



**Ministerio de Fomento**

DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE

**Comisión Permanente de Investigación  
de Siniestros Marítimos**

**INFORME DE ACCIDENTE MARÍTIMO**

**INFORME SOBRE EL HUNDIMIENTO DEL PESQUERO**

***“CORDERO”***

**FRENTE A CABO ORTEGAL**

**el día 15 de enero de 2008**



### **ADVERTENCIA**

El presente informe ha sido elaborado por la Comisión Permanente de Investigación de Siniestros Marítimos, regulada por la Orden Ministerial de 17 de mayo de 2001.

De conformidad con lo señalado en el artículo 3 de la citada Orden Ministerial y en la Resolución núm.849 (20) de la Asamblea de la Organización Marítima Internacional, el presente informe es un documento de carácter técnico que refleja las conclusiones de la Comisión de Investigación de Siniestros Marítimos en relación con las circunstancias en que se produjo el accidente objeto de la investigación, sus causas y sus consecuencias, sin que se haya dirigido a la declaración o limitación de derechos ni de responsabilidades personales o pecuniarias.

La conducción de esta investigación, al tener un carácter exclusivamente técnico, ha sido efectuada sin recurrir necesariamente a procedimientos de prueba y sin otro objeto fundamental que la prevención de futuros accidentes.

Por tanto, la utilización de los resultados de la investigación, con una finalidad distinta a 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, pudiera ser incoado con arreglo a lo previsto en la legislación en vigor.

### **SINOPSIS**

El día 15 de enero de 2008 el pesquero “*Cordero*”, que navegaba con rumbo al puerto de La Coruña con ocho tripulantes a bordo, se hundió en la posición lat = 43° 49’1N y Long = 008° 31’1W. Según declaración de los tripulantes, se sintió un fuerte impacto o golpe en el buque, seguido de una fuerte escora a Babor, y tras completar el balance a Estribor e iniciarse uno nuevo, cayó a Babor, tumbándose de esa banda sin poder recuperar el adrizamiento. A continuación el buque se apopó con tendencia a adquirir una posición vertical, hundiéndose cinco minutos más tarde.

Como consecuencia del naufragio falleció un tripulante, cuatro se dieron por desaparecidos y tres fueron rescatados con vida.

La Comisión ha determinado como causa probable del accidente el efecto combinado de la disminución y pérdida de flotabilidad y estabilidad del buque por inundación progresiva del parque de pesca, cuyo origen no ha podido ser determinado.



## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
1.1. Características del buque.....	4
1.2. Condiciones meteorológicas.....	5
1.3. Descripción del suceso.....	7
1.4. Actuaciones posteriores.....	10
1.5. Daños producidos.....	10
1.5.1. Daños personales.....	10
1.5.2. Daños medioambientales.....	10
1.5.3. Daños al buque.....	11
1.6. Certificación del buque.....	11
1.7. Información sobre la tripulación.....	11
<b>2. ANÁLISIS.....</b>	<b>13</b>
2.1. Ensayos en CEHIPAR.....	14
2.1.1. Análisis de las vías de inundación.....	20
2.1.2. Inundación a través de la puerta de pantano.....	20
2.1.3. Inundación a través del resto de las aberturas y otra vías.....	20
2.2. Resumen de los estudios y ensayos realizados por el CEHIPAR.....	21
2.3. Análisis del fuerte golpe y vibración sentidos por los tripulantes.....	23
2.4. Estudio relativo al funcionamiento de la radiobaliza.....	24
2.5. Medios de salvamento.....	25
2.6. VHF.....	25
2.7. Idioma de trabajo y ejercicios.....	14
<b>3. CONCLUSIONES.....</b>	<b>27</b>
3.1. Hechos.....	27
3.2. Causas.....	27
<b>4. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>28</b>
<b>5. GLOSARIO DE TÉRMINOS NÁUTICOS.....</b>	<b>29</b>

### **ANEXOS:**

1. Estudio sobre las condiciones de clima marítimo (CEDEX)
2. Ensayos para la investigación del hundimiento (CEHIPAR)



## 1. INTRODUCCIÓN.

El buque pesquero “Cordero”, de matrícula de Santa Eugenia de Ribeira, con ocho tripulantes a bordo y dedicado a la pesca de arrastre de litoral, se hundió el día 15 de enero de 2008 a las 02<sup>h</sup>13<sup>m</sup> (<sup>1</sup>), aproximadamente, tras sufrir una entrada de agua masiva cuando navegaba hacia el Puerto de La Coruña, a unas 30 millas al NNW del Puerto.

Como consecuencia del accidente, falleció un tripulante y cuatro tripulantes desaparecieron. Tres tripulantes fueron rescatados del mar.

### 1.1. Características del buque.

<b>Nombre:</b>	“Cordero”
<b>Bandera:</b>	España
<b>N.I.B.:</b>	192245
<b>Indicativo:</b>	EASL
<b>Lista:</b>	Tercera
<b>Matrícula:</b>	Santa Eugenia de Ribeira
<b>Folio:</b>	5/98
<b>Tipo de buque:</b>	Arrastrero
<b>Año de Construcción:</b>	1998
<b>Astillero:</b>	Montajes Cíes, S.L.
<b>Eslora total:</b>	23’09 m.
<b>Manga de trazado:</b>	7’20 m.
<b>Puntal de trazado:</b>	5’60 m.
<b>Arqueo:</b>	223 GT
<b>Casco:</b>	Acero
<b>Propulsión</b>	Motor Intraborda Mitsubishi S12R M3000 A-2
<b>Potencia:</b>	194’85 kW
<b>Puerto base:</b>	La Coruña
<b>Armador:</b>	Pesca Cordero, S.L.

---

<sup>1</sup> Salvo que se indique otra cosa, todas las horas a las que hace referencia este informe son hora continental española, que es 1<sup>h</sup> más que la hora UTC.



## 1.2. Condiciones meteorológicas.

Las condiciones meteorológicas en el lugar y fecha del accidente han sido tomadas del estudio sobre condiciones climáticas en el transcurso del accidente elaborado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

Dicho estudio ha sido elaborado con objeto de obtener una idea general de la situación climática el día de la incidencia. Así pues se han elaborado, para cada una de las fuentes de información, la evolución continua de los parámetros de oleaje, y en su caso viento, en el entorno próximo al 15 de enero de 2008.

Dicha evolución se recoge en los datos del Anexo I, para las medidas de oleaje, viento y corrientes respectivamente.

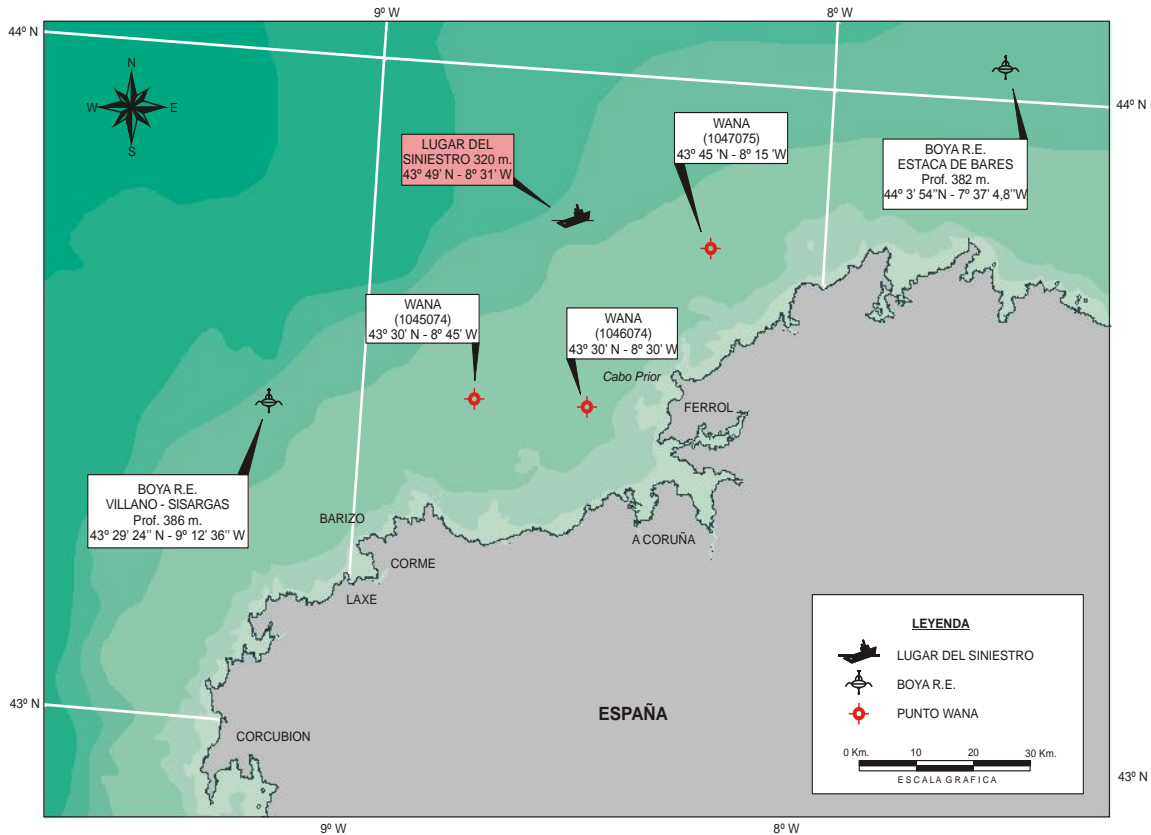


Figura 1: Localización de la información meteorológica analizada y posición del buque “Cordeiro” el 15 de enero de 2008

Del análisis de la información meteorológica y estado del mar, contenido en el informe del CEDEX, cabe destacar las siguientes conclusiones:

1.- Las intensidades del oleaje y viento existentes en el instante del siniestro no responden a situaciones extremas.

2.- El aspecto más destacable en los instantes en que transcurrieron los hechos, es la variación del contenido energético del oleaje de las bajas a las altas frecuencias. Dicha variación refleja la súbita aparición de un mar de viento, procedente del WSW ( $\approx 240^\circ$ ), que coincide con la pérdida de entidad del mar de fondo de dirección W ( $290^\circ$ ), y la aparición de otro mar de fondo con dirección media de avance  $330^\circ$  (NNW). Para las alturas de ola existentes en el instante del siniestro, esta situación de oleajes cruzados, podría resultar peligrosa, o dificultar el gobierno del buque, y producir, en determinados puntos, un aumento de la altura de ola. Sin embargo, ni el ángulo de interacción de ambas componentes ni los peraltes asociados son propicios, en los puntos de información analizados, para la generación de lo que técnicamente se conoce como olas gigantes o “freak waves”.



3.- Otra situación a tener en cuenta es el aumento de la intensidad del viento en los instantes en que acaecieron los hechos. Sin embargo, las velocidades alcanzadas no fueron relevantes y su dirección de actuación permaneció prácticamente constante.

### 1.3. Descripción del suceso.

El día 15 de enero de 2008, a las 02<sup>h</sup>13<sup>m</sup>, el Centro Nacional de Coordinación de Salvamento Marítimo (CNCS) de Madrid recibió del Centro satelitario de Control de Misiones de España (*Spain Missions Control Center*, SPMCC) de Maspalomas (islas Canarias), la alerta de radiobaliza, sin posición, correspondiente al pesquero “*Cordero*”. El CNCS a las 02<sup>h</sup>18<sup>m</sup> intentó comunicarse con el buque “*Cordero*” sin lograrlo y al mismo tiempo comenzó a intentar averiguar la posición del pesquero.

A las 02<sup>h</sup>22<sup>m</sup> la Secretaría General de Pesca Marítima (SEGEPEPESCA) del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, proporcionó la última posición del buque que tenía registrada, la cual correspondía a las 01<sup>h</sup>21<sup>m</sup> y era: latitud: 43° 42’6 N y Longitud: 008° 34’5 W. A partir de ese momento se realizaron diversas llamadas al “*Cordero*” vía VHF (canales 16 y 11) sin resultado y se emitieron llamadas de alerta a los pesqueros en la zona para ver si alguno podía facilitar alguna información al respecto.

A las 02<sup>h</sup>31<sup>m</sup> se movilizó el helicóptero de salvamento “*Helimer Galicia*” y se contactó con el Centro de Comunicaciones Radiomárítimas (CCR) de La Coruña para que realizara llamadas vía VHF para intentar localizar al “*Cordero*”. Al mismo tiempo se continuó con todas las labores descritas anteriormente al objeto de localizar al pesquero.

A las 02<sup>h</sup>41<sup>m</sup> el pesquero “*Ría de Coruña*” contestó a una de las llamadas efectuadas y comunicó que los pesqueros trabajaban en los canales 71 y 72 de VHF y que procedía hacia la zona.

A las 02<sup>h</sup>50<sup>m</sup> se movilizó la embarcación de salvamento de intervención rápida “*Salvamar Mirfak*”. Asimismo, el Centro de Coordinación de Salvamento marítimo (CCS) de Finisterre se puso en contacto con la Policía Local de Riveira para que procedieran al domicilio del Administrador de la empresa y le solicitaran teléfonos u otros medios de contacto con el pesquero. Durante todo este tiempo continuaron las tareas de localización del “*Cordero*”.

A las 02<sup>h</sup>52<sup>m</sup> el pesquero “*Pombo Cuatro*” se puso en contacto con el CCS de Finisterre, se le facilitó la información disponible hasta ese momento y comunicó que procedía hacia la posición que se le indicó.

A las 02<sup>h</sup>56<sup>m</sup> el CCS de Finisterre solicitó al CCR de La Coruña que emitiera un Mayday Relay.

A las 03<sup>h</sup>00<sup>m</sup> el CCS de Finisterre contactó con el armador del “*Cordero*” vía telefónica, éste le facilitó un número de un teléfono móvil del pesquero y comunicó que iba a buscar el número Inmarsat del barco y les informaría.



A las 03<sup>h</sup>05<sup>m</sup> el CNCS recibió un segundo mensaje del SPMCC de Maspalomas sobre la radiobaliza, el cual transmitió la posición: latitud: 43° 49,1 N y Longitud: 008° 31,1 W. Se le comunicó esta información al CCR de La Coruña, para la actualización del Mayday Relay, el cual se comenzó a emitir por el CCR de La Coruña a las 03<sup>h</sup>06<sup>m</sup>. Asimismo se actualizó la información a todos los medios que estaban actuando en la emergencia. El armador del “*Cordero*” facilitó el número de teléfono Inmarsat del barco al CCS de Finistere a las 03<sup>h</sup>07<sup>m</sup>, se hicieron diversas llamadas a ese número sin obtener ningún resultado.

A las 03<sup>h</sup>09<sup>m</sup> se movilizó el remolcador “*Ibaizábal Uno*”.

El helicóptero de salvamento “*Helimer Galicia*” salió hacia la zona a las 03<sup>h</sup>13<sup>m</sup> y la embarcación de salvamento de intervención rápida “*Salvamar Mirfak*” a las 03<sup>h</sup>15<sup>m</sup>.

A las 03<sup>h</sup>17<sup>m</sup> el CCR de La Coruña comunicó que el pesquero “*Playa de Esteiro*” le informó que se encontraba a 8 millas de la posición indicada por la radiobaliza y que se dirigía a la zona estimando llegar en unos 50 minutos.

A través de la Sala de Operaciones de la Xunta de Galicia, se movilizó al remolcador de salvamento “*Irmáns García Nodal*”, a las 03<sup>h</sup>27<sup>m</sup>.

A las 03<sup>h</sup>28<sup>m</sup> se recibió un tercer mensaje del SPMCC de Maspalomas sobre la radiobaliza, en posición: latitud 43° 45,5 N Longitud 008° 30,0 W.

A las 03<sup>h</sup>32<sup>m</sup> el helicóptero de salvamento “*Helimer Galicia*” informó que había detectado la radiobaliza en posición: latitud 43° 49,9 N y Longitud 008° 31,1 W. Comunicó que debido al mal tiempo no podía bajar de 1000 pies y no podía hacer estacionario. Sólo veía dos luces rotativas en el agua. A las 03<sup>h</sup>34<sup>m</sup> se recibió un cuarto mensaje del SPMCC de Maspalomas sobre la radiobaliza que confirmaba la posición que había comunicado el “*Helimer Galicia*”. Se actualizó la información a todos los medios que participaban en la operación SAR.

A las 03<sup>h</sup>40<sup>m</sup> el armador del “*Cordero*” confirmó que a bordo se encontraban ocho tripulantes.

A las 03<sup>h</sup>46<sup>m</sup> se movilizó, a través de Emerxencias 112 (E-112), el helicóptero de salvamento “*Pesca II*”. El Remolcador de salvamento “*Irmáns García Nodal*” salió hacia la zona a las 03<sup>h</sup>55<sup>m</sup>.

Remolcador “*Ibaizábal Uno*” comunicó a las 04<sup>h</sup>00<sup>m</sup>, que salía de base hacia la zona. Otros buques pesqueros que se encontraban próximos a la posición indicada comunicaron que se dirigían a la zona.

A las 04<sup>h</sup>21<sup>m</sup> el “*Helimer Galicia*” informó que el pesquero “*Playa de Esteiro*” estaba recogiendo a gente de una balsa, sin poder especificar más, y comunicó no podía descender más, debido al mal tiempo.

A las 04<sup>h</sup>37<sup>m</sup> el “*Helimer Galicia*” informó que el pesquero “*Playa de Esteiro*” tenía 2 personas a bordo y procedía a La Coruña con los naufragos.





A las 04<sup>h</sup>38<sup>m</sup> la embarcación de salvamento de intervención rápida “*Salvamar Mirfak*” informó que había recogido a un naufrago y que estaba en muy mal estado. Así mismo comunicó que abandonaba la zona y procedía con la persona rescatada al puerto de La Coruña.

El “*Helimer Galicia*” informó, a las 04<sup>h</sup>56<sup>m</sup>, que le quedaban 10 minutos de permanencia en la zona.

A las 05<sup>h</sup>04<sup>m</sup> el E-112 informó que el “*Pesca II*” procedía para la zona.

A las 06<sup>h</sup>16<sup>m</sup> el “*Helimer Galicia*” informó que en 10 minutos salía de nuevo para la zona.

Entre las 07<sup>h</sup>29<sup>m</sup> y las 07<sup>h</sup>35<sup>m</sup> tanto el “*Helimer Galicia*” como el “*Pesca II*” informaron que el rescate mediante helicóptero no era posible debido a las adversas condiciones meteorológicas (fuerte viento).

A las 08<sup>h</sup>09<sup>m</sup> el pesquero “*Pombo IV*” informó que había recuperado la radiobaliza del buque.

A las 10<sup>h</sup>37<sup>m</sup> el helicóptero “*Pesca II*” informó que había localizado un cuerpo, el cual recuperó y lo trasladó al aeropuerto de Alvedro (La Coruña).

La activación de dicha emergencia supuso la movilización de los siguientes medios:

- Marítimos:
  - Embarcación de salvamento de intervención rápida “*Salvamar Mirfak*”
  - Embarcación de salvamento de intervención rápida “*Salvamar Shaula*”
  - Buque de salvamento polivalente “*Don Inda*”
  - Remolcador de salvamento “*Irmáns García Nodal*”
  - Remolcador “*Ibaizábal Uno*”
  - Buques pesqueros que se encontraban próximos a la zona del siniestro
- Aéreos:
  - Helicóptero de salvamento “*Helimer Galicia*”
  - Helicóptero de salvamento “*Helimer Cantábrico*”
  - Avión de salvamento “*Rosalía de Castro*”
  - Helicóptero de salvamento “*Pesca I*”
  - Helicóptero de salvamento “*Pesca II*”
- Terrestres:
  - Policía Local de Riveira
  - Emergencias 112 de la Xunta de Galicia



#### 1.4. Actuaciones posteriores.

Durante el mismo día del accidente continuó el operativo de búsqueda y rescate, el cual se prolongó hasta el día 1 de Febrero de 2008. hoy la fecha de finalización de este informe, cuatro tripulantes se encuentran desaparecidos.

La activación de dicho operativo supuso la movilización de los siguientes medios:

- Marítimos:
  - Embarcación de salvamento de intervención rápida “*Salvamar Mirfak*”
  - Embarcación de salvamento de intervención rápida “*Salvamar Shaula*”
  - Embarcación de salvamento de intervención rápida “*Salvamar Altair*”
  - Embarcación de salvamento de intervención rápida “*Salvamar Alioth*”
  - Embarcación de salvamento de intervención rápida “*Salvamar Capela*”
  - Embarcación de salvamento de intervención rápida “*Salvamar Rigel*”
  - Buque de salvamento polivalente “*Don Inda*”
  - Remolcador de salvamento “*Irmáns García Nodal*”
  - Remolcador “*Ibaizábal Uno*”
  - Remolcador de salvamento “*Alonso de Chaves*”
  - Embarcación de salvamento de intervención rápida de Cruz Roja Española “*Langosteira*”
  - Embarcación semirrígida de salvamento de Cruz Roja Española “*Saturno*”
  - Embarcación de la Guardia Civil del Mar “*Río Andarax*”
- Aéreos:
  - Helicóptero de salvamento “*Helimer Galicia*”
  - Helicóptero de salvamento “*Helimer Cantábrico*”
  - Avión de salvamento “*Rosalía de Castro*”
  - Helicóptero de salvamento “*Pesca I*”
  - Helicóptero de salvamento “*Pesca II*”

#### 1.5. Daños producidos.

##### 1.5.1. Daños personales.

Como consecuencia del accidente falleció un tripulante, cuatro tripulantes se encuentran desaparecidos y tres fueron rescatados con vida.

##### 1.5.2. Daños medioambientales.

No se observaron indicios de contaminación, a pesar del combustible que el pesquero llevaba en sus tanques.



### 1.5.3. Daños al buque.

Como consecuencia del naufragio se produjo la pérdida total del buque.

### 1.6. Certificación del buque.

- En la fecha del siniestro, la situación de los certificados era la indicada a continuación:

Certificado	Expedición	Caducidad	Entidad emisora
Francobordo	07-Ene-04	16-Nov-08	C.M. La Coruña
Navegabilidad	07-Ene-04	Ver Nota*	C.M. La Coruña
Seguridad	28-Nov-07	17-Nov-09	C.M. La Coruña
Material Náutico	05-Ene-07	22-Jun-08	C.M. La Coruña
Radio	09-Nov-07	26-Sep-08	C.M. Villagarcía

\* Certificado de Navegabilidad: en tramitación, tras superar satisfactoriamente el reconocimiento para su renovación.

### 1.7. Información sobre la tripulación.

La tripulación a bordo, en el momento del siniestro, estaba constituida por 8 personas según declaración del armador al CCS de Finistere, si bien el buque había sido despachado con 10 tripulantes. Su composición, en el momento del despacho y del accidente queda reflejada en los cuadros siguientes:

Cuadro 1: Tripulación despachada

Puesto	Nacionalidad	Número
Patrón	Española	1
2º Patrón	Española	1
Mecánico	Española	1
Contraestre	Española	1
2º Mecánico	Española	1
Marinero	Indonesia	4
Engrasador	Española	1
<b>TOTAL</b>	6 Españoles + 4 Indonesios	<b>10</b>



Cuadro 2: Tripulación en el momento del accidente

Puesto	Nacionalidad	Número
Patrón	Española	1
Mecánico	Española	1
Contra maestre	Española	1
2º Mecánico	Española	1
Marinero	Indonesia	3
Engrasador	Española	1
<b>TOTAL</b>	5 Españoles + 3 Indonesios	<b>8</b>

De lo anterior se deduce que no se encontraban a bordo, en el momento del accidente, el 2º Patrón (español) y un Marinero indonesio.

De los tres tripulantes que fueron rescatados en las horas posteriores al accidente, al Patrón lo rescató la embarcación de salvamento de intervención rápida “*Salvamar Mirfak*” y el Contra maestre y uno de los marineros indonesios fueron rescatados por el pesquero “*Playa de Esteiro*”. El cadáver del Mecánico fue recuperado por el helicóptero de salvamento “*Pesca II*” en la mañana del mismo día del accidente (15 de enero de 2008). Los cuatro tripulantes que están dados por desaparecidos son el 2º Mecánico, dos Marineros indonesios y el Engrasador.

En cuanto a la asignación de tripulación mínima de seguridad del buque, era la siguiente:

Puesto	Número
Patrón	1
2º Patrón	1
Mecánico	1
Contra maestre	1
Marinero	2
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>

Así pues, no se cumplía con la resolución de tripulación mínima de seguridad en cuanto a cargos, ya que el 2º Patrón no estaba a bordo.



## 2. ANÁLISIS.

Para la elaboración del presente informe, la Comisión ha estudiado la siguiente documentación:

- Informe del Instructor de la Capitanía Marítima de Villagarcía de Arosa.
- Declaraciones de los tripulantes (Patrón, 2º Patrón, Contramaestre y Marinero) del pesquero “Cordero”. El 2º Patrón y Armador del pesquero no se encontraba a bordo en el momento del accidente.
- Declaración del Patrón de la embarcación de salvamento de intervención rápida “*Salvamar Mirfak*”.
- Grabaciones telefónicas y de VHF de los Centros de Coordinación de Salvamento Marítimo de Finisterre y de La Coruña.
- Informe de inspección de la Capitanía Marítima de La Coruña.
- Estudio sobre las condiciones de clima marítimo en el transcurso de accidentes de buques para el buque “Cordero” elaborado por el Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento.
- Lista de tripulantes (aplicación informática de la Dirección General de la Marina Mercante) y Despacho de Pesca.
- Títulos y certificados de especialidad de la tripulación.
- Certificados del buque.
- Documentación del CNCS Madrid y Carpeta SIGO correspondiente al accidente.
- Informe técnico sobre el funcionamiento de la radiobaliza elaborado por el Área de Radiocomunicaciones de la Dirección General de la Marina Mercante.
- Planos de formas y disposición general del buque y Libro de Estabilidad acompañado de Acta de Estabilidad.
- Informe de resultados de ensayos del buque pesquero “Cordero” elaborado en el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR).



### 2.1. Ensayos en CEHIPAR.

Dado que las declaraciones de los tripulantes respecto a la relación de pesos y su distribución a bordo en el momento del accidente no son coincidentes, la Comisión ha decidido considerar para el estudio de estabilidad estática y dinámica todas las diferentes situaciones de carga declaradas.

Así pues, se han considerado los supuestos para las distintas condiciones de lastre en el pique de proa, y pesca más hielo en bodega y que se indican en la Tabla 1:

Supuesto	Lastre	Pesca + Hielo (Tm)
	Pique de Proa (Tm)	
1	11'0	8'3
2	11'0	1'7
3	0'0	8'3
4	0'0	1'7

**Tabla 1:** Situación de los pesos a bordo con 4 supuestos



Supuesto 1. Desglose de pesos y centro de grave-

Grupo	Subgrupo	Peso (t)	XG (m)	YG (m)	ZG (m)
Rosca	Buque en rosca	210,830	9,590	0,000	3,406
Varios	Tripulación y efectos	1,000	15,500	0,000	4,700
	Pertrechos	2,000	8,000	0,000	4,600
	Aparejo carretel central	3,900	12,500	0,000	7,100
	Aparejo carretel popa Br	1,100	6,000	2,600	6,650
	Aparejo carretel popa Er	1,100	6,000	-2,600	6,650
	Aparejo spardel	1,100	1,000	0,000	6,200
	Copos en Pp Br	0,750	4,000	2,600	6,650
	Puertas de arrastre	1,400	-1,000	0,000	6,650
	Viveres	0,350	15,000	0,000	4,500
Combustible	Gas-Oil Tanque nº 3 Br	6,485	16,275	0,799	0,836
	Gas-Oil Tanque nº 3 Er	6,485	16,275	-0,799	0,836
	Gas-Oil Tanque nº 4 Br	6,064	11,269	1,065	0,613
	Gas-Oil Tanque nº 4 Er	6,064	11,269	-1,065	0,613
	Gas-Oil Tanque nº 6 Br				
	Gas-Oil Tanque nº 6 Er				
	Gas-Oil Tanque nº 8				
	Gas-Oil Tanque nº 9 Br				
	Gas-Oil Tanque nº 9 Er				
Consumo diario	1,910	2,520	0,000	2,800	
Agua dulce	Agua dulce Tanque nº 5 Br	3,000	6,893	0,000	0,966
	Agua dulce Tanque nº 5 Er	3,000	6,893	0,000	0,966
Aceite	Aceite Tanque nº 7	0,710	2,550	0,000	2,220
Lastre	Lastre Tanque 1	11,000	20,803	0,000	2,145
	Gas-Oil Tanque nº 2 Br	9,993	18,933	1,045	2,677
	Gas-Oil Tanque nº 2 Er	9,993	18,933	-1,045	2,677
Carga en bodega	Pesca	0,300	17,500	-2,000	2,500
	Hielo en bodega	8,000	17,500	-2,000	2,500
dad:	<b>Total</b>	<b>296,534</b>	<b>11,032</b>	<b>-0,049</b>	<b>3,122</b>

Supuesto 1. Cumplimiento de los criterios de estabilidad estática y dinámica (O.M. de 29 de julio de 1.970 sobre normas de estabilidad de buques pesqueros):

Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	0°061 m x rad	<b>CUMPLE</b>
Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	0°124 m x rad	<b>CUMPLE</b>
Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	0°063 m x rad	<b>CUMPLE</b>
GZ mínimo para ángulo >30°	288 mm	<b>CUMPLE</b>
GZ máximo	> 25°	<b>CUMPLE</b>
GM inicial	703 mm	<b>CUMPLE</b>
Ángulo inundación puerta salabardeo	25°8'	Sin criterio normativo
Ángulo de inundación tapa de basuras	33°7'	Sin criterio normativo
Escora inicial a estribor	4°13'	Sin criterio normativo



Supuesto 2. Desglose de pesos y centro de gravedad:

Grupo	Subgrupo	Peso (t)	XG (m)	YG (m)	ZG (m)
Rosca	Buque en rosca	210,830	9,590	0,000	3,406
Varios	Tripulación y efectos	1,000	15,500	0,000	4,700
	Pertrechos	2,000	8,000	0,000	4,600
	Aparejo carretel central	3,900	12,500	0,000	7,100
	Aparejo carretel popa Br	1,100	6,000	2,600	6,650
	Aparejo carretel popa Er	1,100	6,000	-2,600	6,650
	Aparejo spardel	1,100	1,000	0,000	6,200
	Copos en Pp Br	0,750	4,000	2,600	6,650
	Puertas de arrastre	1,400	-1,000	0,000	6,650
	Viveres	0,350	15,000	0,000	4,500
	Combustible	Gas-Oil Tanque nº 3 Br	6,485	16,275	0,799
Gas-Oil Tanque nº 3 Er		6,485	16,275	-0,799	0,836
Gas-Oil Tanque nº 4 Br		6,064	11,269	1,065	0,613
Gas-Oil Tanque nº 4 Er		6,064	11,269	-1,065	0,613
Gas-Oil Tanque nº 6 Br					
Gas-Oil Tanque nº 6 Er					
Gas-Oil Tanque nº 8					
Gas-Oil Tanque nº 9 Br					
Gas-Oil Tanque nº 9 Er					
Consumo diario	1,910	2,520	0,000	2,800	
Agua dulce	Agua dulce Tanque nº 5 Br	3,000	6,893	0,000	0,966
	Agua dulce Tanque nº 5 Er	3,000	6,893	0,000	0,966
Aceite	Aceite Tanque nº 7	0,710	2,550	0,000	2,220
Lastre	Lastre Tanque 1	11,000	20,803	0,000	2,145
	Gas-Oil Tanque nº 2 Br	9,993	18,933	1,045	2,677
	Gas-Oil Tanque nº 2 Er	9,993	18,933	-1,045	2,677
Carga en bodega	Pesca	0,700	17,500	-2,000	2,500
	Hielo en bodega	1,000	17,500	-2,000	2,500
<b>Total</b>		<b>289,934</b>	<b>10,885</b>	<b>-0,005</b>	<b>3,136</b>

Supuesto 2. Cumplimiento de los criterios de estabilidad estática y dinámica (O.M. de 29 de julio de 1.970 sobre normas de estabilidad de buques pesqueros):

Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	0°081 m x rad	<b>CUMPLE</b>
Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	0°150 m x rad	<b>CUMPLE</b>
Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	0°069 m x rad	<b>CUMPLE</b>
GZ mínimo para ángulo >30°	323 mm	<b>CUMPLE</b>
GZ máximo	> 25°	<b>CUMPLE</b>
GM inicial	639 mm	<b>CUMPLE</b>
Ángulo inundación puerta salabardeo	27°1'	Sin criterio normativo
Ángulo de inundación tapa de basuras	33°6'	Sin criterio normativo
Escora inicial a estribor	0°38'	Sin criterio normativo





Supuesto 3. Desglose de pesos y centro de gravedad:

