



Informe técnico S-40/2013

Investigación del accidente ocurrido con el bote salvavidas de caída libre del buque mercante LAIDA, el 27 de enero de 2013, en el puerto de Bilbao (Vizcaya)

ADVERTENCIA

Este informe ha sido elaborado por la Comisión Permanente de Investigación de Accidentes e Incidentes Marítimos, CIAIM, regulada por el artículo 265 del texto refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante aprobado por Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, y por el Real Decreto 800/2011, de 10 de junio. Sus funciones son:

1. Realizar las investigaciones e informes técnicos de todos los accidentes marítimos muy graves, para determinar las causas técnicas que los produjeron y formular recomendaciones al objeto de tomar las medidas necesarias para evitarlos en el futuro.
2. Realizar la investigación técnica de los accidentes graves y de los incidentes marítimos cuando se puedan obtener enseñanzas para la seguridad marítima y prevención de la contaminación marina procedente de buques, y elaborar informes técnicos y recomendaciones sobre los mismos.

De acuerdo con el Real Decreto 800/2011, las investigaciones no perseguirán la determinación de responsabilidad, ni la atribución de culpa. No obstante, la CIAIM informará acerca de las causas del accidente o incidente marítimo aunque de sus resultados pueda inferirse determinada culpa o responsabilidad de personas físicas o jurídicas. La elaboración del informe técnico no prejuzgará en ningún caso la decisión que pueda recaer en vía judicial, no perseguirá la evaluación de responsabilidades, ni la determinación de culpabilidades.

La investigación recogida en este informe ha sido efectuada sin otro objeto fundamental que determinar las causas técnicas que pudieran haber producido los accidentes e incidentes marítimos y formular recomendaciones al objeto de mejorar la seguridad marítima y la prevención de la contaminación por los buques para reducir con ello el riesgo de accidentes marítimos futuros.

Por tanto, el uso de los resultados de la investigación con una finalidad distinta que la descrita queda condicionada, en todo caso, a las premisas anteriormente expresadas, por lo que no debe prejuzgar los resultados obtenidos de cualquier otro expediente que, en relación con el accidente o incidente, pueda ser incoado con arreglo a lo previsto en la legislación vigente.

El uso que se haga de este informe para cualquier propósito distinto al de la prevención de futuros accidentes puede derivar en conclusiones e interpretaciones erróneas.



DESCRIPCIÓN DETALLADA

El relato de los acontecimientos se ha elaborado a partir de las declaraciones de los testigos y de otros documentos. Las horas referidas a lo largo del informe son locales.



Figura 1. Localización del accidente

a la rampa de lanzamiento, el jefe de máquinas entró en el bote y se sentó en el puesto del timonel para probar el funcionamiento del dispositivo de activación del mecanismo de suelta.

El bote se deslizó unos treinta centímetros por la rampa y quedó suspendido unos segundos antes de que el cable del que pendía se rompiera y el bote cayera por gravedad al agua, con el jefe de máquinas en su interior. Éste trató en vano de agarrarse para no salir despedido y sufrió numerosas contusiones.

El contramaestre avisó del accidente al resto de la tripulación y desde el buque se realizó una llamada al centro de coordinación de emergencias de SOS Deiak, que movilizó a la embarcación ARRILUZE IV y a una ambulancia, ambos medios de la Cruz Roja, y comunicó el hecho al Centro de Coordinación de Salvamento de Bilbao.

A las 10:15 horas, la embarcación de salvamento llegó al lugar de los hechos y su personal procedió a inmovilizar al herido en una camilla y a evacuarlo hasta la localidad de Portugalete, en donde aguardaba la ambulancia que lo trasladó al Hospital de Cruces.

A consecuencia del accidente, el tripulante accidentado sufrió numerosas contusiones de diversa consideración y el estallamiento y la fragmentación de la vértebra L2 de la región lumbar, con aplastamiento de la médula, que requirió el implante de una prótesis de titanio.

Cronología de los hechos

El 27 de enero de 2013, el buque mercante (B/M) LAIDA se hallaba atracado por su costado de estribor en el muelle de Altos Hornos del puerto de Bilbao (Vizcaya).

Aprovechando que el buque iba a permanecer todo el día en el puerto, el jefe de máquinas y el contramaestre procedieron a realizar las labores de mantenimiento rutinario del bote salvavidas de caída libre.

Sobre las 09:30 horas, tras comprobar la correcta disposición de los ganchos del balancín y las eslingas de suspensión y retirar las trincas de éstas



Figura 2. Vista general de la popa del buque



DATOS OBJETIVOS



Figura 3. Buque LAIDA

Tabla 1. Características principales

Nombre del buque	LAIDA
País de bandera	España
Tipo	Carga general
Armador	El buque es propiedad de la empresa NAVIERA MURUETA, S.A., que también asume la explotación comercial y las obligaciones y responsabilidades estipuladas en el Código Internacional de Gestión de la Seguridad (Código IGS)
Lugar de construcción	Murueta (Vizcaya)
Astillero	Astilleros Murueta
Año de construcción	2002
Número IMO	9214733
Puerto de registro	Santa Cruz de Tenerife
Material del casco	Acero
Eslora total	99,9 m
Manga	15,63 m
Calado máximo	6,2 m
Arqueo bruto (GT)	3911
Peso muerto	5604 t
Propulsión	Motor diésel con hélice de paso controlable
Potencia máxima	2760 kW a 750 rpm



