instrumentos y mediciones meteorológicos y oceanográficos asociados.
- f) Un CRIM debe cooperar con otros CRIM en la normalización de mediciones y de sensores meteorológicos y oceanográficos conexos.
- g) Un CRIM debe informar periódicamente a los Miembros y los Estados Miembros y, una vez al año, comunicar al Comité de gestión de la CMOMM los servicios ofrecidos a los Miembros y los Estados Miembros y las actividades realizadas. La CMOMM, a su vez, mantendrá informados a los respectivos Consejos Ejecutivos de la OMM y de la COI de la UNESCO sobre la situación y las actividades de los CRIM, y propondrá cambios cuando sea preciso.

2. El mecanismo para la designación formal de los CRIM por la OMM y la COI de la UNESCO entraña lo siguiente:

- a) La gobernanza para definir las funciones y la adopción de los CRIM será propuesta por la CMOMM y aprobada por los respectivos Consejos Ejecutivos de la OMM y de la COI de la UNESCO.
- b) Los candidatos a CRIM tendrán que presentar una declaración de conformidad y una lista de las capacidades del Centro propuesto, comunicar el conjunto de conocimientos técnicos que se ofrecen en relación con los instrumentos, comprometerse formalmente a albergar de forma voluntaria el Centro y demostrar su capacidad a la CMOMM.
- c) La CMOMM inicia el establecimiento de los CRIM, y la CMOMM y las Secretarías de la OMM y de la COI coordinan el proceso de designación de acuerdo con el procedimiento aprobado por la CMOMM y recogido en el informe técnico N° 53 de la CMOMM.
- d) Cuando se haya establecido más de un CRIM en una Región de la OMM y/o de la COI, debería haber coordinación entre los Centros.

## 3. Los centros siguientes se han designado como CRIM:

<i>Región</i>	<i>Centro</i>	<i>Situación</i>
Asia-Pacífico	Centro Nacional de Normas Oceánicas y Metrología	Tianjin (China)
América del Norte, América Central y el Caribe	Centro Nacional de Boyas de Acopio de Datos de Estados Unidos	Centro Espacial Stennis, Misisipi (Estados Unidos de América)

## **ANEXO 4.B. DESCRIPCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PARA USO DE LOS OBSERVADORES DEL TIEMPO PRESENTE A BORDO DE BUQUES**

La precipitación se produce de un modo más o menos uniforme (intermitente o continua) o en forma de chubascos.

Toda precipitación que no sea en forma de chubascos debe calificarse de intermitente o continua.

La precipitación sin carácter de chubasco procede generalmente de nubes estratiformes (principalmente altostratos y nimbostratos). Los chubascos caen de las grandes nubes convectivas (usualmente cumulonimbos o cúmulos de desarrollo vertical moderado o grande), y se caracterizan en general por su brusco comienzo y final, y por variaciones en la intensidad de la precipitación. Las gotas y las partículas sólidas de los chubascos son en general mayores que las que se producen en la precipitación sin carácter de chubasco.

Las gotas de la precipitación pueden estar subfundidas (es decir, la temperatura de las gotas está por debajo de 0 °C). Al chocar con la superficie, las gotas de lluvia subfundidas forman una mezcla de agua y hielo con una temperatura próxima a 0 °C.

### *Formas de precipitación*

Las descripciones que siguen son compatibles con las definiciones dadas en el *Atlas Internacional de Nubes*, volumen I, parte III.2 (OMM, 1975):

*Llovizna*. Precipitación bastante uniforme en forma de gotas de agua muy pequeñas. El diámetro de las gotas es normalmente inferior a 0,5 mm. Las gotas casi parecen flotar, de modo que hacen visibles hasta los más leves movimientos del aire. La llovizna cae de una capa continua y bastante densa de nubes estratiformes, generalmente bajas, que a veces alcanzan la superficie (niebla). Para los efectos del cifrado, la llovizna debe clasificarse en débil, moderada o fuerte, que se definen como sigue:

- a) La *llovizna débil* se detecta fácilmente en la superficie de las ventanas de la timonera, del puente de mando, pero apenas se observa acumulación en la cubierta, las partes techadas, etc.
- b) La *llovizna moderada* se traduce en hilos de agua que corren por las ventanas, las cubiertas y la superestructura.
- c) La *llovizna fuerte* presenta las características de la llovizna moderada y además reduce la visibilidad a menos de 1 000 m.