Grupo	Subgrupo	Peso (t)	XG (m)	YG (m)	ZG (m)
Rosca	Buque en rosca	210,830	9,590	0,000	3,406
Varios	Tripulación y efectos	1,000	15,500	0,000	4,700
	Pertrechos	2,000	8,000	0,000	4,600
	Aparejo carretel central	3,900	12,500	0,000	7,100
	Aparejo carretel popa Br	1,100	6,000	2,600	6,650
	Aparejo carretel popa Er	1,100	6,000	-2,600	6,650
	Aparejo spardel	1,100	1,000	0,000	6,200
	Copos en Pp Br	0,750	4,000	2,600	6,650
	Puertas de arrastre	1,400	-1,000	0,000	6,650
	Viveres	0,350	15,000	0,000	4,500
Combustible	Gas-Oil Tanque nº 3 Br	6,485	16,275	0,799	0,836
	Gas-Oil Tanque nº 3 Er	6,485	16,275	-0,799	0,836
	Gas-Oil Tanque nº 4 Br	6,064	11,269	1,065	0,613
	Gas-Oil Tanque nº 4 Er	6,064	11,269	-1,065	0,613
	Gas-Oil Tanque nº 6 Br				
	Gas-Oil Tanque nº 6 Er				
	Gas-Oil Tanque nº 8				
	Gas-Oil Tanque nº 9 Br				
	Consumo diario	1,910	2,520	0,000	2,800
Agua dulce	Agua dulce Tanque nº 5 Br	3,000	6,893	0,000	0,966
	Agua dulce Tanque nº 5 Er	3,000	6,893	0,000	0,966
Aceite	Aceite Tanque nº 7	0,710	2,550	0,000	2,220
Lastre	Lastre Tanque 1				
	Gas-Oil Tanque nº 2 Br	9,993	18,933	1,045	2,677
	Gas-Oil Tanque nº 2 Er	9,993	18,933	-1,045	2,677
Carga en bodega	Pesca	0,300	17,500	-2,000	2,500
	Hielo en bodega	8,000	17,500	-2,000	2,500
<b>Total</b>		<b>285,534</b>	<b>10,656</b>	<b>-0,051</b>	<b>3,160</b>

Supuesto 3. Cumplimiento de los criterios de estabilidad estática y dinámica (O.M. de 29 de julio de 1.970 sobre normas de estabilidad de buques pesqueros):

Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	0°060 m x rad	<b>CUMPLE</b>
Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	0°121 m x rad	<b>CUMPLE</b>
Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	0°061 m x rad	<b>CUMPLE</b>
GZ mínimo para ángulo >30°	279 mm	<b>CUMPLE</b>
GZ máximo	> 25°	<b>CUMPLE</b>
GM inicial	696 mm	<b>CUMPLE</b>
Ángulo inundación puerta salabardeo	28°1'	Sin criterio normativo
Ángulo de inundación tapa de basuras	32°7'	Sin criterio normativo
Escora inicial a estribor	4°26'	Sin criterio normativo



Supuesto 4. Desglose de pesos y centro de gravedad:

Grupo	Subgrupo	Peso (t)	XG (m)	YG (m)	ZG (m)
Rosca	Buque en rosca	210,830	9,590	0,000	3,406
Varios	Tripulación y efectos	1,000	15,500	0,000	4,700
	Pertrechos	2,000	8,000	0,000	4,600
	Aparejo carretel central	3,900	12,500	0,000	7,100
	Aparejo carretel popa Br	1,100	6,000	2,600	6,650
	Aparejo carretel popa Er	1,100	6,000	-2,600	6,650
	Aparejo spardel	1,100	1,000	0,000	6,200
	Copos en Pp Br	0,750	4,000	2,600	6,650
	Puertas de arrastre	1,400	-1,000	0,000	6,650
Combustible	Viveres	0,350	15,000	0,000	4,500
	Gas-Oil Tanque nº 3 Br	6,485	16,275	0,799	0,836
	Gas-Oil Tanque nº 3 Er	6,485	16,275	-0,799	0,836
	Gas-Oil Tanque nº 4 Br	6,064	11,269	1,065	0,613
	Gas-Oil Tanque nº 4 Er	6,064	11,269	-1,065	0,613
	Gas-Oil Tanque nº 6 Br				
	Gas-Oil Tanque nº 6 Er				
	Gas-Oil Tanque nº 8				
Agua dulce	Gas-Oil Tanque nº 9 Br				
	Gas-Oil Tanque nº 9 Er				
	Consumo diario	1,910	2,520	0,000	2,800
Aceite	Agua dulce Tanque nº 5 Br	3,000	6,893	0,000	0,966
	Agua dulce Tanque nº 5 Er	3,000	6,893	0,000	0,966
Lastre	Aceite Tanque nº 7	0,710	2,550	0,000	2,220
	Lastre Tanque 1				
Carga en bodega	Gas-Oil Tanque nº 2 Br	9,993	18,933	1,045	2,677
	Gas-Oil Tanque nº 2 Er	9,993	18,933	-1,045	2,677
	Pesca	0,300	17,500	-2,000	2,500
	Hielo en bodega	8,000	17,500	-2,000	2,500
<b>Total</b>		<b>285,534</b>	<b>10,656</b>	<b>-0,051</b>	<b>3,160</b>

Supuesto 4. Cumplimiento de los criterios de estabilidad estática y dinámica (O.M. de 29 de julio de 1.970 sobre normas de estabilidad de buques pesqueros):

Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	0°082 m x rad	<b>CUMPLE</b>
Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	0°149 m x rad	<b>CUMPLE</b>
Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	0°067 m x rad	<b>CUMPLE</b>
GZ mínimo para ángulo >30°	319 mm	<b>CUMPLE</b>
GZ máximo	> 25°	<b>CUMPLE</b>
GM inicial	641 mm	<b>CUMPLE</b>
Ángulo inundación puerta salabardeo	29°6'	Sin criterio normativo
Ángulo de inundación tapa de basuras	32°6'	Sin criterio normativo
Escora inicial a estribor	0°36'	Sin criterio normativo

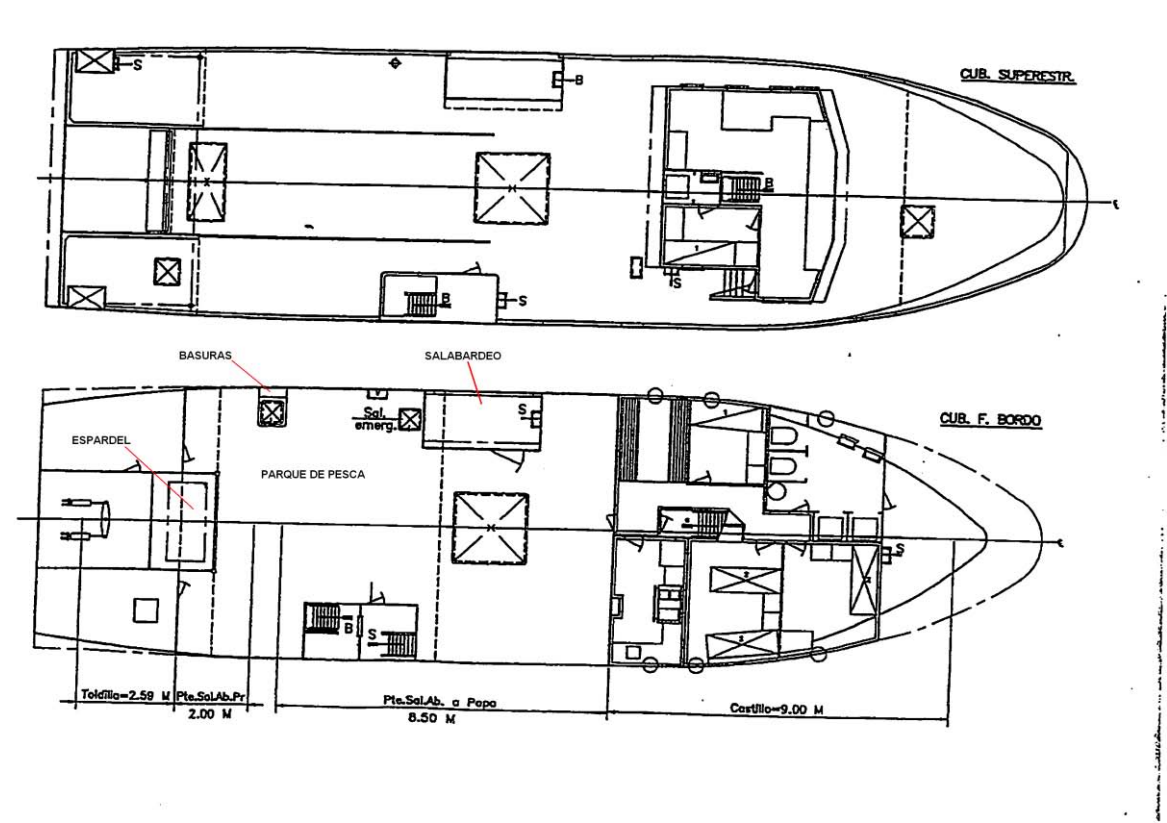


A la vista de lo anterior, la Comisión ha concluido que en los cuatro supuestos de situación de carga el buque cumplía con los criterios de estabilidad de la Orden de 29 de Julio de 1.970, lo que descarta en la práctica que el buque zozobrase a causa del oleaje encontrándose en condiciones de “buque intacto”. Es decir, el buque en las situaciones de carga estudiadas poseía suficiente par de adrizamiento para vencer el momento escorante causado por el oleaje y el viento.

A través de las declaraciones de los tripulantes se conocía que el parque de pesca estaba inundado, pero no así la bodega ni la sala de máquinas, habida cuenta que, según un testigo, cuando se dio la alarma por inundación del parque de pesca “*los tripulantes indonesios estaban en la bodega*”, y que “*en la máquina estaba el engrasador*”. En esos espacios no había agua. También declararon que el buque zozobró cayendo de popa y volcando a babor. Es decir, la zozobra estaría causada por la suma de dos agentes perjudiciales: la elevación del centro de gravedad y la reducción del radio metacéntrico.

#### **2.1.1. Análisis de las vías de inundación.**

En este sentido, la Comisión ha analizado las posibles vías de inundación del parque de pesca. Se evidenció que en el casco había tres aberturas que podrían ser origen de la inundación: la puerta de pantano en la cubierta superior, las puertas de salabardeo y la de basuras en el costado, situadas por encima de la cubierta principal. Se han analizado también los efectos de una vía de agua causada por un golpe o un fallo estructural en la pared del pocete de aguas grises del parque de pesca que coincide con el forro, y la posible inundación procedente del interior del buque causada por fallos en el sistema de baldeo y/o achique.



Plano 1: Disposición de aberturas

### 2.1.2. Inundación a través de la puerta de pantano.

La puerta de pantano es el acceso directo desde la cubierta superior al parque de pesca y a través de ella se descargan las capturas desde el copo de la red, tras lo cual se cierra. Los tripulantes encargados proceden a preparar el pescado en el parque de pesca, disponerlo en cajas y depositarlas en la bodega. La conservación se hace con hielo. No tiene lógica que esa puerta permaneciera abierta durante las labores de preparación de pescado dadas, incluso, las adversas condiciones meteorológicas reinantes.

### 2.1.3. Inundación a través del resto de las aberturas y otras vías.

Descartada la inundación por la puerta de pantano, se procedió a ensayar en el canal de olas del Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR) un modelo a escala reducida del buque "Cordero", en el que se habían practicado las aberturas mencionadas, reproduciéndose la navegación del buque en velocidad y rumbo que declararon los tripulantes, y las



condiciones de mar y viento reinantes en el momento del accidente, estos últimos datos suministrados por el CEDEX.

Se ensayó la navegación del buque siguiendo las condiciones de carga, viento y mar que se indican en el informe del CEHIPAR que se adjunta como Anexo II (Resultado de los ensayos para la investigación del hundimiento del buque pesquero “Cordero”), considerándose las posibles vías de inundación descritas en este apartado.

## **2.2. Resumen de los estudios y ensayos realizados por el CEHIPAR.**

1. En las cuatro (4) situaciones de carga estudiadas y consideradas como punto de partida, el buque cumple con los criterios de estabilidad exigidos en la Orden del Ministerio de Comercio de 29 de Julio de 1970 sobre normas de estabilidad de buques pesqueros (B.O.E. núm. 198 de 19 de agosto de 1970).
2. El modelo tiene un comportamiento satisfactorio y no sufre movimientos excesivos ni situaciones de peligro cuando se encuentra en situación de intacto y se le hace navegar en las condiciones de mar que existían en el momento del naufragio/hundimiento [oleaje de cresta corta de altura significativa de cuatro con tres metros (4'3 m) y periodo de pico de trece con tres segundos ( $T_p = 13'3$  s)], incluso cuando se le somete a los efectos de viento intenso, como el que sufría en el momento del siniestro.
3. Se descarta una avería con vía de agua y entrada masiva de la misma en los compartimientos bajo la cubierta del parque de pesca, al encontrarse personal del buque trabajando en los dos compartimientos principales (cámara de máquinas y bodegas), no observando ninguno de ellos este hecho y por tanto no dando voz de alarma alguna.
4. Ante el buen comportamiento del buque en situación de intacto, se optó por analizar su comportamiento basado en la hipótesis de que hubiera sufrido la apertura accidental de alguna de las puertas/tapas trincadas y que hubiera provocado la entrada de agua a la cubierta de parque de pesca.
  - 4.1 Apertura de la tapa de la puerta de basuras: produce un embarque de agua considerado como de poca importancia. Cuando el agua acumulada podría empezar a considerarse de importancia y debido a los balances intensos que sufre el buque por efecto del oleaje se produce un desagüe del agua embarcada y evacuada a través de la misma abertura, alcanzándose un equilibrio del agua acumulada que hace imposible que se produzca la pérdida del buque por esta causa.
  - 4.2 Apertura de la puerta de salabardeo: produce embarques de agua pero no en la suficiente cantidad como para producir el vuelco y/o hundimiento del buque. La mayor parte del agua embarcada lo hace en la zona del nicho existente entre el costado y la brazola de la puerta de salabardeo, agua que es devuelta al mar a través del imbornal con claqueta que dispone el buque. El agua embarcada tiende a acumularse en popa, por lo que aumenta el francobordo de la puerta de salabardeo, y se minimiza la en-



trada de agua, observándose que a su vez, en los balances intensos, el agua acumulada en la cubierta es expulsada al exterior al pasar por encima de la brazola de la puerta de salabardeo, habiendo momentos en que el agua expulsada iguala o supera a la embarcada, llegando a un equilibrio de cantidad de agua en cubierta insuficiente como para producir la zozobra.

5. Descartadas las hipótesis de averías bajo cubierta de parque de pesca o salto de una trinca de las tapas/puertas, que permitieran la entrada de agua sobre la cubierta de pesca, se realizan los supuestos de una avería producida sobre la línea de cierre de la cubierta a popa del parque de pesca. Este ensayo tendía a analizar el comportamiento del buque en caso que el pocete de aguas grises hubiese estado en contacto directo con el mar a causa de que la plancha del forro que lo conforma se hubiese soltado, obteniendo los siguientes resultados:
  - 5.1. Avería en la banda de babor: el agua que entra a través de la avería (vía de agua) no se acumula en el interior del barco, dado que al estar éste escorado a dicha banda, a causa del efecto del viento, prácticamente todo el agua que entra en el interior del buque sale de forma natural por la misma abertura, quedando un mínimo de agua residual que no es posible que cause el naufragio/hundimiento del buque.
  - 5.2. Avería en la banda de estribor: el agua que entra a través de la avería (vía de agua) se acumula en el interior del barco en la banda de babor (a la que se encuentra previamente escorado por efecto del viento), aumentando por tanto la escora del buque y separando la avería del agua, cesando por tanto la entrada de agua antes de un posible naufragio/hundimiento del buque.
6. Descartadas las hipótesis de averías bajo cubierta de parque de pesca, salto de una trinca de las tapas/puertas que permitieran la entrada de agua sobre la cubierta de pesca y averías sobre la cubierta de pesca, se realizan los supuestos de una generación de agua en cubierta de pesca por causa interna del buque, avería de las bombas de achique, rotura de un colector, activación de la bomba de baldeo. En este supuesto y siempre que se mantengan cerradas el resto de las aberturas (en caso de estar abiertas se produciría un desagüe de la cubierta a través suya como consecuencia de los balances intensos), se observa una pérdida de estabilidad en aumento conforme aumenta la cantidad de agua acumulada en la cubierta de pesca y sin poder ser evacuada. Con diez toneladas (10 Tm) de agua en cubierta comienza a notarse como el buque empieza a dormirse (periodo de recuperación muy lento), haciendo notorio el comienzo de la pérdida de estabilidad.
7. Resumen de los resultados: en los supuestos de condiciones de carga estudiadas y sometido el modelo a las condiciones de mar existentes en la zona en el momento del naufragio, se deduce que:



- 7.1. El buque, en condición de intacto, no sufriría naufragio/hundimiento ni aún sometiendo a los efectos escorantes debido a viento intenso.
- 7.2. El buque, en la situación expuesta en los puntos 4.1 y 4.2 y tras sufrir la rotura de una trinca de la tapa del puerto de basuras o de la puerta de salabardeo, sufriría una inundación de la cubierta del parque de pesca no suficiente como para causar su naufragio/hundimiento.
- 7.3. El buque, en la situación expuesta en los puntos 5.1 y 5.2 y tras sufrir una avería en el costado que le ocasionara una vía de agua sobre la cubierta del parque de pesca y a ras de la misma, fuera cual fuera la banda en que se produjera el agua embarcada, no causaría su naufragio/hundimiento.
- 7.4. El buque, en la situación expuesta en el punto 6 y tras sufrir una inundación de la cubierta del parque de pesca a causa del agua generada internamente al mismo (rotura del colector de baldeo,...), empieza a sufrir una pérdida de estabilidad a partir de una acumulación de unas diez toneladas de agua (10 Tm), siendo previsible que si no fuera capaz de evacuar dicha agua se produciría su naufragio/hundimiento.

### **2.3. Análisis del fuerte golpe y vibración sentidos por los tripulantes.**

Las declaraciones de los tripulantes coinciden en que momentos antes de adquirir el buque una fuerte escora a babor sintieron un fuerte golpe y una gran vibración.

Se descarta que este golpe o vibración fuera producido por una colisión lateral con un objeto flotante o semisumergido, de acuerdo con los ensayos realizados en el canal (CEHIPAR).

Por tal motivo la Comisión se inclina a pensar que el golpe y las vibraciones fueron producidas por el efecto de *sloshing* (que se podría traducir por martilleo por superficies libres), que se produce en la superficie libre de los líquidos contenidos en tanques cuando en éstos se ejerce alguna oscilación, traslación o combinación de ambos movimientos. El resultado es un movimiento de la superficie libre del líquido que genera cargas dinámicas importantes en la estructura de los tanques.

Las características de este caso permiten asimilar al parque de pesca con un tanque. Las fuerzas que actuaron como carga dinámica, causante del fenómeno de *sloshing*, sobre las paredes (forro de babor) fueron producidas por la aparición de oleajes cruzados generados por la interacción de las olas formadas por la acción del viento y de las dos componentes del mar de fondo existentes.

### **2.4. Estudio relativo al funcionamiento de la radiobaliza.**

Del informe del Área de Radiocomunicaciones de la DGMM se deduce que el funcionamiento de la radiobaliza satelitaria KANNAD 406 PRO GPS de la que iba dotado el pesquero “Cordero”, pudo apartarse de lo especificado, dado que la posición GPS fue transmitida con



un retraso de una hora y 16 minutos, tal y como se deduce del análisis de los mensajes recibidos por el LUT de Maspalomas, según la siguiente secuencia:

- 01<sup>h</sup>12<sup>m</sup> (UTC) Primer mensaje identificando el buque “*Cordero*” y carente de posición GPS.
- 01<sup>h</sup>58<sup>m</sup> (UTC) Alerta detectada por el Sistema LEO que resuelve la ambigüedad de la posición.
- 02<sup>h</sup>28<sup>m</sup> (UTC) 1<sup>a</sup> posición GPS que confirma la posición Doppler.

Se obtiene que la posición Doppler, se confirmó en 46 minutos, y sin embargo la posición GPS se retrasó una hora y 16 minutos.

Dada la trascendencia del correcto funcionamiento de la radiobaliza, se estimó conveniente realizar pruebas reales de funcionamiento con la radiobaliza recuperada del buque pesquero “*Cordero*”.

Se hicieron varias activaciones reales en coordinación con el LUT de Maspalomas, navegando por la Ría de Arosa en la embarcación de salvamento “*Salvamar Sargadelos*”. Los resultados se resumen en esta secuencia:

1<sup>a</sup> Activación a 5 millas del puerto de Villagarcía de Arosa, manteniendo la radiobaliza en el agua ligada a la embarcación con la rabiza. Hora de activación 10<sup>h</sup>48<sup>m</sup>.

Mensajes recibidos en el LUT de Maspalomas:

- 10<sup>h</sup>49<sup>m</sup> Primer mensaje identificando la radiobaliza sin posición.
- 11<sup>h</sup>04<sup>m</sup> 1<sup>a</sup> posición GPS que concuerda con la real de la embarcación: Latitud 42°,594 N y Longitud 8°,798 W
- 11<sup>h</sup>51<sup>m</sup> Alerta detectada por el Sistema LEO con posición Doppler concordante con la posición GPS.

El funcionamiento es correcto, disponiéndose de posición GPS a los 15 minutos de la activación, y posición Doppler a los 62 minutos.

2<sup>o</sup> Activación en parecidas circunstancias a la anterior, hora de activación 16<sup>h</sup>04<sup>m</sup>, mensajes recibidos en el LUT de Maspalomas:

- 16<sup>h</sup>05<sup>m</sup> Primer mensaje identificando la radiobaliza sin posición.
- 16<sup>h</sup>09<sup>m</sup> 1<sup>a</sup> posición GPS coordenadas: Latitud 6°,983 N y Longitud 22°,120 E





Se aprecia que la recepción de la alerta es rápida (4 minutos) y con posición GPS, pero notoriamente errónea, dado que la posición GPS transmitida corresponde al centro del continente africano.

A la vista de lo anterior, las consideraciones sobre la prueba son:

1.- La prueba realizada en condiciones reales con buen tiempo y mar en calma, ha puesto en evidencia un comportamiento errático de la radiobaliza KANNAD 406 PRO GPS, perteneciente al equipamiento del buque “*Cordero*”, dado que en unas ocasiones transmite correctamente la posición GPS, y en otras se descontrola dando un error considerable.

2.- Contrasta este comportamiento con el funcionamiento en el momento del accidente, en que no ocurrió ninguna de estas dos opciones, sino una tercera: transmisión correcta de la posición GPS, con un retraso excesivo. De esta observación se puede concluir que la radiobaliza del barco “*Cordero*”, pudo tener dos problemas distintos:

- De software que provoca fallo de programación.
- Recepción defectuosa del GPS.

## 2.5. Medios de salvamento.

La balsa de babor no se zafó, según declararon los tripulantes y se hundió con el buque, mientras que la balsa de estribor, que si se zafó, se alejó del buque por efecto del viento y del oleaje.

Los chalecos salvavidas eran de diferente tipo (rígidos e inflables), no abriéndose el de uno de los marineros que se salvó.

## 2.6. VHF.

Se presume que no se mantuvo guardia en el canal 16 de VHF tal y como es preceptivo, según se deduce de las grabaciones del Centro de Coordinación de Salvamento de Finisterre. Esta falta de escucha en el canal 16 de VHF puede ser debida a la costumbre de los pesqueros, que faenan en esa zona, de trabajar en los canales 71 y 72.

## 2.7. Idioma de trabajo y ejercicios.

El hecho de que la lengua de parte de los tripulantes fuera diferente del idioma del trabajo del buque, es una circunstancia que complica las situaciones de emergencia, no solo debido al miedo, que hace que las personas piensen en su lengua sino que al no entender las órdenes que se les da, dificulta la toma de las debidas decisiones.

Además de lo anterior, debemos citar que la falta de realización de ejercicios de abandono del buque complican y agravan las consecuencias del accidente.



Por último, la falta de un protocolo de actuación en los diferentes estados del servicio del buque, es decir del momento de largar el aparejo, de clasificar el pescado y otros, pueden traducirse en una falta de la debida diligencia en relación con los propios servicios que pueden traer consigo que no se vigile si se ha desactivado el sistema de baldeo, la puerta de salabardeo, de la descarga de basuras, etc.



### **3. CONCLUSIONES.**

#### **3.1. Hechos.**

De los antecedentes que obran en este informe, se establecen los siguientes hechos:

- 1.- En el momento del accidente el buque navegaba a una velocidad de 4/5 nudos.
- 2.- Las condiciones meteorológicas y de mar indican que había viento fuerte, mar de viento muy gruesa a arbolada de dirección 240° y mar de fondo con dos componentes de direcciones 290° y 330°. El buque recibía el mar de amura.
- 3.- Todos los certificados del buque estaban en vigor.
- 4.- Todos los tripulantes del buque disponían de la titulación preceptiva en vigor, cumpliendo los requisitos exigidos para el tipo de buque y actividad.
- 5.- El inicio del hundimiento se produjo por popa.
- 6.- El buque zozobró a las 02<sup>h</sup>12<sup>m</sup> del día 15 de enero de 2008.
- 7.- El GPS de la radiobaliza no funcionó correctamente.
- 8.- Los tripulantes, pese a intentarlo, no pudieron zafar la balsa salvavidas de babor.
- 9.- La balsa de estribor se zafó, aunque se separó del buque por efecto del viento y del oleaje.
- 10.- Un chaleco salvavidas de los marineros indonesios no se infló correctamente.
- 11.- No se mantuvo escucha en el canal 16 de VHF.

#### **3.2. Causas.**

La Comisión, analizados los hechos, la documentación obtenida y los ensayos realizados en el CEHIPAR, descarta que la entrada de agua haya sido ocasionada por apertura de las puertas de pantano, salabardeo y basuras. También descarta que la entrada de agua se produjera por colapso estructural de los pocetes de desperdicios

La Comisión estima como causa más probable de la zozobra del buque “Cordero” la pérdida de estabilidad seguida de inundación progresiva de los espacios interiores, al haberse podido producir una entrada de agua en el parque de pesca proveniente del sistema de baldeo, que no pudo ser achicada por las bombas destinadas a ello, bien por fallos en su funcionamiento o por falta de capacidad.



#### **4. RECOMENDACIONES.**

- Primera:** Instar a los armadores a que comprueben, antes del enrole del personal extranjero, su conocimiento del idioma de trabajo del buque.
- Segunda:** Promover la instalación de alarmas en el puente que avisen de la apertura y cierre de las puertas y otros elementos estancos.
- Tercera:** Promover la mejora de la formación de las tripulaciones en materia de seguridad y prevención de accidentes e intensificar las campañas de inspección destinadas a comprobar estos aspectos, incluyendo la realización de ejercicios de abandono del buque y de utilización de los medios de salvamento.
- Cuarta:** Evitar la instalación de cierres de aberturas expuestas a la intemperie que abran hacia dentro.
- Quinta:** Recordar a los armadores y patronos que se debe mantener escucha en el canal 16 de VHF.
- Sexta:** Promover la realización de inspecciones aleatorias sobre el arranque de las balsas salvavidas y de otros elementos de salvamento como chalecos salvavidas, aros salvavidas,....
- Séptima:** En el caso de que se exija el uso de chalecos salvavidas de trabajo (distintos de los de supervivencia), estos chalecos estarán homologados y sometidos a inspección regular.
- Octava:** Promover la instalación de indicadores de funcionamiento de las bombas de baldeo y achique.
- Novena:** Promover la instalación de alarmas indicadores de nivel de los pocetes de aguas grises del parque de pesca.
- Décima:** Realizar pruebas de estabilidad en los períodos que reglamentariamente se determinen, a lo largo de la vida útil del buque.
- Undécima:** Revisar y reprogramar todas las radiobalizas del modelo KANNAD 406 PRO GPS y similares, comercializadas en España.

Finalizado por la Comisión:

**15 de Julio de 2009**



## 5. GLOSARIO DE TÉRMINOS NÁUTICOS.

- Abatir:** Desplazarse el buque al ser empujado por el viento. Separar la proa de la dirección desde la que sopla el viento.
- Amura:** Parte del buque comprendida entre la proa y cada uno de sus costados (amura de estribor y amura de babor).
- Aleta** Parte del buque comprendida entre la popa y cada uno de sus costados (aleta de estribor y aleta de babor).
- Armador:** Persona natural o jurídica, sea o no propietaria del buque, que la explota y expide en su nombre.
- Arqueo bruto:** Véase GT
- Asiento** Diferencia entre los calados del buque en su proa y en su popa.
- Babor:** Costado izquierdo de un buque cuando, a bordo de él, miramos hacia su proa. "A babor": por extensión, todo aquello que se encuentra hacia dicho costado o más allá del mismo.
- Beaufort:** Escala para medir la velocidad del viento. Su rango se extiende entre los números 0 y 12 (0 = calma, 12 = temporal huracanado).
- Certificados:** Documentos expedidos por la Administración Marítima del Estado del pabellón de un buque o entidades autorizadas (véase "**Sociedades de Clasificación**"), que acreditan el estado y características técnicas de cada una de sus partes, equipamiento y elementos.
- Cubierta:** Elemento estructural de un buque en el sentido longitudinal y horizontal. Las cubiertas forman lo que podríamos llamar los diversos "pisos" del buque.
- Demora:** Angulo que forma la visual a un objeto con el meridiano que pasa por el buque o línea Norte-Sur.
- Derrota:** Trayectoria que sigue un buque en su navegación.
- Desplazamiento:** Peso del agua desplazada al flotar el buque. El desplazamiento es, por tanto, el peso del buque. El desplazamiento en rosca es el peso inicial del buque totalmente vacío de carga, combustibles, agua, pertrechos y demás pesos ajenos al mismo.



<b>Eslora:</b>	Medida de la longitud de un buque.
<b>Estribor:</b>	Costado derecho de un buque cuando, a bordo de él, miramos hacia su proa. "A estribor": por extensión, todo aquello que se encuentra hacia dicho costado o más allá del mismo.
<b>E.T.A.</b>	Siglas del inglés: " <i>Estimated Time of Arrival</i> ", hora de llegada prevista.
<b>GT:</b>	Siglas de <i>Gross Tonnage</i> .- Medida de la cubicación o arqueo de un buque. También llamado Tonelaje bruto o arqueo bruto.
<b>Indicativo:</b>	Conjunto de letras o de números y letras con que se identifica un buque. También llamado "Indicativo de Llamada" y "Señal Distintiva".
<b>Manga:</b>	Medida de la anchura mayor de un buque.
<b>Milla:</b>	Distancia medida sobre la mar equivalente a 1 minuto de meridiano (1.852 metros).
<b>Nudo:</b>	Unidad de velocidad, correspondiente a una milla por hora (1'85 km/h)
<b>Obra muerta:</b>	Parte del buque que aflora sobre la superficie del mar, es decir, la parte no sumergida expuesta al aire. Por el contrario, la "Obra viva" es la parte sumergida del buque.
<b>Popa:</b>	Parte trasera del buque, según el sentido de la marcha avante.
<b>Proa:</b>	Parte delantera del buque, según el sentido de la marcha avante.
<b>Puente:</b>	Habitáculo ubicado en el lugar más elevado de la superestructura del buque, en donde realiza su guardia el Oficial de Guardia, desde el cual se gobierna el buque, y en donde se encuentran los equipos, instrumentos y demás elementos necesarios para ello.
<b>Puntal:</b>	Medida de la altura de un buque, desde la quilla hasta la cubierta principal.
<b>Rumbo:</b>	Dirección a la que navega un buque. El rumbo se cuenta en grados de circunferencia, a partir del meridiano del buque (000°, o rumbo Norte), de forma que el rumbo Este es el 090°, rumbo Sur es 180° y rumbo Oeste es 270°).
<b>Rv:</b>	Rumbo verdadero. Es el ángulo que forma la derrota o trayectoria que sigue el buque con los meridianos que atraviesa.
<b>SAR</b>	Búsqueda y Salvamento. (Siglas del inglés <i>Search and Rescue</i> )



- Señal Distintiva:** Ver **Indicativo**.
- TRB:** Siglas de “Tonelaje de Registro Bruto”. Ver “**GT**”.
- UTC:** La hora UTC es la hora del meridiano de Greenwich (*Greenwich Mean Time* o GMT), también llamada hora de Tiempo Universal.
- VHF:** Acrónimo de *Very High Frequency*. Aparato de radiocomunicaciones de que utiliza la banda de Muy Alta Frecuencia. La banda marina de VHF se encuentra entre 156 MHz y 170 MHz.