Tabla 2. Pormenores del viaje

Puerto de salida	Bilbao (Vizcaya)
Tipo de viaje	Atracado al muelle
Carga	No aplicable
Dotación	La tripulación del buque estaba compuesta por ocho miembros: capitán, primer y segundo oficiales de puente, jefe de máquinas, primer oficial de máquinas, contraestre y dos marineros. Todos ellos contaban con las titulaciones profesionales y los certificados de especialidad necesarios para el desempeño de sus funciones.
Certificados	En el momento del accidente el buque tenía sus certificados en vigor

Tabla 3. Información relativa al accidente marítimo

Tipo de accidente	Rotura del cable del bote salvavidas de caída libre (daño al barco o al equipo)	
Clasificación	Accidente grave	
Fecha	27 de enero de 2013	
Hora	9:30 hora local	
Localización del accidente	Puerto de Bilbao	
Entorno exterior	Viento	Viento de componente S de fuerza 2 en la escala Beaufort (4 a 6 nudos)
	Estado de la mar	Mar rizada
	Visibilidad	Buena
Operación de la embarcación	Operaciones de mantenimiento rutinario	
Tramo del viaje	En puerto	
Factores humanos	Ninguno	
Consecuencias	Un herido grave	

Tabla 4. Intervención de las autoridades en tierra y reacción de los servicios de emergencia

Organismos intervinientes	SOS Deiak Cruz Roja Española
Medios utilizados	Embarcación y ambulancia de la Cruz Roja
Rapidez de reacción	Inmediata
Medidas adoptadas	Desplazamiento de medios hasta el buque
Resultados obtenidos	Evacuación del herido



Rampa de caída libre

El buque LAIDA dispone de un bote salvavidas de caída libre del tipo BSL-20M de la marca PESBO, estibado sobre una rampa con pescante del tipo 115-Q de la marca SERVO SHIP, que puede ser arriado por caída libre o mediante cables (ver figura 4).

