



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2021/22

BUQUE OCEANOGRÁFICO 55 m
MAR AURORA

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

David Martín Argibay

TUTOR

Fernando Lago

FECHA

Septiembre 2022

Escola Politécnica Superior



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.021-2.022

PROYECTO NÚMERO 2022-GENO-14

TIPO DE BUQUE: Buque oceanográfico con capacidad polar para operar en zonas árticas y antárticas. 55 m de eslora entre perpendiculares

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNVGL, SOLAS + MARPOL+ exigibles en este tipo de buques. POLAR CODE TIPO B ICE CLAS I-B SPS. CLEAN DESIGN. NAUT O EQUIVALENTE

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 300 m² de capacidad para laboratorios de investigación. 100 m² de superficie libre en cubierta

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: velocidad máxima de 14 nudos y velocidad de crucero de 12 nudos con una autonomía de 40 días

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: 2 grúas de carga a cada costado del buque.

PROPULSIÓN: propulsión eléctrica mediante 2 motores eléctricos, mas 4 generadores diésel de diferentes potencias, más el generador de emergencia. Navegación en zona ECA con LNG.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: capacidad para 20 científicos más 8-12 tripulantes

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: laboratorio en frío (-25 ° C), nivel mínimo de vibraciones y ruidos transmitidos a la mar, robot submarino a bordo además de embarcaciones menores tales como 2 Zodiacs a disposición del personal. Helipuerto.

ALUMNO: **D. David Martín Argibay**

RESUMEN BUQUE OCEANOGRÁFICO 55 M MAR AURORA

Castellano

A lo largo del presente Trabajo Fin de Grado se realizará el anteproyecto de un buque oceanográfico de 55 metros de eslora. Se trata de un buque que podrá navegar en aguas polares a 12 nudos con propulsión diésel-eléctrica, 40 días de autonomía, capacidad de navegación con LNG en zona ECA y que poseerá 300 m² de laboratorios mas 100 m² de superficie libre en cubierta para el estudio llevado a cabo por los 20 científicos que podrán ir a bordo del mismo.

El proyecto consta de un estudio preliminar de oceanográficos semejantes para, posteriormente, desarrollar las formas del buque, estudiar su flotabilidad y estabilidad en distintas condiciones, la potencia necesaria a bordo, la disposición general, el cálculo estructural de la cuaderna maestra, así como el estudio del francobordo, cámara de máquinas, planta eléctrica y equipos y servicios necesarios a bordo para concluir con el estudio del presupuesto y viabilidad de construcción del buque.

Galego

Ao longo deste Traballo Fin de Grao realizarase o anteproxecto dun buque oceanográfico de 55 metros de eslora. Trátase dun buque que poderá navegar en augas polares a 12 nudos con propulsión diésel-eléctrica, 40 días de autonomía, capacidade de navegación con LNG na zona ECA e que contará con 300 m² de laboratorios máis 100 m² de superficie libre na cuberta para o estudo realizado polos 20 científicos que poderán subir a bordo.

O proxecto consiste nun estudo preliminar de oceanográficos similares para posteriormente desenvolver as formas do buque, estudar a súa flotabilidade e estabilidade en diferentes condicións, a potencia necesaria a bordo, a disposición xeral, o cálculo estrutural da cuaderna maestra, así como o estudo do francobordo, cámara de máquinas, planta eléctrica e equipos e servizos necesarios a bordo para concluír co estudo do orzamento e viabilidade de construción do buque.

English

Throughout this Final Degree Project, the preliminary design of a research vessel of 55 meters in length will be carried out. It is a ship that will be able to navigate in polar waters at 12 knots with diesel-electric propulsion, 40 days of autonomy, navigation capacity with LNG in ECA zone and that will have 300 m² of laboratories plus 100 m² of free surface on deck for the study carried out by the 20 scientists that will be able to go on board.

The project consists of a preliminary study of similar research vessels an then, develop the vessel's forme, study its buoyancy and stability in different conditions, the power required on board, the general layout, the structural calculation of the master frame, as well as the study of the freeboard, engine room, electrical plant and equipment and services required on board to conclude with the study of the budget and viability of building the vessel.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2021/22

BUQUE OCEANOGRÁFICO 55 m
MAR AURORA

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

CUADERNO 5

CONDICIONES DE CARGA Y ESTABILIDAD

ÍNDICE

Resumen Buque Oceanográfico 55 m Mar Aurora	3
1. Introducción.....	6
2. Condiciones de carga aplicables al buque	7
3. Criterios de estabilidad.....	8
3.1. Criterios generales aplicables a todos los buques.....	8
3.2. Criterios meteorológicos aplicables a todos los buques	8
3.3. Criterios aplicables a buques de propósito especial (SPS).....	11
4. Corrección por superficies libres	12
5. Condiciones de carga.....	16
5.1. Salida de puerto.....	16
5.1.1. Condición de equilibrio.....	16
5.1.2. Condición de carga	17
5.1.3. Estabilidad a grandes ángulos	18
5.1.4. Criterios de estabilidad.....	19
5.2. Situación intermedia.....	20
5.2.1. Condición de equilibrio.....	20
5.2.2. Condición de carga	21
5.2.3. Estabilidad a grandes ángulos	22
5.2.4. Criterios de estabilidad.....	23
5.3. Llegada a puerto	24
5.3.1. Condición de equilibrio.....	24
5.3.2. Condición de carga	25
5.3.3. Estabilidad a grandes ángulos	26
5.3.4. Criterios de estabilidad.....	27
6. Bibliografía	28

1. INTRODUCCIÓN

A continuación, a lo largo de este Cuaderno 5: “*Condiciones de Carga y Estabilidad*”, desarrollaremos y especificaremos:

- Condiciones de carga del buque
- Estudio de los criterios de estabilidad
- Corrección de los tanques por superficies libres
- Estudio de las condiciones de carga a bordo
- Estudio del cumplimiento de los requerimientos de estabilidad para las distintas condiciones de carga

Las dimensiones del buque con las que trabajaremos serán las obtenidas en el Cuaderno 3: “Diseño de formas”:

Lpp(m)	B(m)	D (m)	T (m)	Fn
55	11,50	7,80	4,80	0,2657

Ilustración 1: dimensiones buque proyecto

2. CONDICIONES DE CARGA APLICABLES AL BUQUE

A lo largo de este Cuaderno 5, vamos a estudiar las diferentes condiciones de carga aplicables al oceanográfico Mar Aurora y el comportamiento en cuanto a estabilidad que éste tendrá en ellas.