*Lluvia*. Precipitación de gotas de agua que caen de una nube. El diámetro y la concentración de las gotas de lluvia varían considerablemente según la intensidad de la precipitación y especialmente según su índole (lluvia continua, chubascos de lluvia, aguaceros, etc.). La lluvia continua procede generalmente de una capa, o varias capas, más o menos uniformes de nubes estratiformes. Para los efectos del cifrado, la lluvia debe clasificarse en débil, moderada o fuerte. Estos términos se definen como sigue:

- a) La *lluvia débil* puede consistir en grandes gotas dispersas o en numerosas gotitas; la rapidez de su acumulación en la cubierta es reducida y los charcos se forman muy lentamente.
- b) La *lluvia moderada* no permite apreciar claramente las gotas aisladas; se pueden observar rociaciones de lluvia, los charcos se forman rápidamente y los ruidos sobre las partes techadas varían entre un silbido y un estruendo suave.
- c) La *lluvia fuerte* es un aguacero que produce un estruendo en las toldillas y superficies de la cubierta y forma una salpicadura nebulosa de finas gotitas al chocar contra las superficies de la cubierta.

*Nieve.* Precipitación de cristales de hielo, por separado o aglomerados, que caen de una nube. La forma, el tamaño y la concentración de los cristales de nieve varían considerablemente según las condiciones existentes en el momento de la nevada. La intensidad se cifra como débil, moderada o fuerte.

*Chubascos.* Se caracterizan por su brusco comienzo y final, y por las variaciones de la intensidad de la precipitación, generalmente rápidas y a veces violentas. Las gotas y las partículas sólidas que caen en un chubasco son generalmente mayores que las observadas en otros tipos de precipitación. Que la precipitación (lluvia o nieve) se produzca en forma de chubascos o no, depende de las nubes que la originan. Los chubascos proceden de grandes nubes convectivas y se definen como sigue:

- a) A efectos del cifrado, los *chubascos de lluvia y nieve* deben clasificarse atendiendo a su intensidad en débiles, moderados o fuertes. La descripción es la misma que para lluvia o nieve débil, moderada o fuerte; cabe recordar, sin embargo, que la visibilidad para condiciones meteorológicas de chubascos experimenta una variabilidad mucho mayor que para la misma categoría de lluvia continua.
- b) Los *chubascos violentos* son chubascos de lluvia excepcionalmente intensos o torrenciales que se producen principalmente en las regiones tropicales.

*Nieve granulada.* Precipitación de partículas de hielo blancas y opacas que caen de una nube. Esas partículas son generalmente cónicas o redondeadas y su diámetro puede alcanzar 5 mm. Esos gránulos, con una estructura semejante a la de la nieve, son frágiles y fáciles de aplastar; cuando caen sobre una superficie dura rebotan y suelen romperse. En la mayoría de los casos, la nieve granulada cae en forma de chubascos, casi siempre acompañada de copos de nieve, cuando las temperaturas cerca de la superficie rondan alrededor de 0 °C. A los fines del registro, la intensidad de la nieve granulada, cuando se produce aisladamente, se determina atendiendo a la visibilidad, al igual que en el caso de la nieve.

*Granizo.* Precipitación de partículas de hielo (pedriscos) transparentes, parcial o completamente opacas, en general esféricas, cónicas o de forma irregular y de diámetro entre 5 y 50 mm (las partículas de menor tamaño del mismo origen pueden clasificarse como granizo pequeño o como hielo granulado), que caen separadas o aglomeradas irregularmente. El granizo siempre se produce en forma de chubascos y, por lo general, se observa durante las tormentas intensas. Para los efectos del cifrado, el granizo debe clasificarse en débil, moderado o fuerte. La intensidad se determina por la rapidez de acumulación de pedriscos, como sigue:

- a) *granizo débil:* caen pocos pedriscos y no hay acumulación apreciable en las superficies planas;
- b) *granizo moderado:* acumulación lenta de pedriscos donde la granizada es suficiente como para que se forme una capa blanca sobre las cubiertas;
- c) *granizo fuerte:* acumulación rápida de pedriscos que sucede con poca frecuencia en las latitudes templadas en el mar.