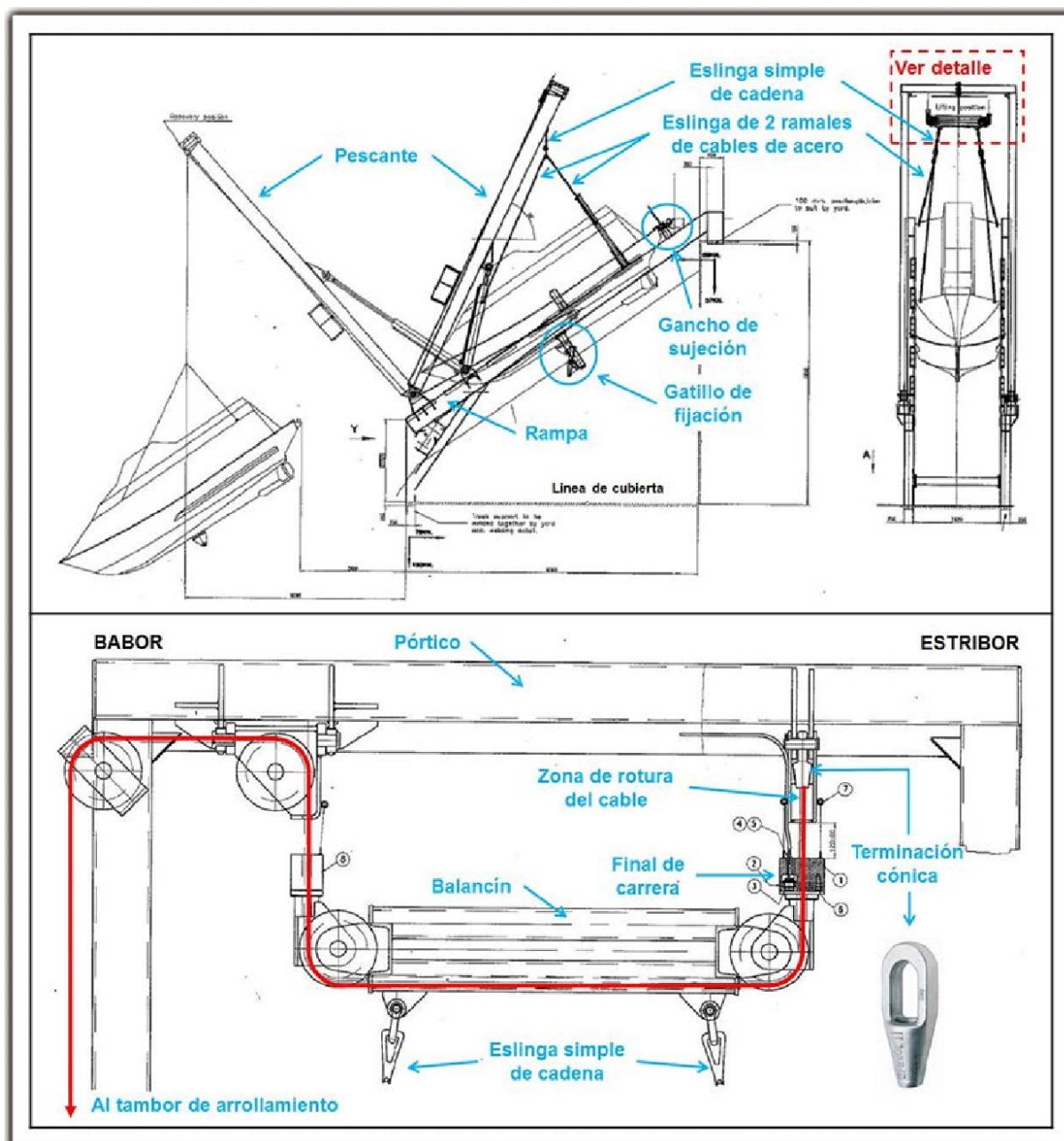


Figura 4. Disposición general del sistema de arriado del bote salvavidas mediante cables y detalle de la parte superior del pescante



Según la información del fabricante, el pescante cuenta con un cable de 16 mm de diámetro, de composición 24x17+1, con carga de rotura no inferior a 189 kN.

El extremo del cable tiene un terminal cónico en su conexión con el pescante (Figura 4) que se encuentra oculto en una estructura de protección, lo que dificulta la inspección del terminal y su correcto mantenimiento.

Tras el accidente el armador practicó una apertura en dicha estructura, para facilitar la inspección de la zona (Figura 5).



Figura 5. Estructura de protección del terminal cónico, tras el accidente

* * *



ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

Al día siguiente de producirse el accidente, un inspector de la Capitanía Marítima de Bilbao personalmente a bordo comprobó que el cable se había roto en la zona adyacente al terminal cónico que permitía su anclaje al pescante y que presentaba un notable grado de corrosión.

Además, advirtió la falta de continuidad de la sección del cable que posteriormente sería identificada como *tramo 1* (ver figura 6, fotografía 1) con la del otro extremo del cable adyacente a la fractura y cuyo extremo presentaba signos claros de corte por cizalladura. Al preguntar por este hecho, únicamente le fueron facilitados unos cordones de alambres también afectados por la corrosión (ver figura 6, fotografía 2) que se conservaban en lugar aparte.



Figura 6. Estado que presentaba el cable en la zona de rotura tras producirse el accidente

Ensayos realizados con el cable

Los cables de acero están formados por el colchado (torcido) de un número de cordones. A su vez, los cordones se forman con el colchado de hilos o alambres de acero, que pueden estar galvanizados como protección contra la corrosión.

La resistencia a la rotura por tracción de un cable está determinada por la calidad del acero utilizado para la fabricación de los distintos alambres, el número y sección de los mismos y su estado de conservación.

Según consta en el manual de mantenimiento del pescante, el cable debía tener una carga de rotura de 189 kN. Para comprobar si la resistencia mínima del cable instalado soportaba esta carga, la compañía NAVIERA MURUETA envió éste a las instalaciones de la empresa BEZABALA en Amorebieta (Vizcaya), dedicada al suministro de material de elevación, que realizó dos pruebas de carga de rotura que dieron unos resultados de 193,97 kN y 178,18 kN.

Posteriormente, se envió el cable dividido en cinco tramos a un laboratorio que la empresa de servicios tecnológicos TECNALIA tiene en San Sebastián (Guipúzcoa). A iniciativa de la Comisión, se pidió someter al cable a un nuevo ensayo de resistencia a la rotura por tracción y realizar un estudio sobre la corrosión que presentaba, cuyos resultados fueron los siguientes:



1. Del ensayo de resistencia a la rotura por tracción

Se realizaron dos ensayos sobre probetas con terminales cónicos siguiendo las normas UNE-EN 12385-1:2003+A1:2008 y 13411-4:2011. Los valores de carga de rotura obtenidos fueron de 213,29 y 213,39 kN, siendo ambos superiores al indicado en el manual de mantenimiento.

2. Del estudio sobre la corrosión del cable

El objetivo concreto de este segundo ensayo fue el de realizar una estimación del tiempo necesario para alcanzar el grado de corrosión que presentaba el cable en la zona de rotura, determinando si era posible que se hubiese producido en menos de 1 año o en menos de 5 años.

La determinación de estos dos intervalos de tiempo se debe a que, en cumplimiento de lo dispuesto en la regla III/20 del Convenio SOLAS¹, la circular MSC.1/Circ.1206/Rev.1 de la Organización Marítima Internacional (OMI) y el Real Decreto 38/2009 de 23 de enero, por el que se regulan las pruebas a las que se someten los botes salvavidas y sus medios de puesta a flote y se autoriza su realización a empresas especializadas, los dispositivos de salvamento y sus elementos deben ser sometidos a un examen minucioso anual y el último realizado había tenido lugar en el puerto de Algeciras el 14 de enero de 2012, y que los cables deben ser renovados a intervalos que no excedan de cinco años, y en el caso concreto del cable instalado a bordo del buque LAIDA dicho plazo expiraba el 11 de febrero de 2013, según consta en la documentación aportada por la propia compañía del buque.