Dichas condiciones de carga están documentadas en la resolución del Maritime Safety Committee MSC 267 (85).

Además, el Código IS 2008, define 4 condiciones de carga, pero dado que hablar de carga propiamente dicha en este buque oceanográfico no tiene sentido, ya que no es un buque que lleve o transporte carga sobre sí, nada más que los equipos sumergibles a bordo (ROVs) o las Zodiacs a disposición de los científicos, y ello no cobra relevancia importante a la hora de estudiar los pesos a bordo y cómo esto afecta a la flotabilidad y estabilidad, se reducen a tres condiciones de carga estudiadas:

- ✓ Salida de puerto: 100% consumos
- ✓ Situación intermedia: 50% consumos
- ✓ Llegada a puerto: 10% consumos

Destacar además que, en cada una de las condiciones anteriormente expuestas, el trimado que tendrá el buque no debe ser superior al 1,5% de la eslora:

$$\text{Trimado} < 0,015 \times L_{pp}$$

Por lo tanto, si la eslora entre perpendiculares es 55 m el trimado no debe ser superior a:

$$\text{Trimado} < \mathbf{0,825\ m}$$

No obstante, el buque se ha proyectado con diferentes tanques de lastre repartidos a lo largo de toda la eslora, por el doble fondo y la primera cubierta del mismo correspondiente a la CCMM, además del pique de proa, y que se llenarán o vaciarán en cada instante y condición para que el buque navegue de la forma más optimizada posible cercano al calado de diseño y sin trimado.

3. CRITERIOS DE ESTABILIDAD

A continuación, analizamos los criterios de estabilidad aplicables al buque oceanográfico y que este ha de cumplir:

- ✓ Criterios generales aplicables a todos los buques
- ✓ Criterios meteorológicos aplicables a todos los buques
- ✓ Criterios específicos debido a la cota de clase
SPS: Special Purpose Ships

Más adelante, y gracias a Maxsurf Stability, estos criterios serán comprobados y expuestos en cada situación de carga estudiada.

3.1. Criterios generales aplicables a todos los buques

Los criterios de estabilidad generales aplicables a todos los buques son los siguientes, como muestra la resolución MSC 267(85):

- El área bajo la curva de brazos adrizantes (curva de brazos GZ) no será inferior a 0,055 metro-radián hasta un ángulo de escora $\varphi = 30^\circ$ ni inferior a 0,09 metro-radián hasta $\varphi = 40^\circ$, o hasta el ángulo de inundación descendente φ_f si éste es inferior a 40° . Además, el área bajo la curva de brazos adrizantes (curva de brazos GZ) entre los ángulos de escora de 30° y 40° , o entre 30° y φ_f si este ángulo es inferior a 40° , no será inferior a 0,03 metro-radián.
- El brazo adrizante GZ será como mínimo de 0,2 m a un ángulo de escora igual o superior a 30° .
- El brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora no inferior a 25° . Si esto no es posible, podrán aplicarse, a reserva de lo que apruebe la Administración, criterios basados en un nivel de seguridad equivalente.
- La altura metacéntrica inicial GM0 no será inferior a 0,15 m.

3.2. Criterios meteorológicos aplicables a todos los buques

Estudiaremos también la estabilidad con condiciones meteorológicas tal como expone la norma:

2.3. Según el criterio de viento y balance intensos:

2.3.1. Habrá que demostrar la aptitud del buque para resistir los efectos combinados del viento de través y del balance, con referencia a la figura 2.3.1, del modo siguiente:

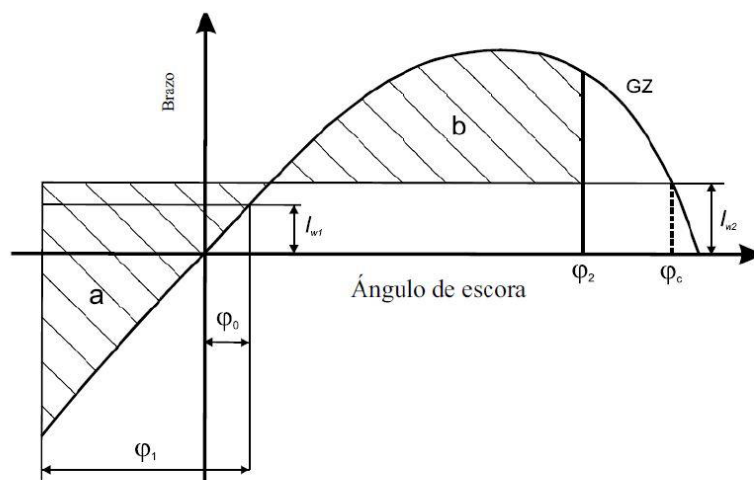


Figura 2.3.1: Viento y balance intensos

1. Se someterá el buque a la presión de un viento constante que actúe perpendicularmente al plano de crujía, lo que dará como resultado el correspondiente brazo escorante (l_{w1})
2. Se supondrá que a partir del ángulo de equilibrio resultante (φ_0), el buque se balancea por la acción de las olas hasta alcanzar un ángulo de balance (φ_1) a barlovento. El ángulo de escora provocado por un viento constante (φ_0) no deberá ser superior a 16° o al 80 % del ángulo de inmersión del borde de la cubierta, si este ángulo es menor
3. A continuación, se someterá al buque a la presión de una ráfaga de viento que dará como resultado el correspondiente brazo escorante (l_{w2})
4. En estas circunstancias, el área b debe ser igual o superior al área a, como se indica en la figura 2.3.1

Donde los ángulos de la figura 2.3.1 se definen:

φ_0 = ángulo de escora provocado por un viento constante

φ_1 = ángulo de balance a barlovento debido a la acción de las olas (véanse 2.3.1.2, 2.3.4 y la nota a pie de página)

φ_2 = ángulo de inundación descendente (φ_f), o 50° , o φ_c , tomando de estos valores el menor, siendo:

- Φ_f = ángulo de escora al que se sumergen las aberturas del casco, superestructuras o casetas que no puedan cerrarse de modo estanco a la intemperie. Al aplicar este criterio no hará falta considerar abiertas las pequeñas aberturas por las que no pueda producirse inundación progresiva
- Φ_c = ángulo de la segunda intersección entre la curva de brazos escorantes l_{w2} y la de brazos GZ.