**MINISTERIO  
DE FOMENTO**

*INFORME ACCIDENTE "CORDERO"*

**ANEXO I:**

**ESTUDIO SOBRE LAS CONDICIONES DE  
CLIMA MARÍTIMO EN EL TRANCURSO DE  
ACCIDENTES DE BUQUES (CEDEX)**





GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE FOMENTO

**CEDEX**

CENTRO DE ESTUDIOS  
Y EXPERIMENTACIÓN  
DE OBRAS PÚBLICAS

## **INFORME TÉCNICO**

para

**Ministerio de Fomento**

Dirección General de la Marina Mercante

# **ESTUDIO SOBRE LAS CONDICIONES DE CLIMA MARÍTIMO EN EL TRANCURSO DE ACCIDENTES DE BUQUES**

INFORME PARCIAL

TOMO ÚNICO

**BUQUE: CORDERO**

Clave CEDEX: 24-408-4-001

Madrid, abril de 2008



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE FOMENTO

**CEDEX**

CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN  
DE OBRAS PÚBLICAS

TITULO:

**ESTUDIO SOBRE LAS CONDICIONES DE CLIMA  
MARÍTIMO EN EL TRANCURSO DE  
ACCIDENTES DE BUQUES**

**BUQUE: CORDERO**

INFORME PARCIAL  
TOMO ÚNICO

CLIENTE:

**Ministerio de Fomento**  
Dirección General de la Marina Mercante

EL PRESENTE INFORME CONSTITUYE UN DOCUMENTO OFICIAL DE ESTE TRABAJO Y, DE ACUERDO CON LAS NORMAS GENERALES DEL ORGANISMO, SU ENTREGA SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTUACIONES TÉCNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

**VALIDEZ OFICIAL**

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME Y SIENDO ACORDE CON LAS CLAUSULAS DEL CONVENIO DE COLABORACION CORRESPONDIENTE, SE PROPONE AUTORIZAR SU EMISIÓN.

EL DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS  
DE PUERTOS Y COSTAS

Fdo.: José María Grassa Garrido

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

Madrid,      abril de 2008

EL DIRECTOR GENERAL DEL CEDEX

Fdo.: Ángel Aparicio Mourelo

SÓLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX) LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCIÓN GENERAL



CFORX

**ESTUDIO SOBRE LAS CONDICIONES DE CLIMA  
MARÍTIMO EN EL TRANSCURSO DE  
ACCIDENTES DE BUQUES**

**BUQUE: CORDERO**



## ÍNDICE

### 1. ANTECEDENTES Y OBJETO

### 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INFORMACIÓN ANALIZADA

- Datos sintéticos de viento y oleaje
- Datos instrumentales de oleaje

### 3. ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA

#### 3.1 Buque: Cordero

#### 3.2 Descripción de la incidencia

- a) Información registrada
- b) Resultados numéricos (puntos WANA)

### 4. CONCLUSIONES



CEDEX

## 1. ANTECEDENTES Y OBJETO

*La Dirección General de Marina Mercante se dirigió al CEDEX en fecha 24 de enero de 2008 solicitando que se analicen las condiciones de clima marítimo acaecidas en el transcurso del accidente:*

CORDERO, ocurrido entre las 01.00h a 03.00h, tiempo local, del 15 de enero de 2008, en las coordenadas 43° 49'N – 8° 31'W, a unos 340m de profundidad.

Con el fin de conocer las condiciones climáticas en el transcurso del siniestro, se ha analizado la información horaria de los parámetros más representativos del oleaje y viento en los días anterior y posterior al desarrollo de los hechos.

La evolución de los estados de mar y viento en el periodo de tiempo considerado se presenta de forma gráfica reseñándose los instantes del siniestro e incluyéndose una breve descripción de las condiciones climáticas y las conclusiones que derivan del análisis de las distintas figuras.

Asimismo, para obtener una mejor apreciación de la evolución de la situación climática del campo de oleaje y viento el día del siniestro, se incluye una tabla con los valores horarios de los parámetros de oleaje y viento registrados por los puntos de medida disponibles en la zona de estudio.



## 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INFORMACIÓN ANALIZADA

La información analizada en la zona representativa de la localización del siniestro es la siguiente:

**Datos sintéticos de viento y oleaje:** Estos datos son los resultados de un modelo atmosférico (HIRLAM), del Instituto Nacional de Meteorología (INM), y de generación de oleaje (WAM) de Puertos del Estado (PE), respectivamente. El primero, alimentado por el campo de presiones, produce el campo de vientos a partir del cual se obtiene el campo de oleaje asociado en distintos puntos de malla que cubren toda la costa española.

Los parámetros representativos considerados de cada uno de los procesos físicos mencionados son:

### VIENTO

- Velocidad media (V) referida a 10m de altura: (m/s)
- Dirección media de procedencia del Viento: (grados)

### OLEAJE:

#### a) Oleaje Compuesto (sea+swell)

- Altura de ola significativa espectral ( $H_s$ ): Representativa del contenido energético de un estado de mar (m).
- Periodo medio espectral ( $T_{m02}$ ). Periodo calculado a partir del espectro como la relación entre los momentos de orden cero y dos. Es equivalente al periodo medio estadístico (s)
- Periodo de pico ( $T_p$ ). Periodo asociado a la máxima densidad de energía del espectro (s)
- Dirección media de procedencia del espectro de oleaje (Dm-OL). Representativa de la dirección de propagación del conjunto de frecuencias contenidas en un estado de mar concreto caracterizado por una  $H_s$  y un  $T_p$ : (grados)

#### b) Oleaje de fondo (swell)

-Mismos parámetros que en el oleaje compuesto salvo el periodo de pico que es único.

#### b) Oleaje de viento (sea)

-Mismos parámetros que en el oleaje compuesto salvo el periodo medio que no se calcula.

La principal limitación de estos datos en mar abierto es que el campo de vientos no es capaz de reproducir procesos con escala temporal inferior a 6 horas siendo, en general, más fiables los vientos procedentes de alta mar.

Zonas en las que, por sus características, hay que tener cautela con su utilización son:

- En el Estrecho de Gibraltar no se reproducen bien los oleajes propagados de una cuenca a otra.
- En el Norte de la Costa Catalana y Golfo de León pueden sobreestimarse las velocidades de viento y las alturas de ola en situaciones de temporal muy extremo. En estos casos es aconsejable no eliminar los datos sobreestimados, sino cotejar la magnitud aproximada del temporal con datos instrumentales de la zona.
- En el Sur del Archipiélago Canario pueden no reproducirse bien condiciones procedentes del Sur Oeste



**Datos instrumentales de Oleaje:** Esta información procede de las boyas de medida de oleaje de Estaca y Villano, pertenecientes a la Red Exterior (RE) de PE.

En este caso, los parámetros considerados son los siguientes:  
(Boya Langosteira y Cabo Prior Chico)

*Oleaje:*

- Altura de ola significativa espectral ( $H_{m0}$ ): Ídem a la  $H_s$  numérica: (m)
- Periodo medio espectral ( $T_{m02}$ ) Ídem al  $T_{m02}$  numérico: (s)
- Periodo de pico ( $T_p$ ). Ídem al  $T_p$  numérico : (s)
- Dirección media de procedencia del oleaje (Dmd). Análoga a la numérica (grados)
- Dirección media de procedencia del pico del espectro (Dmd\_p)
- Velocidad media de la corriente (Vc\_md) (m/s)
- Dirección media de avance de la corriente /Dc\_md)
- Velocidad media del viento (Vv\_md) (m/s)
- Dirección media procedencia del viento (Dv\_md)

Todos los datos se encuentran referidos al tiempo del meridiano de Greenwich, (GMT=Grenwich Meridian Time) que, para el mes de febrero, es una hora menos que la local.

### 3. ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA.

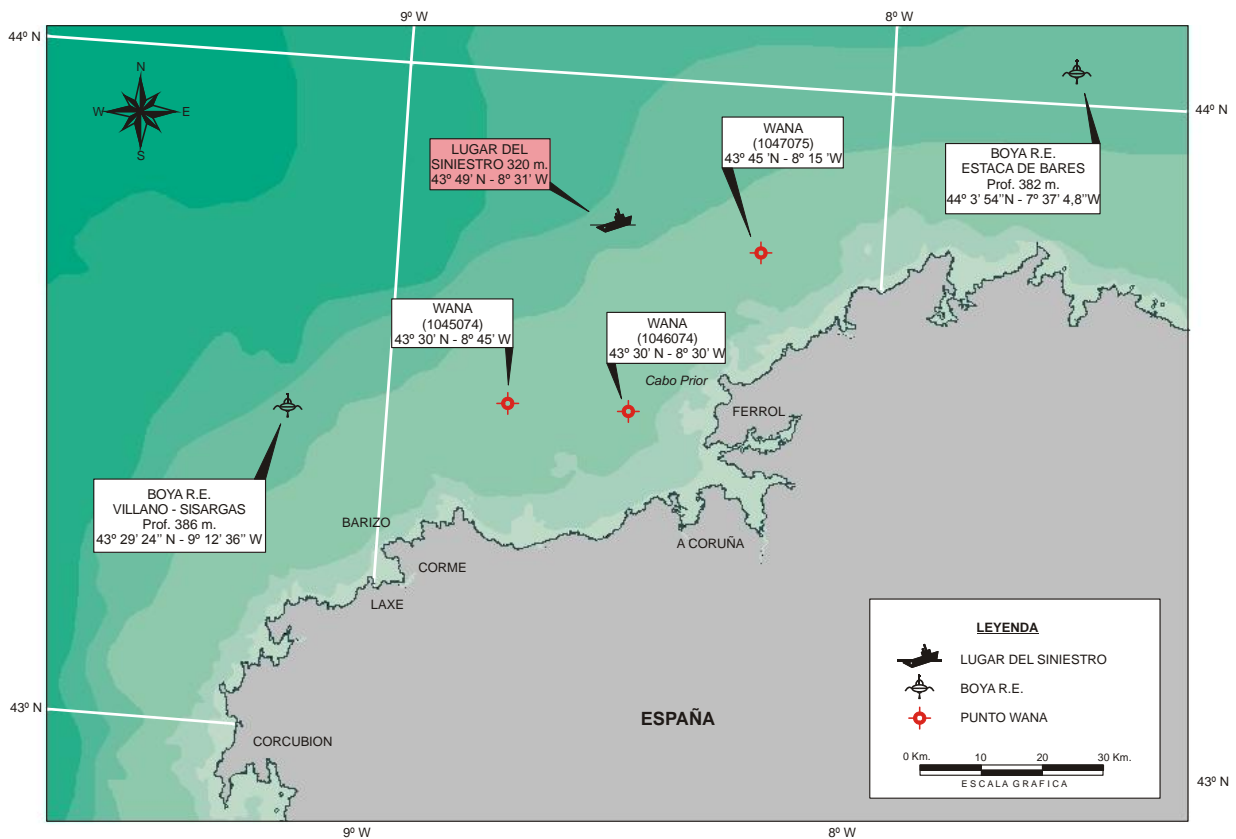
#### 3.1 BUQUE: CORDERO

Posición:  $43^{\circ} 49' N - 8^{\circ} 31' W$ , (figura 3.1)

Fecha Siniestro: 15 de enero de 2008 entre las 01.00h – 03.00h, hora local.

La información analizada y su localización se recogen en la figura 3.1 en la que se incluye la posición aproximada del buque en el momento del siniestro.

Con objeto de obtener una idea general de la situación climática el día de la incidencia, se han elaborado, para cada una de las fuentes de información, la evolución continua de los parámetros de oleaje, y en su caso viento, en el entorno próximo al 15 de enero de 2008. Dicha evolución se recoge en las figuras 3.2(a-d), 3.3(a-b), y 3.4(a-b), para las medidas de oleaje, viento y corrientes respectivamente, y en las 3.5(a-i) y 3.6(a-b) para los oleajes y vientos sintéticos obtenidos en mar profunda en los puntos de malla más representativos. Para facilitar la interpretación, en todas las gráficas se señalan las horas críticas.



**Figura 3.1 Localización de la información analizada.  
Posición del Buque Cordero  
15 de enero de 2008**





### 3.2 DESCRIPCIÓN DE LA INCIDENCIA

#### a) Información registrada

La evolución de los estados de mar registrados en el transcurso del siniestro en los puntos de medida más representativos, situados al NE y SW de la zona donde transcurrió el accidente, se recogen en las figuras 3.2a a 3.2d. Dicha evolución refleja, que en los instantes del accidente, las alturas de ola significantes máximas registradas en ambos puntos, no superaron los 5m.

Con relación a los periodos, los periodos medios del espectro oscilaron en torno a los 7.5s y los correspondientes de pico entre los 14.5s, registrados en la Estaca, y los 13.0s en el punto de Villano.

La dirección media asociada al pico del espectro del oleaje en ambos puntos de información es de  $\approx 290^\circ$ , y la correspondiente dirección media del espectro completo en el punto de La Estaca (Villano no tiene datos), es de  $\approx 280^\circ$ .

Para la fachada noratlántica ni las alturas de ola, ni los periodos y peraltes o pendientes de la ola registrados en los instantes de interés, responden a condiciones extremas.

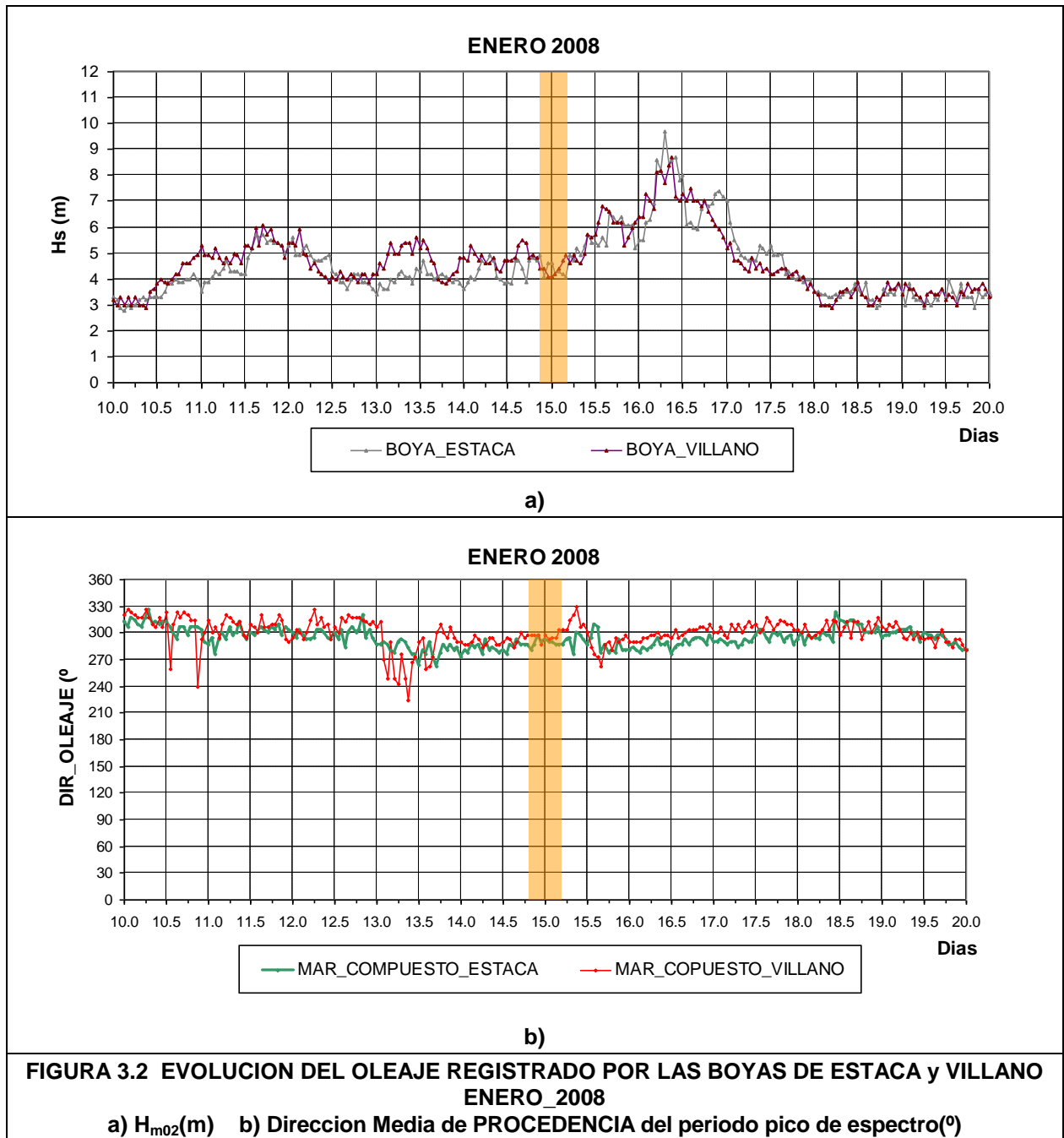
Los valores numéricos de todos los parámetros integrados procesados en el propio sistema de información, se recogen en la tabla 3.1 y 3.2, para las boyas localizadas en Estaca y Villano, señalándose en ambos casos con una trama los instantes representativos.

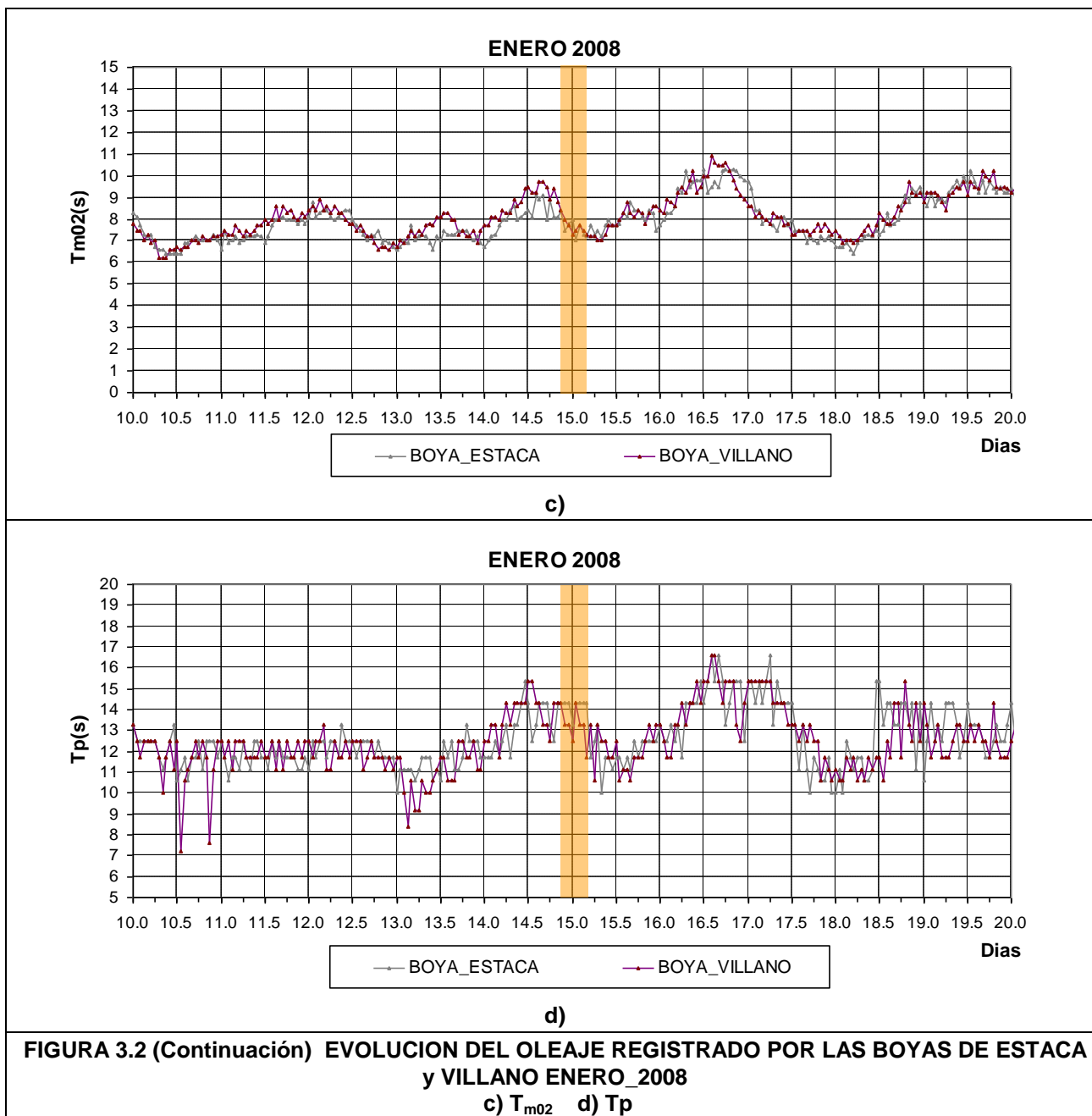
Con relación al viento, la intensidad máxima registrada en el punto de la Estaca es de 15m/s, y de 14m/s en Villano. Dichas velocidades se encuentran referidas a 3m de altura y se corresponden con un periodo de medición de 10 minutos. La correspondiente velocidad de referencia,  $V_b$ , referida a 10m de altura y al mismo periodo de medición, es, de acuerdo a los coeficientes de altura recogidos en la ROM-04 (1995-Vientos):

$$V_b = V_{3m} / F_A = 15.0 / 0.82 \approx 18.0 \text{ m/s} \approx 64 \text{ km/h} \approx 35.0 \text{ nudos}$$

La dirección de procedencia del campo de vientos en el periodo analizado oscila en torno a los  $230^\circ$ .

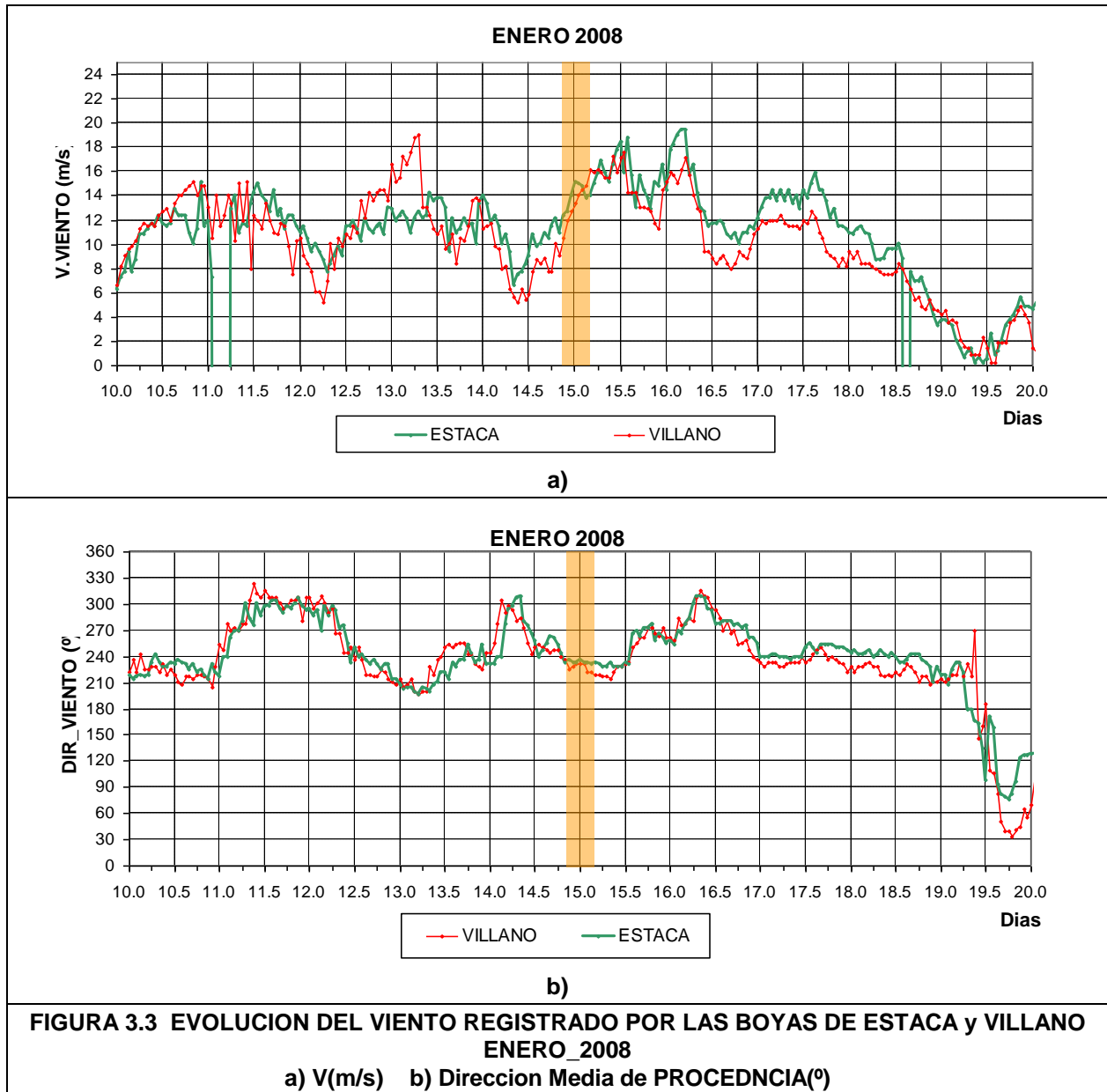
Referente a las corrientes, las máximas intensidades fueron de 20cm/s en Villano, y 39cm/s en el punto de La Estaca, lo que traducido a nudos arroja un valor de  $\approx 0.8$  nudos en el punto de Estaca. La dirección de avance de esta corriente en ambos puntos, estuvo en torno a los  $90^\circ$ .

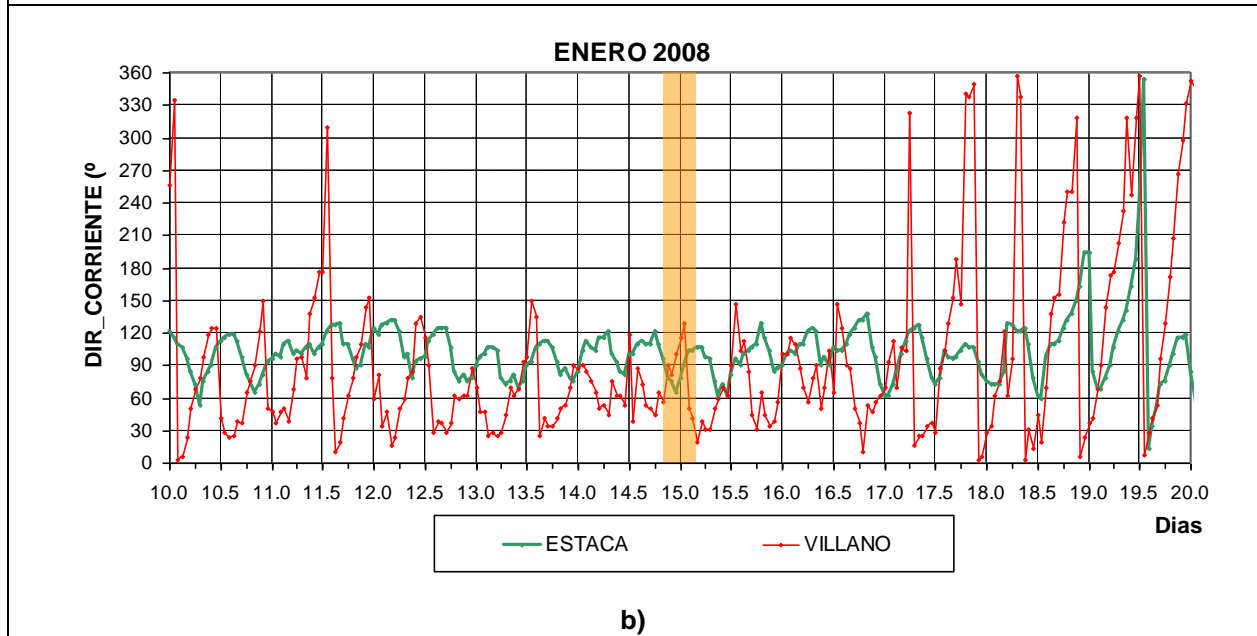
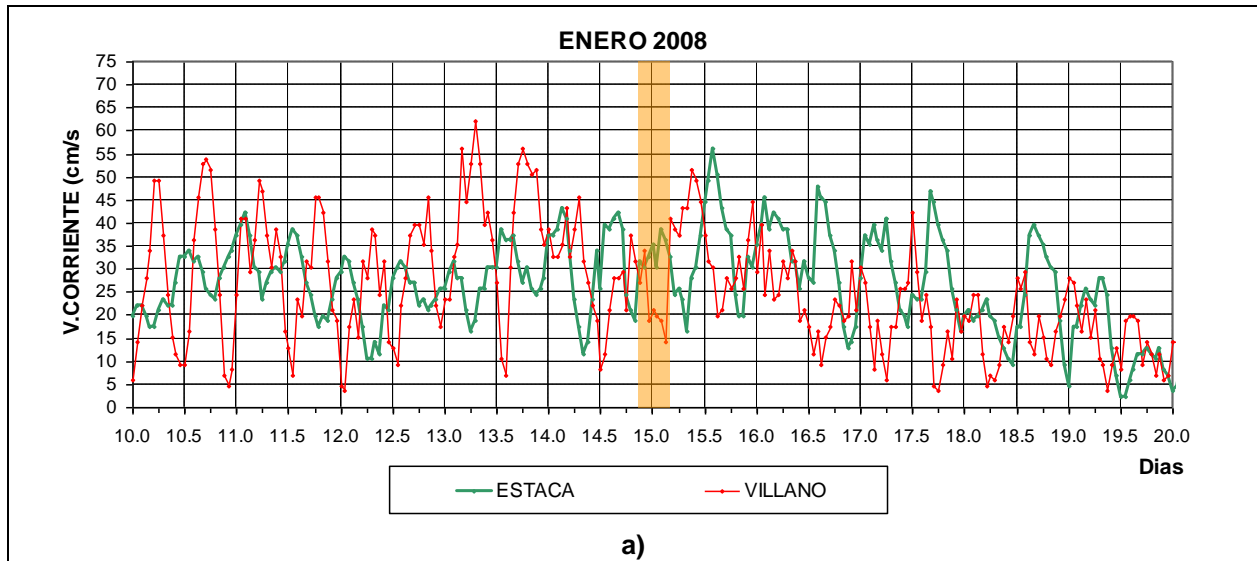






CFOEX





**FIGURA 3.4 EVOLUCION DE LAS CORRIENTES REGISTRADAS POR LAS BOYAS DE ESTACA y VILLANO ENERO\_2008**  
a) V(cm/s) b) Direccion Media de AVANCE(°)



**Tabla 3.1. Evolución horaria del campo de oleaje registrado por la boya de Estaca (RE)**

AÑO	MES	DIA	HORA	Hm0	Tm02	Tp	Dmd	Dmd_P	Vc_md	Dc_md	Vv_md	Dv_md
2008	1	14	15	4.7	8.9	14.3	278	284	41	113	10.1	256
2008	1	14	16	4.4	9.1	14.3	282	293	42.2	110	11	264
2008	1	14	17	3.9	8	14.3	277	287	38.7	110	10.5	262
2008	1	14	18	4.7	8.9	13.3	280	287	24.6	121	11.5	253
2008	1	14	19	4.8	8.1	12.5	279	287	21.1	110	12.2	245
2008	1	14	20	4.7	8.1	14.3	280	281	18.8	96	11	233
2008	1	14	21	4.9	8.4	14.3	281	287	31.6	79	12.4	236
2008	1	14	22	4.1	7.5	14.3	287	298	30.5	76	12.7	233
2008	1	14	23	4.6	7.8	14.3	283	290	32.8	65	14.1	233
2008	1	15	0	4.6	8	13.3	282	293	35.2	79	15.2	236
2008	1	15	1	4.2	7	14.3	276	290	30.5	90	15	233
2008	1	15	2	4.3	7.7	14.3	274	290	38.7	104	14.8	233
2008	1	15	3	4.2	7.3	14.3	272	287	36.3	104	13.8	231
2008	1	15	4	4.1	7.2	14.3	267	287	32.8	107	14.1	233
2008	1	15	5	4.9	7.7	11.7	265	287	24.6	107	15	231
2008	1	15	6	4.7	7.3	12.5	271	293	25.8	98	15.9	228
2008	1	15	7	5.2	7.5	13.3	269	295	23.4	96	16.9	228
2008	1	15	8	4.9	7.2	10	271	276	16.4	76	15.9	233
2008	1	15	9	5.3	7.7	11.7	273	301	28.1	62	15.2	228
2008	1	15	10	5.7	8	11.7	276	298	30.5	73	16.6	228
2008	1	15	11	5.4	7.7	11.1	277	293	37.5	62	17.8	228
2008	1	15	12	5.4	7.7	11.7	273	287	44.5	82	18.5	233
2008	1	15	13	5.3	7.8	11.7	276	295	49.2	96	15.9	231
2008	1	15	14	5.6	8.3	11.1	288	309	56.3	90	18.8	267
2008	1	15	15	5.3	8.1	11.7	279	307	50.4	101	15.7	270



**Tabla 3.1. Evolución horaria del campo de oleaje registrado por la boya de Villano (RE)**

AÑO	MES	DIA	HORA	Hm0	Tm02	Tp	Dmd	Dmd_P	Vc_md	Dc_md	Vv_md	Dv_md
2008	1	14	15	5.3	9.7	14.3		293	21.1	87	8.7	250
2008	1	14	16	5.5	9.7	13.3		284	28.1	73	8.4	248
2008	1	14	17	5.4	9.5	13.3		290	28.1	53	8.9	245
2008	1	14	18	4.8	8.9	12.5		301	29.3	51	7.7	248
2008	1	14	19	4.9	9.4	14.3		295	21.1	45	7.7	248
2008	1	14	20	4.8	8.8	14.3		298	37.5	65	10.1	239
2008	1	14	21	4.4	8.4	14.3		298	31.6	56	9.1	236
2008	1	14	22	4.4	8	13.3		298	27	90	10.5	225
2008	1	14	23	4.1	7.7	13.3		298	34	82	12	228
2008	1	15	0	4.1	7.3	12.5		287	18.8	101	12.7	231
2008	1	15	1	4.2	7.5	14.3		298	21.1	115	13.4	231
2008	1	15	2	4.4	7.7	13.3		293	19.9	129	14.1	231
2008	1	15	3	4.7	7.5	13.3		295	18.8	51	14.5	222
2008	1	15	4	4.9	7.3	11.7		295	14.1	42	14.8	222
2008	1	15	5	4.6	7.2	13.3		304	41	20	16.2	219
2008	1	15	6	4.9	7.2	10.6		304	38.7	39	15.9	219
2008	1	15	7	4.7	7	13.3		304	37.5	31	16.2	217
2008	1	15	8	4.6	7	12.5		315	43.4	31	15.9	217
2008	1	15	9	5	7.3	12.5		321	43.4	51	15.5	214
2008	1	15	10	5.7	7.7	11.7		329	51.6	59	15.5	222
2008	1	15	11	5.6	7.7	11.7		307	49.2	70	17.3	228
2008	1	15	12	5.7	7.7	12.5		309	44.5	62	15.9	228
2008	1	15	13	6.2	8	10.6		301	37.5	90	17.1	231
2008	1	15	14	6.8	8.3	11.1		284	31.6	146	17.6	233
2008	1	15	15	6.7	8.8	11.1		276	30.5	104	14.3	250



*b) Resultados numéricos (puntos WANA)*

La fuente de datos sintéticos de los puntos de malla WANA ofrece una información más completa del campo de oleaje que la que transmiten, en tiempo real, las boyas de medida. La limitación fundamental es que son resultados y no medidas, y que el campo de oleaje suministrado corresponde a un promedio de 3h. En cualquier caso, para condiciones no excesivamente extremas, reproducen de forma muy realista las alturas de ola, la intensidad del viento y las direcciones asociadas.