Este ensayo determinó que el grado de corrosión en el punto de rotura podría haberse alcanzado por corrosión atmosférica en un plazo aproximado de 5,4 años, bajo las siguientes condiciones:

- Corrosividad atmosférica muy alta.
- Lubricación inefectiva.

El estudio determinó además que la zona contigua al terminal cónico presentaba corrosión generalizada, mientras que en otras zonas del cable la corrosión era mucho menor.

En el Anexo a este informe figura un extracto de los resultados del análisis del cable.

Discusión de resultados de los ensayos de laboratorio

El hecho de que el ensayo de tracción haya determinado una carga de rotura del cable superior a la exigida por el fabricante del pescante parece descartar que la resistencia del cable en general se hubiera visto afectada por una posible falta de calidad o defectos del material del cable.

El grado de corrosión observado en el punto de rotura es ligeramente superior al estimado para un cable sometido a corrosión atmosférica en Europa y Mediterráneo durante cinco años. Simultáneamente se ha encontrado que el grado de corrosión en otras zonas del cable próximas a la zona de rotura, también expuestas a la acción atmosférica, es menos elevado. Tal y como indica el informe elaborado por el laboratorio de TECNALIA, el tramo de cable localizado entre el terminal cónico y la fractura presenta un deterioro por corrosión significativo que, en los alambres exteriores más afectados, se manifiesta en una pérdida total de diámetro (927 μm , ver Determinación de la pérdida de diámetro en el Anexo a este informe). En comparación, el resto de tramos recibidos presentan daños por corrosión menores.

Esto puede ser indicativo de que en el punto de corrosión la lubricación del cable era inefectiva; suposición que vendría apoyada por las dificultades de observación y mantenimiento del punto de

¹ Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974, en su versión actualizada (SOLAS 1974)



rotura, al estar el terminal cónico situado en el interior de una pequeña estructura del pescante. Esta hipótesis es coherente con los tiempos estimados de corrosión atmosférica.

Origen de la corrosión del cable

Además del fenómeno de corrosión atmosférica, cualquier otro fenómeno asociado al material o a las condiciones de trabajo del cable debería haber afectado por igual a zonas no contiguas al terminal cónico, por lo que cabría, en principio, descartarlos. Así, otras posibles causas de corrosión, de existir, podrían estar asociadas a la presencia del terminal cónico. Según el certificado del cable, el terminal cónico estaba unido al mismo mediante resina WIRELOCK®; del examen de la información de uso de esta resina en terminales cónicos se deduce que se puede producir corrosión en la zona próxima al terminal:

- En su uso con cables de acero inoxidable en ambientes marinos (no es el caso, ya que el cable roto es de acero galvanizado, no de acero inoxidable).
- Por un engrase incorrecto de la zona cercana al terminal tras su instalación.
- Por el uso de un alambre de material no recomendado para amarrar el cable durante la instalación del terminal. Las instrucciones de uso de esta resina prescriben la utilización de alambre de hierro recocido suave, y prohíben el uso de otro tipo de cable (cobre, bronce, inoxidable, etc) para el amarre.

Independientemente del origen de la corrosión, el estado del cable y los resultados del estudio sobre su grado de corrosión permiten afirmar que el deterioro del cable se habría hecho patente mucho antes de romperse, y por lo tanto dicho deterioro debería haber sido detectado en las inspecciones del equipo.

Características del cable instalado a bordo

De acuerdo con el manual de mantenimiento de la rampa de caída libre, el pescante debe contar con un cable de 16 mm de diámetro, de composición 24x17+1, con carga de rotura 189 kN. La documentación recopilada durante la investigación muestra las siguientes características del cable o cables instalados en el pescante:

Tabla 5. Datos de los cables, según la documentación obtenida

Documentación	Fecha	Composición	Diámetro	Carga de rotura
Manual de la rampa elaborado por el fabricante	2000	24x17+1	16 mm	189 kN
Certificado de inspección del cable emitido durante la construcción (Sociedad de Clasificación)	Enero de 2002	28x7 NOTOR HP	16 mm	248 kN
Certificado de pruebas 1 (Figura 7.1)	Supuestamente en 2008	35x7+0	16 mm	193 kN (19673 kg)
Certificado de pruebas 2 (Figura 7.2)	Supuestamente en 2008	24x7+0	16 mm	193 kN (19673 kg)
Informe de TECNALIA	2013	24x7	16 mm	213 kN (21750 kg)

Según la información disponible, el cable del pescante se cambió en febrero de 2008, y por tanto llevaría instalado a bordo prácticamente los cinco años que prescribe la normativa. De esta documentación parece desprenderse que el cable se cambió en algún momento entre la construcción del buque y el momento del accidente.



Aun sin relación con el accidente, si el cable se hubiera cambiado efectivamente en febrero de 2008, ello significaría que el cable original habría estado instalado a bordo seis años, ya que el pescante y el cable se instalaron a bordo durante la construcción en marzo de 2002, si bien el buque fue entregado a su armador a principios del 2003.