*Granizo pequeño.* Precipitación de partículas translúcidas de hielo que caen de una nube. Esas partículas son casi siempre esféricas y a veces tienen puntas cónicas. Su diámetro puede alcanzar y hasta exceder los 5 mm. Generalmente el granizo pequeño no es fácil de romper y cuando cae sobre una superficie dura rebota produciendo un sonido audible. Los chubascos van acompañados siempre de granizo pequeño. Para los efectos del cifrado, el granizo pequeño debe clasificarse en débil, moderado o fuerte. La intensidad se determina observando la rapidez de acumulación, como en el caso del granizo.

*Hielo granulado.* Precipitación de partículas transparentes de hielo que caen de una nube. Esas partículas son generalmente esféricas o irregulares y, en muy raras ocasiones, cónicas. Su diámetro es inferior a 5 mm. Por lo general, los granos de hielo no son fáciles de quebrar y,

cuando caen sobre una superficie dura, rebotan produciendo un sonido audible. La precipitación en forma de hielo granulado procede generalmente de altostratos o nimbostratos. La intensidad del hielo granulado se determina de la misma forma que para el granizo.

*Cinarra.* Precipitación de partículas blancas opacas muy pequeñas que caen de una nube. Esas partículas son claramente aplanadas o alargadas; su diámetro es casi siempre inferior a 1 mm. Cuando los gránulos golpean una superficie dura no rebotan. Por lo general, caen en pequeñas cantidades y provienen sobre todo de estratos o de niebla, y nunca en forma de chubasco. Esta precipitación corresponde, por así decirlo, a la llovizna, y se produce cuando la temperatura está entre unos 0 °C y -10 °C. Como no hay más que una sola especificación de la clave referente a la cinarra, no es necesario clasificar su intensidad.

---

## **ANEXO 4.C. PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS PARA LA NOTIFICACIÓN DEL MAR DE FONDO POR BUQUES QUE TRANSMITEN INFORMACIÓN MANUALMENTE**

A continuación se exponen los procedimientos recomendados para la notificación del mar de fondo por buques que transmiten información manualmente, acordados en la quinta reunión del Equipo de observaciones realizadas desde buques, celebrada en 2009 (OMM/COI, 2009b), y aplicados con la aprobación del Equipo de expertos sobre climatología marina (OMM/COI, 2010):

- a) Cuando no se haya determinado el mar de fondo, es decir, cuando no se haya intentado realizar la observación, se omitirán los grupos de mar de fondo de la observación.
  - b) Cuando no se observe mar de fondo en razón de un mar en calma, la dirección del mar de fondo principal y del mar de fondo secundario se notificará como "en calma". Se podrán omitir el período y la altura del mar de fondo principal y secundario, ya que si se notifica mar en calma, puede deducirse que estos parámetros también serán calmos, en cuyo caso no proporcionarían información adicional.
  - c) Cuando la dirección del mar de fondo es indeterminada, se notificará un mar de fondo confuso, y cuando el período y la altura del mar de fondo son también poco claros, ello se hará constar en la observación. El período y la altura del mar de fondo secundario pueden omitirse.
  - d) Cuando el mar de fondo es confuso, pero pueden estimarse el período y la altura, se notificará la dirección del mar de fondo como "confusa", y se indicarán en el informe el período y la altura del mar de fondo principal. El período y la altura del mar de fondo secundario pueden omitirse.
  - e) Cuando solo se observa un mar de fondo, se comunicarán su dirección, período y altura. El período y la altura del mar de fondo secundario pueden omitirse.
  - f) Cuando se observan dos mares de fondo, se incluirá en la observación tanto la dirección como el período y la altura de cada uno de ellos.
-