El análisis de esta información, que se recoge gráficamente en las figuras 3.4a a 3.4j, para los parámetros asociados al oleaje, y en la 3.5a/b para los referentes al campo de vientos, ponen de relieve el siguiente comportamiento.

La evolución de las alturas de ola significativas asociadas al oleaje compuesto son ligeramente inferiores a las registradas en los puntos de medida, no superándose, en el periodo analizado, los 4m (figura 3.5a). Con relación a los periodos, el periodo medio del espectro es del orden de 7s, y los de pico oscilaron entre los 13s-14s. La dirección media asociada al frente de olas coincide con la registrada en la Estaca ( $\approx 280^\circ$ ). Tal situación tampoco es representativa de condición extrema.

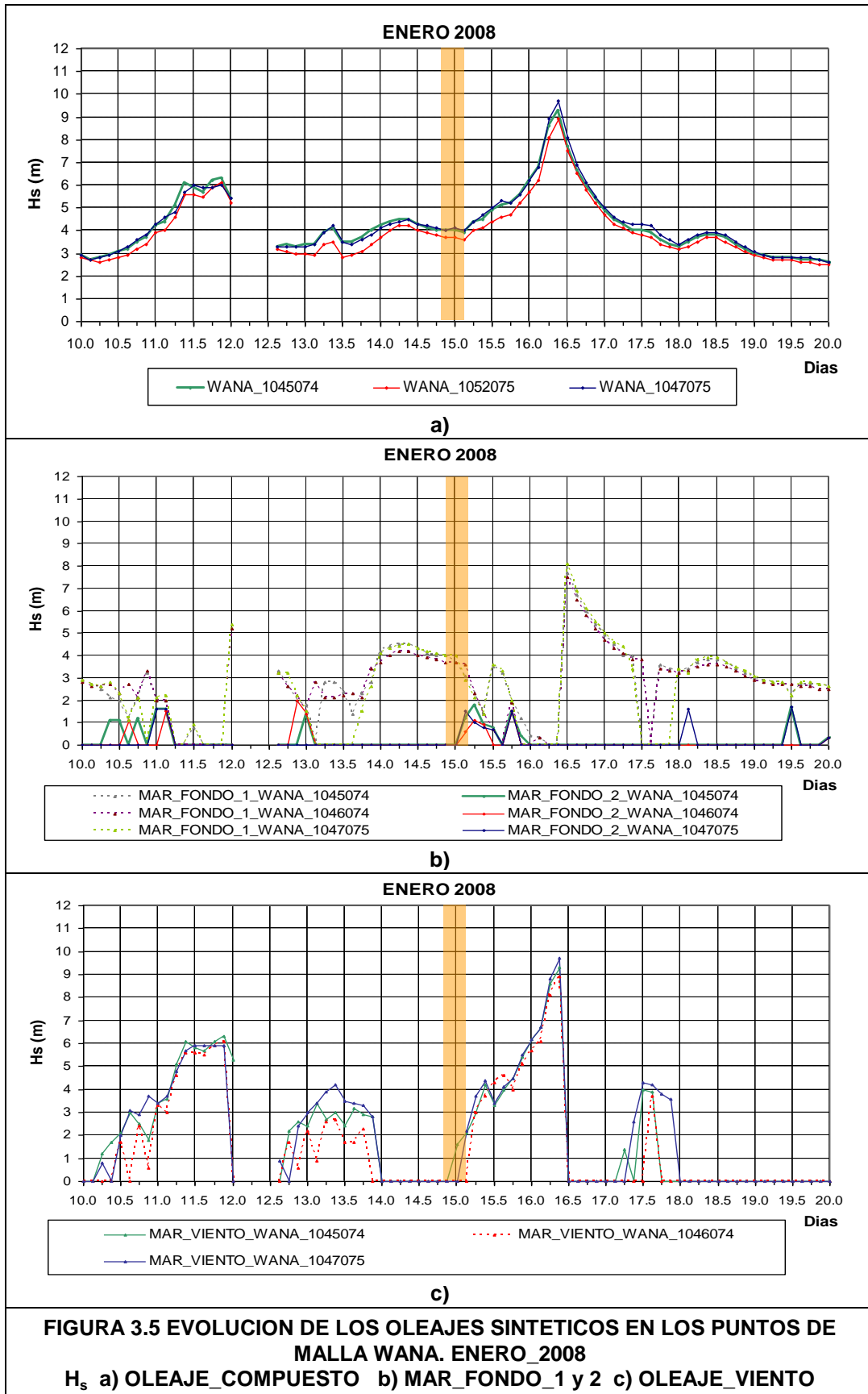
Sin embargo, un hecho destacable se aprecia en la descomposición frecuencial del espectro en las bajas y altas frecuencias. Dicha descomposición, que se recoge en las figuras 3.5b/c, para las alturas de ola, 3.5f, para el periodo medio, y 3.5h/j para las direcciones asociadas, reflejan la súbita aparición de un mar de viento procedente del WSW ( $\approx 240^\circ$ ). Esta aportación de energía al espectro coincide con la pérdida de entidad del referido en la información sintética como mar de fondo\_1, de dirección W ( $\approx 280^\circ$ ), y la aparición de otro mar de fondo, referido como mar de fondo\_2, que procede del NNW ( $\approx 330^\circ$ ).

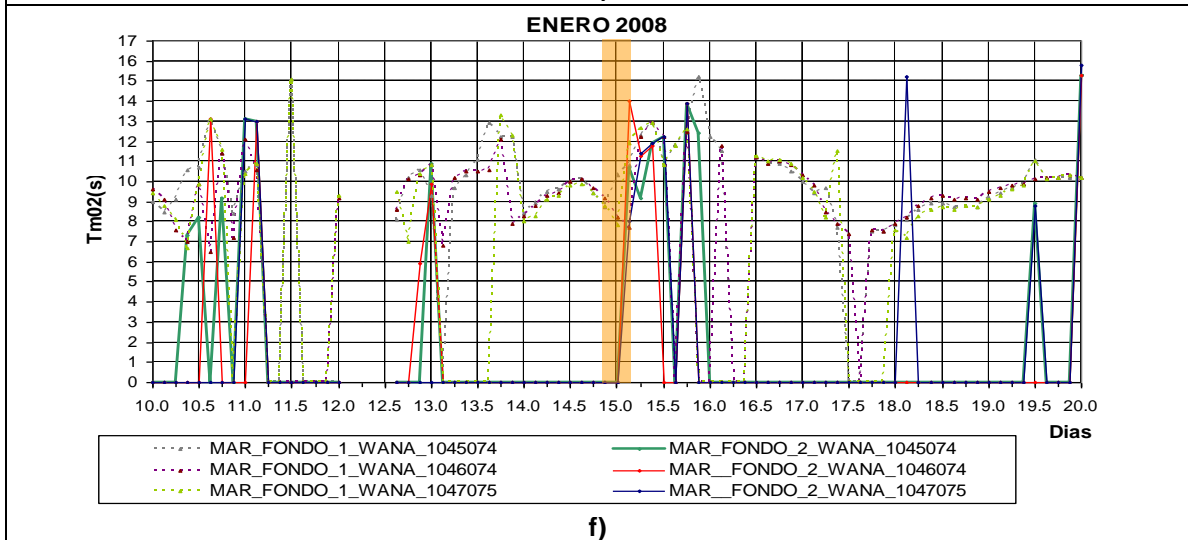
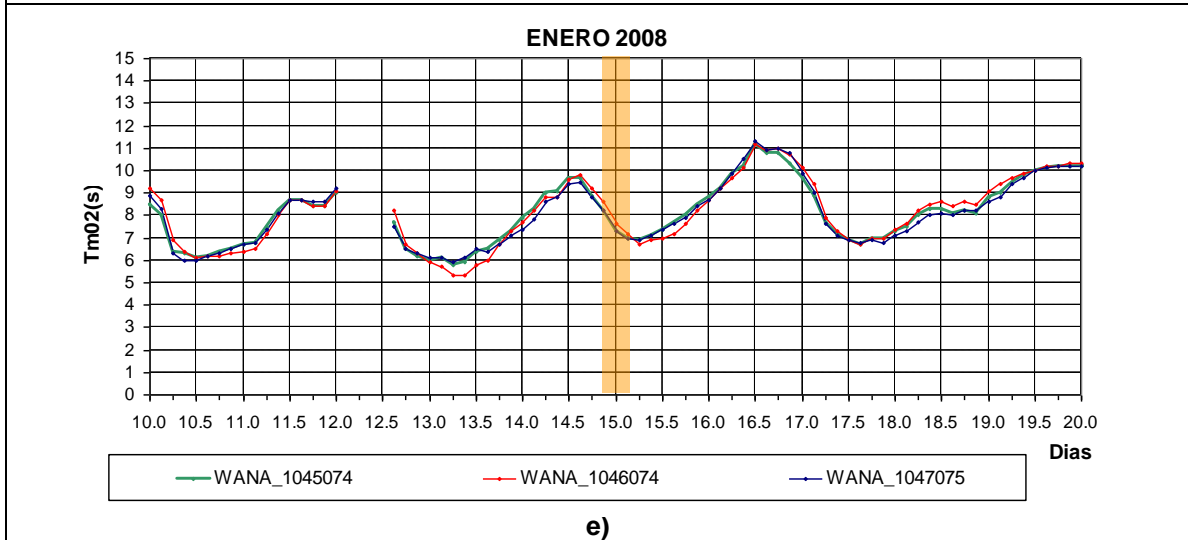
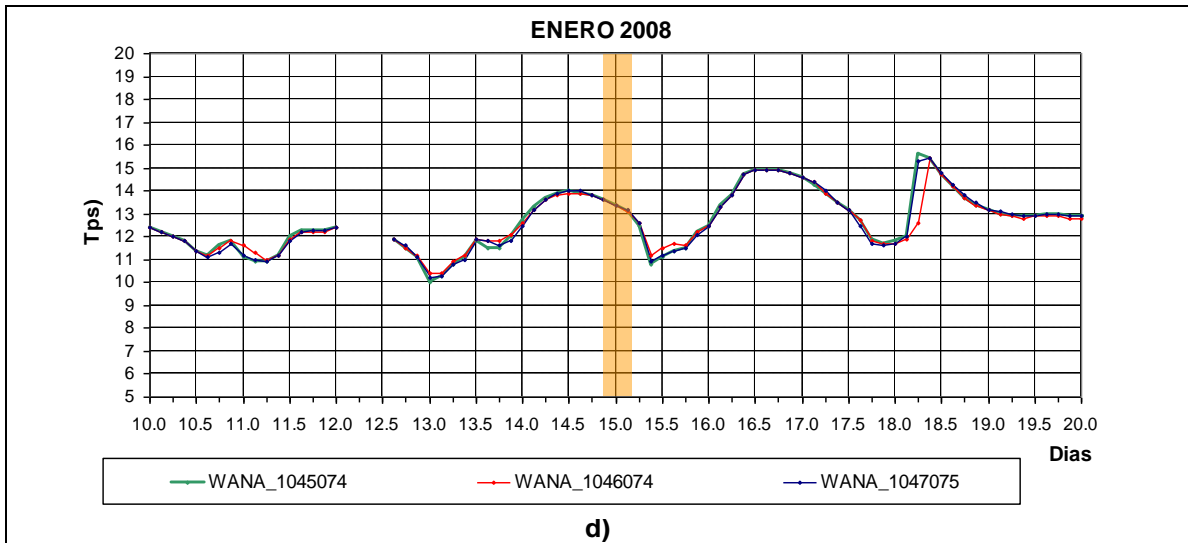
Las alturas significativas asociadas a cada parte del espectro variaron, en las componentes de las altas frecuencias, entre 0m, en los primeros instantes, a casi 2m en los instantes finales (figura 3.5c). Las correspondientes al mar de fondo\_1 pasaron de los 4m a, aproximadamente 2m, y las correspondientes al mar de fondo\_2, alcanzaron 1m de altura.

Los periodos medios asociados a ambas componentes oscilaron entre 12s y 14s (figura 3.5f).

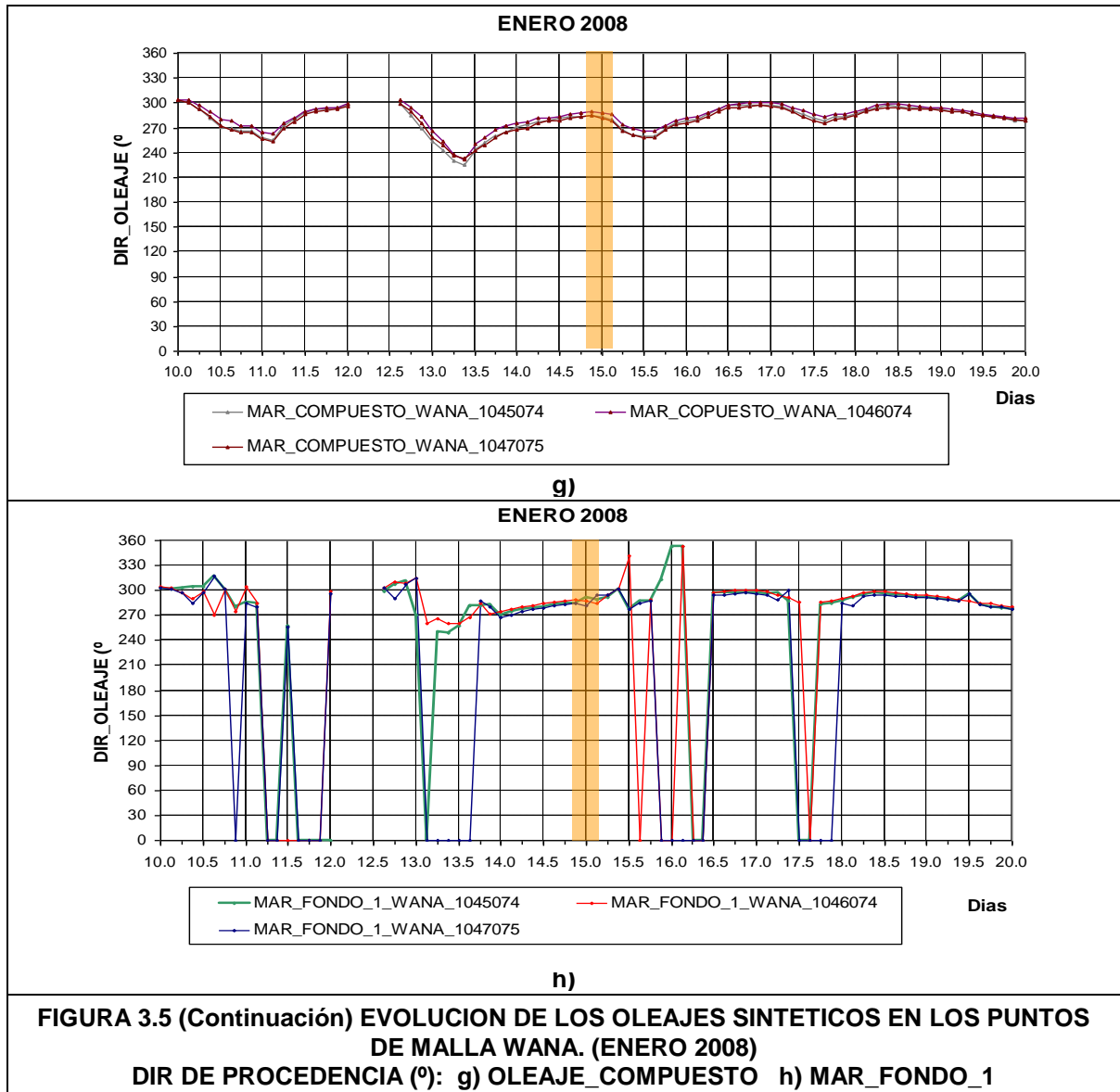
Con relación al campo de vientos, las intensidades máximas obtenidas en los instantes representativos, referidas a 10m de altura y a un promedio temporal de 10min, coinciden con las medidas (17m/s,  $\approx 61$ km/h,  $\approx 33$  nudos). Tales intensidades no son relevantes, aunque sí lo es el aumento súbito de casi 25km/h en los instantes en que transcurrieron los hechos. La dirección asociada a esta súbita variación de intensidad se mantuvo en torno a  $210^\circ$ .

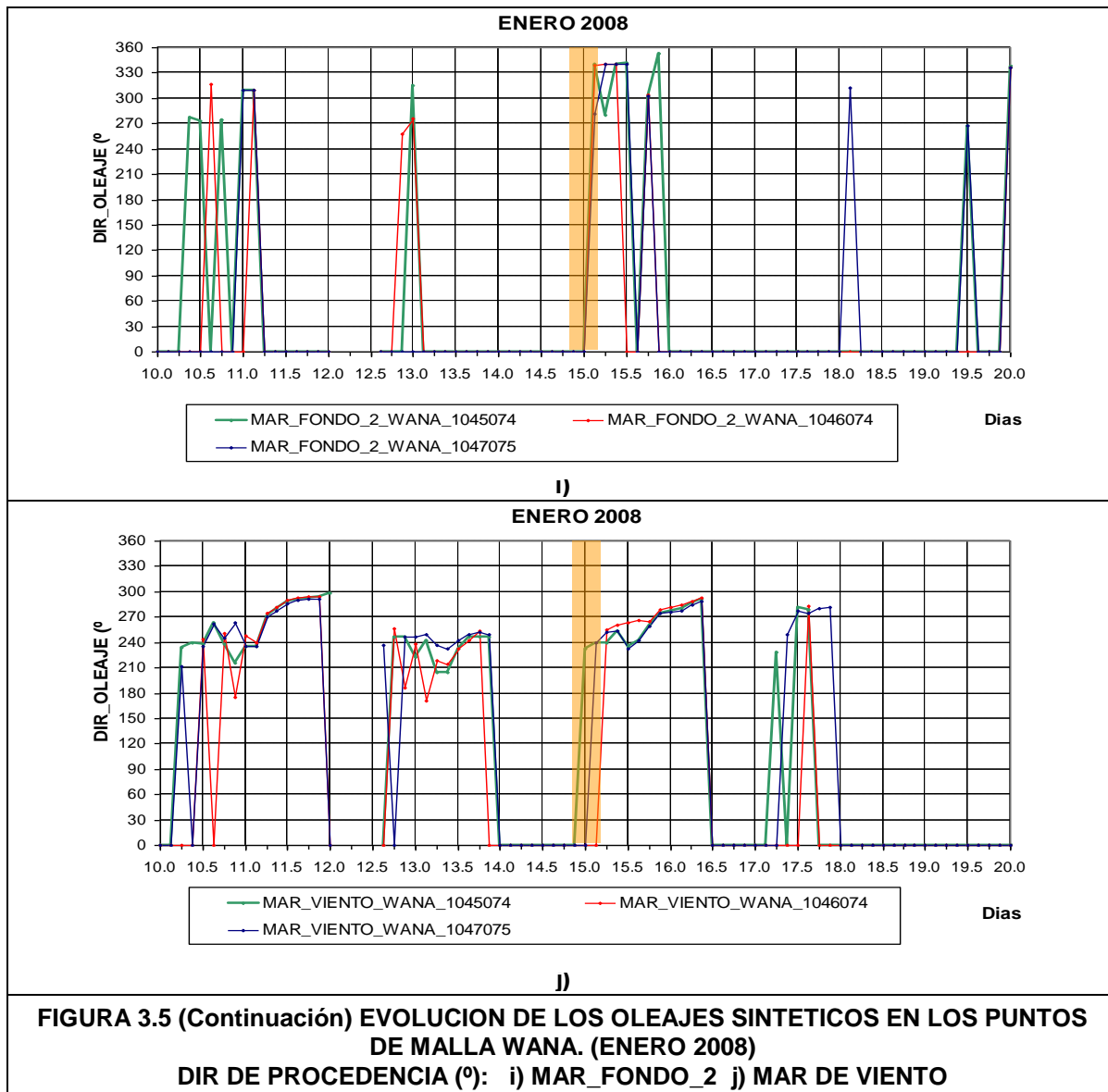


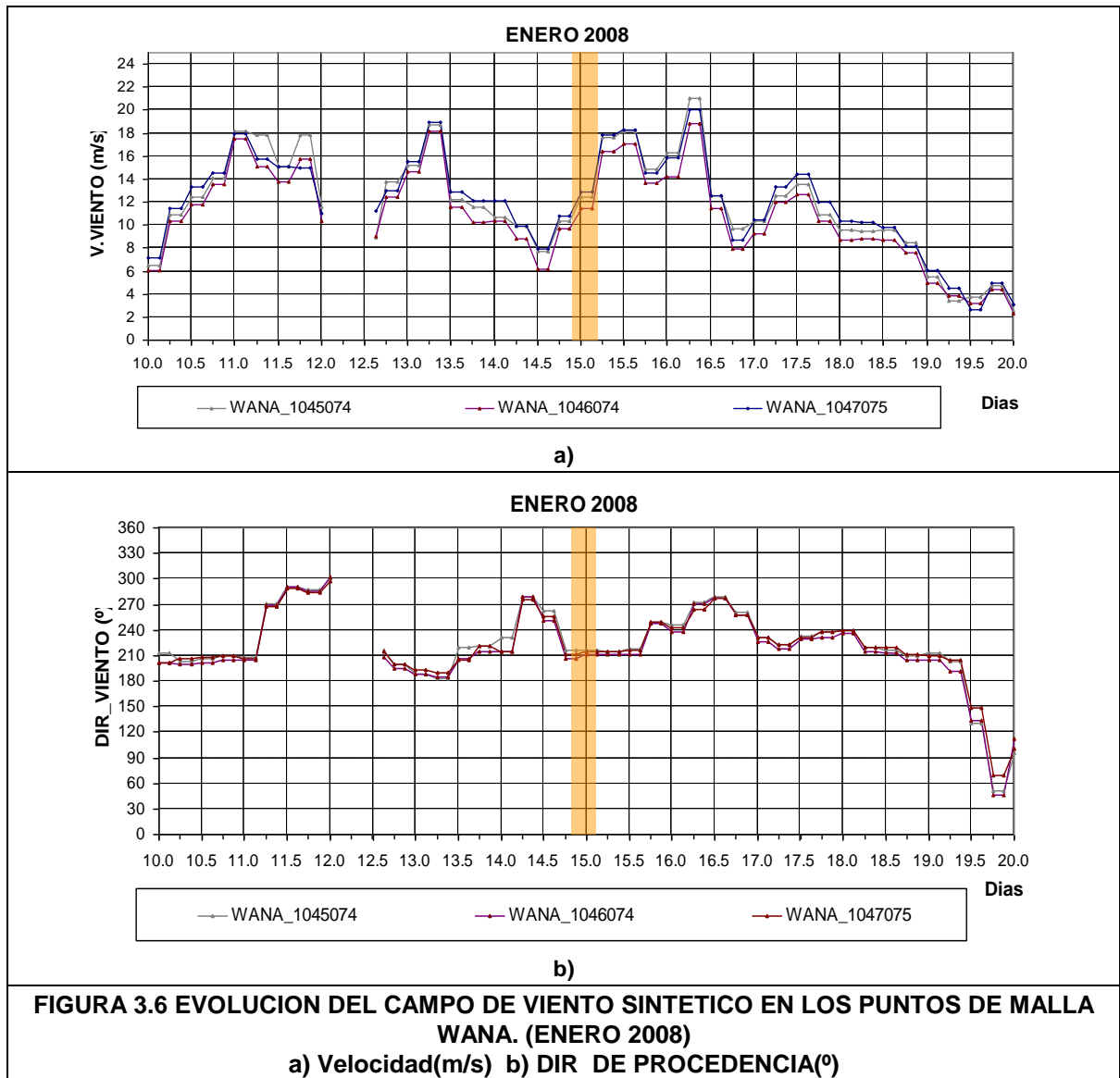




**FIGURA 3.5 (Continuación) EVOLUCION DE LOS OLEAJES SINTETICOS EN LOS PUNTOS DE MALLA WANA. (ENERO\_2008)**  
 d)  $T_p$  OLEAJE\_COMPUESTO e)  $T_{m02}$  OLEAJE\_COMPUESTO f)  $T_{m02}$  MAR DE\_FONDO\_1 y 2









#### 4. CONCLUSIONES

Del análisis de toda la información disponible cabe destacar las siguientes conclusiones:

- Las intensidades del oleaje y viento existentes en el instante del siniestro no responden a situaciones extremas.
- El aspecto más destacable en los instantes en que transcurrieron los hechos, es la variación del contenido energético del oleaje de las bajas a las altas frecuencias. Dicha variación refleja la súbita aparición de un mar de viento, procedente del WSW ( $\approx 240^\circ$ ), que coincide con la pérdida de entidad del mar de fondo de dirección W ( $290^\circ$ ), y la aparición de otro mar de fondo con dirección media de avance  $330^\circ$  (NNW). Para las alturas de ola existentes en el instante del siniestro, esta situación de oleajes cruzados, puede resultar peligrosa, o dificultar el gobierno del buque, y producir, en determinados puntos, un aumento de la altura de ola. Sin embargo, ni el ángulo de interacción de ambas componentes ni los peraltes asociados son propicios, en los puntos de información analizados, para la generación de lo que técnicamente se conoce como olas gigantes o *freak waves*.
- Otra situación a tener en cuenta es el aumento de la intensidad del viento en los instantes en que acaecieron los hechos. Sin embargo, las velocidades alcanzadas no fueron relevantes y su dirección de actuación permaneció prácticamente constante.



CEPYC

Madrid, abril de 2008

DIRECTORA DEL PROYECTO

Fdo.: D<sup>a</sup>. M<sup>a</sup> Jesús Martín Soldevilla  
Dra. En Ciencias Químicas  
Jefa del Área de Estudios Portuarios

V<sup>o</sup>. B<sup>o</sup>.

Fdo.: José M<sup>a</sup> Grassa Garrido  
Director del CEPYC



**MINISTERIO  
DE FOMENTO**

*INFORME ACCIDENTE "CORDERO"*

**ANEXO II:**

**ENSAYOS BUQUE PESQUERO  
"CORDERO" (CEHIPAR)**

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PARA  
LA INVESTIGACIÓN DEL HUNDIMIENTO**





## **CANAL DE EXPERIENCIAS HIDRODINÁMICAS**

### **ENSAYOS BUQUE PESQUERO “CORDERO”**

### **RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PARA LA INVESTIGACIÓN DEL HUNDIMIENTO**



#### **ENSAYOS BUQUE PESQUERO “CORDERO”**

**OTI: 2281 Carena: 2793**

**Ref.: 2281\_200409\_ENSAYOS HUNDIMIENTO**

**CLIENTE: Comisión Permanente de Investigación de  
Siniestros Marítimos – Dirección General de la  
Marina Mercante (DGMM)**

**FECHA: Madrid, 20 de Abril de 2009**

PÁGINA  
INTENCIONADAMENTE  
EN  
BLANCO

---

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DEL BUQUE PESQUERO "CORDERO"****Realizado por:**

**CANAL DE EXPERIENCIAS HIDRODINÁMICAS DE EL PARDO  
(CEHIPAR )  
E-28048 EL PARDO  
MADRID (SPAIN)  
Tel.: + 34.91.376.21.00  
Fax: + 34.91.376.01.76  
E-mail: [ceh.mail@cehipar.es](mailto:ceh.mail@cehipar.es); [eloy@cehipar.es](mailto:eloy@cehipar.es)  
Web: [www.cehipar.es](http://www.cehipar.es)**

**en:**

**Laboratorio de Dinámica del Buque  
Semanas 3 a 7 año 2009**

**Contratado por:**

**Comisión Permanente de Investigación de Siniestros Marítimos  
Dirección General de la Marina Mercante (DGMM)  
  
C/ Ruiz de Alarcón nº 1  
28071 Madrid  
  
Att.: D. Luis Melguizo**

**Informado por:**

**Adolfo Marón Loureiro  
Jefe del Área de Investigación**

**Eloy J. Carrillo Hontoria  
Jefe de la Unidad de Ensayos No Convencionales  
Área de Tecnología y Desarrollo**

**Aprobado por:**

**José Manuel Sevilla López  
Director del CEHIPAR**

**El presente informe consta de un (1) volumen de sesenta y dos (62) páginas y dos (2) DVD.**

PÁGINA  
INTENCIONADAMENTE  
EN  
BLANCO

## TABLA DE CONTENIDOS

DATOS DEL INFORME.....	3
CONTROL REVISIONES DE DOCUMENTACIÓN .....	5
TABLA DE CONTENIDOS .....	7
1. Introducción .....	11
2. Documentación aportada por la CPISM-DGMM.....	12
3. Preparación del modelo.....	14
3.1 Definición de la carena. Construcción del modelo .....	14
3.2 Pesos estimados en el buque en el momento del naufragio/hundimiento .....	18
3.3 Situaciones de carga estimadas en el momento del naufragio/hundimiento.....	19
3.4 Situaciones de carga consideradas a estudio.....	23
3.5 Resumen de las situaciones de carga consideradas a estudio.....	23
3.6 Radios de inercia del buque/modelo .....	25
4. Hipótesis del naufragio/hundimiento.....	26
5. Preparación de los ensayos .....	28
5.1 Laboratorio de Dinámica del Buque.....	28
5.2 Oleaje utilizado en los ensayos.....	28
5.3 Duración de los ensayos, velocidad y rumbos ensayados.....	33
6. Magnitudes medidas .....	35
7. Metodología de ensayos. Fases ensayadas .....	36
8. Resultados de los ensayos.....	37
8.1 Justificación de las fases seleccionadas. Resultados cualitativos de las mismas.....	37
8.2 Análisis estadísticos de los resultados medidos .....	44
9. Conclusiones .....	51
Apéndice A: Descripción de las instalaciones del Laboratorio de Dinámica del Buque del CEHIPAR.....	55
Apéndice B: Importancia de los ensayos con modelos de hundimientos en canales de experiencias hidrodinámicas. Bibliografía.....	59

### LISTA DE TABLAS

<i>Tabla – I: Características principales del buque y modelo.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla – II: Supuestos de carga a estudiar.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla – III: Supuesto de carga 1 para ensayo.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla – IV: Supuesto de carga 2 para ensayo.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla – V: Supuesto de carga 3 para ensayo.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla – VI: Supuesto de carga 4 para ensayo.....</i>	<i>21</i>