Certificados del cable

La regla III/20.4 del Convenio SOLAS 1974 determina que los cables utilizados en los dispositivos de puesta a flote de los dispositivos de salvamento se deben renovar cuando sea necesario debido a su deterioro o a intervalos que no excedan de cinco años, si este plazo es más corto.

Además, para su comercialización en España o embarque a bordo de un buque español se requiere la aprobación previa de la Administración tras llevar a cabo una serie de procedimientos de evaluación de la conformidad, como establecen la regla III/4 del Convenio SOLAS 1974 y el artículo 6 del Real Decreto 809/1999, de 14 de mayo, por el que se regulan los requisitos que deben reunir los equipos marinos destinados a ser embarcados en los buques, al constituir elementos integrantes de los dispositivos de puesta a flote con *tiras*² (pescantes). En la práctica, la Dirección General de la Marina Mercante, al amparo de lo establecido en el artículo 263.e) del Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante, y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 8 del citado Real Decreto, designa una serie de organismos notificados competentes para realizar esta evaluación y expedir la declaración de conformidad correspondiente.

² *Tiras*: término empleado en las dos normas citadas para referirse a los cables



Figura 7. Cotejo de los certificados de pruebas enviados a la Comisión (1) y a TECNALIA (2)

A este respecto, la única documentación del cable aportada por la compañía NAVIERA MURUETA ha sido la copia de un certificado de pruebas que habría emitido la empresa que suministró el cable, VIDALMAR GROUP SHIP SUPPLIERS, en fecha 11 de febrero de 2008, y que sería a su vez copia del extendido por el fabricante del cable, según consta en el propio documento. Este documento también figura anexo en el informe de la prueba de rotura del cable realizado por la empresa BEZABALA y que fue remitido por la compañía del buque a la Comisión.

Sin embargo, en los informes elaborados por el laboratorio de TECNALIA se anexa una copia del certificado que les fue enviado por la empresa BEZABALA con el cable y el resultado de sus ensayos.

Del cotejo de ambos documentos no se puede establecer cuál es el que se corresponde con la copia del certificado original expedido por el fabricante, al no disponer de éste. (ver Figura 7).



Mantenimiento y revisión del sistema de puesta a flote del bote salvavidas de caída libre

El mantenimiento, prueba e inspección de los dispositivos de puesta a flote de los botes salvavidas de caída libre se debe efectuar siguiendo las directrices que figuran en la circular MSC.1/Circ.1206/Rev.1 de la OMI, como establece la regla III/20.3.1 del Convenio SOLAS 1974, en su versión vigente y aplicable al buque en el momento de producirse el accidente, y de forma tal que se tome debidamente en consideración el garantizar la fiabilidad de tales dispositivos, así como en el Real Decreto 38/2009.

En estas disposiciones se indica que los trabajos de mantenimiento se deben realizar con arreglo a los requisitos y normas del fabricante del equipo, y por personal con los siguientes niveles de competencia:

- Las inspecciones semanales y mensuales y un mantenimiento rutinario de acuerdo con las especificaciones del manual de mantenimiento del equipo bajo la supervisión directa de un oficial superior del buque, de conformidad con el manual o manuales de mantenimiento. En los manuales de mantenimiento del equipo figura como tarea rutinaria: "*comprobar que los módulos de suspensión exteriores se encuentran engrasados y las conexiones de los cables en perfecto estado*".
- Todas las demás inspecciones, el mantenimiento y las reparaciones, debería efectuarlas un representante del fabricante u otra persona con la debida formación y certificación para las tareas que se vayan a realizar, de conformidad con lo dispuesto en el citado Real Decreto 38/2009. En el ámbito de estas inspecciones figura específicamente el examen de la estructura del pescante y los cables, signos de corrosión en estos elementos, posibles daños tales como co-cas y corrosión en cables y poleas, y lubricación de los cables.

A bordo del buque LAIDA, los trabajos de mantenimiento del pescante indicados en el primero de los puntos anteriores son realizados por los propios miembros de la tripulación, siguiendo los procedimientos establecidos en las *Listas de comprobación de mantenimiento de los equipos de salvamento (Doc. C08P01LC3)* y de *los equipos críticos (Doc. C10LC08)* del Manual de Gestión de Seguridad del buque. En estos documentos figura explícitamente la comprobación del estado de los cables del bote salvavidas.

La empresa SERVO SHIP S.L., que cuenta con una autorización de la Dirección General de la Marina Mercante, realiza el examen anual del bote salvavidas y del dispositivo de puesta a flote, siendo fabricante de este último, y expide la declaración que confirma su buen estado de funcionamiento. Así, según consta en la última *Declaración de conformidad* expedida con anterioridad al accidente, en fecha 14 de enero de 2012, en el puerto de Algeciras (Cádiz), un técnico de la empresa SERVO SHIP S.L. comprobó el estado del pescante del bote salvavidas de caída libre. En el anexo de dicho documento se indica que, entre otras labores, durante la inspección general del sistema se revisó el engrase y el estado de los cables sin que se apreciaran deficiencias en los mismos.