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Barton, I. J., P. J. Minnett, K. A. Maillet, C. J. Donlon, S. J. Hook, A. T. Jessup y T. J. Nightingale, 2004: "The Miami 2001 infrared radiometer calibration and intercomparison. Part II: shipboard results", en *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 21, núm. 2, págs. 268 a 283.
- Bourras, D., 2006: "Comparison of five satellite-derived latent heat flux products to moored buoy data", en *Journal of Climate*, vol. 19, núm. 24, págs. 6291 a 6313.
- Bowditch, N., 2002: *The American Practical Navigator: An Epitome of Navigation*. Edición del bicentenario de 2002, publicación. núm. 9 del NIMA, Organismo Nacional de Imágenes y Cartografía de Estados Unidos de América, Bethesda.
- Bradley, F. y C. Fairall, 2006: *A Guide to Making Climate Quality Meteorological and Flux Measurements at Sea*. Memorando técnico OAR PSD-311 de la NOAA, NOAA/ESRL/PSD, Boulder, Colorado.
- Centro Nacional de Boyas de Acopio de Datos de Estados Unidos, 2003: *Non-directional and Directional Wave Data Analysis Procedures*. Documento técnico 03-01 del NDBC, Centro Nacional de Boyas de Acopio de Datos, Centro Espacial Stennis, Misisipi (puede consultarse en: <http://www.ndbc.noaa.gov/wavemeas.pdf>).
- , 2009: *Handbook of Automated Data Quality Control Checks and Procedures*. Documento técnico 09-02 del NDBC, Centro Nacional de Boyas de Acopio de Datos, Centro Espacial Stennis, Misisipi (puede consultarse en: <http://www.ndbc.noaa.gov/NDBCHandbookofAutomatedDataQualityControl2009.pdf>).
- Dohan, K., F. Bonjean, L. Centurioni, M. Cronin, G. Lagerloef, D. -K. Lee, R. Lumpkin, N. Maximenko, P. Niiler y H. Uchida, 2010: "Measuring the global ocean surface circulation with satellite and in situ observations", en *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2)* (J. Hall, D. E. Harrison y D. Stammer, eds.) (Venecia, 21 a 25 de septiembre de 2009). Publicación WPP-306 de la AEE.
- Donlon, C., I. S. Robinson, W. Wimmer, G. Fisher, M. Reynolds, R. Edwards y T. J. Nightingale, 2008: "An infrared sea surface temperature autonomous radiometer (ISAR) for deployment aboard Volunteer Observing Ships (VOS)", en *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 25, núm. 1, págs. 93 a 113.
- Fairall, C. W., A. B. White, J. B. Edson y J. E. Hare, 1997: "Integrated shipboard measurements of the marine boundary layer", en *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 14, núm. 3, págs. 338 a 359.
- Freeland, H., D. Roemmich, S. Garzoli, P. -Y. Le Traon, M. Ravichandran, S. Riser, V. Thierry, S. Wijffels, M. Belbéoch, J. Gould, F. Grant, M. Ignazewski, B. King, B. Klein, K. Mork, B. Owens, S. Pouliquen, A. Sterl, T. Suga, M. Suk, P. Sutton, A. Troisi, P. Vélez-Belchi y J. Xu, 2010: "Argo – A decade of progress", en *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2)* (J. Hall, D. E. Harrison y D. Stammer, eds.) (Venecia, 21 a 25 de septiembre de 2009). Publicación WPP-306 de la AEE.
- Frigaard, P. B., J. Helm-Petersen, G. Klopman, C. T. Standsberg, M. Benoit, M. J. Briggs, M. Miles, J. Santas, H. A. Schäffer y P. J. Hawkes, 1997: "IAHR list of sea parameters", en *Proceedings of the Twenty-seventh IAHR Congress* (San Francisco, 10 a 15 de agosto de 1997).
- Goni, G., D. Roemmich, R. Molinari, G. Meyers, C. Sun, T. Boyer, M. Baringer, V. Gouretski, P. Di Nezio, F. Reseghetti, G. Vissa, S. Swart, R. Keeley, S. Garzoli, T. Rossby, C. Maes y G. Reverdin, 2010: "The Ship of Opportunity Program", en *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2)* (J. Hall, D. E. Harrison y D. Stammer, eds.) (Venecia, 21 a 25 de septiembre de 2009). Publicación WPP-306 de la AEE.
- Hall, J., D. E. Harrison y D. Stammer (eds.), 2010: *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society* (Venecia, 21 a 25 de septiembre de 2009). Publicación WPP-306 de la AEE.
- Hasse, L., M. Grossklau, K. Uhlig y P. Timm, 1998: "A ship rain gauge for use in high wind speeds", en *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 15, núm. 2, págs. 380 a 386.
- Ingleby, B., 2010: "Factors affecting ship and buoy data quality: A data assimilation perspective", en *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 27, págs. 1476 a 1489.
- Keeley, R., M. Pazos y B. Bradshaw, 2010: "Data management system for surface drifters", en *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2)* (J. Hall, D. E. Harrison y D. Stammer, eds.) (Venecia, 21 a 25 de septiembre de 2009). Publicación WPP-306 de la AEE.