Tabla – VII:	Resumen de situaciones de carga consideradas a estudio.....	22
Tabla – VIII:	Criterios de estabilidad RD 534/2007.....	23
Tabla – IX:	Comprobación de los Criterios de estabilidad según RD 534/2007 en los supuestos de carga considerados a estudio.....	24
Tabla – X:	Radios de inercia del buque/modelo.....	25
Tabla – XI:	Estado de mar ensayado.....	28
Tabla – XII:	Olas regulares ensayadas.....	28
Tabla – XIII:	Estadísticas de Hz/Tz en %, obtenidas por simulación a partir del espectro del mar estimado. Los valores están agrupados en casillas de 0.5 m por 0.5 s.....	30
Tabla - XIV:	Probabilidad de ocurrencia de una ola con una combinación Hz/Tz dada (en %). Mar de popa.....	31
Tabla - XV:	Probabilidad de ocurrencia de una ola con una combinación Hz/Tz dada (en %). Mar de aleta.....	31
Tabla - XVI:	Probabilidad de ocurrencia de una ola con una combinación Hz/Tz dada (en %). Mar de través.....	31
Tabla – XVII:	Factores de escala.....	35
Tabla - XVIII:	Fases ensayadas.....	36
Tabla - XIX:	Fase de ensayos con agua sobre cubierta: volumen de agua embarcada.....	40
Tabla - XX:	Fase de ensayos con agua sobre cubierta: altura de agua embarcada.....	41
Tabla - XXI:	Estadísticas balance y cabeceo. Fase 1. Ola irregular y regulares.....	45
Tabla - XXII:	Estadísticas balance y cabeceo. Fase 2. Ola irregular y regulares.....	46
Tabla - XXIII:	Estadísticas balance y cabeceo. Fase 4. Ola irregular y regulares.....	47
Tabla - XXIV:	Estadísticas balance y cabeceo. Fase 4b. Ola irregular y regulares.....	48
Tabla - XXV:	Estadísticas balance y cabeceo. Fase 6. Ola irregular y regulares.....	49
Tabla - XXVI:	Estadísticas balance y cabeceo. Fase 7. Ola irregular y regulares.....	50
Tabla - XXVII:	Estadísticas balance y cabeceo. Fase 8. Ola irregular y regulares.....	50
Tabla - XXVIII:	Estadísticas balance y cabeceo. Fase 9. Ola irregular y regulares.....	50
Tabla - XXIX:	Estadísticas balance y cabeceo. Fase 10. Ola irregular y regulares.....	50

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1:	Laminado de la cubierta del parque de pesca.....	15
Figura 2:	Escotillas estanca de acceso al interior del modelo (cubiertas superior y parque pesca).....	15
Figura 3:	Vista del modelo desde ambas bandas durante la fase de pintado, pudiendo observarse la distribución de falucheras, quillote, talón de codaste y bocina.....	16
Figura 4:	Detalle de la rampa de pesca durante la fase de construcción del modelo.....	16
Figura 5:	Detalle del quillote, talón de codaste, bocina y limera del timón durante la fase de construcción del modelo.....	16
Figura 6:	Vista lateral y frontal de la fase de montaje y alineación de la tobera (modelo de stock número 127) en el model.....	16
Figura 7:	Vista del timón móvil desmontable y alineación en el modelo durante la fase de construcción.....	17
Figura 8:	Vista del modelo desde ambas bandas finalizado y antes de pasar a la fase de montaje.....	17
Figura 9:	Modelo en la mesa de inercia. Obsérvese la simulación pintada de negro de las aperturas de la banda de babor, correspondientes a la puerta de salabardeo y al puerto de basuras.....	17
Figura 10:	Datos de la Tabla-XIII en forma gráfica. Los puntos amarillos corresponden a las olas ensayadas.....	30
Figura 11:	Datos de la Tabla - XIV en forma gráfica. Los puntos amarillos corresponden a las olas ensayadas.....	32
Figura 12:	Esquema de rumbos de buque, oleaje y dirección de viento.....	34
Figura 13:	Modelo del tronco de basuras visto desde popa estribor y desde la cubierta superior.....	38
Figura 14:	Situación de ensayo correspondiente a la Fase 4b, pudiendo observar la apertura al costado del tronco de basuras.....	38

*Figura 15: Detalle de la puerta de salabardeo y del nicho existente entre la misma y el costado .....39*

*Figura 16: Modelo de la zona de salabardeo, pudiendo observar la puerta abierta. Vista desde el costado de estribor .....39*

*Figura 17: Detalle del imbornal con claqueta para el desague del agua embarcada en el nicho entre el costado y la puerta desalabardeo .....40*

*Figura 18: Situación de ensayo correspondiente a la fase 6, pudiendo observar la zona de salabardeo abierta y la apertura de basuras cerrada .....40*

*Figura 19: Situación de ensayo correspondiente a la Fase 9, pudiendo observar la avería simulada en la zona de popa babor .....42*

*Figura 20: Situación de ensayo correspondiente a la Fase 10, pudiendo observar la avería simulada en la zona de popa estribor .....42*

*Figura 21: Valores máximos de los movimientos de balance producidos en las diferentes fases y con los diferentes oleajes ensayados.....44*

**CONTENIDO DE LOS DVD**

- DVD 1: Fase 1 – Toma lateral y Toma superior*  
*Fase 2 – Toma lateral y Toma superior*  
*Fase 4 – Toma lateral y Toma superior*  
*Fase 4b – Toma lateral y Toma superior*
- DVD 2: Fase 6 – Toma lateral y Toma superior*  
*Fase 7 – Toma lateral y Toma superior*  
*Fase 8 – Toma lateral y Toma superior*  
*Fase 9 – Toma lateral y Toma superior*  
*Fase 10 – Toma lateral y Toma superior*

PÁGINA  
INTENCIONADAMENTE  
EN  
BLANCO



## **1. Introducción.**

El buque pesquero “**Cordero**” de 22.5 m de eslora entre perpendiculares se hundió el 15 de Enero de 2008, en posición 43° 49.1’N – 8° 31,1’W cuando se encontraba en navegación libre, según declaran los tripulantes supervivientes, con rumbo hacia Coruña a una velocidad de 4/5 nudos<sup>1</sup>.

En el presente documento, elaborado por el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (**CEHIPAR**), se describe el estudio y los ensayos que se han realizado para estudiar el comportamiento del mencionado pesquero en las condiciones de carga y mar probables en el momento del accidente, según los datos suministrados por la Comisión Permanente de Investigación de Siniestros Marítimos de la Dirección General de la Marina Mercante (**CPISM-DGMM**).

Para la realización de los ensayos se construyó un modelo en fibra de vidrio a escala 1:13.5, provisto de un motor con hélice y tobera de “stock”, timón y servo motor. La trayectoria se mantuvo mediante control remoto y los datos se enviaban a un ordenador situado en tierra por telemetría.

Los ensayos han consistido en medir y observar los movimientos con el modelo navegando en olas a una velocidad de entre 4 y 5 nudos y mares de popa, aleta y través.

Se han simulado las posibles condiciones de carga del buque en el momento del accidente, el efecto negativo del viento reinante en el momento del percance y diversas averías que hubiera podido sufrir el barco, en base, entre otras, a las declaraciones disponibles de los supervivientes.

El presente informe se acompaña de información videográfica de los ensayos.

La importancia y fiabilidad de los ensayos con modelos de hundimientos en canales de experiencias hidrodinámicas se recogen en el Anexo B del presente informe.

Las conclusiones del estudio se detallan en el apartado 9.

---

<sup>1</sup> Informe sobre el naufragio/hundimiento del buque pesquero “Cordero” elaborado por el Ministerio de Fomento y remitido a la Dirección General de la Marina Mercante con fecha 20 de Febrero de 2008 (Nº reg. 1506 – Villagarcía)

## **2. Documentación aportada por la CPISM-DGMM.**

La documentación aportada por la *CPISM-DGMM* y que ha sido utilizada en la construcción del modelo y en los datos requeridos para la realización de los ensayos ha sido la siguiente:

- ✓ Documento 1: “Plano de formas” elaborado por Cintrana-Vigo, S.L. con fecha Mayo 1998 (1 hoja), modificado en Octubre de 1998 (final codaste), correspondiente a la construcción número “*en blanco*” del cliente “*en blanco*” con referencia “P/1331” y plano número “F1331R”.
- ✓ Documento 2: “Planos de Disposición General” elaborado por Cintrana-Vigo, S.L. con fecha Octubre 1997 (2 hojas) y con última modificación el 26 de Octubre de 1998 (actualización definitiva), correspondiente a la construcción número “C.64” del cliente “M. Cies, S.L.” con referencia “P/1331” y plano número “DG1331R”.
- ✓ Documento 3: “Certificado nacional de Francobordo” de fecha 16 de Noviembre de 1998 (7 hojas).
- ✓ Documento 4: “Cuaderno de estabilidad” elaborado por Cintrana-Vigo, S.L. sin fecha (58 hojas sin numerar) y con número de visado del Colegio Oficial de Ingenieros Navales 9009075108 de fecha 28 de Octubre de 1998.
- ✓ Documento 5: “Acta de p-ruebas de estabilidad” realizada en Vigo (Pontevedra) el día 26 de Octubre de 2008 y con fecha de aprobación de 06 de Noviembre de 1998.
- ✓ Documento 6: “Condiciones de pesos y rumbo”, documento en formato “.doc” remitido por la *CPISM-DGMM* vía e-mail con fecha 14 de Mayo de 2008.
- ✓ Documento 7: “Tanques y pesca”, documento en formato “.doc” remitido por la *CPISM-DGMM* vía e-mail con fecha 16 de Mayo de 2008.
- ✓ Documento 8: “Esquema distribución pesos y lastre”, documento entregado en mano por la *CPISM-DGMM* con fecha 26 de Mayo de 2008.
- ✓ Documento 9: “Estudio sobre las condiciones de clima marítimo en el transcurso de accidentes de buques – Informe parcial – Tomo único – Buque Cordero” elaborado por el Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX) con fecha Abril de 2008.

Espectros de oleaje correspondientes a las boyas de Cabo Villano y Estaca de Bares, remitido por la *CPISM-DGMM* vía e-mail con fecha 19 de Junio de 2008.

- ✓ Documento 10: “Informe sobre el naufragio/hundimiento del buque pesquero “Cordero”” elaborado por el Ministerio de Fomento y remitido a la Dirección General de la Marina Mercante con fecha 20 de Febrero de 2008 (Nº reg. 1506 – Villagarcía).
- ✓ Documento 11: “Declaración de D. Marcos Antonio Ures García (patrón)” de fecha 06 de Febrero de 2008.
- ✓ Documento 12: “Declaración de D. José María Santiago Fontaiña (segundo patrón)” de fecha 28 de Enero de 2008.
- ✓ Documento 13: “Declaración de D. Hendra Hermawan (marinero)” de fecha 21 de Enero de 2008.
- ✓ Documento 14: Planos de construcción del timón elaborado por Montajes Cies, S.L. para el buque “C-64” e identificado como obra “64-5015” (3 hojas).

## **Preparación del modelo.**

### **3.1 Definición de la carena. Construcción del modelo.**

La definición del buque (formas) se hace en base a los planos disponibles<sup>2</sup>.

Como comprobación se han realizado los cálculos de carenas rectas (hidrostáticas) y carenas inclinadas (isocarenas) y comparándolas con las que figuran en la documentación disponible<sup>3</sup>, obteniéndose unas diferencias inferiores al uno por ciento (1%), que se consideran muy aceptables.

Tanto la definición como los cálculos se han realizado con la aplicación PAN (Programas de Arquitectura Naval) disponibles en el CEHIPAR.

Para la construcción del modelo se han empleado los planos de formas, disposición general, plano de timón, información del sistema propulsivo (hélice y tobera), libro de estabilidad, fotografías y esquemas suministrados por la CPISM-DGMM, numerados en el apartado 2 del presente informe.

El modelo (nº 2793 del CEHIPAR) se construyó en fibra de vidrio a una escala 1:13,5 reproduciéndose todas sus formas incluida la obra muerta, superestructura, arrufo y brucas de las cubiertas, falucheras (imbornales), zona de salabardeo, puerta de basuras, .....

Como apéndices se incluyeron quillote, codaste, timón y tobera.

El accionamiento del timón se realizó por un servomotor a través de control remoto. Al no disponer de los datos reales del servo del timón del buque se consideró como valor adecuado para este tipo de buques el de recorrer 70º (+/-35º) en 21 s, lo que equivale a una velocidad de timón de 3,3 %/s, que trasladado a escala modelo significa entre 12,1 y 12,2 %/s, velocidad que se prefijó y que cumple con la legislación vigente (SOLAS Capítulo II-1, regla 29, apartado 3.2).

La propulsión se basó en un motor accionando una hélice dentro de una tobera. Se seleccionó como hélice una de "stock" disponible en el CEHIPAR y que con la tobera diera un empuje suficiente como para permitir el movimiento del modelo a la velocidad seleccionada de ensayos. La hélice seleccionada correspondía al número de propulsor de stock 2215 y la tobera correspondiente identificada con el número de stock 127.

El modelo se hizo completamente estanco de forma que pudiera mantenerse a flote incluso en caso de vuelco.

Las características principales del buque, y sus correspondientes en el modelo, pueden observarse en la *Tabla-I*.

<sup>2</sup> Documento 1: "Plano de formas" elaborado por CintranaVal-Vigo, S.L. con fecha Mayo 1998 (1 hoja), modificado en Octubre de 1998 (final codaste), correspondiente a la construcción número "en blanco" del cliente "en blanco" con referencia "P/1331" y plano número "F1331R".

<sup>3</sup> Documento 4: "Cuaderno de estabilidad" elaborado por CintranaVal-Vigo, S.L. sin fecha (58 hojas sin numerar) y con número de visado del Colegio Oficial de Ingenieros Navales 9009075108 de fecha 28 de Octubre de 1998.

### DATOS GENERALES

Ensayos: **ENSAYOS PARA LA INVESTIGACIÓN DE CAUSA DE HUNDIMIENTO**

OTI: **2281**

Ciente: **COMISIÓN PERMANENTE DE INVESTIGACIÓN DE SINIESTROS MARÍTIMOS  
DGMM - DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE**

Buque: **Pesquero "Cordero"**

Carena: **2793**

Escala: **13,5**

Propulsión: **HÉLICE EN TOBERA**

Hélice de stock: **2215**

Tobera de stock: **127**

Apéndices: **Quillote  
Codaste  
Hélice en tobera  
Timón**

Símbolo	Concepto	Buque	Modelo (□ = 13,5)
Ltot	<b>Eslora total (aproximada)</b>	28,000 m	<b>2,074 mm</b>
Lpp	<b>Eslora entre perpendiculares</b>	22,500 m	<b>1,667 mm</b>
B	<b>Manga de trazado</b>	7,200 m	<b>0,533 mm</b>
Hpral	<b>Puntal a la cubierta principal</b>	3,500 m	<b>0,259 mm</b>
Hsup	<b>Puntal a la cubierta superior</b>	5,600 m	<b>0,415 mm</b>
T	<b>Calado de trazado</b>	3,000 m	<b>0,222 mm</b>

Tabla – I: Características principales del buque y modelo

La construcción del modelo y posición de los distintos elementos que lo configuran puede observarse en las fotografías adjuntas.



Figura 1: Laminado de la cubierta del parque de pesca



Figura 2: Escotillas estanca de acceso al interior del modelo (cubiertas superior y parque pesca)



Figura 3: Vista del modelo desde ambas bandad durante la fase de pintado, pudiendo observarse la distribución de falucheras, quillote, talón de codaste y bocina.



Figura 4: Detalle de la rampa de pesca durante la fase de construcción del modelo



Figura 5: Detalle del quillote, talón de codaste, bocina y limera del timón durante la fase de construcción del modelo

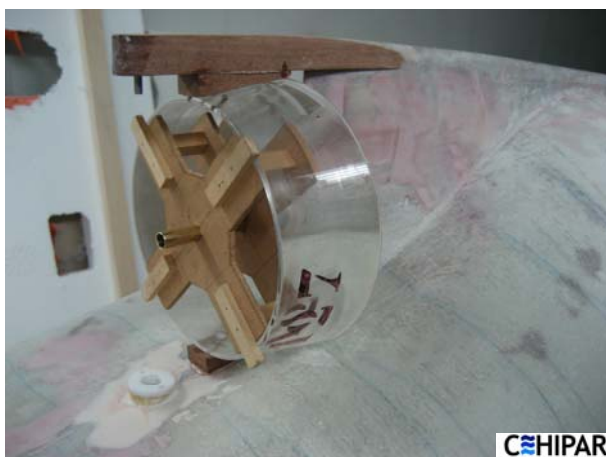


Figura 6: Vista lateral y frontal de la fase de montaje y alineación de la tobera (modelo de stock número 127) en el modelo.



Figura 7: Vista del timón móvil desmontable y alineación en el modelo durante la fase de construcción.



Figura 8: Vista del modelo desde ambas bandas finalizado y antes de pasar a la fase de montaje.



Figura 9: Modelo en la mesa de inercia. Obsérvese la simulación pintada de negro de las aperturas de la banda de babor, correspondientes a la puerta de salabardeo y al puerto de basuras.

### **3.2 Pesos estimados en el buque en el momento del naufragio/hundimiento.**

De la documentación aportada, y expuesta anteriormente, se ha supuesto la carga real en la que se encontraba el buque en el momento del naufragio/hundimiento.

Los pesos son comunes a todas las situaciones de carga exceptuando el lastre y la carga en bodegas, cuya combinación dan lugar a las diferentes condiciones de carga a estudiar y que abarcan todas las posibilidades entre las que se encontraba el buque en el momento del hundimiento/naufragio.

Los pesos comunes a todas las situaciones de carga son:

- a. Peso en rosca del buque<sup>4</sup>.
- b. Tripulación y efectos<sup>5</sup>.
- c. Pertrechos<sup>5</sup>.
- d. Aparejo carretel central<sup>6</sup>.
- e. Aparejo carretel popa babor<sup>6</sup>.
- f. Aparejo carretel popa estribor<sup>6</sup>.
- g. Aparejo espardel<sup>6</sup>.
- h. Copos en popa babor<sup>6</sup>.
- i. Puertas de arrastre<sup>6</sup>.
- j. Víveres<sup>7</sup>.
- k. Combustible, gas-oil en los tanques de doble fondo y consumo diario<sup>8</sup>.

<sup>4</sup> Documento 5: "Acta de pruebas de estabilidad" realizada en Vigo (Pontevedra) el día 26 de Octubre de 2008 y con fecha de aprobación de 06 de Noviembre de 1998.

Documento 4: "Cuaderno de estabilidad" elaborado por CintranaVal-Vigo, S.L. sin fecha (58 hojas sin numerar) y con número de visado del Colegio Oficial de Ingenieros Navales 9009075108 de fecha 28 de Octubre de 1998.

<sup>5</sup> Documento 4: "Cuaderno de estabilidad" elaborado por CintranaVal-Vigo, S.L. sin fecha (58 hojas sin numerar) y con número de visado del Colegio Oficial de Ingenieros Navales 9009075108 de fecha 28 de Octubre de 1998.

<sup>6</sup> Documento 6: "Condiciones de pesos y rumbo", documento en formato ".doc" remitido por la CPISM-DGMM vía e-mail con fecha 14 de Mayo de 2008.

Documento 8: "Esquema distribución pesos y lastre", documento entregado en mano por la CPISM-DGMM con fecha 26 de Mayo de 2008.

<sup>7</sup> Documento 4: "Cuaderno de estabilidad" elaborado por CintranaVal-Vigo, S.L. sin fecha (58 hojas sin numerar) y con número de visado del Colegio Oficial de Ingenieros Navales 9009075108 de fecha 28 de Octubre de 1998, estimando sólo un treinta y cinco por ciento (35%), en función de la cantidad de combustible que llevaba el buque.

<sup>8</sup> Documento 8: "Esquema distribución pesos y lastre", documento entregado en mano por la CPISM-DGMM con fecha 26 de Mayo de 2008.

Documento 7: "Tanques y pesca", documento en formato ".doc" remitido por la CPISM-DGMM vía e-mail con fecha 16 de Mayo de 2008.

Documento 12: "Declaración de D. José María Santiago Fontaiña (segundo patrón)" de fecha 28 de Enero de 2008.

Documento 4: "Cuaderno de estabilidad" elaborado por CintranaVal-Vigo, S.L. sin fecha (58 hojas sin numerar) y con número de visado del Colegio Oficial de Ingenieros Navales 9009075108 de fecha 28 de Octubre de 1998.



- l. Agua dulce<sup>8</sup>.
- m. Aceite<sup>7</sup>.
- n. Agua de lastre en tanques n<sup>o</sup>-2 a ambas bandas, y que en principio son tanques destinados a combustible<sup>8</sup>.

Los pesos que se han considerado pueden variar de una situación a otra han sido:

- ◆ Lastre:
  - Lastre en tanque 1 o peak de proa. Casuística considerada:
    - Relleno con once toneladas (11 T)<sup>9</sup>.
    - Vacío<sup>10</sup>.
- ◆ Pesca y hielo en bodegas: se han realizado dos supuestos posibles:
  - Bodegas con ocho toneladas de hielo (8T) y trescientos kilogramos de pescado (300 kg)<sup>11</sup>.
  - Bodegas con una tonelada de hielo (1T) y setecientos kilogramos de pescado (700 kg)<sup>12</sup>.

### **3.3 Situaciones de carga estimadas en el momento del naufragio/hundimiento.**

En base a los pesos estimados en el momento del naufragio/hundimiento del buque y la combinatoria existente entre ellos las situaciones de carga resultantes a estudiar han sido (*Tabla – II*):

Supuesto	Lastre	Pesca + Hielo (T)
	Peak de proa (T)	
1	11,0	8,3
2	11,0	1,7
3	0,0	8,3
4	0,0	1,7

*Tabla – II: Supuestos de carga a estudiar*

<sup>9</sup> Documento 8: “Esquema distribución pesos y lastre”, documento entregado en mano por la CPISM-DGMM con fecha 26 de Mayo de 2008.

Documento 10: “Informe sobre el naufragio/hundimiento del buque pesquero “Cordero”” elaborado por el Ministerio de Fomento y remitido a la Dirección General de la Marina Mercante con fecha 20 de Febrero de 2008 (Nº reg. 1506 – Villagarcía).

<sup>10</sup> Documento 11: “Declaración de D. Marcos Antonio Ures García (patrón)” de fecha 06 de Febrero de 2008.

Documento 12: “Declaración de D. José María Santiago Fontaña (segundo patrón)” de fecha 28 de Enero de 2008.

Documento 10: “Informe sobre el naufragio/hundimiento del buque pesquero “Cordero”” elaborado por el Ministerio de Fomento y remitido a la Dirección General de la Marina Mercante con fecha 20 de Febrero de 2008 (Nº reg. 1506 – Villagarcía).

<sup>11</sup> Documento 7: “Tanques y pesca”, documento en formato “.doc” remitido por la CPISM-DGMM vía e-mail con fecha 16 de Mayo de 2008.

Documento 11: “Declaración de D. Marcos Antonio Ures García (patrón)” de fecha 06 de Febrero de 2008.

<sup>12</sup> Documento 13: “Declaración de D. Hendra Hermawan (marinero)” de fecha 21 de Enero de 2008.

El desglose de pesos y su centro de gravedad en cada una de ellas serían (Tablas - III a VI):

Grupo	Subgrupo	Peso (t)	XG (m)	YG (m)	ZG (m)
Rosca	<b>Buque en rosca</b>	210,830	9,590	0,000	3,406
Varios	Tripulación y efectos	1,000	15,500	0,000	4,700
	Pertrechos	2,000	8,000	0,000	4,600
	Aparejo carretel central	3,900	12,500	0,000	7,100
	Aparejo carretel popa Br	1,100	6,000	2,600	6,650
	Aparejo carretel popa Er	1,100	6,000	-2,600	6,650
	Aparejo spardel	1,100	1,000	0,000	6,200
	Copos en Pp Br	0,750	4,000	2,600	6,650
	Puertas de arrastre	1,400	-1,000	0,000	6,650
	Viveres	0,350	15,000	0,000	4,500
	Combustible	Gas-Oil Tanque nº 3 Br	6,485	16,275	0,799
Gas-Oil Tanque nº 3 Er		6,485	16,275	-0,799	0,836
Gas-Oil Tanque nº 4 Br		6,064	11,269	1,065	0,613
Gas-Oil Tanque nº 4 Er		6,064	11,269	-1,065	0,613
Gas-Oil Tanque nº 6 Br					
Gas-Oil Tanque nº 6 Er					
Gas-Oil Tanque nº 8					
Gas-Oil Tanque nº 9 Br					
Gas-Oil Tanque nº 9 Er					
Consumo diario	1,910	2,520	0,000	2,800	
Agua dulce	Agua dulce Tanque nº 5 Br	3,000	6,893	0,000	0,966
	Agua dulce Tanque nº 5 Er	3,000	6,893	0,000	0,966
Aceite	Aceite Tanque nº 7	0,710	2,550	0,000	2,220
Lastre	Lastre Tanque 1	11,000	20,803	0,000	2,145
	Gas-Oil Tanque nº 2 Br	9,993	18,933	1,045	2,677
	Gas-Oil Tanque nº 2 Er	9,993	18,933	-1,045	2,677
Carga en bodega	Pesca	0,300	17,500	-2,000	2,500
	Hielo en bodega	8,000	17,500	-2,000	2,500
<b>Total</b>		<b>296,534</b>	<b>11,032</b>	<b>-0,049</b>	<b>3,122</b>

Tabla – III: Supuesto de carga 1 para ensayo

Grupo	Subgrupo	Peso (t)	XG (m)	YG (m)	ZG (m)
Rosca	<b>Buque en rosca</b>	210,830	9,590	0,000	3,406
Varios	Tripulación y efectos	1,000	15,500	0,000	4,700
	Pertrechos	2,000	8,000	0,000	4,600
	Aparejo carretel central	3,900	12,500	0,000	7,100
	Aparejo carretel popa Br	1,100	6,000	2,600	6,650
	Aparejo carretel popa Er	1,100	6,000	-2,600	6,650
	Aparejo spardel	1,100	1,000	0,000	6,200
	Copos en Pp Br	0,750	4,000	2,600	6,650
	Puertas de arrastre	1,400	-1,000	0,000	6,650
	Viveres	0,350	15,000	0,000	4,500
	Combustible	Gas-Oil Tanque nº 3 Br	6,485	16,275	0,799
Gas-Oil Tanque nº 3 Er		6,485	16,275	-0,799	0,836
Gas-Oil Tanque nº 4 Br		6,064	11,269	1,065	0,613
Gas-Oil Tanque nº 4 Er		6,064	11,269	-1,065	0,613
Gas-Oil Tanque nº 6 Br					
Gas-Oil Tanque nº 6 Er					
Gas-Oil Tanque nº 8					
Gas-Oil Tanque nº 9 Br					
Gas-Oil Tanque nº 9 Er					
Consumo diario	1,910	2,520	0,000	2,800	
Agua dulce	Agua dulce Tanque nº 5 Br	3,000	6,893	0,000	0,966
	Agua dulce Tanque nº 5 Er	3,000	6,893	0,000	0,966
Aceite	Aceite Tanque nº 7	0,710	2,550	0,000	2,220
Lastre	Lastre Tanque 1	11,000	20,803	0,000	2,145
	Gas-Oil Tanque nº 2 Br	9,993	18,933	1,045	2,677
	Gas-Oil Tanque nº 2 Er	9,993	18,933	-1,045	2,677
Carga en bodega	Pesca	0,700	17,500	-2,000	2,500
	Hielo en bodega	1,000	17,500	-2,000	2,500
<b>Total</b>		<b>289,934</b>	<b>10,885</b>	<b>-0,005</b>	<b>3,136</b>

Tabla – IV: Supuesto de carga 2 para ensayo

Grupo	Subgrupo	Peso (t)	XG (m)	YG (m)	ZG (m)
Rosca	Buque en rosca	210,830	9,590	0,000	3,406
Varios	Tripulación y efectos	1,000	15,500	0,000	4,700
	Pertrechos	2,000	8,000	0,000	4,600
	Aparejo carretel central	3,900	12,500	0,000	7,100
	Aparejo carretel popa Br	1,100	6,000	2,600	6,650
	Aparejo carretel popa Er	1,100	6,000	-2,600	6,650
	Aparejo spardel	1,100	1,000	0,000	6,200
	Copos en Pp Br	0,750	4,000	2,600	6,650
	Puertas de arrastre	1,400	-1,000	0,000	6,650
	Viveres	0,350	15,000	0,000	4,500
	Combustible	Gas-Oil Tanque nº 3 Br	6,485	16,275	0,799
Gas-Oil Tanque nº 3 Er		6,485	16,275	-0,799	0,836
Gas-Oil Tanque nº 4 Br		6,064	11,269	1,065	0,613
Gas-Oil Tanque nº 4 Er		6,064	11,269	-1,065	0,613
Gas-Oil Tanque nº 6 Br					
Gas-Oil Tanque nº 6 Er					
Gas-Oil Tanque nº 8					
Gas-Oil Tanque nº 9 Br					
Gas-Oil Tanque nº 9 Er					
Consumo diario	1,910	2,520	0,000	2,800	
Agua dulce	Agua dulce Tanque nº 5 Br	3,000	6,893	0,000	0,966
	Agua dulce Tanque nº 5 Er	3,000	6,893	0,000	0,966
Aceite	Aceite Tanque nº 7	0,710	2,550	0,000	2,220
Lastre	Lastre Tanque 1				
	Gas-Oil Tanque nº 2 Br	9,993	18,933	1,045	2,677
	Gas-Oil Tanque nº 2 Er	9,993	18,933	-1,045	2,677
Carga en bodega	Pesca	0,300	17,500	-2,000	2,500
	Hielo en bodega	8,000	17,500	-2,000	2,500
<b>Total</b>		<b>285,534</b>	<b>10,656</b>	<b>-0,051</b>	<b>3,160</b>

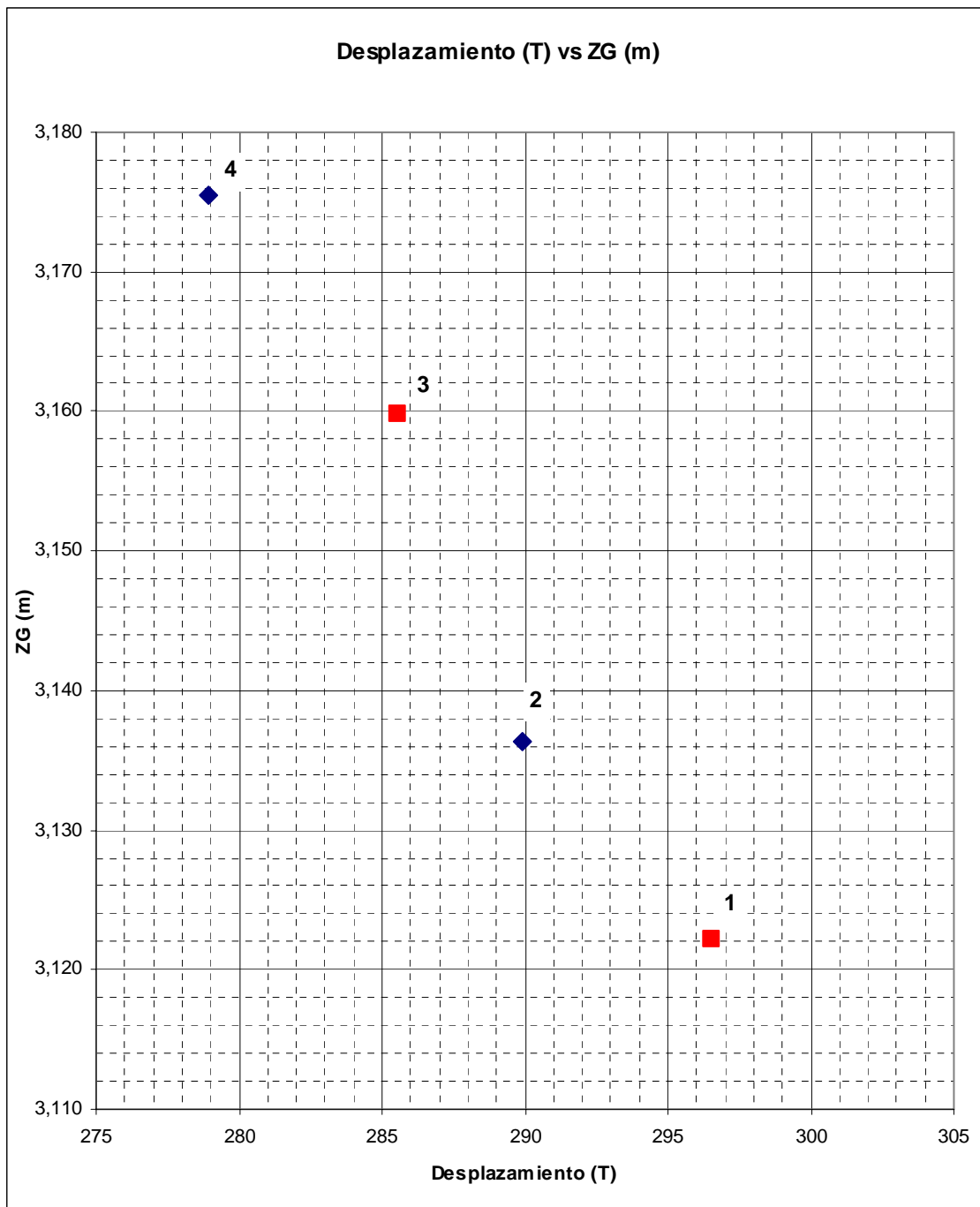
Tabla – V: Supuesto de carga 3 para ensayo

Grupo	Subgrupo	Peso (t)	XG (m)	YG (m)	ZG (m)
Rosca	Buque en rosca	210,830	9,590	0,000	3,406
Varios	Tripulación y efectos	1,000	15,500	0,000	4,700
	Pertrechos	2,000	8,000	0,000	4,600
	Aparejo carretel central	3,900	12,500	0,000	7,100
	Aparejo carretel popa Br	1,100	6,000	2,600	6,650
	Aparejo carretel popa Er	1,100	6,000	-2,600	6,650
	Aparejo spardel	1,100	1,000	0,000	6,200
	Copos en Pp Br	0,750	4,000	2,600	6,650
	Puertas de arrastre	1,400	-1,000	0,000	6,650
	Viveres	0,350	15,000	0,000	4,500
	Combustible	Gas-Oil Tanque nº 3 Br	6,485	16,275	0,799
Gas-Oil Tanque nº 3 Er		6,485	16,275	-0,799	0,836
Gas-Oil Tanque nº 4 Br		6,064	11,269	1,065	0,613
Gas-Oil Tanque nº 4 Er		6,064	11,269	-1,065	0,613
Gas-Oil Tanque nº 6 Br					
Gas-Oil Tanque nº 6 Er					
Gas-Oil Tanque nº 8					
Gas-Oil Tanque nº 9 Br					
Gas-Oil Tanque nº 9 Er					
Consumo diario	1,910	2,520	0,000	2,800	
Agua dulce	Agua dulce Tanque nº 5 Br	3,000	6,893	0,000	0,966
	Agua dulce Tanque nº 5 Er	3,000	6,893	0,000	0,966
Aceite	Aceite Tanque nº 7	0,710	2,550	0,000	2,220
Lastre	Lastre Tanque 1				
	Gas-Oil Tanque nº 2 Br	9,993	18,933	1,045	2,677
	Gas-Oil Tanque nº 2 Er	9,993	18,933	-1,045	2,677
Carga en bodega	Pesca	0,700	17,500	-2,000	2,500
	Hielo en bodega	1,000	17,500	-2,000	2,500
<b>Total</b>		<b>278,934</b>	<b>10,494</b>	<b>-0,005</b>	<b>3,175</b>

Tabla – VI: Supuesto de carga 4 para ensayo

A continuación se expone un cuadro resumen de las situaciones así como una gráfica de desplazamientos en función de altura del centro de gravedad (*Tabla – VII*).