El buque contaba con un *Certificado de seguridad para buque de carga*, expedido por la Capitanía Marítima de Pasajes (Guipúzcoa), en fecha 11 de febrero de 2008. Entre esta fecha y la del accidente, los dispositivos de salvamento del buque fueron sometidos a tres reconocimientos anuales y uno periódico que quedaron refrendados en el citado documento.

Conclusiones

A la vista de lo anteriormente expuesto, la Comisión ha concluido que el accidente se produjo como consecuencia de la rotura del cable de acero que sustentaba el bote salvavidas, en la zona adyacen-



te al terminal cónico que permite su anclaje al pescante y que presentaba un notable grado de corrosión.

El origen de la corrosión no ha podido ser establecido con certeza, aunque los daños son coherentes con un fenómeno de corrosión atmosférica que se desarrollase durante un período aproximadamente igual al del servicio del cable, en ausencia de lubricación efectiva.

El deterioro del cable debería haber sido detectado tanto durante las inspecciones periódicas realizadas por el personal del buque como en la última inspección anual llevada a cabo en el año 2012.

Por tanto, como factores subyacentes a la rotura del cable se apuntan los siguientes:

- Un diseño de la rampa de lanzamiento que dificulta la inspección y correcto mantenimiento del terminal cónico y la parte de cable adyacente al mismo,
- El mantenimiento deficiente del cable, y
- El fallo de los mecanismos de control establecidos para garantizar que los dispositivos de salvamento eran objeto de mantenimiento y su funcionamiento seguro.

* * *



RECOMENDACIONES SOBRE SEGURIDAD

Esta Comisión, a la vista de las conclusiones alcanzadas, efectúa las siguientes recomendaciones, para evitar que ocurran accidentes similares:

A la compañía NAVIERA MURUETA:

1. Que tome las medidas necesarias para asegurarse de que el personal que realice las inspecciones, el mantenimiento y el ajuste de los dispositivos de salvamento está debidamente capacitado y familiarizado con esas tareas, y que se realizan de conformidad con los procedimientos establecidos por el fabricante.

A la empresa SERVO SHIP S.L.:

2. Que revise el diseño de la rampa del bote de caída libre para evitar que cualquier zona del cable de suspensión del bote queda oculto, dificultando su inspección y mantenimiento.
3. Que informe a los buques que tengan instaladas rampas de este modelo de las modificaciones que deben realizarse para facilitar la inspección de los terminales cónicos de los cables de suspensión de los botes salvavidas de caída libre.
4. Que revise los procedimientos que tenga establecidos sobre el servicio y el mantenimiento periódicos de los dispositivos de salvamento y se cerciore de su buen estado de conservación y funcionamiento mediante un examen minucioso de todos sus elementos, antes de expedir una declaración de conformidad.

* * *



ANEXO: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL CABLE

La CIAIM encargó a TECNALIA el análisis del cable para estimar el tiempo necesario para alcanzar el grado de corrosión detectado. Para la consecución del objetivo anterior, el laboratorio de TECNALIA realizó las siguientes tareas:

- Determinación de la pérdida de espesor de los alambres con corrosión mediante preparación de probeta metalográfica e inspección microscópica.
- Análisis bibliográfico de la velocidad de corrosión del acero en ambientes marinos.
- Cálculo estimado, en base al estudio bibliográfico, de la pérdida de material debido a la corrosión en ambientes marinos en 1 y 5 años. Comparación con la pérdida de diámetro anteriormente determinada.

Determinación de la pérdida de diámetro

En primer lugar, conviene aclarar que se denomina diámetro de los alambres a la medida de la distancia entre la cara externa y la cara interna de los mismos, a pesar de que los alambres compactados no tienen forma circular (ver figura 10, donde se ha marcado el diámetro de varios alambres con cotas azules).

La pérdida de diámetro se determinó comparando los diámetros de los alambres de los cordones exteriores de una sección del cable adyacente al terminal cónico y por la que se produjo la rotura, que presentaba mayor grado de afección por la corrosión (tramo 1), y de una sección de la zona intermedia entre los extremos del cable, con menor grado de afectación por la corrosión (tramo 3), procediéndose de la siguiente forma (ver figuras 8, 9 y 10):

- Medida del diámetro de los alambres exteriores del tramo 3. Los alambres de acero (indicado por el símbolo 'Ac' en los gráficos y tablas del informe) presentan un recubrimiento de cinc (Zn) de aproximadamente 10 μm , que ha desaparecido en la superficie exterior.
- Estimación del diámetro inicial de los alambres, añadiendo al diámetro medido del tramo 3 el espesor del recubrimiento de cinc perdido.
- Medida del diámetro de los alambres exteriores del tramo 1. La fractura quebradiza de algunos alambres apunta a la falta total de sección resistente ($\varnothing_{\text{mín. tramo1}} = 0 \mu\text{m}$).
- Cálculo de la pérdida de diámetro de los alambres:

$$\text{Pérdida de diámetro} = \text{Diámetro inicial} - \text{Diámetro tramo 1}$$