- Kennedy, J. J., R. O. Smith y N. A. Rayner, 2012: "Using AATSR data to assess the quality of in situ sea-surface temperature observations for climate studies", en *Remote Sensing of Environment*, vol. 116, págs. 79 a 92.
- Kent, E. C., G. Ball, D. Berry, J. Fletcher, A. Hall, S. North y S. Woodruff, 2010: "The Voluntary Observing Ship (VOS) Scheme", en *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2)* (J. Hall, D. E. Harrison y D. Stammer, eds.) (Venecia, 21 a 25 de septiembre de 2009). Publicación WPP-306 de la AEE.
- Kent, E. C. y D. I. Berry, 2005: "Quantifying Random measurement errors in Voluntary Observing Ships' meteorological observations", en *Advances in the Applications of Marine climatology: The Dynamic Part of the WMO Guide to the Applications of Marine Climatology*. JCOMM TR No. 13, REV. 1 (WMO/TD-No. 1081). John Wiley & Sons (puede consultarse en: [http://www.wmo.int/pages/prog/amp/mmop/jcomm\\_reports.html](http://www.wmo.int/pages/prog/amp/mmop/jcomm_reports.html)).
- Kent, E. C. y P. K. Taylor, 2006: "Toward estimating climatic trends in SST, Part I: methods of measurement", en *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 23, núm. 3, págs. 464 a 475.
- Kent, E. C., P. K. Taylor, B. S. Truscott y J. S. Hopkins, 1993: "The accuracy of Voluntary Observing Ships' meteorological observations – Results of the VSOP-NA", en *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 10, núm. 4, págs. 591 a 608.
- Kent, E. C., S. D. Woodruff y D. I. Berry, 2007: "Metadata from WMO publication no. 47 and an assessment of Voluntary Observing Ship observation heights in ICOADS", en *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 24, núm. 2, págs. 214 a 234.
- Liu, W. T., K. B. Katsaros y J. A. Businger, 1979: "Bulk parameterization of air-sea exchanges of heat and water vapor including the molecular constraints at the interface", en *Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 36, págs. 1722 a 1735.
- McPhaden, M. J., K. Ando, B. Bourlès, H. P. Freitag, R. Lumpkin, Y. Masumoto, V. S. N. Murty, P. Nobre, M. Ravichandran, J. Vialard, D. Vousden y W. Yu, 2010: "The Global Tropical Moored Buoy Array", en *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2)* (J. Hall, D. E. Harrison y D. Stammer, eds.) (Venecia, 21 a 25 de septiembre de 2009). Publicación WPP-306 de la AEE.
- Meldrum, D., E. Charpentier, M. Fedak, B. Lee, R. Lumpkin, P. Niiler y H. Viola, 2010: "Data buoy observations: the status quo and anticipated developments over the next decade", en *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2)* (J. Hall, D. E. Harrison y D. Stammer, eds.) (Venecia, 21 a 25 de septiembre de 2009). Publicación WPP-306 de la AEE.
- Merrifield, M., T. Aarup, A. Allen, A. Aman, P. Caldwell, E. Bradshaw, R. M. S. Fernandes, H. Hayashibara, F. Hernandez, B. Kilonsky, B. Martin Miguez, G. Mitchum, B. Pérez Gómez, L. Rickards, D. Rosen, T. Schöne, M. Szabados, L. Testut, P. Woodworth, G. Wöppelmann y J. Zavala, 2010: "The Global Sea Level Observing System (GLOSS)", en *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2)* (J. Hall, D. E. Harrison y D. Stammer, eds.) (Venecia, 21 a 25 de septiembre de 2009). Publicación WPP-306 de la AEE.
- Moat, B. I., M. J. Yelland y A. F. Molland, 2006: "Quantifying the airflow distortion over merchant ships, part II: application of the model results", en *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 23, núm. 3, págs. 351 a 360.
- Moat, B. I., M. J. Yelland, R. W. Pascal y A. F. Molland, 2005: "An overview of the airflow distortion at anemometer sites on ships", en *International Journal of Climatology*, vol. 25, núm. 7, págs. 997 a 1006.
- O'Carroll, A. G., J. R. Eyre y R. W. Saunders, 2008: "Three-way error analysis between AATSR, AMSR-E, and in situ sea surface temperature observations", en *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 25, núm. 7, págs. 1197 a 1207.
- Oficina Meteorológica de Reino Unido, 1995: *Marine Observers Handbook*. Decimoprimer edición, Oficina Meteorológica de Reino Unido, núm. 1016, Londres.
- Organización Meteorológica Internacional – Comité Meteorológico Internacional, 1947: *Procès-Verbaux de la Session de Paris, 1946*. Publicación núm. 55, págs. 105 y 106, Lausana, La Concorde.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 1988: *Guía de utilización de boyas a la deriva para acopio e intercambio de datos oceanográficos*. Manuales y Guías núm. 20 de la OMM/COI.
- Organización Meteorológica Mundial, 1955-: *International List of Selected, Supplementary and Auxiliary Ships* (WMO-No. 47). Ginebra. (Publicación en serie; recientemente anual. Las ediciones anteriores a 1966 se titulaban *International List of Selected and Supplementary Ships*; las futuras ediciones llevarán como título *International List of Selected, VOSCLim, Supplementary and Auxiliary Ships*) (puede consultarse en: <http://www.wmo.int/pages/prog/www/ois/pub47/pub47-home.htm>).