2.3.2. Los brazos escorantes l_{w1} y l_{w2} provocados por el viento, a que se hace referencia en 2.3.1.1 y 2.3.1.3, son valores constantes a todos los ángulos de inclinación y se calcularán del modo siguiente:

$$l_{w1} = \frac{P \times A \times Z}{100 \times g \times \Delta} \quad (m)$$

$$l_{w2} = 1,5 \times l_{w1} \quad (m)$$

Donde:

- P, es la presión del viento de 504 Pa. El valor de P utilizado para los buques en servicio restringido podrá reducirse a reserva de que lo apruebe la Administración
- A, es el área lateral proyectada de la parte del buque y de la cubertada que quede por encima de la flotación (m²)
- Z, es la distancia vertical desde el centro del área A hasta el centro del área lateral de la obra viva, o aproximadamente hasta el punto medio del calado medio (m)
- Δ, es el desplazamiento (t)
- G, es la aceleración debida a la gravedad de 9,81 m/s²

2.3.3. Si la Administración los considera satisfactorios, podrán aceptarse otros medios para determinar el brazo escorante (l_{w1}) como alternativa equivalente al cálculo que figura en 2.3.2. Cuando se realicen dichas pruebas alternativas, se hará referencia a las Directrices elaboradas por la Organización.7 La velocidad del viento utilizada en las pruebas será igual a 26 m/s en tamaño natural con un perfil de la velocidad uniforme. El valor de la velocidad del viento utilizado para los buques en servicios restringidos podrá reducirse a un valor que la Administración considere satisfactorio.

2.3.4. El ángulo de balance (φ_1) 8 a que se hace referencia en 2.3.1.2 se calculará del modo siguiente:

$$\varphi_1 = 109 \times k \times X_1 \times X_2 \times \sqrt{r \times s}$$

Donde:

- k, es factor que corresponde a:
 - k = 1,0 respecto de un buque de pantoque redondo que no tenga quillas de balance ni quilla de barra
 - k = 0,7 respecto de un buque de pantoque quebrado
 - k = el valor que se indica en el cuadro 2.3.4-3 respecto de un buque con quillas de balance, quilla de barra o ambas
- X₁, es el factor indicado en el cuadro 2.3.4-1
- X₂, es el factor indicado en el cuadro 2.3.4-2
- r, es:

$$r = 0,73 + 0,6 \frac{OG}{d}$$

- OG = KG – d
- d, es el calado medio de trazado del buque (m)
- s, es el factor indicado en el cuadro 2.3.4-4, donde T es el periodo natural de balance del buque. Si no se dispone de información suficiente, puede utilizarse la siguiente aproximación:

$$T = \frac{2 \times C \times B}{\sqrt{GM}} \text{ (s)}$$

Donde:

$$C = 0,373 + 0,023 \times \left(\frac{B}{d}\right) - 0,043 \times \left(\frac{L_{wl}}{100}\right)$$

Los símbolos que aparecen en los cuadros 2.3.4-1, 2.3.4-2, 2.3.4-3 y 2.3.4-4 y en la fórmula del periodo de balance tienen los siguientes significados:

- L_{wl}, es la eslora en la flotación del buque (m)
- B, es la manga de trazado del buque (m)
- d, es el calado medio de trazado del buque (m)
- CB, es el coeficiente de bloque
- Ak, es el área total de las quillas de balance o área de la proyección lateral de la quilla de barra, o suma de estas áreas (m²)
- GM, es la altura metacéntrica corregida por el efecto de superficie libre (m).

Table 2.3.4-1 – Values of factor X_1

B/d	X_1
≤ 2.4	1.0
2.5	0.98
2.6	0.96
2.7	0.95
2.8	0.93
2.9	0.91
3.0	0.90
3.1	0.88
3.2	0.86
3.4	0.82
≥ 3.5	0.80

Table 2.3.4-2 – Values of factor X_2

C_B	X_2
≤ 0.45	0.75
0.50	0.82
0.55	0.89
0.60	0.95
0.65	0.97
≥ 0.70	1.00

Table 2.3.4-3 – Values of factor k

$\frac{A_k \times 100}{L_{WL} \times B}$	k
0	1.0
1.0	0.98
1.5	0.95
2.0	0.88
2.5	0.79
3.0	0.74
3.5	0.72
≥ 4.0	0.70

Table 2.3.4-4 – Values of factor s

T	s
≤ 6	0.100
7	0.098
8	0.093
12	0.065
14	0.053
16	0.044
18	0.038
≥ 20	0.035

Los valores intermedios en las tablas -1 a -4 de arriba se obtendrán por interpolación lineal

2.3.5. Los cuadros y fórmulas descritos en 2.3.4 se basan en datos de buques que presentan las siguientes características:

1. B/d inferior a 3,5
2. (KG/d – 1) entre -0,3 y 0,5
3. T inferior a 20 s

En el caso de los buques cuyos parámetros rebasen los límites indicados supra, el ángulo de balance (φ_1) podrá determinarse también mediante experimentos con un modelo de buque de ese tipo utilizando el procedimiento descrito en la circular MSC.1/Circ.1200. Asimismo, la Administración podrá aceptar las estimaciones alternativas mencionadas para cualquier buque si lo estima oportuno.

3.3. Criterios aplicables a buques de propósito especial (SPS)

La estabilidad sin avería de los buques para fines especiales debe ajustarse a lo dispuesto en 2.2, aunque podrán utilizarse los criterios especificados en 2.4.5 aplicables a los buques de suministro mar adentro si se trata de buques para fines especiales de eslora inferior a 100 m cuyo proyecto y características sean análogos.

Se aplicarán las obligaciones del punto 2.2 y las recomendaciones expuestas en el punto 2.4.5 como se ha comentado en el apartado anterior.