Figura 8. Macrografías de detalle

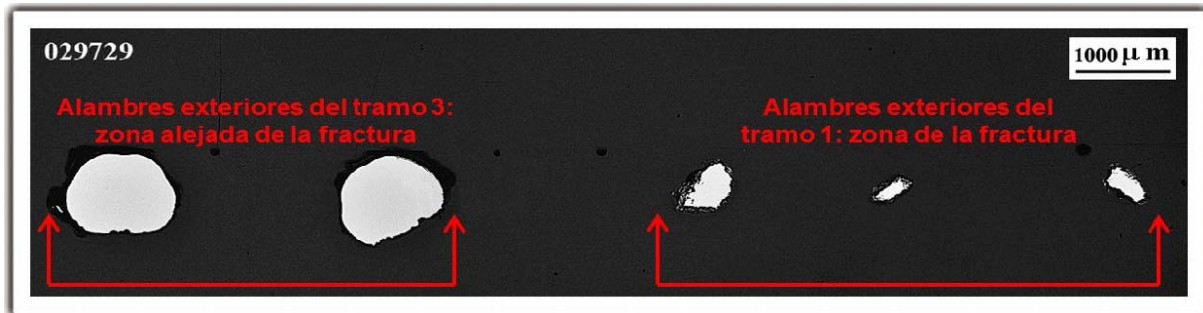


Figura 9. Micrografía óptica de secciones de alambres exteriores

Los alambres del tramo 1 presentan una pérdida de sección en ambas caras (exterior e interior) que, en los casos más afectados, llega a alcanzar el diámetro completo (927 μm).

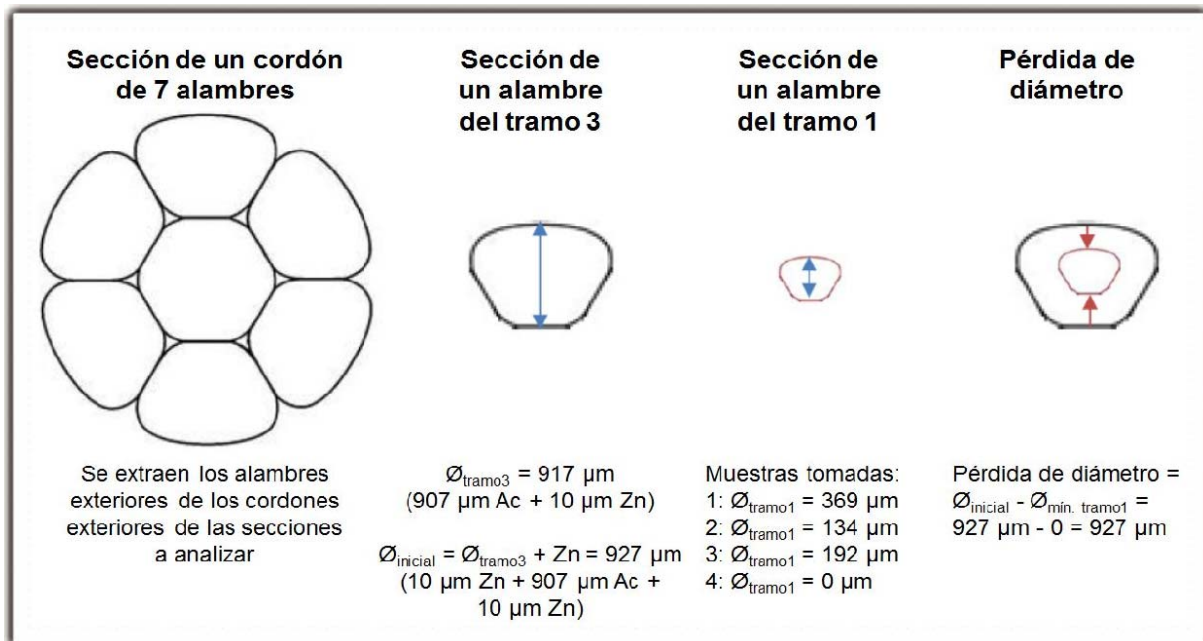


Figura 10. Determinación de la pérdida de diámetro de los alambres del cable

Análisis bibliográfico

El cable objeto de estudio ha permanecido expuesto a la intemperie, en un ambiente marino, al operar el buque entre puertos de toda Europa y del norte de África, concretando que no estaba en inmersión ni expuesto a ciclos seco/mojado (salpicaduras).

Cuando el acero o el cinc se encuentran en contacto con el aire, a temperatura ambiente, sufren un mecanismo de deterioro que se conoce como corrosión atmosférica.

La corrosión atmosférica del acero se caracteriza por una pérdida uniforme de material (pérdida de sección y de masa) y la generación de una capa voluminosa de productos de corrosión que, aunque depende de la atmósfera concreta a la que se expone, en general, son de color marrón-naranja y pueden ser hasta 6 veces más voluminosos que el metal consumido.



Los recubrimientos de cinc son comúnmente utilizados como protección contra la corrosión atmosférica del acero, al formar una película sobre la superficie del material que lo protege de la acción de agentes externos agresivos y de actuar como ánodo de sacrificio.