- , 1962: *Precipitation Measurements at Sea*. Technical Note No. 47 (WMO-No. 124, TP. 55). Ginebra.
- , 1970: *Nomenclatura de la OMM del hielo marino* (OMM-N° 259, TP. 145), volúmenes I y III. Ginebra.
- , 1972: *Comparative Sea-surface Temperature Measurements* (R.W. James and P.T. Fox). Report on Marine Science Affairs No. 5 (WMO-No. 336). Ginebra.
- , 1974: *The Meteorological Aspects of Ice Accretion on Ships* (H.C. Shellard). Report on Marine Science Affairs No. 10 (WMO-No. 397). Ginebra.
- , 1975: *Atlas Internacional de Nubes: Manual de observación de nubes y otros meteoros* (OMM-N° 407), volumen I. Ginebra.
- , 1981: *Precipitation Measurement at Sea* (G. Olbrück). Informe N° 1 sobre actividades de meteorología marina y asuntos oceánicos. Ginebra.
- , 1987: *International Cloud Atlas* (WMO-No. 407), volumen II. Ginebra.
- , 1989: *Wind Measurements Reduction to a Standard Level* (R.J. Shearman and A.A. Zelenko). Marine Meteorology and Related Oceanographic Activities Report No. 22 (WMO/TD-No. 311). Ginebra.
- , 1991a: *Compendium of Lecture Notes in Marine Meteorology for Class III and Class IV Personnel* (J.M. Walker) (WMO-No. 434). Ginebra.
- , 1991b: *The Accuracy of Ship's Meteorological Observations: Results of the VSOP-NA* (E.C. Kent, B.S. Truscott, P.K. Taylor and J.S. Hopkins). Marine Meteorology and Related Oceanographic Activities Report No. 26 (WMO/TD-No. 455). Ginebra.
- , 1998: *Guía para el análisis y pronóstico de las olas* (OMM-N° 702). Ginebra.
- , 1999: "The accuracy of meteorological observations from Voluntary Observing Ships: Present status and future requirements" (P. K. Taylor y E. C. Kent), en *Final Report of the First Session of the Commission for Marine Meteorology Working Group on Marine Observing Systems Subgroup on Voluntary Observing Ships* (Atenas, 1999). WMO TC CMM 1999 (puede consultarse en: <http://eprints.soton.ac.uk/347754/>).
- , 2001: *Guía de los servicios meteorológicos marinos* (OMM-N° 471). Ginebra.
- , 2010: *Manual del Sistema Mundial de Observación* (OMM-N° 544), volumen I. Ginebra.
- , 2011a: *Manual del Sistema Mundial de Observación* (OMM-N° 544), volumen II. Ginebra.
- , 2011b: *Manual de claves* (OMM-N° 306), volumen I.1. Ginebra.
- , 2011c: *Manual de claves* (OMM-N° 306), volumen I.2. Ginebra
- Organización Meteorológica Mundial/Comisión Oceanográfica Intergubernamental, 1995: *Guide to Data Collection and Location Services using Service Argos*. Documento técnico núm. 3 del Grupo de cooperación sobre boyas de acopio de datos, Ginebra y París.