4. CORRECCIÓN POR SUPERFICIES LIBRES

Estudiamos, a continuación, la corrección por superficies libres que se aplicarán a todas las condiciones de carga, y que Maxsurf Stability ya incluye en su análisis si así lo requerimos.

Según la normativa descrita en el documento de la *IMO A.469 (XII) – 2.8.3 y el capítulo 3, parte B del código IS 2008*.

- Efecto de las superficies libres de los líquidos en los tanques.

3.1.1. En todas las condiciones de carga, la altura media metacéntrica inicial y la curva de los brazos adrizantes deberán corregirse con el efecto de superficie libre de los líquidos en los tanques.

3.1.2 El efecto de superficie libre deberá tenerse en cuenta siempre que el nivel de llenado de un tanque sea inferior al 98% del nivel de llenado total. No será necesario considerar el efecto de superficie libre cuando un tanque esté nominalmente lleno, es decir, cuando su nivel de llenado sea igual o superior al 98%. Los efectos de superficie libre en los tanques pequeños podrán no considerarse cuando se dé la condición indicada en 3.1.12.

Sin embargo, los tanques de carga nominalmente llenos deberían ser objeto de una corrección para tener en cuenta los efectos de las superficies libres con un nivel de llenado del 98%. Al hacerlo, la corrección de la altura metacéntrica inicial debería basarse en el momento de inercia de la superficie del líquido con un ángulo de escora de 5° dividido por el desplazamiento, y se sugiere que la corrección del brazo adrizante se haga teniendo en cuenta el momento de desplazamiento real de las cargas líquidas.

3.1.3 Los tanques que se tienen en cuenta al determinar la corrección por superficie libre quedan comprendidos en una de las dos siguientes categorías:

.1 tanques con niveles de llenado fijos (por ejemplo: cargas líquidas, lastre de agua). La corrección por superficie libre se determina con arreglo al nivel de llenado real de cada tanque; o

.2 tanques con niveles de llenado variables (por ejemplo: líquidos consumibles, tales como fueloil, gasoil, agua dulce, y también cargas líquidas y lastre de agua durante las operaciones de trasvase de líquidos). Salvo por lo autorizado en 3.1.5 y 3.1.6, la corrección por superficie libre es el valor máximo alcanzable entre los límites de llenado previstos para cada tanque que sea compatible con cualquier instrucción de funcionamiento.

3.1.4 Al calcular los efectos de superficie libre de los tanques que contengan líquidos consumibles se dará por supuesto que, para cada tipo de líquido, al menos un par de tanques transversales o un solo tanque central tienen una superficie libre, y el tanque o la combinación de tanques considerados serán aquellos en los que el efecto de superficie libre sea mayor.

3.1.5 Cuando los tanques de lastre de agua, incluidos los tanques anti-balance y los tanques adrizantes, tengan que ser llenados o descargados durante la travesía, el efecto de superficie libre se calculará de modo que se tenga en cuenta la fase más crítica relacionada con esas operaciones.

3.1.6 En los buques que estén realizando operaciones de trasvase de líquidos, las correcciones por superficie libre para cada fase de la operación de trasvase de líquidos podrán determinarse con el nivel de llenado de cada tanque correspondiente a tal fase de la operación de trasvase.

3.1.7 Las correcciones de la altura metacéntrica inicial y de la curva de brazos adrizantes han de considerarse por separado, como a continuación.

3.1.8 Al determinar la corrección de la altura metacéntrica inicial, los momentos de inercia transversales de los tanques se calculan con un ángulo de escora de 0° , en función de las categorías indicadas en el punto 3.1.3.

3.1.9 La curva de brazos adrizantes podrá corregirse siguiendo uno de los métodos indicados a continuación, a reserva del consentimiento de la Administración:

.1 corrección basada en el momento real del trasvase de líquidos para cada ángulo de escora calculado; o

.2 corrección basada en el momento de inercia, calculado con un ángulo de escora de 0° , modificada para cada ángulo de escora calculado.

Según la norma, en el punto 2.8.3:

- “Los tanques que se tengan en cuenta al determinar los efectos de los líquidos sobre la estabilidad para todos los ángulos de inclinación incluirán los tanques aislados o los grupos de tanques para cada clase de líquido (incluidos el agua de lastre) que según las condiciones de servicio puedan tener superficies libres simultáneamente”.
- “Para determinar esta corrección por superficie libre los tanques que se supongan parcialmente llenos serán aquellos que causen al máximo momento por superficie libre $Mf.s.$ a una inclinación de 30° cuando estén llenos al 50% de su capacidad. Otra solución consistirá en aplicar los efectos reales y las superficies libres de los líquidos, a condición de que los métodos de cálculo sean aceptables para la administración”.
- “El valor de $Mf.s.$ para cada tanque se deducirá de la siguiente fórmula:

$$Mf.s. = v \times b \times \gamma \times k \times \sqrt{\delta}$$

Siendo:

- $Mf.s.$, el momento total por superficie libre a cualquier ángulo de inclinación en (m x t).
- v , la capacidad total del tanque en m^3
- b , la manga máxima del tanque en m
- γ , el peso específico del líquido del tanque en t/m^3
- δ ,

$$\delta = \frac{v}{b \times l \times h}$$

- h , la altura máxima del tanque.
- k , el coeficiente adimensional que se tomará de la siguiente tabla

TABLE OF VALUES FOR COEFFICIENT "K" FOR CALCULATING
FREE SURFACE CORRECTIONS

$k = \frac{\sin \theta}{12} \left(1 + \frac{\tan^2 \theta}{2}\right) \times b/h$ where $\cot \theta \geq b/h$														$k = \frac{\cos \theta}{8} \left(1 + \frac{\tan \theta}{b/h}\right) - \frac{\cos \theta}{12(b/h)} 2 \left(1 + \frac{\cot^2 \theta}{2}\right)$ where $\cot \theta \leq b/h$	
θ b/h	5°	10°	15°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	75°	80°	90°	θ b/h	
20	0.11	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.01	20	
10	0.07	0.11	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.01	10	
5	0.04	0.07	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.03	5	
3	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.04	3	
2	0.01	0.03	0.04	0.06	0.09	0.11	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.06	2	
1.5	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.08	1.5	
1	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	1	
0.75	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.07	0.08	0.12	0.15	0.16	0.16	0.17	0.75	
0.5	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.04	0.05	0.09	0.16	0.18	0.21	0.25	0.5	
0.3	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05	0.11	0.19	0.27	0.42	0.3	
0.2	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.07	0.13	0.27	0.63	0.2	
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.06	0.14	1.25	0.1	

Tabla 1

Sin embargo, no todos los tanques corrigen por superficies libres, aquellos cuyo Mf.s. sea menor al 1% del desplazamiento mínimo del buque (Peso en Rosca) no corregirán, es decir:

$$v \times b \times \gamma \times k \times \sqrt{\delta} < 0,01 \times \Delta_{min}$$

Si el Peso en Rosca del buque, estimado en el Cuaderno 2 es:

$$\Delta_{min} = 1355 t$$

Si el Mf.s. de los tanques calculado es inferior a 13,55, dicho tanque no corregirá por superficie libre.