Supuesto	Desplazamiento (T)	XG (m)	YG (m)	ZG (m)
1	296,534	11,032	-0,049	3,122
2	289,934	10,885	-0,005	3,136
3	285,534	10,656	-0,051	3,160
4	278,934	10,494	-0,005	3,175



*Tabla – VII: Resumen de situaciones de carga consideradas a estudio*

### **3.4 Situaciones de carga consideradas a estudio.**

Como puede observarse en TODOS los supuestos el buque parte con una escora inicial a estribor (debido a la colocación de la pesca y el hielo en bodega a dicha banda).

A pesar de ello, y como es lógico, cuando el barco lleva la supuesta carga en bodega de tan sólo mil setecientos kilogramos (1.700 kg) la escora es prácticamente nula.

Como es bien sabido, una escora inicial a una banda merma notablemente la estabilidad de la embarcación a dicha banda.

Así mismo centros de gravedad más bajos dan mayor estabilidad (a igualdad del resto de condicionantes).

Según todas las declaraciones el buque pesquero “Cordero” tuvo pérdida de estabilidad por la banda de babor, por lo que cualquier escora a estribor sería en todo caso un estudio conservador de la posible causa del naufragio/hundimiento.

Es por todo ello que para el estudio posible de la causa del naufragio/hundimiento y ante la incertidumbre existente se consideró conveniente comenzar los estudios en los supuestos más conservadores, y por tanto en aquellas en que la posibilidad de naufragio/hundimiento es menor.

Se seleccionan por tanto los supuestos correspondientes a las situaciones de carga correspondientes a una carga en bodega de ocho mil trescientos kilogramos (8.300 kg), supuestos 1 y 3.

### **3.5 Resumen de las situaciones de carga consideradas a estudio.**

Para comprobar la situación real del buque en los supuestos expuestos se realizaron los cálculos de las situaciones de carga y se compararon con el criterio de estabilidad estática y dinámica exigido en la Orden del Ministerio de Comercio de 29 de Julio de 1970 sobre normas de estabilidad de buques pesqueros (B.O.E. núm. 198 de 19 de agosto de 1970).

Dichos criterios son (*Tabla – VIII*):

Criterio a cumplir	Valor mínimo exigido
Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	0,055 m*rad
Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	0,090 m*rad
Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	0,030 m*rad
GZ mínimo para ángulo >30°	200 mm
GZ máximo	a más de 25°
GM inicial	350 mm

*Tabla –VIII: Criterios de estabilidad Orden de 29 de Julio de 1970*

Tras la realización de los cálculos de los cuatro supuestos expuestos en el punto anterior, la tabla de resultados de cada una de ellas es (*Tabla - IX*):

Supuesto	Criterio a cumplir	Valor	Cumplimiento
1	Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	0,061 m*rad	CUMPLE
	Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	0,124 m*rad	CUMPLE
	Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	0,063 m*rad	CUMPLE
	GZ mínimo para ángulo >30°	288 mm	CUMPLE
	GZ máximo	> 25°	CUMPLE
	GM inicial	703 mm	CUMPLE
	Ángulo inundación puerta salabardeo <sup>13</sup>	25,8°	
	Ángulo de inundación tapa de basuras <sup>13</sup>	33,7°	
	Escora inicial a Estribor <sup>14</sup>	4,13°	
2	Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	0,081 m*rad	CUMPLE
	Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	0,150 m*rad	CUMPLE
	Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	0,069 m*rad	CUMPLE
	GZ mínimo para ángulo >30°	323 mm	CUMPLE
	GZ máximo	> 25°	CUMPLE
	GM inicial	639 mm	CUMPLE
	Ángulo inundación puerta salabardeo	27,1°	
	Ángulo de inundación tapa de basuras	33,6°	
	Escora inicial a Estribor	0,38°	
3	Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	0,060 m*rad	CUMPLE
	Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	0,121 m*rad	CUMPLE
	Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	0,061 m*rad	CUMPLE
	GZ mínimo para ángulo >30°	279 mm	CUMPLE
	GZ máximo	> 25°	CUMPLE
	GM inicial	696 mm	CUMPLE
	Ángulo inundación puerta salabardeo	28,1°	
	Ángulo de inundación tapa de basuras	32,7°	
	Escora inicial a Estribor	4,26°	
4	Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	0,082 m*rad	CUMPLE
	Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	0,149 m*rad	CUMPLE
	Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	0,067 m*rad	CUMPLE
	GZ mínimo para ángulo >30°	319 mm	CUMPLE
	GZ máximo	> 25°	CUMPLE
	GM inicial	641 mm	CUMPLE
	Ángulo inundación puerta salabardeo	29,6°	
	Ángulo de inundación tapa de basuras	32,6°	
	Escora inicial a Estribor	0,36°	

*Tabla – IX: Comprobación de los Criterios de estabilidad según Orden de 29 de Julio de 1970 en los supuestos de carga considerados a estudio.*

<sup>13</sup> Como posibles puntos de inundación se han considerado aquellos que pueden ocasionar agua en cubierta de parque de pesca y no la entrada en la bodega propiamente dicha (inundación progresiva), al ser los primeros más perjudiciales por encontrarse más a la banda. Dichos puntos de entrada de agua en parque de pesca son la puerta de salabardeo y la tapa del hueco de basuras. En los cuatro supuestos calculados el punto más crítico es la puerta de salabardeo, aunque cumple los criterios en todos ellos.

Las coordenadas de los puntos de inundación se han obtenido en base a los siguientes documentos:

Documento 2: “Planos de Disposición General” elaborado por CintranaVal-Vigo, S.L. con fecha Octubre 1997 (2 hojas) y con última modificación el 26 de Octubre de 1998 (actualización definitiva), correspondiente a la construcción número “C.64” del cliente “M. Cies, S.L.” con referencia “P/1331” y plano número “DG1331R”.

Documento 3: “Certificado nacional de Francobordo” de fecha 16 de Noviembre de 1998 (7 hojas).

<sup>14</sup> El valor de la escora inicial, aunque no es exigido, se menciona para ver que la banda de estribor es la más perjudicada, y los resultados expuestos corresponden a la estabilidad a dicha banda.

### **3.6 Radios de inercia del buque/modelo.**

Los radios de inercia, tanto transversal como longitudinal, se han supuesto similares a los de otros pesqueros de dos cubiertas similares estudiados anteriormente en el CEHIPAR. Los valores de los radios de inercia, tanto transversal como longitudinal, para los que se ensayó el modelo en sus distintas condiciones de carga fueron las siguientes:

<b>Radios de inercia</b>		
	<b>Teóricos</b>	<b>Reales</b>
<b>Ryy (%L<sub>pp</sub>)</b>	<b>0,25– 0,30</b>	<b>0,28</b>
<b>Rxx (%B)</b>	<b>0,32 – 0,37</b>	<b>0,34</b>

*Tabla –X: Radios de inercia del buque/modelo*

#### **4. Hipótesis del naufragio/hundimiento.**

Como puede observarse en los cuatro (4) supuestos de situaciones de carga el buque cumple con los criterios de estabilidad de la Orden del Ministerio de Comercio de 29 de Julio de 1970, por lo que se hace muy improbable la posibilidad de sufrir un accidente a causa del oleaje reinante encontrándose el buque en condiciones de intacto.

Es por ello que se considera que en cualquiera de los cuatro (4) supuestos expuestos (apartado 5) el buque debió tener una inundación progresiva y su posterior naufragio/hundimiento.

El siguiente paso es determinar la posible causa de dicha inundación.

En un principio se descarta que la causa fuera una vía de agua bajo línea de cubierta de parque de pesca (ello conllevaría la inundación de los compartimientos bajo la misma), en base a las siguientes hipótesis:

- ✓ Posible inundación por cámara de máquinas: pudiera ser por un impacto de objeto exterior, rotura de eje y entrada masiva de agua o vía de agua de origen desconocido. Este supuesto se descarta en base a las declaraciones de los supervivientes y al informe elaborado por la DGMM, en la que se informa que había una persona en la máquina (el engrasador) y que no hubo señal de alarma de agua en cámara de máquinas:
  - Causas posibles del hundimiento: “... A bordo no se da ninguna alarma por agua; ni de máquinas, ni de parque de pesca, ni en bodega.”<sup>15</sup>
  - “Yo estaba durmiendo y desperté de un golpe (duermo en el puente). Luego me avisó el maquinista (o segundo patrón) que había agua en el parque.....”.<sup>16</sup>
  - “Iba automático rumbo a A Coruña. En el puente el segundo patrón y en la máquina el engrasador”.<sup>16</sup>
- ✓ Posible inundación por bodega: pudiera ser por un impacto de objeto exterior o vía de agua de origen desconocido. Este supuesto se descarta en base a las declaraciones de los supervivientes en las que se informa que habían varias personas en la bodega:
  - “Cuando el contramaestre nos ordenó subir nos dijo que había agua y el barco estaba tumbado hacia babor y metido de popa. Salieron por las escaleras de la banda de estribor y se dirigieron al puente. Cuando subieron de la bodega observaron que había sobre 10 cm de agua en la zona de popa contigua a la máquina.”<sup>17</sup>.

<sup>15</sup> Documento 10: “Informe sobre el naufragio/hundimiento del buque pesquero Cordero” elaborado Ministerio de Fomento y remitido a la Dirección General de la Marina Mercante con fecha 20 de Febrero de 2008 (Nº reg. 1506 – Villagarcía).

<sup>16</sup> Documento 11: “Declaración de D. Marcos Antonio Ures García (patrón)” de fecha 06 de Febrero de 2008.

<sup>17</sup> Documento 13: “Declaración de D. Hendra Hermawan (marinero)” de fecha 21 de Enero de 2008.



Según lo anterior y a tenor que no existen otros espacios importantes bajo cubierta del parque de pesca en popa que pudieran ser objetos de avería se descarta la posibilidad para los ensayos en el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo una posible avería en dicha zona, centrando los esfuerzos en una posible avería o apertura hacia el exterior del casco del barco sobre la mencionada cubierta.

Al respecto de una vía de agua sobre la cubierta de parque de pesca esta puede venir ocasionada en principio por una de las siguientes causas:

1. Golpe de mar u otra causa externa que hiciera saltar trincas de aperturas cerradas, existiendo dos posibilidades:
  - a. Puerta de salabardeo.
  - b. Tapa del hueco de basuras.
2. Impacto de objeto exterior, pudiendo darse en dos zonas del buque fundamentalmente:
  - a. Zona de proa: no se ha considerado, dado que el asiento que el barco tomaba por popa originaría una salida de la brecha fuera del agua, aumentando por tanto la distancia de la misma a la flotación y minimizando la posible entrada de agua en la cubierta del parque de pesca.
  - b. Zona de popa: al ser donde se acumulaba el agua según las declaraciones ya expuestas en el presente informe, originaría el meter o al menos acercar la avería al agua, con lo que se podría llegar a producir la inundación progresiva. Se estima puede ocurrir en cualquiera de las bandas.
3. Agua proveniente del interior del buque, por una avería o rotura en el colector y/o equipo de baldeo del buque u otro similar y con un caudal superior al de las bombas de achique (en el supuesto de que ambos equipos baldeo y achique dispusieran de diferentes bombas, dado que si la bomba de ambos equipos fuera la misma el accionamiento automático de la bomba de baldeo por avería o rotura del colector impediría el accionamiento de la misma como bomba de achique).

## 5. PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS

### 5.1 Laboratorio de Dinámica del Buque

Los ensayos en olas fueron realizados en el Canal de Dinámica del Buque del CEHIPAR. El tanque es de 150 x 30 x 5 m. Dispone de un generador de oleaje de 60 paletas con movimiento independiente, que permite generar oleajes regulares o irregulares de cresta larga y corta. Las instalaciones se describen en el Apéndice A.

### 5.2 Oleaje utilizado en los ensayos

Según la información facilitada por la CPISM-DGMM en base a los informes elaborados por el Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX)<sup>18</sup>, la altura significativa del oleaje en el momento del hundimiento, era de cuatro con tres metros ( $H_s = 4,3\text{m}$ ) con un período de pico de trece con tres segundos ( $T_p = 13,3\text{ s}$ ).

El espectro que se ha simulado fue el medido por la boya de Villano-Sisargas (boya fondeada en un lugar cercano al del siniestro) a la hora del hundimiento y corresponde a un espectro con dispersión direccional coseno cuadrado con exponente cero coma ochenta y siete ( $s = 0,87$ ), correspondiente a una dispersión media de treinta y tres con nueve grados ( $\text{Disp.} = 33,9^\circ$ ).

De tal forma que las características del oleaje irregular generado son las siguientes:

Espectro	Hs (m)	Tp (s)	Dispersión (°)
Cresta corta	4,3	13,3	33,9

*Tabla –XI: Estado de mar ensayado*

Los resultados de los ensayos en esta ola irregular condujeron a la conclusión de que era necesario someter el modelo a situaciones más comprometidas (aunque factibles). Por ello se generaron una serie de olas regulares de gran pendiente.

Las características de estas olas regulares ensayadas fueron (*Tabla – XII*):

Ola	H (m)	T (s)	$\lambda$ (m)	$\lambda / L_{pp}$
REG01	4,25	5,25	42,990	1,911
REG02	4,75	5,75	51,568	2,292
REG03	5,25	6,25	60,927	2,708
REG04	5,75	6,75	71,065	3,158
REG05	6,25	7,25	81,983	3,644

*Tabla –XII: Olas regulares ensayadas*

Donde:

H.....altura de la ola  
T.....período de la ola

<sup>18</sup> Documento 9: "Estudio sobre las condiciones de clima marítimo en el transcurso de accidentes de buques – Informe parcial – Tomo único – Buque Cordero" elaborado por el Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX) con fecha Abril de 2008.  
Espectros de oleaje correspondientes a las boyas de Cabo Villano y Estaca de Bares, remitido por la CPISM-DGMM vía e-mail con fecha 19 de Junio de 2008.

$\lambda$  .....longitud de la ola  
 Lpp .....eslora entre perpendiculares del buque

Estas olas regulares, aunque poco frecuentes, tienen una cierta probabilidad, entre un uno y un cinco por cien (1 al 5%), de ocurrir en una tormenta de tres horas de duración.

Para su definición se determinó la distribución conjunta de alturas y períodos correspondientes al espectro medido por la boya. Ello se hizo mediante simulación numérica de series temporales hasta un total de veinte mil olas (20.000). Los resultados se dan en la *Tabla - XIII* en forma de probabilidades de ocurrencia conjunta de Hz/Tz en tanto por ciento y en la *Figura 0* en forma gráfica. En la figura la línea roja indica el límite para olas de 1/10 de pendiente que se considera el límite práctico de rotura. Se observa que la probabilidad de rotura es baja pero no despreciable (se aprecia mejor en las tablas siguientes) y que las olas son más bien tendidas.

De estos resultados se deduce que el periodo medio es de ocho con noventa y cuatro segundos (8.94 s) al que corresponde un periodo de encuentro medio de diez con cincuenta y siete segundos (10.57 s) para mar de popa, diez con cero un segundos (10.01 s) para mar de aleta y nueve con noventa y cuatro segundos (9.94 s) para mar de través. Por lo tanto para una duración típica del temporal de tres horas (3 h) se producirán mil veintidós (1022) encuentros de ola por término medio para mar de popa, mil setenta y nueve (1079) para mar de aleta y mil doscientas nueve (1209) para mar de través.

Considerando este número de olas se obtienen las probabilidades absolutas de ocurrencia de una combinación Hz/Tz determinada en tres horas (3 h) de temporal dadas en las *Tablas - XIV, XV y XVI* para popa, amura y través respectivamente. En amarillo se marcan las celdas correspondientes a las olas ensayadas. Por supuesto que estas probabilidades dependen del tamaño de la celda. Aquí se han elegido celdas de cero con cinco metros por cero con cinco segundos (0.5 m \* 0.5 s) como valores razonables.

El cálculo de estas probabilidades se basa en la siguiente fórmula:

$$P(H,T) = 1 - [1 - p(H,T)]^N$$

Donde:

- p ..... es la frecuencia con que se produce la ola correspondiente (valores de la *Tabla-XIII*)
- N..... es el número de olas encontradas por el buque en tres horas de temporal (1022, 1079 y 1209 para popa, aleta y través respectivamente)

A partir de estas tablas se seleccionaron cinco olas de distintos periodos con alturas que tuvieran una probabilidad del orden del uno por ciento (1%), olas regulares definidas en la *Tabla - XII*. Es importante observar que las olas numeradas como cuatro y cinco (REG-04 y REG-05) tienen periodos próximos al de resonancia de balance del buque.

H <sub>Z</sub> (m)	0.25	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	7.25	7.75	8.25	8.75	9.25	9.75	10.25	10.75	11.25	11.75	12.25	12.75	13.25	13.75	14.25	14.75	15.25	15.75	16.25	16.75	17.25	17.75	18.25	18.75	19.25	19.75	20.25						
0.25	0.06	0.45	1.70	4.33	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	7.25	7.75	8.25	8.75	9.25	9.75	10.25	10.75	11.25	11.75	12.25	12.75	13.25	13.75	14.25	14.75	15.25	15.75	16.25	16.75	17.25	17.75	18.25	18.75	19.25	19.75	20.25						
0.75	0.07	0.79	0.65	0.38	0.19	0.10	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
1.25	0.04	0.82	3.97	8.75	12.12	13.14	13.09	12.56	11.32	8.86	10.58	11.35	11.32	10.28	8.14	7.48	6.34	5.54	4.44	3.60	2.91	2.37	2.05	1.77	1.46	1.19	0.92	0.72	0.55	0.42	0.32	0.24	0.17	0.12	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00			
1.75	0.01	0.07	0.41	1.27	2.64	4.17	5.57	6.59	7.27	7.63	7.94	7.94	7.68	7.35	6.94	6.47	6.02	5.63	5.13	4.51	3.75	2.96	2.24	1.63	1.15	0.78	0.49	0.31	0.17	0.10	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
2.25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
2.75	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
3.25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
3.75	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4.25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4.75	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5.25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5.75	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
6.25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
6.75	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
7.25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
7.75	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
8.25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
8.75	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Tabla - XIII: Estadísticas de Hz/Tz en %, obtenidas por simulación a partir del espectro del mar estimado. Los valores están agrupados en casillas de 0.5 m por 0.5 s.

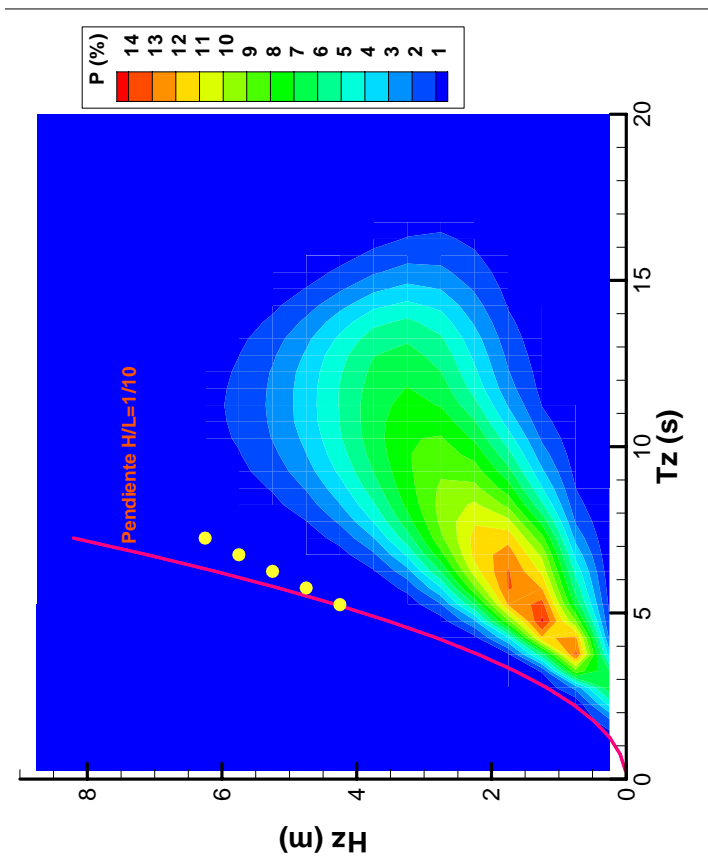


Figura 10: Datos de la Tabla-XIII en forma gráfica. Los puntos amarillos corresponden a las olas ensayadas.

		Tz (s)																							
		0.25	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	7.25	7.75	8.25	8.75	9.25	9.75	10.25	10.75	11.25	
Hz (m)	0.25																								
	0.75	6	37	82	99	100	100	100	97	84	66	56	43	31	18	10	6	4	3	2	1	1	0	0	
	1.25				12	91	100	100	100	100	100	100	100	99	98	94	85	75	64	52	40	28	19	12	
	1.75					4	67	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	92	85	75	63	
	2.25						4	57	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	95	
	2.75							6	51	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	3.25								7	43	86	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	3.75								1	7	34	73	93	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	4.25									1	6	27	60	85	95	98	99	100	100	100	100	100	100	100	
	4.75										1	5	22	48	74	89	95	97	99	99	99	99	99	99	
	5.25											1	5	18	41	63	79	88	93	95	96	97	97	97	
	5.75												1	5	16	33	53	67	77	83	88	89	89	89	
	6.25													1	5	13	27	40	53	62	68	71	73	73	
	6.75														1	4	11	20	30	38	44	47	49	49	
	7.25															1	4	9	14	19	24	26	27	27	
7.75																1	3	6	9	11	13	13	13		
8.25																	1	2	3	5	5	6	6		
8.75																		1	1	2	2	2	2		
9.25																									
9.75																							1		

Tabla – XIV: Probabilidad de ocurrencia de una ola con una combinación Hz/Tz dada (en %). Mar de popa.

		Tz (s)																						
		0.25	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	7.25	7.75	8.25	8.75	9.25	9.75	10.25	10.75	11.25
Hz (m)	0.25																							
	0.75	6	39	84	99	100	100	98	85	68	58	45	32	18	11	7	4	3	2	1	1	0	0	
	1.25				13	92	100	100	100	100	100	100	100	99	98	94	87	76	66	54	42	29	20	12
	1.75					4	69	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	97	93	86	76	65
	2.25						4	59	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	96
	2.75							6	53	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	3.25								8	45	88	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	3.75								1	8	36	75	94	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	4.25									1	7	28	62	86	96	99	99	100	100	100	100	100	100	100
	4.75										1	6	23	50	76	90	96	98	99	99	100	100	100	100
	5.25											1	5	19	43	65	81	89	94	96	97	98	98	98
	5.75												1	6	17	35	55	69	79	85	89	90	91	91
	6.25													1	6	14	28	42	55	64	70	73	74	74
	6.75														1	4	11	21	31	39	46	49	51	51
	7.25															1	4	9	14	20	25	27	28	28
7.75																1	3	6	9	11	14	14	14	
8.25																	1	2	4	5	6	6	6	
8.75																		1	1	2	2	2	2	
9.25																								
9.75																						1	1	

Tabla – XV: Probabilidad de ocurrencia de una ola con una combinación Hz/Tz dada (en %). Mar de aleta.

		Tz (s)																						
		0.25	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	7.25	7.75	8.25	8.75	9.25	9.75	10.25	10.75	11.25
Hz (m)	0.25																							
	0.75	7	42	87	99	100	100	98	88	73	62	48	35	20	12	8	5	3	2	1	1	0	0	
	1.25				14	94	100	100	100	100	100	100	100	99	96	90	80	70	58	46	32	22	14	
	1.75					5	73	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	95	89	80	69
	2.25						5	63	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	97	97
	2.75							7	57	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	3.25								8	48	90	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	3.75								1	8	39	78	96	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	4.25									1	7	31	66	89	97	99	100	100	100	100	100	100	100	100
	4.75										1	6	25	54	80	93	97	99	99	100	100	100	100	100
	5.25											1	6	21	46	69	84	92	96	97	98	99	99	99
	5.75												1	6	19	38	59	73	83	88	92	93	93	93
	6.25													1	6	15	31	46	59	68	74	77	78	78
	6.75														1	5	13	23	34	43	50	53	55	55
	7.25															2	4	10	16	22	28	30	31	31
7.75																2	3	7	10	12	15	15	15	
8.25																	1	3	4	5	6	7	7	
8.75																		1	2	2	2	2	3	
9.25																								
9.75																						1	1	

Tabla – XVI: Probabilidad de ocurrencia de una ola con una combinación Hz/Tz dada (en %). Mar de través.

Los resultados anteriores se muestran en forma gráfica en la *Figura 11*, solamente para mar de popa ya que para el resto de rumbos son muy similares.

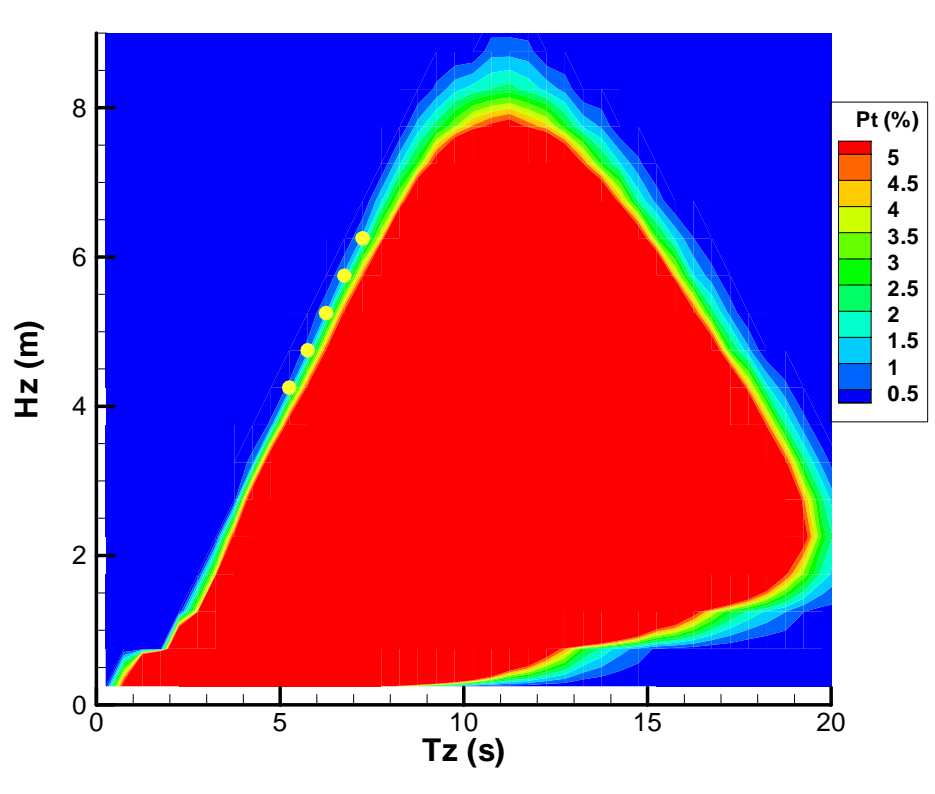


Figura 11: Datos de la Tabla - XIV en forma gráfica. Los puntos amarillos corresponden a las olas ensayadas.

### **5.3 Duración de los ensayos, velocidad y rumbos ensayados.**

#### Olas irregulares

Para obtener resultados estadísticamente significativos en el estado de la mar de la ola irregular mencionado en la *Tabla - X*, se realizaron varias carreras. Para cada carrera correspondiente a un mismo mar se generó un oleaje con el mismo espectro teórico pero dos diferentes fases aleatorias obteniéndose muestras diferentes de un mismo proceso aleatorio hasta totalizar el equivalente a cuarenta minutos a escala real de buque.

#### Olas regulares

En olas regulares se realizaron dos carreras para cada ensayo.

#### Velocidad de ensayo

Los ensayos se realizaron a una velocidad de modelo en aguas tranquilas de cero con seiscientos treinta metros por segundo ( $V_m = 0,630$  m/s) equivalente a una velocidad de buque real de cuatro nudos y medio ( $V_b = 4,5$  kn), valor medio de los datos disponibles<sup>19</sup>, en los que se menciona que el buque estaba navegando con rumbo hacia Coruña a una velocidad de 4/5 nudos.

#### Rumbos de ensayo

Los datos disponibles<sup>20</sup>, permiten calcular muy aproximadamente el ángulo de entrada de la mar y el viento al buque.

Los cálculos realizados han sido:

- Coordenadas del punto del siniestro ..... 43° 49' N – 8° 31' W
- Coordenadas del puerto de Coruña ..... 43° 21' N – 8° 23' W
- Rumbo teórico del buque ..... 168,2°
- Dirección del oleaje ..... 300°
- Dirección del viento ..... 240°

Considerando como línea de referencia la de crujía del buque y origen cero grados (0°) si entrase por proa, tendríamos:

- Ángulo de entrada de la mar al buque..... 131,8° (aleta estribor)

<sup>19</sup> Documento 10: "Informe sobre el naufragio/hundimiento del buque pesquero "Cordero" elaborado por el Ministerio de Fomento y remitido a la Dirección General de la Marina Mercante con fecha 20 de Febrero de 2008 (Nº reg. 1506 – Villagarcía).

<sup>20</sup> Documento 9: "Estudio sobre las condiciones de clima marítimo en el transcurso de accidentes de buques – Informe parcial – Tomo único – Buque Cordero" elaborado por el Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX) con fecha Abril de 2008.

Documento 10: "Informe sobre el naufragio/hundimiento del buque pesquero "Cordero" elaborado por el Ministerio de Fomento y remitido a la Dirección General de la Marina Mercante con fecha 20 de Febrero de 2008 (Nº reg. 1506 – Villagarcía).

- Ángulo de entrada del viento al buque ..... 71,8° (amura-través estribor)

Las consideraciones realizadas durante los ensayos han sido (*Figura – 12*):

- Rumbos ensayados de popa, aleta y través entrando la mar por la banda de estribor<sup>21</sup>.
- Cálculo de escora debida al viento entrando por el través.