En ningún caso cabe esperar un aumento de la fragilidad del material o una alteración de sus propiedades mecánicas (variación de la resistencia a tracción, límite elástico o alargamiento) por su exposición a una corrosión atmosférica. No obstante, cuando la pérdida de material es significativa, se reduce la sección resistente y, por lo tanto, la carga que éste puede soportar.

La magnitud del deterioro dependerá de diversos factores entre los que destacan:

- el tiempo de humectación (periodos de tiempo en los que la humedad relativa está por encima del 70% o periodos de mojado por la lluvia),
- la presencia de contaminantes atmosféricos como el dióxido de azufre (SO₂), presente en zonas industriales o, como en el caso que nos ocupa, en la zona adyacente a la chimenea por la que son expulsados los gases de exhaustación del motor principal, y
- el ión cloruro (Cl⁻), presente en un ambiente marino.

En función de estos factores, la norma EN ISO 9223:2012 "Corrosión de los metales y aleaciones. Corrosividad de atmósferas. Clasificación, determinación y estimación" clasifica la corrosividad de la atmósfera en 6 categorías e indica los valores de las velocidades de corrosión características para el acero, el cinc (que se muestran en la tabla 6), el cobre y el aluminio.

Tabla 6. Clasificación de la corrosividad de la atmósfera según norma EN ISO 9223:2012

Categoría	Corrosividad	Descripción	Velocidad de corrosión para el primer año de exposición [$\mu\text{m}/\text{año}$]	
			Acero	Cinc
C1	Muy baja	Zonas cálidas o frías, ambientes con muy poca polución y muy bajo tiempo de humectación.	<1,3	<0,1
C2	Baja	Zonas templadas, ambientes con poca polución. Zonas cálidas o frías, ambientes con bajo tiempo de humectación.	1,3 - 25	0,1 - 0,7
C3	Media	Zonas templadas, ambientes con polución media o bajo efecto de los cloruros.	25 - 50	0,7 - 2,1
C4	Alta	Zonas templadas, ambientes con alta polución o efecto importante de cloruros.	50 - 80	2,1 - 4,2
C5	Muy alta	Zonas templadas y subtropicales, ambientes con muy alta polución y/o efecto importante de cloruros.	80 - 200	4,2 - 8,4
CX	Extrema	Zonas subtropicales y tropicales, ambientes con muy alta polución y/o fuerte efecto de cloruros.	200 - 700	8,4 - 25

Por otra parte, la primera sección del volumen 13C del manual "Corrosión: Entornos e Industrias" de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), recoge los valores de las mediciones de la pérdida de espesor de distintos metales que se han obtenido en distintos periodos de tiempo y en diferentes lugares de ensayo, entre los que se encuentran las ciudades de la tabla 7.



Tabla 7. Datos de la corrosión de superficies de acero no aleado y cinc

Localización	Descripción	Pérdida de espesor [μm]			
		1 año		16 años	20 años
		Acero	Cinc	Acero	Cinc
Bilbao				534	16
Baracaldo	C3	44	1,2		
Biarritz (F)	C5	87,2	4,3		
Auby (F)	C5	106	5,6		

Estimación del deterioro tras 1 y 5 años

A partir del análisis bibliográfico del apartado anterior, se realizaron estimaciones del máximo deterioro previsible de los alambres del cable para los periodos de 1 y 5 años, formulando las siguientes hipótesis de trabajo:

- Diámetro del alambre: 927 μm , que incluyen un recubrimiento de cinc de 20 μm de espesor (10 μm en cada extremo del diámetro).
- Categoría C5 de corrosividad de la atmósfera, al haber estado el cable sometido a un ambiente marino en la zona noratlántica y mediterránea.
- Lubricación inefectiva, que acelera la corrosión de los alambres al dejar expuestas al ataque atmosférico tanto la cara exterior como la cara interior.

Las estimaciones de corrosión atmosférica fueron realizadas basándose en la norma EN ISO 9224:2012 "Corrosión de los metales y aleaciones. Corrosividad de atmósferas. Valores de referencia para las categorías de corrosividad", en los valores guía del volumen 13C del manual de la ASTM citado anteriormente y en la aplicación de una función potencial con una ecuación del tipo

$$C = At^n \text{ } [\mu\text{m}]$$

en la que C es la magnitud de la corrosión al cabo de t años, A es la corrosión después del primer año de exposición (corrosión anual) y n un exponente, generalmente inferior a la unidad, función a su vez del tipo de atmósfera y composición del metal.

Los resultados obtenidos (ver tabla 8) determinan que la pérdida máxima de diámetro previsible de los alambres de un cable de acero como el del objeto de estudio, es de 17 μm (de cinc) en 1 año y de 880 μm (de cinc + acero) en 5 años y que, por tanto, el tiempo estimado para la pérdida del diámetro completo (927 μm) de los alambres más afectados por la corrosión es de 5,4 años.

Tabla 8. Estimación del tiempo necesario para alcanzar el grado de corrosión medido

Norma	Categoría de corrosión	Pérdida máxima de diámetro [μm]			Tiempo necesario para perder 927 μm de diámetro [años]
		1 año	1,2 años	5 años	
ISO 9224:2012	C5	17 (Zn)	20 (Zn)	880 (Zn+Ac)	5,4

* * *