Detallamos en la tabla de a continuación los tanques que corrigen o no corrigen por el efecto de sus superficies libres:

Mar Aurora. Corrección tanques por superficies libres											
TANQUE	Volumen (m ³)	L (m)	B (m)	D (m)	Peso Específico (t/m ³)	δ	b/h	k	Mf.s.	0,01 x Δ min	Corrige
T. Lastre Pique de proa	22,605	6,2	4,55	7,79	1,025	0,103	0,584	0,028	0,96	13,55	NO
T. Sentinas	7,633	3	1,84	1,4	1	0,988	1,314	0,064	0,89	13,55	NO
T. Agua Técnica 0BR	16,985	2,4	5,62	1,4	1	0,899	4,014	0,132	11,91	13,55	NO
T. Agua Dulce 0BR	15,876	2,2	5,75	1,4	1	0,896	4,107	0,132	11,38	13,55	NO
T. Aguas Grises y Negras 0BR	47,166	7	5,75	1,4	1	0,837	4,107	0,132	32,67	13,55	SI
T. Fangos	4,349	1,47	2,63	1,25	1	0,900	2,104	0,118	1,28	13,55	NO
T. Aceite Lubricación	4,349	1,47	2,63	1,25	0,92	0,900	2,104	0,118	1,18	13,55	NO
T. Aceite Hidráulico	11,928	2,83	5,26	1,15	0,92	0,697	4,574	0,132	6,36	13,55	NO
T. Sedimentación 0BR	7,997	4,46	3,08	1,4	0,85	0,416	2,200	0,120	1,62	13,55	NO
T. Sedimentación 0ER	7,997	4,46	3,08	1,4	0,85	0,416	2,200	0,120	1,62	13,55	NO
T. Almacén 0BR Medio	23,525	4,8	4,97	1,4	0,85	0,704	3,550	0,131	10,91	13,55	NO
T. Almacén 1.1BR	66,473	5,35	5,75	3,199	0,85	0,675	1,797	0,109	29,13	13,55	SI
T. Almacén 1.1ER	66,473	5,35	5,75	3,199	0,85	0,675	1,797	0,109	29,13	13,55	SI
T. Uso Diario 1BR	5,198	3,5	1,5	1	0,85	0,990	1,500	0,073	0,48	13,55	NO
T. Uso Diario 1ER	5,198	3,5	1,5	1	0,85	0,990	1,500	0,073	0,48	13,55	NO
T. Lastre 1BR CCMM1	21,067	2,9	5,75	1,73	1,025	0,730	3,324	0,130	13,81	13,55	SI
T. Lastre 1ER CCMM1	21,067	2,9	5,75	1,73	1,025	0,730	3,324	0,130	13,81	13,55	SI
T. Lastre 1BR CCMM3	27,38	4,8	2,05	3,199	1,025	0,870	0,641	0,031	1,67	13,55	NO
T. Lastre 1ER CCMM3	27,38	4,8	2,05	3,199	1,025	0,870	0,641	0,031	1,67	13,55	NO
T. LNG CCMM2	38,732	2,1	8,1	2,3	0,42	0,990	3,522	0,131	17,14	13,55	SI
T. LNG CCMM3	38,732	8,1	2,1	2,3	0,42	0,990	0,913	0,044	1,51	13,55	NO
T. Almacén 0BR Proa	15,608	5,9	3,6	1,4	0,85	0,525	2,571	0,126	4,34	13,55	NO
T. Lastre 0C Proa	9,167	3,6	1,78	1,4	1,025	1,022	1,271	0,062	1,04	13,55	NO
T. Almacén 1.2BR	51,593	2,95	5,75	3,199	0,85	0,951	1,797	0,109	26,82	13,55	SI
T. Almacén 1.2ER	51,593	2,95	5,75	3,199	0,85	0,951	1,797	0,109	26,82	13,55	SI
T. Lastre 0BR	15,841	3	4,56	1,4	1,025	0,827	3,257	0,130	8,75	13,55	NO
T. Lastre 0ER	15,841	3	4,56	1,4	1,025	0,827	3,257	0,130	8,75	13,55	NO
T. Aguas Grises y Negras 0ER	47,166	7	5,75	1,4	1	0,837	4,107	0,132	32,67	13,55	SI
T. Almacén 0ER Medio	23,525	4,8	4,97	1,4	0,85	0,704	3,550	0,131	10,91	13,55	NO
T. Almacén 0ER Proa	15,608	5,9	3,6	1,4	0,85	0,525	2,571	0,126	4,34	13,55	NO
T. Agua Técnica 0ER	16,985	2,4	5,62	1,4	1	0,899	4,014	0,132	11,91	13,55	NO
T. Agua Dulce 0ER	15,876	2,2	5,75	1,4	1	0,896	4,107	0,132	11,38	13,55	NO

5. CONDICIONES DE CARGA

A continuación, analizamos la estabilidad en las condiciones de carga expuestas anteriormente con el nivel de llenado de los tanques correspondientes a cada una de ellas.

5.1. Salida de puerto

En esta primera condición de carga, salida de puerto, se analizará la estabilidad en estado intacto del buque en la salida de puerto cuando los tanques de combustible, tanto MDO como LNG estén llenos, y también los tanques correspondientes a los servicios auxiliares de la propulsión, quedando el resto vacíos y empleando los tanques de lastre de manera que el trimado del buque sea el mínimo posible.