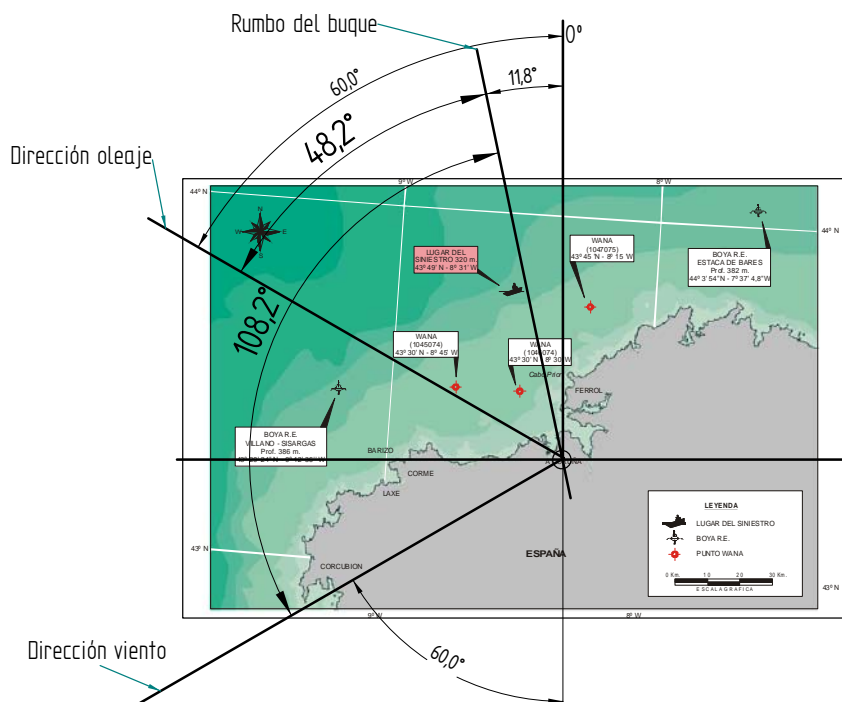


Figura 12: Esquema de rumbos de buque, oleaje y dirección de viento.

<sup>21</sup> El rumbo de entrada de la mar al buque es casi aleta pura, pero se consideran popa y través también dado que al ir el timón en automático las guiñadas propias podrían dar lugar a abarcar una popa y través.



## 6. MAGNITUDES MEDIDAS

Las medidas de todos los canales se registraron “en tierra” mediante un sistema de navegación inercial y telemetría en tiempo real con una frecuencia de muestreo de 20 Hz correspondientes a 5,44 Hz a escala del buque.

Durante los ensayos se registraron las siguientes magnitudes:

- Movimientos: Mediante un sistema de navegación inercial con telemetría, ubicado en el modelo. Se midieron el balance (roll), cabeceo (pitch) y guiñada (yaw). El balance es positivo hacia estribor, el cabeceo cuando se hunde la proa y la guiñada cuando el barco cae a babor.
- Movimiento del timón: Mediante el envío de señales al servo utilizando un sistema de telemetría

Todos los resultados se han convertido a escala real. Los factores de escala aplicados han sido los siguientes (*Tabla – XVII*):

Magnitud	Factor de escala
Movimiento Lineal	$\lambda$
Movimiento Angular	1

*Tabla- XVII: Factores de escala*

donde  $\lambda$  es la escala del modelo ( $\lambda = 13,5$ ).

Los ensayos se grabaron en vídeo mediante dos cámaras:

- General lateral
- General cenital

## 7. Metodología de ensayos. Fases ensayadas.

La metodología seguida en todos los ensayos fue la misma, siendo:

- Se configura el modelo en una situación de carga determinada antes de producirse el fenómeno que provoca la inundación del parque de pesca y su posterior hundimiento. Dicha situación viene prefijada por su desplazamiento, altura del centro de gravedad (KG), momentos de inercias y si ha lugar la acción del viento determinada.
- Se somete al modelo al supuesto que produciría la inundación de la cubierta del parque de pesca.
- Se ensaya el modelo autopropulsado y autogobernado con el oleaje irregular y las olas regulares determinadas en anteriores apartados.
- Se obliga al modelo a seguir rumbos en los que la mar actúe por su popa, aleta estribor y través estribor.

Cada una de las configuraciones del modelo ha generado una fase de ensayos (como se han denominado), siendo las fases ensayadas las siguientes (*Tabla – XVIII*)<sup>22</sup>:

**DATOS BARCO REAL**

Fase	Peak Proa (T)	Pesca (T)	Desplazamiento (T)	XG (m)	YG (m)	ZG (m)	Calado Pp (m)	Calado Pr (m)	Esc.inicial (°)	Esc.viento (°)	Esc ensayo (°)	GM (sin esc) (m)	Basura Abierta	Salabardeo Abierto	Agua en cubta	Otra avería
1	11,000	8,300	296,534	11,032	-0,049	3,122	2,902	3,447	-4,1	0,0	-4,1	0,703	NO	NO	NO	NO
2	11,000	8,300	296,534	11,032	-0,049	3,122	2,894	3,450	-4,1	10,3	6,2	0,703	NO	NO	NO	NO
4	11,000	8,300	296,534	11,032	-0,049	3,122	2,902	3,447	-4,1	10,3	6,2	0,703	SI	NO	NO	NO
4b	0,000	1,700	278,934	10,494	-0,005	3,175	3,089	2,909	-0,4	5,9	5,5	0,641	SI	NO	NO	NO
6	0,000	1,700	278,934	10,494	-0,005	3,175	3,089	2,909	-0,4	5,9	5,5	0,641	NO	SI	NO	NO
7	0,000	1,700	278,934	10,494	-0,005	3,175	3,089	2,909	-0,4	5,9	5,5	0,641	NO	NO	SI	NO
8	0,000	1,700	278,934	10,494	-0,005	3,175	3,089	2,909	-0,4	5,9	5,5	0,641	SI	NO	SI	NO
9	0,000	1,700	278,934	10,494	-0,005	3,175	3,089	2,909	-0,4	5,9	5,5	0,641	NO	NO	NO	Br - Pp en cubta pesca
10	0,000	1,700	278,934	10,494	-0,005	3,175	3,089	2,909	-0,4	5,9	5,5	0,641	NO	NO	NO	Er - Pp en cubta pesca

**DATOS MODELO**

Fase	Peak Proa (kg)	Pesca (kg)	Desplazamiento (kg)	XG (mm)	YG (mm)	ZG (mm)	Calado Pp (mm)	Calado Pr (mm)	Esc.inicial (°)	Esc.viento (°)	Esc ensayo (°)	GM (sin esc) (mm)	Basura Abierta	Salabardeo Abierto	Agua en cubta	Otra avería
1	4,471	3,373	120,524	817,2	-3,7	231,3	215,0	255,3	-4,1	0,0	-4,1	52,1	NO	NO	NO	NO
2	4,471	3,373	120,524	817,2	-3,7	231,3	214,4	255,6	-4,1	10,3	6,2	52,1	NO	NO	NO	NO
4	4,471	3,373	120,524	817,2	-3,7	231,3	215,0	255,3	-4,1	10,3	6,2	52,1	SI	NO	NO	NO
4b	0,000	0,691	113,371	777,3	-0,4	235,2	228,8	215,5	-0,4	5,9	5,5	47,5	SI	NO	NO	NO
6	0,000	0,691	113,371	777,3	-0,4	235,2	228,8	215,5	-0,4	5,9	5,5	47,5	NO	SI	NO	NO
7	0,000	0,691	113,371	777,3	-0,4	235,2	228,8	215,5	-0,4	5,9	5,5	47,5	NO	NO	SI	NO
8	0,000	0,691	113,371	777,3	-0,4	235,2	228,8	215,5	-0,4	5,9	5,5	47,5	SI	NO	SI	NO
9	0,000	0,691	113,371	777,3	-0,4	235,2	228,8	215,5	-0,4	5,9	5,5	47,5	NO	NO	NO	Br - Pp en cubta pesca
10	0,000	0,691	113,371	777,3	-0,4	235,2	228,8	215,5	-0,4	5,9	5,5	47,5	NO	NO	NO	Er - Pp en cubta pesca

*Tabla - XVIII: Fases ensayadas*

<sup>22</sup> NOTAS:

1. La relación de fases ensayadas no es correlativa al haberse excluido fases del protocolo de ensayos inicialmente previsto y haberse generados otras nuevas como consecuencia de los resultados que se iban obteniendo durante la realización de los ensayos. Para evitar posibles confusiones no se ha cambiado la denominación de las mismas.
2. En todas las fases en las que se ha considerado agua en la cubierta de parque de pesca NO se ha tenido en cuenta la distribución interior de la misma, al no disponer de los datos al respecto. Es por ello que se ha considerado en el modelo un parque de pesca con una permeabilidad del cien por cien (100%). En base a las distribución de equipos, maquinaria, ... en este tipo de buques el agua estimada en cubierta subiría un poco el nivel de agua (por su diferente permeabilidad), pero en referencia a los efectos de movimiento de las cantidades embarcadas/consideradas no debe ser significativa esta disposición general del parque en cubierta de pesca, al ser por regla general equipos de trabajo que se encuentran separados del suelo de la cubierta.

## **8. Resultados de los ensayos.**

### **8.1 Justificación de las fases seleccionadas. Resultados cualitativos de las mismas.**

La justificación de las diferentes fases ensayadas, y los resultados cualitativos observados se expone a continuación:

- **Fase 1:** se selecciona la situación de carga de mayor desplazamiento, por ser la más conservadora.  
En este primer supuesto, para conocer el comportamiento del buque como tal y poder desechar que la posible y única causa del hundimiento podría ser la conjunción de oleaje y viento reinante se realizan los ensayos sin aplicar la escora producida por el viento.  
Se observa un comportamiento adecuado del modelo respecto a estabilidad.  
Aunque parece mojar las marcas indicadoras de la puerta de salabardeo y sobre todo del túnel de basuras no son inmersiones significativas, máxime cuando por la disposición general del buque la puerta de salabardeo, en lo que corresponde a su posible inmersión se encuentra separado del costado y lo mismo ocurre con la tapa del tronco de basuras que además se encuentra elevada sobre la apertura al costado.
- **Fase 2:** se selecciona la situación de carga de mayor desplazamiento pero se incluye el efecto de viento, lo que hace escorar al modelo a la banda de babor, como así mismo se deduce de las declaraciones de los supervivientes<sup>23</sup> se encontraba el buque en el momento del accidente.  
Se observa un comportamiento adecuado del modelo respecto a estabilidad.  
Parece sumergir las marcas indicadoras del túnel de basuras, comenzando a considerarse significativas dichas inmersiones.
- **Fase 4:** atendiendo a los resultados observados en la anterior fase se opta por abrir en el costado la salida del tronco de basuras y fijar el modelo que simula dicho tronco al costado del barco, dejando la tapa del mismo abierta (supuesto 1-b de las causas de hundimiento expuesto en el apartado 4 del presente informe).  
El modelo de tronco fue construido a la misma escala que el modelo del barco en base a los datos disponibles<sup>24</sup> y situado en su posición correspondiente (*Figura – 13*).  
Puede observarse como el tronco se encuentra abierto al costado y por su parte superior.

<sup>23</sup> Documento 13: “Declaración de D. Hendra Hermawan (marinero)” de fecha 21 de Enero de 2008.

<sup>24</sup> Documento 2: “Planos de Disposición General” elaborado por Cintranaval-Vigo, S.L. con fecha Octubre 1997 (2 hojas) y con última modificación el 26 de Octubre de 1998 (actualización definitiva), correspondiente a la construcción número “C.64” del cliente “M. Cies, S.L.” con referencia “P/1331” y plano número “DG1331R”.

Documento 3: “Certificado nacional de Francobordo” de fecha 16 de Noviembre de 1998 (7 hojas).



Figura 13: Modelo del tronco de basuras visto desde popa estribor y desde la cubierta superior.

No se observan entradas de agua durante los ensayos, viéndose que sí moja y sumerge la apertura en el costado pero el agua no termina de entrar en el modelo a causa de la geometría del tronco.

- **Fase 4b:** atendiendo a los resultados observados en la anterior fase se opta por cambiar la situación de carga, pasando el modelo a la de menor desplazamiento.

Esta situación de carga es en principio más crítica para el barco, dado que se considera una menor cantidad de hielo y pesca, pesos bajos que hacen aumentar la estabilidad del buque.

Mencionar que la pérdida de estabilidad no es muy significativa, pero en cambio si es notorio el cambio de asiento del buque, pasando de un trimado negativo (proa más hundida que la popa) a un trimado ligeramente positivo, lo que en principio puede dar lugar a la acumulación de agua en cubierta (en caso de embarque) y a tener más cerca de la flotación el puerto de basuras, al encontrarse éste situado en la popa del modelo (Figura – 14).



Figura 14: Situación de ensayo correspondiente a la Fase 4b, pudiendo observar la apertura al costado del tronco de basuras.

Se observan entradas de agua pero no la suficiente cantidad como para producir el vuelco y/o hundimiento del buque.

Así mismo se observa que a pesar de embarcar agua, debido a los balances intensos el agua acumulada en la cubierta es expulsada al exterior por la misma tapa del puerto de basuras, habiendo momentos que el agua expulsada supera a la embarcada, llegando a un equilibrio de cantidad de agua en cubierta insuficiente como para producir la zozobra.

- **Fase 6:** manteniendo la situación de menor desplazamiento (más crítica como se ha comentado anteriormente) se procede a cerrar la apertura al costado del tronco de basuras y abrir la puerta de salabardeo, con vistas a estudiar si es posible que se produjera la inundación progresiva por este punto, en principio y en estática este punto tiene un menor ángulo de inundación como se expuso en el apartado 3.5 del presente informe (supuesto 1-a de las causas de hundimiento expuesto en el apartado 4 del presente informe).

El modelo de la zona de salabardeo fue construido a escala y en base a los datos disponibles del barco<sup>23</sup> (*Figura – 15*) y situado en su posición correspondiente (*Figura – 16*) incluyendo un imbornal con claqueta que permitiera la evacuación del agua embarcada en el nicho existente entre el costado del buque y el mamparo de la puerta (*Figura – 17*). En la *Figura – 18* puede observarse la disposición anteriormente comentada durante la fase de ensayos.



*Figura 15: Detalle de la puerta de salabardeo y del nicho existente entre la misma y el costado.*



*Figura 16: Modelo de la zona de salabardeo, pudiendo observar la puerta abierta. Vista desde el costado de estribor.*



Figura 17: Detalle del imbornal con claqueta para el desague del agua embarcada en el nicho entre el costado y la puerta de salabardeo.



Figura 18: Situación de ensayo correspondiente a la fase 6, pudiendo observar la zona de salabardeo abierta y la apertura de basuras cerrada.

Se observan entradas de agua pero no la suficiente cantidad como para producir el vuelco y/o hundimiento del buque.

La mayor parte del agua embarcada lo hace en la zona del nicho existente entre el costado y la brazola de la puerta de salabardeo, agua que es devuelta al mar a través del imbornal con claqueta.

Así mismo se observa que a pesar de embarcar agua, este tiende a acumularse en popa, por lo que la puerta de salabardeo queda más salida del agua y se minimiza la entrada y a su vez también vuelve a producirse el fenómeno observado en la fase 4b, en el que en los balances intensos el agua acumulada en la cubierta es expulsada al exterior al pasar por encima de la brazola de la puerta de salabardeo, habiendo momentos que el agua expulsada iguala o supera a la embarcada, llegando a un equilibrio de cantidad de agua en cubierta insuficiente como para producir la zozobra.

- **Fase 7:** manteniendo la situación de menor desplazamiento (más crítica como se ha comentado anteriormente) se procede a cerrar todas las aperturas al costado (tronco de basuras y puerta de salabardeo) y proceder a estudiar, con el buque totalmente estanco, la influencia del agua en cubierta (supuesto 3 de las causas de hundimiento expuesto en el apartado 4 del presente informe).

Se carga la cubierta con las siguientes cantidades de agua (Tabla – XIX):

Supuesto	Agua sobre cubierta	
	Buque real (T)	Modelo (cm <sup>3</sup> )
1	2,0	820
2	4,0	1640
3	6,0	2460
4	8,0	3280
5	10,0	4300

Tabla - XIX: Fase de ensayos con agua sobre cubierta: volumen de agua embarcada

Se observa que en todos los casos el modelo soporta los ensayos correspondientes a mares irregulares, observándose que con una cantidad de agua de diez toneladas (10 T) sobre cubierta el modelo comienza a tender a quedarse dormido (periodo de recuperación muy lento), notificándose un comienzo de pérdida de estabilidad.

La cantidad de agua en cubierta no se determina en ninguno de los informes ni declaraciones presentadas, por lo que no es posible estimar la cantidad de agua en cubierta en los momentos previos al siniestro.

De forma exclusivamente orientativa y en el supuesto de que el agua sobre la cubierta, ocupase toda la manga (la manga media sobre la cubierta del parque de pesca se puede aproximar muy exactamente en un valor medio de siete con un metros) y abarcase la eslora total de la cubierta de pesca (eslora media de la superficie abarcada, una vez minimizada en el espacio de tapa de bodega, acceso al salabardeo y acceso a cámara de máquinas, de nueve con seis metros), el agua equivalente sobre la cubierta (supuesto reparto uniforme) hubiera sido (*Tabla – XX*):

$$B_{\text{zona inundada}} \approx 7,1 \text{ m}$$

$$L_{\text{zona inundada}} \approx 9,6 \text{ m}$$

$$S_{\text{zona inundada}} \approx 68,2 \text{ m}^2$$

Supuesto	Agua sobre cubierta	
	Cantidad (T)	Altura equivalente (mm)
1	2,0	29,4
2	4,0	58,6
3	6,0	88,0
4	8,0	117,3
5	10,0	146,6

*Tabla – XX: Fase de ensayos con agua sobre cubierta: altura de agua embarcada*

Como puede observarse desde el punto de vista estático en ninguno de los supuestos el agua sobre la cubierta produciría la inundación progresiva de los compartimientos bajo la cubierta del parque de pesca, salvo que por fenómenos dinámicos (efecto del movimiento del agua debido al balance y cabeceo del barco) esta agua superase los límites de las brazolas de bodega y/o acceso a cámara de máquinas, factor que en ningún momento consta en las declaraciones de las que se dispone.

- **Fase 8:** manteniendo la situación de menor desplazamiento (más crítica como se ha comentado anteriormente) se procede a abrir la tapa del tronco de basuras y comenzar el ensayo con una cantidad equivalente a diez toneladas (10 T) de agua en cubierta de parque de pesca, para estudiar si la casuística hubiera permitido la acumulación de una cantidad considerable de agua en dicha cubierta a través de la avería

mencionada y que debido a esa cantidad acumulada ya no se produjese el desagüe debido a balances intensos mencionados en la fase 4b.

Tras la realización del ensayo se observa el mismo fenómeno mencionado en la fase 4b, en balances intensos el agua desembarcada supera a la embarcada, produciéndose una disminución del agua sobre cubierta, resultando tras finalizar el tiempo de ensayos equivalente a los cuarenta minutos de buque real con una cantidad de agua en cubierta inferior a las ocho toneladas (< 8T).

- **Fase 9:** manteniendo la situación de menor desplazamiento (más crítica como se ha comentado anteriormente) se procede a cerrar todas las aperturas al costado (tronco de basuras y puerta de salabardeo) y proceder a simular una avería a ras y por encima de la cubierta de pesca, en su zona de popa (supuesto 2b de las causas de hundimiento expuesto en el apartado 4 del presente informe) por la banda de babor.

La avería simulada es de las siguientes características (*Figura – 19*):

Eslora de la avería .....1.000 mm  
 Altura de la avería..... 550 mm  
 Banda de la avería.....Br  
 Posición longitudinal .....comenzando en el puerto de basuras hacia proa (sin afectar al mismo)  
 Posición vertical .....borde inferior a ras de la parte superior de la cubierta del parque de pesca



*Figura 19: Situación de ensayo correspondiente a la Fase 9, pudiendo observar la avería simulada en la zona de popa babor.*

A pesar de lo cercana que se encuentra la avería al nivel del agua se observan entradas pero no la suficiente cantidad como para producir el vuelco y/o hundimiento del buque.



Así mismo se observa que a pesar de embarcar agua, al encontrarse el buque escorado a la misma banda de la avería se produce un desagüe por la misma, quedando una cantidad de agua residual que no causa hundimiento del buque.

- **Fase 10:** manteniendo la situación de menor desplazamiento (más crítica como se ha comentado anteriormente) se procede a cerrar la avería de la banda de babor y a simular una avería a ras y por encima de la cubierta de pesca, en su zona de popa (supuesto 2b de las causas de hundimiento expuesto en el apartado 4 del presente informe) pero por la banda de estribor.

La avería simulada es de las siguientes características (*Figura – 20*):

Eslora de la avería.....1.000 mm  
 Altura de la avería..... 550 mm  
 Banda de la avería.....Er  
 Posición longitudinal .....comenzando en la coordenada  
 equivalente al puerto de basuras hacia  
 proa pero a la banda contraria  
 Posición vertical.....borde inferior a ras de la parte superior  
 de la cubierta del parque de pesca



*Figura 20: Situación de ensayo correspondiente a la Fase 10, pudiendo observar la avería simulada en la zona de popa estribor.*

En este supuesto la avería queda más alejada del agua (al encontrarse el modelo escorado a la banda contraria, babor), lo que produce una menor cantidad de agua embarcada.

El agua embarcada hace aumentar la escora del barco, pero a su vez este aumento de escora separa más la avería del agua, lo que produce que cese el embarque de agua y el modelo se estabiliza, soportando adecuadamente el oleaje al que es sometido.

## 8.2 Análisis estadísticos de los resultados medidos.

La metodología seguida en la realización de los ensayos se expuso en el apartado 7 del presente informe.

Los resultados adquiridos durante los ensayos son los correspondientes a los movimientos de balance (roll), cabeceo (pitch) y guiñada (yaw) del modelo siendo éste último el que permitiría estudiar los movimientos principales atendiendo a los rumbos en función del oleaje, es decir, la influencia de la mar cuando le llegaba al modelo de popa, aleta estribor o través estribor.

Es por ello que se definieron diferentes trayectorias para optimizar el recorrido dentro del vaso del canal de ensayos.

Durante la realización de los mismos se observó que la estabilidad de ruta del modelo, debido fundamentalmente a la escasa velocidad del mismo (cuatro nudos y medio), era escasa, siendo difícil gobernarlo a rumbo fijo y viéndose sometido a numerosas guiñadas que obligaba a actuar sobre el timón de manera prácticamente continua.

A causa de dicha inestabilidad de ruta no fue posible mantener rumbos fijos, por lo que los estudios estadísticos de los resultados obtenidos se van a realizar en conjunto y considerando como variable el tipo de oleaje al que el modelo estaba sometido, es decir, los valores estadísticos que se exponen a continuación corresponden a una determinada ola y dentro de ella al conjunto de todas las trayectorias que abarcan desde la entrada de mar por la popa hasta el través estribor.

Si se comparan los resultados de las distintas fases (*Figura 21*), no incluyendo las correspondientes a averías y agua en cubierta al haberlas realizados sólo con ola irregular y/o con distintas cantidades de agua en cubierta, se observa que la que produce ángulos de balance más intensos es la denominada Fase -4, aunque los órdenes de magnitud de casi todas ellas (excluyendo la Fase -1 en la que no se consideró el efecto del viento) son similares.

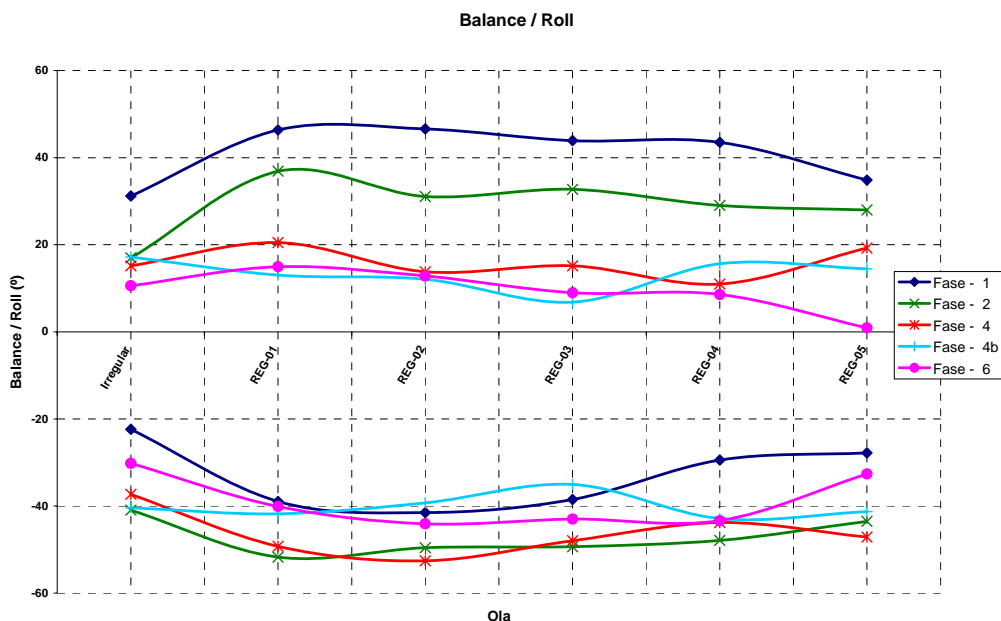


Figura 21: Valores máximos de los movimientos de balance producidos en las diferentes fases y con los diferentes oleajes ensayados.

**Fase 1 - OLA IRREGULAR**

CANAL	Unidad	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Media	Máximo Pico Pico	Pico Pico	1/3 Pico Pico	1/10		1/3	Media	1/3	1/10	Mínimos	Periodo Medio	Periodo Máximo
											Máximos	Mínimos							
ROLL	°	3,905	-22,40	6,147	7,283	15,18	11,54	47,50	26,21	34,27	11,54	22,87	17,79	-3,641	-9,264	-13,07	7,603	7,460	152,2
PITCH	°	-1,083	-15,36	2,462	2,681	6,094	1,914	25,68	10,45	14,19	4,295	6,230	4,295	-4,179	-6,899	-8,785	7,460	7,460	95,67

**Fase 1 - OLA REGULAR 1 (REG01)**

CANAL	Unidad	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Media	Máximo Pico Pico	Pico Pico	1/3 Pico Pico	1/10		1/3	Media	1/3	1/10	Mínimos	Periodo Medio	Periodo Máximo
											Máximos	Mínimos							
ROLL	°	3,503	-38,93	10,84	11,39	24,10	15,69	69,61	47,05	60,75	15,69	34,78	27,15	-8,411	-20,66	-30,55	7,039	8,175	69,82
PITCH	°	-1,949	-21,58	5,921	6,233	17,99	6,322	33,40	26,06	29,56	9,819	11,52	9,819	-11,67	-17,01	-19,12	8,175	8,175	269,9

**Fase 1 - OLA REGULAR 2 (REG02)**

CANAL	Unidad	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Media	Máximo Pico Pico	Pico Pico	1/3 Pico Pico	1/10		1/3	Media	1/3	1/10	Mínimos	Periodo Medio	Periodo Máximo
											Máximos	Mínimos							
ROLL	°	2,893	-41,50	14,41	14,69	37,76	21,94	69,50	59,09	65,49	21,94	38,42	33,05	-15,82	-27,90	-34,38	7,984	7,984	107,3
PITCH	°	-1,687	-17,14	5,273	5,536	14,35	5,721	29,18	19,81	21,87	9,351	10,91	9,351	-8,629	-11,31	-12,94	7,878	7,878	107,9

**Fase 1 - OLA REGULAR 3 (REG03)**

CANAL	Unidad	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Media	Máximo Pico Pico	Pico Pico	1/3 Pico Pico	1/10		1/3	Media	1/3	1/10	Mínimos	Periodo Medio	Periodo Máximo
											Máximos	Mínimos							
ROLL	°	4,189	-38,50	14,40	15,00	36,84	22,79	71,45	59,12	65,25	22,79	40,48	35,09	-14,06	-26,15	-32,40	8,224	8,224	109,3
PITCH	°	-1,751	-26,70	5,181	5,469	13,24	5,070	42,11	21,12	25,65	9,081	11,11	9,081	-8,167	-12,80	-16,52	8,034	8,034	145,8

**Fase 1 - OLA REGULAR 4 (REG04)**

CANAL	Unidad	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Media	Máximo Pico Pico	Pico Pico	1/3 Pico Pico	1/10		1/3	Media	1/3	1/10	Mínimos	Periodo Medio	Periodo Máximo
											Máximos	Mínimos							
ROLL	°	3,764	-29,46	12,39	12,95	30,39	19,04	67,22	52,23	59,76	19,04	34,74	30,99	-11,35	-21,74	-26,38	8,327	8,327	31,24
PITCH	°	-1,155	-12,51	5,159	5,286	12,75	5,513	24,38	19,85	21,63	9,413	10,75	9,413	-7,241	-10,77	-11,60	8,313	8,313	55,61

**Fase 1 - OLA REGULAR 5 (REG05)**

CANAL	Unidad	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Media	Máximo Pico Pico	Pico Pico	1/3 Pico Pico	1/10		1/3	Media	1/3	1/10	Mínimos	Periodo Medio	Periodo Máximo
											Máximos	Mínimos							
ROLL	°	4,621	-27,78	11,05	11,97	29,24	19,44	62,57	47,77	54,69	19,44	33,83	30,43	-9,800	-17,64	-22,29	9,268	9,268	88,60
PITCH	°	-1,484	-25,81	4,964	5,181	12,46	4,819	35,14	19,43	22,40	8,352	9,612	8,352	-7,639	-11,59	-14,04	9,176	9,176	89,71

**Tabla - XXI: Estadísticas balance y cabeceo. Fase 1. Ola irregular y regulares**

**Fase 2 - OLA IRREGULAR**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		1/10	Media Mínimos	1/3		1/10	Periodo	
									Pico Pico	Pico Pico			Máximos	Mínimos		Medio	Máximo
ROLL	°	-8,532	17,00	-40,96	7,282	11,22	19,19	52,60	29,92	29,92	37,28	0,884	6,060	-24,73	-29,11	7,521	169,1
PITCH	°	-1,459	10,17	-13,69	2,587	2,970	6,737	19,57	10,37	13,18	1,902	5,838	-7,039	-8,722	8,019	167,0	

**Fase 2 - OLA REGULAR 1 (REG01)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		1/10	Media Mínimos	1/3		1/10	Periodo	
									Pico Pico	Pico Pico			Máximos	Mínimos		Medio	Máximo
ROLL	°	-8,729	36,91	-51,74	11,08	14,11	27,57	73,23	53,21	64,60	4,626	17,20	-22,95	-37,58	-44,05	8,927	213,8
PITCH	°	-2,022	15,73	-24,99	5,065	5,454	15,28	35,86	24,84	31,14	5,047	9,813	-10,23	-16,23	-21,28	10,15	291,1

**Fase 2 - OLA REGULAR 2 (REG02)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		1/10	Media Mínimos	1/3		1/10	Periodo	
									Pico Pico	Pico Pico			Máximos	Mínimos		Medio	Máximo
ROLL	°	-9,529	31,08	-49,59	13,58	16,59	37,96	70,58	58,50	64,62	8,697	19,51	-29,26	-41,41	-46,22	8,718	144,5
PITCH	°	-2,218	13,73	-21,69	5,364	5,805	14,64	33,12	19,94	23,71	5,003	8,584	-9,635	-13,31	-16,68	8,463	126,6

**Fase 2 - OLA REGULAR 3 (REG03)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		1/10	Media Mínimos	1/3		1/10	Periodo	
									Pico Pico	Pico Pico			Máximos	Mínimos		Medio	Máximo
ROLL	°	-10,15	32,71	-49,34	13,61	16,98	38,86	71,10	58,66	64,49	8,424	17,72	-30,44	-42,85	-46,69	8,986	149,3
PITCH	°	-2,073	13,20	-22,35	5,175	5,575	13,70	30,17	20,26	24,33	4,830	8,488	-8,873	-13,64	-17,58	9,013	148,0

**Fase 2 - OLA REGULAR 4 (REG04)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		1/10	Media Mínimos	1/3		1/10	Periodo	
									Pico Pico	Pico Pico			Máximos	Mínimos		Medio	Máximo
ROLL	°	-10,09	29,04	-47,88	12,57	16,12	35,16	65,08	53,43	60,08	6,697	14,04	-28,46	-40,32	-46,06	9,191	150,5
PITCH	°	-2,258	15,81	-24,85	5,745	6,173	15,70	31,99	23,08	28,09	5,604	9,823	-10,10	-15,58	-21,39	9,607	134,1

**Fase 2 - OLA REGULAR 5 (REG05)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		1/10	Media Mínimos	1/3		1/10	Periodo	
									Pico Pico	Pico Pico			Máximos	Mínimos		Medio	Máximo
ROLL	°	-8,873	28,01	-43,53	8,249	12,12	25,04	59,21	43,44	51,10	2,568	9,423	-22,48	-34,51	-40,33	14,26	698,6
PITCH	°	-1,808	12,70	-28,08	4,073	4,456	12,48	34,69	20,33	24,17	4,120	8,316	-8,362	-13,38	-18,51	15,10	698,8

**Tabla - XXII: Estadísticas balance y cabeceo. Fase 2. Ola irregular y regulares**

**Fase 4 - OLA IRREGULAR**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		Media		1/10		1/3		1/10		Periodo	
									Pico Pico	Pico Pico	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Medio	Máximo
ROLL	°	-7,959	15,17	-37,28	5,093	9,449	11,98	48,30	21,78	28,76	-2,037	-14,02	5,825	-19,71	-23,76	7,442	33,38			
PITCH	°	-1,356	7,518	-10,63	2,077	2,480	4,966	15,67	8,842	11,73	1,147	-3,820	4,962	-5,957	8,167	134,8				