- , 1996: *Guide to Moored Buoys and Other Ocean Data Acquisition Systems* (E. A. Meindl). Documento técnico núm. 8 del Grupo de cooperación sobre boyas de acopio de datos, Ginebra y París.
- , 2003a: "Improving global flux climatology: the role of metadata" (E. C. Kent, P. K. Taylor y S. A. Josey), en *Advances in the Applications of Marine Climatology – The Dynamic Part of the WMO Guide to the Applications of Marine Meteorology* (WMO/TD-No. 1081). Ginebra y París.
- , 2003b: "The accuracy of marine surface winds from ships and buoys" (P. K. Taylor, E. C. Kent, M. J. Yelland y B. I. Moat), en *Advances in the Applications of Marine Climatology – The Dynamic Part of the WMO Guide to the Applications of Marine Meteorology* (WMO/TD-No. 1081). Ginebra y París.
- , 2003c: "Establishing more truth in true winds" (S. R. Smith, M. A. Bourassa y R. J. Sharp), en *Advances in the Applications of Marine Climatology – The Dynamic Part of the WMO Guide to the Applications of Marine Meteorology* (WMO/TD-No. 1081). Ginebra y París.
- , 2004a: *Data Buoy Cooperation Panel: Annual Report for 2003*. Documento técnico núm. 25 del Grupo de cooperación sobre boyas de acopio de datos, Ginebra y París (puede consultarse en: <http://www.jcommops.org/dbcp/doc/dbcp-25/DBCP25.pdf>).
- , 2004b: *Research, Applications and Developments involving Data Buoys*. Presentaciones del Taller técnico del Grupo de cooperación sobre boyas de acopio de datos (Angra Dos Reis, Brasil, octubre de 2003). Documento técnico núm. 24 del Grupo de cooperación sobre boyas de acopio de datos, Ginebra y París.
- , 2009a: *Global Drifter Programme Barometer Drifter Design Reference* (A. L. Sybrandy, P. P. Niiler, C. Martin, W. Scuba, E. Charpentier y D. T. Meldrum). Informe núm. 4 del Grupo de cooperación sobre boyas de acopio de datos, revisión 2.2, Ginebra y París (puede consultarse en [http://www.jcommops.org/doc/DBCP/SVPB\\_design\\_manual.pdf](http://www.jcommops.org/doc/DBCP/SVPB_design_manual.pdf)).
- , 2009b: *Final Report of the Fifth Session of the JCOMM Ship Observations Team* (Ginebra, 18 a 22 de mayo de 2009). Informe N° 63 de la reunion de la CMOMM (puede consultarse en: [http://www.jcomm.info/index.php?option=com\\_oe&task=viewDocumentRecord&docID=3830](http://www.jcomm.info/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=3830)).