- ✓ Combustible MDO y LNG al 100%
- ✓ Aceites al 100%
- ✓ Agua dulce y técnica al 100%
- ✓ Aguas grises y negras 10%
- ✓ Lodos y fangos al 10%
- ✓ Sentinas al 10%
- ✓ Lastre a demanda

5.1.1. Condición de equilibrio

Draft Amidships m	4,759
Displacement t	1840
Heel deg	0,0
Draft at FP m	4,759
Draft at AP m	4,759
Draft at LCF m	4,759
Trim (+ve by stern) m	0,000
WL Length m	57,095
Beam max extents on WL m	11,500
Wetted Area m ²	947,135
Waterpl. Area m ²	529,683
Prismatic coeff. (Cp)	0,595
Block coeff. (Cb)	0,581
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,972
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,817
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	26,013
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	21,495
KB m	2,737
KG fluid m	4,619
Bmt m	2,817
BML m	59,078
GMt corrected m	0,935
GML m	57,195
KMt m	5,554
KML m	61,815
Immersion (TPc) tonne/cm	5,429
MTc tonne.m	19,134
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	30,017
Max deck inclination deg	0,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000

5.1.2. Condición de carga

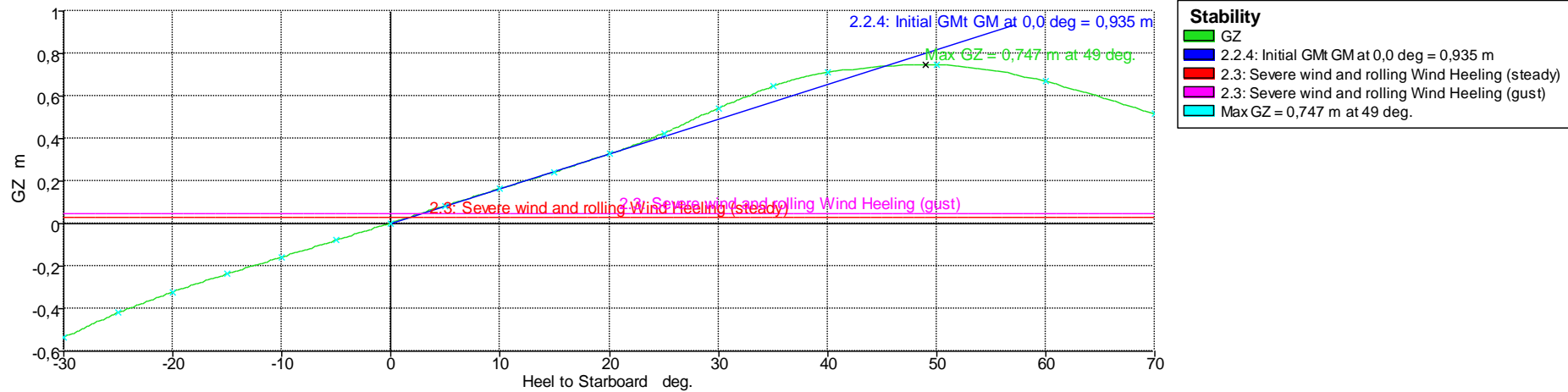
Free to Trim

 Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³) Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Specific gravity	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship		1	1355,000	1355,000			28,060	0,000	4,800	0,000	User Specified
T. Lastre Pique de proa	Tank default (1,0250)	0%	23,170	0,000	22,605	0,000	53,901	0,000	0,331	4,847	Maximum
T. Sentinas	Tank default (1,0000)	10%	7,633	0,763	7,633	0,763	32,499	0,000	0,073	1,557	Maximum
T. Agua Técnica OBR	Tank default (1,0000)	100%	16,985	16,985	16,985	16,985	29,792	-2,609	0,740	33,593	Maximum
T. Agua Dulce OBR	Tank default (1,0000)	100%	15,876	15,876	15,876	15,876	27,500	-2,679	0,743	32,829	Maximum
T. Aguas Grises y Negras OBR	Tank default (1,0000)	10%	47,166	4,717	47,166	4,717	23,658	-1,880	0,189	108,137	Maximum
T. Fangos	Tank default (1,0000)	10%	4,349	0,435	4,349	0,435	18,536	1,029	0,307	2,228	Maximum
T. Aceite Lubricación	Tank default (0,9200)	100%	4,001	4,001	4,349	4,349	18,427	-1,286	0,831	2,050	Maximum
T. Aceite Hidráulico	Tank default (0,9200)	100%	10,974	10,974	11,928	11,928	16,435	0,000	0,976	31,576	Maximum
T. Sedimentación OBR	Tank default (0,8500)	100%	6,798	6,798	7,997	7,997	17,571	-3,868	1,023	7,552	Maximum
T. Sedimentación OER	Tank default (0,8500)	100%	6,798	6,798	7,997	7,997	17,571	3,868	1,023	7,552	Maximum
T. Almacén OBR Medio	Tank default (0,8500)	100%	19,996	19,996	23,525	23,525	36,723	-1,912	0,789	28,316	Maximum
T. Almacén 1.1BR	Tank default (0,8500)	100%	56,502	56,502	66,473	66,473	10,450	-2,655	3,445	71,958	Maximum
T. Almacén 1.1ER	Tank default (0,8500)	100%	56,502	56,502	66,473	66,473	10,450	2,655	3,445	71,958	Maximum
T. Uso Diario 1BR	Tank default (0,8500)	100%	4,418	4,418	5,198	5,198	24,400	-4,050	4,100	0,837	Maximum
T. Uso Diario 1ER	Tank default (0,8500)	100%	4,418	4,418	5,198	5,198	24,400	4,050	4,100	0,837	Maximum
T. Lastre 1BR CCMM1	Tank default (1,0250)	100%	21,594	21,594	21,067	21,067	6,146	-2,585	3,925	46,842	Maximum
T. Lastre 1ER CCMM1	Tank default (1,0250)	100%	21,594	21,594	21,067	21,067	6,146	2,585	3,925	46,842	Maximum
T. Lastre 1BR CCMM3	Tank default (1,0250)	0%	28,064	0,000	27,380	0,000	32,631	-4,333	1,401	2,792	Maximum
T. Lastre 1ER CCMM3	Tank default (1,0250)	0%	28,064	0,000	27,380	0,000	32,631	4,333	1,401	2,792	Maximum
T. LNG CCMM2	Tank default (0,4200)	100%	16,267	16,267	38,732	38,732	17,050	0,000	2,560	39,061	Maximum
T. LNG CCMM3	Tank default (0,4200)	100%	16,267	16,267	38,732	38,732	31,850	0,000	2,560	2,625	Maximum
T. Almacén OBR Proa	Tank default (0,8500)	100%	13,267	13,267	15,608	15,608	41,869	-1,134	0,840	9,882	Maximum
T. Lastre OC Proa	Tank default (1,0250)	0%	9,396	0,000	9,167	0,000	45,955	0,000	0,072	7,790	Maximum
T. Almacén 1.2BR	Tank default (0,8500)	100%	43,854	43,854	51,593	51,593	14,346	-2,783	3,048	39,716	Maximum
T. Almacén 1.2ER	Tank default (0,8500)	100%	43,854	43,854	51,593	51,593	14,346	2,783	3,048	39,716	Maximum
T. Lastre OBR	Tank default (1,0250)	87%	16,237	14,126	15,841	13,781	32,460	-2,887	0,679	20,591	Maximum
T. Lastre OER	Tank default (1,0250)	87%	16,237	14,126	15,841	13,781	32,460	2,887	0,679	20,591	Maximum
T. Aguas Grises y Negras OER	Tank default (1,0000)	10%	47,166	4,717	47,166	4,717	23,658	1,880	0,189	108,137	Maximum
T. Almacén OER Medio	Tank default (0,8500)	100%	19,996	19,996	23,525	23,525	36,723	1,912	0,789	28,316	Maximum
T. Almacén OER Proa	Tank default (0,8500)	100%	13,267	13,267	15,608	15,608	41,869	1,134	0,840	9,882	Maximum
T. Agua Técnica OER	Tank default (1,0000)	100%	16,985	16,985	16,985	16,985	29,792	2,609	0,740	33,593	Maximum
T. Agua Dulce OER	Tank default (1,0000)	100%	15,876	15,876	15,876	15,876	27,500	2,679	0,743	32,829	Maximum
Total Loadcase				1839,970	766,909	580,577	26,015	-0,003	4,131	897,827	
FS correction									0,488		
VCG fluid									4,619		