**Fase 4 - OLA REGULAR 1 (REG01)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		Media		1/10		1/3		1/10		Periodo	
									Pico Pico	Pico Pico	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Medio	Máximo		
ROLL	°	-9,686	20,50	-49,27	8,528	12,90	26,57	61,63	51,53	59,32	1,996	-24,57	15,81	-40,92	-47,53	11,25	300,8			
PITCH	°	-1,852	12,82	-15,39	3,548	4,003	10,53	26,66	19,64	23,23	3,350	-7,177	11,26	-11,69	12,79	147,0				

**Fase 4 - OLA REGULAR 2 (REG02)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		Media		1/10		1/3		1/10		Periodo	
									Pico Pico	Pico Pico	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Medio	Máximo		
ROLL	°	-9,666	13,78	-52,59	6,836	11,84	18,93	59,58	41,11	54,75	-1,397	-20,33	11,01	-34,81	-45,34	14,25	347,7			
PITCH	°	-1,936	12,59	-17,24	3,544	4,038	11,69	26,39	18,78	21,83	3,757	-7,937	9,442	-12,23	-14,68	14,59	308,1			

**Fase 4 - OLA REGULAR 3 (REG03)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		Media		1/10		1/3		1/10		Periodo	
									Pico Pico	Pico Pico	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Medio	Máximo		
ROLL	°	-9,711	15,17	-47,96	7,210	12,10	16,49	60,66	36,96	55,33	-1,988	-18,48	11,72	-31,48	-44,24	11,22	93,07			
PITCH	°	-1,895	9,744	-17,16	3,714	4,169	11,30	25,46	18,44	22,25	3,451	-7,844	8,602	-12,65	-15,20	14,84	210,2			

**Fase 4 - OLA REGULAR 4 (REG04)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		Media		1/10		1/3		1/10		Periodo	
									Pico Pico	Pico Pico	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Medio	Máximo		
ROLL	°	-8,605	10,98	-43,82	5,302	10,11	9,987	54,79	21,99	40,23	-3,688	-13,67	7,032	-21,24	-33,42	9,448	45,51			
PITCH	°	-1,544	15,34	-16,75	4,010	4,297	10,76	29,56	19,55	22,88	3,546	-7,212	9,851	-12,10	-13,90	13,54	157,3			

**Fase 4 - OLA REGULAR 5 (REG05)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		Media		1/10		1/3		1/10		Periodo	
									Pico Pico	Pico Pico	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Medio	Máximo		
ROLL	°	-8,098	19,25	-47,11	5,683	9,894	9,790	64,73	22,35	43,03	-3,160	-12,95	10,89	-20,23	-33,50	8,631	37,63			
PITCH	°	-1,314	9,979	-15,09	3,920	4,134	12,05	24,34	19,68	21,82	4,497	-7,551	9,586	-12,15	-13,81	15,89	153,9			

**Tabla - XXIII : Estadísticas balance y cabeceo. Fase 4. Ola irregular y regulares**

**Fase 4b - OLA IRREGULAR**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3 Pico Pico	1/10 Pico Pico	Media		1/10 Máximos	1/3 Máximos	1/10 Mínimos	1/3 Mínimos	1/10 Medio	Periodo Máximo
											Máximos	Mínimos						
ROLL	°	-8,249	17,22	-40,37	5,664	10,01	13,96	57,59	23,97	31,35	-1,347	-15,31	6,904	-20,93	-25,11	8,245	52,96	
PITCH	°	0,614	11,41	-8,890	2,219	2,302	5,668	18,89	9,163	12,36	3,427	-2,241	7,094	-4,340	-6,004	8,571	90,70	

**Fase 4b - OLA REGULAR 1 (REG01)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3 Pico Pico	1/10 Pico Pico	Media		1/10 Máximos	1/3 Máximos	1/10 Mínimos	1/3 Mínimos	1/10 Medio	Periodo Máximo
											Máximos	Mínimos						
ROLL	°	-10,43	13,02	-41,80	7,431	12,81	17,89	54,81	36,38	48,23	-2,139	-20,03	9,485	-31,66	-38,76	8,892	43,32	
PITCH	°	1,105	13,52	-11,95	3,958	4,110	10,83	23,70	19,96	22,57	6,385	-4,445	12,44	-8,825	-10,71	11,07	144,8	

**Fase 4b - OLA REGULAR 2 (REG02)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3 Pico Pico	1/10 Pico Pico	Media		1/10 Máximos	1/3 Máximos	1/10 Mínimos	1/3 Mínimos	1/10 Medio	Periodo Máximo
											Máximos	Mínimos						
ROLL	°	-10,24	12,08	-39,26	7,558	12,72	22,13	48,45	41,37	46,75	-0,117	-22,25	9,968	-34,07	-38,00	10,49	170,9	
PITCH	°	0,913	12,36	-12,27	4,119	4,219	12,22	24,28	19,53	21,83	7,052	-5,164	11,99	-8,791	-10,99	11,44	164,3	

**Fase 4b - OLA REGULAR 3 (REG03)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3 Pico Pico	1/10 Pico Pico	Media		1/10 Máximos	1/3 Máximos	1/10 Mínimos	1/3 Mínimos	1/10 Medio	Periodo Máximo
											Máximos	Mínimos						
ROLL	°	-9,731	6,823	-35,03	5,350	11,10	14,03	40,58	29,17	40,17	-3,231	-17,27	5,939	-26,86	-34,25	12,35	115,4	
PITCH	°	0,227	14,30	-13,76	4,238	4,244	11,34	25,83	19,60	22,43	5,739	-5,605	11,20	-10,73	-13,05	11,94	136,3	

**Fase 4b - OLA REGULAR 4 (REG04)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3 Pico Pico	1/10 Pico Pico	Media		1/10 Máximos	1/3 Máximos	1/10 Mínimos	1/3 Mínimos	1/10 Medio	Periodo Máximo
											Máximos	Mínimos						
ROLL	°	-9,228	15,64	-42,87	7,209	11,71	16,65	54,35	37,37	51,21	-1,216	-17,86	11,80	-30,91	-40,46	12,33	92,24	
PITCH	°	0,410	17,77	-14,42	4,190	4,210	11,50	30,12	19,57	23,74	5,940	-5,558	12,42	-10,57	-13,34	13,12	85,58	

**Fase 4b - OLA REGULAR 5 (REG05)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3 Pico Pico	1/10 Pico Pico	Media		1/10 Máximos	1/3 Máximos	1/10 Mínimos	1/3 Mínimos	1/10 Medio	Periodo Máximo
											Máximos	Mínimos						
ROLL	°	-8,772	14,46	-41,28	6,773	11,08	17,28	55,33	37,01	52,49	-0,558	-17,83	13,91	-29,69	-38,68	12,63	113,0	
PITCH	°	0,490	16,73	-15,29	3,964	3,995	9,939	29,49	19,09	23,69	5,284	-4,655	12,63	-9,599	-12,64	12,95	132,4	

**Tabla - XXIV: Estadísticas balance y cabeceo. Fase 4b. Ola irregular y regulares**

**Fase 6 - OLA IRREGULAR**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media		1/3 Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		1/10		Periodo Medio	Periodo Máximo
							Pico Pico	10,54			Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos		
ROLL	°	-8,697	10,61	-30,19	5,648	10,54	14,20	28,85	23,55	37,20	-1,899	2,208	4,793	-25,33	8,439	54,38
PITCH	°	0,646	10,18	-11,08	2,256	2,346	5,817	12,34	9,703	20,75	3,513	5,613	7,032	-4,597	8,337	88,24

**Fase 6 - OLA REGULAR 1 (REG01)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media		1/3 Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		1/10		Periodo Medio	Periodo Máximo
							Pico Pico	6,093			Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos		
ROLL	°	-8,184	14,98	-40,10	4,815	9,495	6,093	28,18	13,95	45,19	-5,702	-2,668	3,044	-17,06	15,13	292,2
PITCH	°	1,057	13,47	-10,09	2,032	2,290	7,055	17,54	14,08	21,68	4,323	8,069	10,24	-6,492	36,76	1 011

**Fase 6 - OLA REGULAR 2 (REG02)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media		1/3 Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		1/10		Periodo Medio	Periodo Máximo
							Pico Pico	19,22			Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos		
ROLL	°	-10,33	12,85	-44,07	5,876	11,88	19,22	45,11	35,71	56,92	-3,472	3,028	7,994	-33,20	13,53	219,9
PITCH	°	0,773	11,70	-10,69	2,670	2,779	7,505	17,52	13,92	19,33	4,353	7,415	9,663	-7,013	13,63	97,05

**Fase 6 - OLA REGULAR 3 (REG03)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media		1/3 Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		1/10		Periodo Medio	Periodo Máximo
							Pico Pico	16,61			Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos		
ROLL	°	-12,51	8,988	-43,00	6,488	14,10	16,61	46,10	35,27	50,28	-5,618	2,567	6,478	-33,49	14,50	126,2
PITCH	°	0,908	14,95	-12,77	3,537	3,652	7,931	21,85	16,98	24,35	4,849	9,808	12,02	-7,570	10,46	166,1

**Fase 6 - OLA REGULAR 4 (REG04)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media		1/3 Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		1/10		Periodo Medio	Periodo Máximo
							Pico Pico	14,41			Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos		
ROLL	°	-10,98	8,599	-43,37	6,096	12,56	14,41	43,13	31,98	49,40	-4,967	1,349	5,412	-31,37	12,85	131,0
PITCH	°	0,682	15,66	-13,77	3,588	3,652	8,196	22,41	17,21	27,26	4,705	9,361	12,98	-8,287	11,83	111,1

**Fase 6 - OLA REGULAR 5 (REG05)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media		1/3 Pico Pico	Maximo Pico Pico	1/3		1/10		Periodo Medio	Periodo Máximo
							Pico Pico	12,54			Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos		
ROLL	°	-10,37	0,937	-32,66	4,782	11,42	12,54	30,73	25,25	31,93	-5,826	-1,312	0,315	-27,12	10,41	19,65
PITCH	°	0,430	14,67	-16,80	4,064	4,086	12,21	23,77	19,56	29,82	6,176	9,774	12,45	-10,76	15,50	153,3

**Tabla - XXV : Estadísticas balance y cabeceo. Fase 6. Ola irregular y regulares**

**Fase 7 - OLA IRREGULAR**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media		Pico Pico		1/3	1/10		1/3	1/10		Periodo Medio	Periodo Máximo
							Pico Pico	1/3	Máximos	Mínimos		Máximos	Mínimos		Máximos	Mínimos		
ROLL	°	-11,08	11,08	-34,21	5,475	12,36	13,68	13,68	27,59	21,40	-4,077	4,424	-17,76	-21,76	-24,83	8,293	109,3	
PITCH	°	0,412	10,14	-9,318	2,625	2,657	6,643	6,643	12,55	10,21	3,709	7,256	-2,934	-5,098	-6,488	6,348	67,92	

**Fase 7 - OLA REGULAR 1 (REG01)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media		Pico Pico		1/3	1/10		1/3	1/10		Periodo Medio	Periodo Máximo
							Pico Pico	1/3	Máximos	Mínimos		Máximos	Mínimos		Máximos	Mínimos		
ROLL	°	-12,37	6,187	-24,72	3,557	12,87	7,611	7,611	21,64	16,17	-8,384	0,217	-16,00	-20,21	-23,05	8,098	19,76	
PITCH	°	1,015	10,05	-9,735	2,018	2,258	3,669	3,669	13,36	8,601	2,791	8,142	-0,878	-3,110	-5,487	7,305	35,24	

**Tabla - XXVI: Estadísticas balance y cabeceo. Fase 7. Ola irregular y regular**

**Fase 8 - OLA IRREGULAR**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media		Pico Pico		1/3	1/10		1/3	1/10		Periodo Medio	Periodo Máximo
							Pico Pico	1/3	Máximos	Mínimos		Máximos	Mínimos		Máximos	Mínimos		
ROLL	°	-12,96	2,967	-29,25	4,473	13,71	11,03	11,03	21,50	17,29	-7,389	-3,555	-18,42	-21,98	-24,99	7,847	19,08	
PITCH	°	-0,0502	8,502	-10,05	2,611	2,611	6,649	6,649	12,54	9,943	3,263	6,500	-3,387	-5,443	-7,039	6,443	18,26	

**Fase 8 - OLA REGULAR 1 (REG01)**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media		Pico Pico		1/3	1/10		1/3	1/10		Periodo Medio	Periodo Máximo
							Pico Pico	1/3	Máximos	Mínimos		Máximos	Mínimos		Máximos	Mínimos		
ROLL	°	-11,66	6,279	-33,24	7,140	13,68	22,60	22,60	36,35	33,46	-1,118	5,905	-23,71	-29,65	-31,89	11,69	124,7	
PITCH	°	1,479	13,68	-9,172	3,844	4,119	11,91	11,91	20,22	19,58	7,735	12,17	-4,175	-7,612	-8,476	9,660	53,95	

**Tabla - XXVII: Estadísticas balance y cabeceo. Fase 8. Ola irregular y regular**

**Fase 9 - OLA IRREGULAR**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media		Pico Pico		1/3	1/10		1/3	1/10		Periodo Medio	Periodo Máximo
							Pico Pico	1/3	Máximos	Mínimos		Máximos	Mínimos		Máximos	Mínimos		
ROLL	°	-10,71	6,862	-30,87	5,346	11,97	13,68	13,68	24,42	20,36	-4,015	1,775	-17,70	-21,68	-24,37	7,715	82,84	
PITCH	°	0,117	9,790	-10,46	2,549	2,562	6,460	6,460	12,50	9,996	3,342	6,797	-3,117	-5,208	-6,705	6,062	19,62	

**Tabla - XXVIII: Estadísticas balance y cabeceo. Fase 9. Ola irregular**

**Fase 10 - OLA IRREGULAR**

CANAL	Unidad	Media	Máx.	Mín.	Desv. Típica	RMS	Media		Pico Pico		1/3	1/10		1/3	1/10		Periodo Medio	Periodo Máximo
							Pico Pico	1/3	Máximos	Mínimos		Máximos	Mínimos		Máximos	Mínimos		
ROLL	°	-9,416	8,478	-30,28	5,689	11,01	14,74	14,74	27,59	22,63	-2,061	4,407	-16,80	-21,32	-24,43	7,603	36,64	
PITCH	°	0,0430	9,429	-11,15	2,798	2,798	7,105	7,105	13,63	11,02	3,613	7,497	-3,493	-5,712	-7,182	5,975	17,07	

**Tabla - XXIX: Estadísticas balance y cabeceo. Fase 10. Ola irregular**



## **9. Conclusiones.**

Todos los ensayos y las fases propuestas en los mismos se realizaron tras su comunicación por parte del CEHIPAR y aprobación por parte de la CPISM-DGMM.

Las conclusiones que se pueden establecer a partir de este estudio se resumen a continuación:

1. Todos los datos empleados en la presente investigación se han obtenidos de la información aportada por la CPISM-DGMM, y según se han relacionado en el apartado 2 del presente informe.
2. Las hipótesis que hayan sido necesarias realizar en la elaboración de la presente investigación se han seleccionado en base a deducciones basadas en la lógica y en los resultados de las diferentes fases ensayadas, y con el sólo criterio de esclarecer las posibles causas de hundimiento/nafragio del buque pesquero "Cordero".
3. En las cuatro (4) situaciones de carga estudiadas y consideradas como punto de partida para la realización de la presente investigación (enumeradas en el apartado 3.4) el buque cumple con el criterio de estabilidad exigido en la Orden del Ministerio de Comercio de 29 de Julio de 1970 sobre normas de estabilidad de buques pesqueros (B.O.E. núm. 198 de 19 de agosto de 1970).
4. El modelo tiene un comportamiento satisfactorio y no sufre movimientos excesivos ni situaciones de peligro cuando se encuentra en situación de intacto y se le hace navegar en las condiciones de mar que existían en el momento del naufragio/hundimiento [oleaje de cresta corta de altura significativa de cuatro con tres metros (4,3 m) y periodo de pico de trece con tres segundos ( $T_p = 13,3$  s)] , incluyendo cuando se le somete a los efectos de viento intenso, como el que sufría en el momento del siniestro.
5. Como consecuencia de todo lo anterior se puede concluir que si el buque zozobró debido al oleaje, tuvo que ser como consecuencia de un suceso poco probable. Es bien sabido que al ensayar en oleajes generados por el método "aleatorio" (cómo se ha descrito en el apartado 5) se obtienen resultados correctos desde el punto de vista del comportamiento medio. Para observar comportamientos extremos que garantice la ocurrencia de sucesos poco probables se ensaya en oleajes "deterministas". Es decir en olas de características predeterminadas con combinación de altura y periodo de ola que, no siendo imposibles, tengan una probabilidad reducida de producirse. Por ello se decidió ensayar el modelo en olas regulares de distintas combinaciones de alturas y periodos.
6. Se descarta una avería con vía de agua y entrada masiva de la misma en los compartimientos bajo la cubierta del parque de pesca al encontrarse personal del buque trabajando en los dos compartimientos principales (cámara de máquinas y bodegas) no observando ninguno de ellos este hecho y por tanto no dando voz de alarma alguna.

7. Ante el buen comportamiento del buque en situación de intacto se opta por ensayarlo en la hipótesis de que hubiera sufrido la apertura accidental de alguna de las puertas/tapas trincadas y que provocará la entrada de agua a la cubierta de parque de pesca. Las opciones consideradas y las conclusiones obtenidas fueron:
  - 7.1 Tapa de la puerta de basuras: produce un embarque de agua considerado como de relativa poca importancia. Cuando el agua acumulada podría empezar a considerarse de importancia y debido a los balances intensos que sufre el buque por efecto del oleaje se produce un desagüe del agua embarcada a través de la misma apertura, alcanzándose un equilibrio del agua acumulada que hace imposible que se produzca la pérdida del buque por esta causa.
  - 7.2 Puerta de salabardeo: produce embarques de agua pero no en la suficiente cantidad como para producir el vuelco y/o hundimiento del buque. La mayor parte del agua embarcada lo hace en la zona del nicho existente entre el costado y la brazola de la puerta de salabardeo, agua que es devuelta al mar a través del imbornal con claqueta que dispone el buque. El agua embarcada tiende a acumularse en popa, por lo que aumenta el francobordo de la puerta de salabardeo, y se minimiza la entrada de agua, observándose que a su vez en los balances intensos el agua acumulada en la cubierta es expulsada al exterior al pasar por encima de la brazola de la puerta de salabardeo, habiendo momentos que el agua expulsada iguala o supera a la embarcada, llegando a un equilibrio de cantidad de agua en cubierta insuficiente como para producir la zozobra.
8. Descartadas las hipótesis de averías bajo cubierta de parque de pesca o salto de una trinca de las tapas/puertas que permitieran la entrada de agua sobre la cubierta de pesca se realizan los supuestos de una avería producida sobre la línea de cierre de la cubierta del parque de pesca a popa y al costado, obteniendo como conclusiones:
  - 8.1 Avería en la banda de babor: el agua que entra a través de la avería (vía de agua) no se acumula en el interior del barco, dado que al estar éste escorado a dicha banda, a causa del efecto del viento, prácticamente todo el agua que entra en el interior del buque sale de forma natural por la misma abertura, quedando un mínimo de agua residual que no es posible que cause el naufragio/hundimiento del buque.
  - 8.2 Avería en la banda de estribor: el agua que entra a través de la avería (vía de agua) se acumula en el interior del barco en la banda de babor (a la que se encuentra previamente escorado por efecto del viento), aumentando por tanto la escora del buque y separando la avería del agua, cesando por tanto la entrada de agua antes de un posible naufragio/hundimiento del buque.
9. Descartadas las hipótesis de averías bajo cubierta de parque de pesca, salto de una trinca de las tapas/puertas que permitieran la entrada de agua sobre la cubierta de pesca y averías sobre la cubierta de pesca se realizan los supuestos de una generación de agua en cubierta de pesca por causa interna del buque, avería de las bombas de sentina, rotura de un colector, ... En este supuesto y siempre que

se mantengan cerradas el resto de las aperturas (en caso de estar abiertas se produciría un desagüe de la cubierta a través suya como consecuencia de los balances intensos) se observa una pérdida de estabilidad en aumento conforme aumenta la cantidad de agua acumulada en la cubierta de pesca y sin poder ser evacuada. Con diez toneladas (10 T) de agua en cubierta comienza a notarse como el buque empieza a dormirse (periodo de recuperación muy lento), haciendo notorio el comienzo de la pérdida de estabilidad.

10. Resumen de conclusiones: en los supuestos de condiciones de carga estudiados y sometido al modelo a las condiciones de mar existentes en la zona en el momento del naufragio (todos ellos obtenidos en base a los datos aportados por la CPISM-DGMM y las declaraciones de los supervivientes) se concluye:
  - 10.1 El buque en condición de intacto no sufriría naufragio/hundimiento ni aún sometiéndolo a los efectos escorantes debido a viento intenso.
  - 10.2 El buque en la situación expuesta en el punto 10.1 y tras sufrir la rotura de una trinca de la tapa del puerto de basuras o de la puerta de salabardeo sufriría una inundación de la cubierta del parque de pesca no suficiente como para causar su naufragio/hundimiento.
  - 10.3 El buque en la situación expuesta en el punto 10.1 y tras sufrir una avería en el costado que le ocasionara una vía de agua sobre la cubierta del parque de pesca y a ras de la misma fuera cual fuera la banda en que se produjera el agua embarcada no causaría su naufragio/hundimiento.
  - 10.4 El buque en la situación expuesta en el punto 10.1 y tras sufrir una inundación de la cubierta del parque de pesca a causa de agua generada internamente al mismo (rotura del colector de baldeo, ...) empieza a sufrir una pérdida de estabilidad a partir de una acumulación de unas diez toneladas de agua (10T), siendo previsible que si no fuera capaz de evacuar dicha agua se produciría su naufragio/hundimiento.

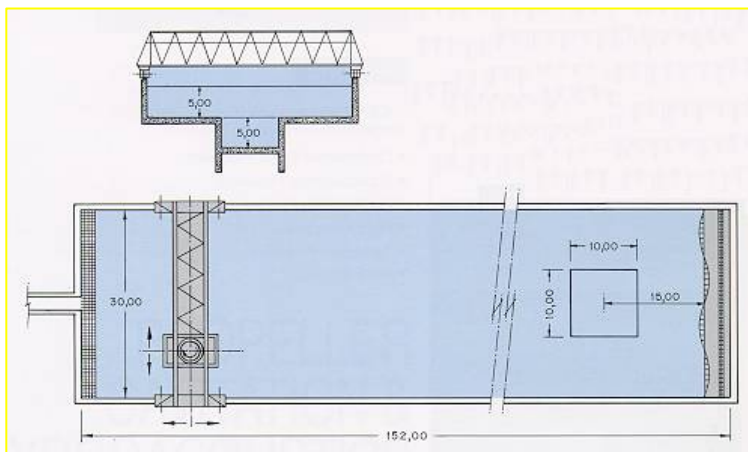
PÁGINA  
INTENCIONADAMENTE  
EN  
BLANCO

# **Apéndice A**

## **Descripción de las instalaciones del Laboratorio de Dinámica del Buque del CEHIPAR**

PÁGINA  
INTENCIONADAMENTE  
EN  
BLANCO

**E**l Laboratorio de Dinámica del Buque del **CEHIPAR** inaugurado en 1992 dispone de la más moderna tecnología para la realización de ensayos de buques y artefactos flotantes tanto en comportamiento en la mar cómo en maniobrabilidad. Su instalación principal es un canal con generador de olas y C.P.M.C. (Computerized Planar Motion Carriage) dotados con la más moderna instrumentación.



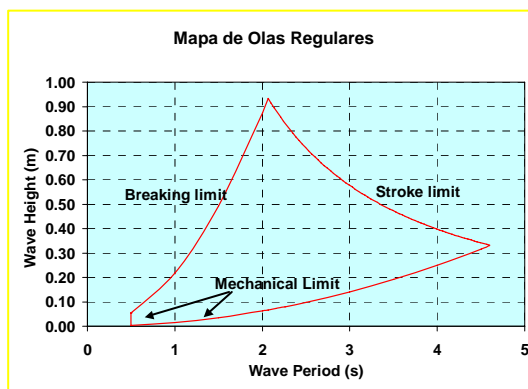
### El Canal

El canal tiene unas dimensiones de 150 por 30 m con una profundidad de 5 metros. Cerca del generador hay un pozo de 10 por 10 m con una profundidad total de 10 m para ensayos de plataformas fijas en gran profundidad.

### El generador de oleaje

Está situado en uno de los lados de 30 m del canal. Sus 60 paletas de accionamiento independiente junto al aprovechamiento de la reflexión de las paredes permiten la generación de todo tipo de oleaje con gran calidad y dentro de una gran área útil:

- Olas Regulares Longitudinales y oblicuas con longitudes de entre 1 y 15 m y alturas de hasta 0,9 m. Ángulos hasta 45°.
- Olas Irregulares de Cresta Larga y Corta con alturas significativas de hasta 0,4 m.
- Espectros estándar o arbitrarios.
- Capacidad de reproducir el espectro de grupos.
- Olas Episódicas.



El generador está accionado por seis bombas hidráulicas con una potencia total de 551 kW. En el extremo opuesto del canal existe una playa con una muy buena capacidad de absorción.

### El CPMC (Computerized Planar Motion Carriage)

La misión fundamental del conjunto CPMC es reproducir, con la máxima precisión y a escala del modelo, todo movimiento que un buque de cualquier tipo es capaz de ejecutar en la mar.

El mecanismo consta de un carro principal X que abarca todo el ancho del canal y lo recorre en toda su longitud. Bajo este carro cuelga el subcarro Y que puede moverse a todo lo ancho del canal. Bajo éste se mueve el carro incremental  $\Delta X$  que, con su pequeño

recorrido longitudinal, permite absorber los movimientos más rápidos del modelo. Por último, la torreta  $\Psi$  puede girar sin límite en ambos sentidos. La superposición del movimiento independiente de todos estos elementos permite reproducir cualquier movimiento en el plano de tres modos distintos: manual, seguimiento automático de una trayectoria predeterminada o seguimiento de un modelo libre.

La torreta se puede ajustar en altura para adaptarse a las necesidades del ensayo.

	Velocidad m/s	Aceleración m/s <sup>2</sup>
CARRO (X)	5.0	0.7
SUBCARRO (Y)	3.5	1.5
INCREMENTAL ( $\Delta X$ )	1.0	1.0
TORRETA ( $\Psi$ )	30 %/s	30 %/s <sup>2</sup>

## Instrumentación, adquisición y análisis de datos

El Laboratorio de Dinámica del Buque dispone de la más moderna y precisa instrumentación para la realización de ensayos de maniobrabilidad y comportamiento en la mar con modelos remolcados, libres, fondeados o fijos:

- Sistema óptico de seguimiento que permite medir sin contacto los seis movimientos de uno o dos modelos.
- Dinamómetros: de hasta 6 componentes, de timones y de par y empuje en hélices.
- Células de carga para líneas de fondeo.
- Sensores de ola y movimiento relativo.
- Acelerómetros.
- Instrumentación para modelos segmentados.
- Vídeo submarino.
- Captadores de presión, etc.

Las señales son tratadas mediante acondicionadores de alta tecnología. El sistema de adquisición de datos permite muestrear simultáneamente un número prácticamente ilimitado de canales con frecuencias de hasta 10 kHz. Todos los canales de medida pueden observarse en pantalla en tiempo real.

El software modular de análisis desarrollado por el CEHIPAR permite realizar cualquier tipo de análisis estándar o específico.

## Programa de predicción del comportamiento en la mar.

Como complemento idóneo a estas instalaciones, se dispone del programa de predicción de comportamiento en la mar PRECAL. Herramienta fundamental en la comparación de diseños alternativos y en la evaluación de la operatividad de buques.



## **Apéndice B**

### **Importancia de los ensayos con modelos de hundimientos en canales de experiencias hidrodinámicas. Bibliografía**

---

PÁGINA  
INTENCIONADAMENTE  
EN  
BLANCO

Los canales de experiencias hidrodinámicas nacen en el año 1.854 gracias al primer ingeniero que optó por la opción de ensayar con modelos físicos que reprodujesen los mismos fenómenos que el buque real y permitiera correlacionar los datos obtenidos en el dicho modelo con el buque: William Froude.

A raíz de los resultados obtenidos por Froude en su canal de Torquay (Inglaterra) los países más importantes y evolucionados crean sus propios canales de experiencias, para satisfacer la necesidad científico-social de conocer la resistencia al avance de un buque y con ello poder no sólo diseñar la propulsión, sino también optimizar sus consumos.

Estos primeros canales se denominaban de aguas tranquilas, puesto que no era posible la generación de oleaje para estudiar el comportamiento del buque en la mar

Pero hay que esperar hasta 1.953, año en que coinciden el ingeniero M. Saint Denis y el oceanógrafo W.J. Pierson que junto escriben el trabajo "On the motions of ships in confused seas", base de la generación de oleajes en canales de experiencias y que permitió el desarrollo en la década de los años 80 de los denominados Laboratorios de Dinámica del Buque o canales de olas.

A partir de ese momento se es capaz de modelizar los mares mediante sus espectros de energía y por tanto generar cualquier oleaje que se produzca en el mundo en un *pequeño* canal de experiencias y por tanto estudiar el comportamiento en la mar de buques.

Los resultados obtenidos en los ensayos de comportamiento en la mar son de total fiabilidad y los países más desarrollados comienzan la construcción de canales de dinámica.

La fiabilidad y precisión de los resultados obtenidos con el estudio de modelos en canales de experiencias es tan importante y segura que incluso la Organización Marítima Internacional (OMI), reconociendo la validez de sus resultados, permite que buques cuyos cálculos no cumplen el Convenio de Estocolmo se comprueben mediante ensayos de canal, y en caso de ser éstos satisfactorio el buque se considerará que cumple dicho Convenio y por tanto podrá realizar las funciones encomendadas, prevaleciendo los resultados obtenidos en canal sobre los cálculos.

Hoy en día los países que disponen de Laboratorios de Dinámica investigan y ensayan los comportamientos de buques en la mar en dichos canales, obteniendo resultados de una total fiabilidad a un precio muy inferior al que podría dar lugar un mal proyecto, resultados que son aceptados y reconocidos por toda la comunidad e instancias internacionales.

Entre las numerosísimas publicaciones al respecto se mencionan a continuación algunas de las más relevantes, donde puede observarse el uso de los canales de diferentes países en estudios similares al del presente trabajo. Hacer notar que otros muchos trabajos de ingeniería forense desarrollados en instalaciones como el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo no han podido ser publicados debido a la confidencialidad de los mismos.

1. Günther F. Clauss, Janou Hennig (Technical University Berlin), Kay-Enno Brink (Hamburg Ship Model Basin), Heike Cramer (Flensburg Shipyard) – Germany - “A New Technique for the Experimental Investigation of Intact Stability and the Validation of Numerical Simulations”.
2. Blume, P. - “On Capsize Model Testing”, Proceedings of the U. S. Coast Guard Vessel Stability Symposium, New London, CT, March 15-17, 1993.
3. Boccadamo, G., Cassella, P, Russo Krauss, G, and Scamardella, A. – “Analysis of I.M.O. Stability Criteria by Systematic Hull Series and by Ship Disasters”, Proceedings of the 5th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles (STAB 94), Melbourne.
4. Boccadamo, G., Cassella, P., and Scamardella, A. – “Stability, Operability and Working Conditions on Board Fishing Vessels”, Proceedings of the 7th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles (STAB 2000), Launceston.
5. Grochowalski, S. – “Investigation into the Physics of Ship Capsizing by Combined Captive and Free-Running Model Tests”. SNAME Transactions, 1989 pp 169-212.
6. Salsich, J. and Zselezcky, J. J.- “Experimental Studies of Capsizing in Breaking Waves”, AIAA/SNAME Ancient Interface XIII, 1983.
7. Umeda, N., Matsuda, A., Hamamoto, M., and Suzuki, S.- “Stability Assessment for Intact Ships in the Light of Model Experiments”. J. of Marine Science and Technology, SNAJ, Japan, Vol. 4, pp 45-57, 1999.
8. Zselezcky, J. J. and Cohen, S. H. – “Model Tests to Evaluate the Capsize Resistance of a Motor Lifeboat in Breaking Waves”, 22nd American Towing Tank Conference, St. Johns, Newfoundland, 1989.
9. Maron, A., Carrillo, E., Valle, J., Prieto, M.E., Gutierrez, C.,Taboada, M., - “Investigation on the capsizes of a small fishing vessel in following seas.” Proceedings of the 9th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles. (STAB 06), Río de Janeiro.
10. Perez Rojas, L., Perez Arribas, F., Zamora, R. Guerrero y Pacheco, A., - “On the accidents of smalls fishing vessels.” Proceedings of the 9th International International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles. (STAB 06), Río de Janeiro.
11. LEE Young-Woo, MCCUE Leigh, OBAR Michael ,TROESCH Armin- “Experimental and numerical investigation into the effects of initial conditions on a three degree of freedom capsizes model”, Journal of ship research 2006, vol. 50, n°1, pp. 63-84.
12. SHIN C. I. (Nagasaki Inst. of Appl. Sci.) - “On Stability and Capsizing of a Purse Seiner”, Transactions of the West-Japan Society of Naval Architects 2000, vol. 99, pp.91-101.