- , 2010: *Final Report of the Third Session of the JCOMM Expert Team on Marine Climatology* (Melbourne, Australia, 8 a 12 de febrero de 2010). Informe N° 70 de la reunión de la CMOMM (puede consultarse en: [http://www.jcomm.info/index.php?option=com\\_oe&task=viewDocumentRecord&docID=4950](http://www.jcomm.info/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=4950)).
- Send, U., R. A. Weller, D. Wallace, F. Chávez, R. Lampitt, T. Dickey, M. Honda, K. Nittis, R. Lukas, M. McPhaden y R. Feely, 2010: "OceanSITES", en *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2)* (J. Hall, D. E. Harrison y D. Stammer, eds.) (Venecia, 21 a 25 de septiembre de 2009). Publicación WPP-306 de la AEE.
- Servicio Meteorológico de Estados Unidos, 1963: *Manual of Barometry (WBAN)*, volumen 1. Primera edición, Editorial del Gobierno de Estados Unidos, Washington D. C. (puede consultarse en: <http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.31822010663441;seq=7;view=1up;num=i>).
- Smith, S. R., M. A. Bourassa, E. F. Bradley, C. Cosca, C. W. Fairall, G. J. Goni, J. T. Gunn, M. Hoo, D. L. Jackson, E. C. Kent, G. Lagerloef, P. McGillivray, L. Petit de la Villéon, R. T. Pinker, E. Schulz, J. Sprintall, D. Stammer, A. Weill, G. A. Wick y M. J. Yelland, 2010: "Automated underway oceanic and atmospheric measurements from ships", en *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2)* (J. Hall, D. E. Harrison and D. Stammer, eds.) (Venecia, 21 a 25 de septiembre de 2009). Publicación WPP-306 de la AEE.
- Sociedad Meteorológica de Estados Unidos, 2000: *Glossary of Meteorology*. Segunda edición, Sociedad Meteorológica de Estados Unidos (puede consultarse en: [http://glossary.ametsoc.org/wiki/Main\\_Page](http://glossary.ametsoc.org/wiki/Main_Page)).
- Swail, V., R. E. Jensen, B. Lee, J. Turton, J. Thomas, S. Gulev, M. Yelland, P. Etala, D. Meldrum, W. Birkemeier, W. Burnett y G. Warren, 2010a: "Wave measurement needs and developments for the next decade", en *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2)* (J. Hall, D. E. Harrison y D. Stammer, eds.) (Venecia, 21 a 25 de septiembre de 2009). Publicación WPP-306 de la AEE.
- Swail, V., B. Lee, A. Soares, D. Resio, K. Horsburgh, T. Murty, S. Dube, M. Entel y J. Flowerdew, 2010b: "Storm Surge", en *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2)* (J. Hall, D. E. Harrison y D. Stammer, eds.) (Venecia, 21 a 25 de septiembre de 2009). Publicación WPP-306 de la AEE.
- Weller, R. A., E. F. Bradley, J. B. Edson, C. W. Fairall, I. Brooks, M. J. Yelland y P. W. Pascal, 2008: "Sensors for physical fluxes at the sea surface: energy, heat, water, salt", en *Ocean Science*, vol. 4, núm. 4, págs. 247 a 263.
- Wilkerson, J. C. y M. D. Earle, 1990: "A study of differences between environmental reports by ships in the voluntary observing program and measurements from NOAA buoys", en *Journal of Geophysical Research*, vol. 95, núm. C3, págs. 3373 a 3385.
- Yelland, M. J., B. I. Moat y P. K. Taylor, 2001: "Air flow distortion over merchant ships", en *Progress Report to the Atmospheric Environment Service, Canadá* (puede consultarse en: <http://eprints.soton.ac.uk/67256>).
-