5.1.3. Estabilidad a grandes ángulos

Heel to Starboard deg	-30,0	-25,0	-20,0	-15,0	-10,0	-5,0	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	50,0	60,0	70,0
GZ m	-0,537	-0,420	-0,323	-0,237	-0,158	-0,079	0,003	0,084	0,163	0,242	0,327	0,425	0,541	0,645	0,711	0,746	0,668	0,516
Area under GZ curve from zero heel m.rad	0,1293	0,0876	0,0553	0,0309	0,0137	0,0033	0,0000	0,0038	0,0146	0,0322	0,0570	0,0897	0,1319	0,1838	0,2434	0,3718	0,4969	0,6008
Displacement t	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1840
Draft at FP m	4,848	4,819	4,793	4,773	4,761	4,759	4,761	4,759	4,761	4,774	4,794	4,819	4,849	4,897	4,955	4,978	4,916	4,816
Draft at AP m	4,381	4,517	4,620	4,693	4,739	4,756	4,758	4,756	4,738	4,693	4,619	4,517	4,380	4,232	4,100	3,877	3,635	3,225
WL Length m	57,102	57,081	57,082	57,095	57,115	57,100	57,094	57,100	57,115	57,095	57,082	57,081	57,102	57,531	64,013	64,009	64,006	64,003
Beam max extents on WL m	13,144	12,667	12,228	11,901	11,675	11,543	11,500	11,543	11,675	11,901	12,228	12,667	13,144	12,560	11,922	11,041	10,607	10,297
Wetted Area m ²	955,744	942,986	943,117	944,818	944,378	946,745	947,155	946,745	944,359	944,677	943,175	943,044	955,704	967,579	985,012	1022,369	1044,256	1060,116
Waterpl. Area m ²	557,543	545,165	535,118	529,449	528,580	529,930	529,691	529,930	528,575	529,444	535,111	545,158	557,527	531,810	508,888	472,594	446,442	437,246
Prismatic coeff. (Cp)	0,615	0,608	0,602	0,599	0,596	0,595	0,595	0,595	0,596	0,599	0,602	0,608	0,615	0,621	0,570	0,595	0,617	0,635
Block coeff. (Cb)	0,526	0,537	0,552	0,564	0,573	0,579	0,581	0,579	0,573	0,564	0,552	0,537	0,526	0,549	0,525	0,625	0,728	0,839
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	26,029	26,025	26,021	26,017	26,015	26,016	26,017	26,016	26,016	26,018	26,022	26,026	26,031	26,036	26,041	26,044	26,043	26,040
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	24,007	23,551	23,073	22,574	22,054	21,642	21,496	21,642	22,054	22,574	23,073	23,552	24,008	24,741	25,644	27,368	28,599	29,590
Max deck inclination deg	30,0027	25,0015	20,0007	15,0002	10,0000	5,0000	0,0033	5,0000	10,0000	15,0002	20,0007	25,0015	30,0027	35,0040	40,0048	50,0040	60,0022	70,0010
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,4864	-0,3141	-0,1807	-0,0833	-0,0229	-0,0033	-0,0033	-0,0033	-0,0237	-0,0841	-0,1818	-0,3151	-0,4884	-0,6932	-0,8905	-1,1460	-1,3347	-1,6574



5.1.4. Criterios de estabilidad

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: IMO roll back angle	18,0	deg			
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	0,0550	m.rad	0,1319	Pass	+139,75
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	0,0900	m.rad	0,2434	Pass	+170,43
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	0,0300	m.rad	0,1115	Pass	+271,73
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,747	Pass	+273,50
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	49,0	Pass	+96,09
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt	0,150	m	0,935	Pass	+523,33
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	1,7	Pass	+89,23
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	8,47	Pass	+89,41
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	660,31	Pass	+560,31

5.2. Situación intermedia

Estudiamos la estabilidad del oceanográfico en una condición de carga intermedia entre la salida de puerto con tanques de consumo llenos y la llegada a puerto con éstos vacíos.

- ✓ Combustible MDO y LNG al 50%
- ✓ Aceites al 50%
- ✓ Agua dulce y técnica al 100%
- ✓ Aguas grises y negras 50%
- ✓ Lodos y fangos al 50%
- ✓ Sentinas al 50%
- ✓ Lastre a demanda

5.2.1. Condición de equilibrio

Draft Amidships m	4,503
Displacement t	1697
Heel deg	0,0
Draft at FP m	4,542
Draft at AP m	4,465
Draft at LCF m	4,495
Trim (+ve by stern) m	-0,077
WL Length m	57,302
Beam max extents on WL m	11,500
Wetted Area m ²	913,043
Waterpl. Area m ²	525,428
Prismatic coeff. (Cp)	0,579
Block coeff. (Cb)	0,565
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,970
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,807
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	26,483
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	21,525
KB m	2,577
KG fluid m	4,720
BMt m	2,994
BML m	63,018
GMt corrected m	0,852
GML m	60,876
KMt m	5,571
KML m	65,595
Immersion (TPc) tonne/cm	5,386
MTc tonne.m	18,782
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	25,227
Max deck inclination deg	0,0799
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,0799

5.2.2. Condición de carga

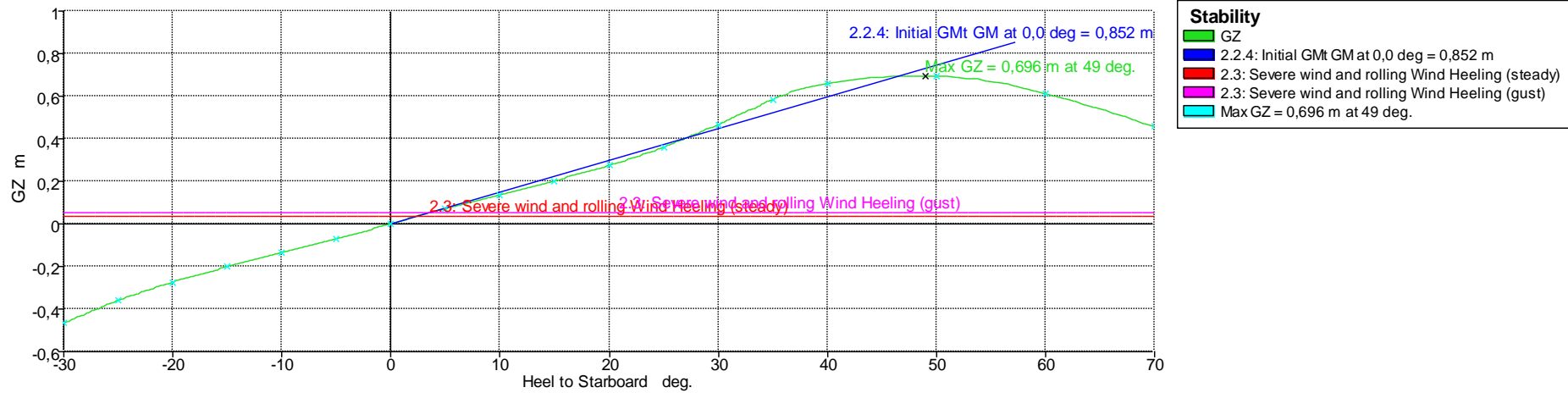
Free to Trim

 Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³) Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Specific gravity	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship		1	1355,000	1355,000			28,060	0,000	4,800	0,000	User Specified
T. Lastre Pique de proa	Tank default (1,0250)	0%	23,170	0,000	22,605	0,000	53,901	0,000	0,331	4,847	Maximum
T. Sentinas	Tank default (1,0000)	50%	7,633	3,817	7,633	3,817	32,500	0,000	0,352	1,557	Maximum
T. Agua Técnica OBR	Tank default (1,0000)	100%	16,985	16,985	16,985	16,985	29,792	-2,609	0,740	33,593	Maximum
T. Agua Dulce OBR	Tank default (1,0000)	100%	15,876	15,876	15,876	15,876	27,500	-2,679	0,743	32,829	Maximum
T. Aguas Grises y Negras OBR	Tank default (1,0000)	50%	47,166	23,583	47,166	23,583	23,116	-2,493	0,476	108,137	Maximum
T. Fangos	Tank default (1,0000)	50%	4,349	2,175	4,349	2,175	18,440	1,257	0,545	2,228	Maximum
T. Aceite Lubricación	Tank default (0,9200)	50%	4,001	2,001	4,349	2,175	18,440	-1,257	0,545	2,050	Maximum
T. Aceite Hidráulico	Tank default (0,9200)	50%	10,974	5,487	11,928	5,964	16,604	0,000	0,755	31,576	Maximum
T. Sedimentación OBR	Tank default (0,8500)	100%	6,798	6,798	7,997	7,997	17,571	-3,868	1,023	7,552	Maximum
T. Sedimentación OER	Tank default (0,8500)	100%	6,798	6,798	7,997	7,997	17,571	3,868	1,023	7,552	Maximum
T. Almacén OBR Medio	Tank default (0,8500)	50%	19,996	9,998	23,525	11,762	36,680	-1,706	0,470	28,220	Maximum
T. Almacén 1.1BR	Tank default (0,8500)	50%	56,502	28,251	66,473	33,236	10,714	-2,463	2,839	71,915	Maximum
T. Almacén 1.1ER	Tank default (0,8500)	50%	56,502	28,251	66,473	33,236	10,714	2,463	2,839	71,915	Maximum
T. Uso Diario 1BR	Tank default (0,8500)	100%	4,418	4,418	5,198	5,198	24,400	-4,050	4,100	0,837	Maximum
T. Uso Diario 1ER	Tank default (0,8500)	100%	4,418	4,418	5,198	5,198	24,400	4,050	4,100	0,837	Maximum
T. Lastre 1BR CCMM1	Tank default (1,0250)	100%	21,594	21,594	21,067	21,067	6,146	-2,585	3,925	46,842	Maximum
T. Lastre 1ER CCMM1	Tank default (1,0250)	100%	21,594	21,594	21,067	21,067	6,146	2,585	3,925	46,842	Maximum
T. Lastre 1BR CCMM3	Tank default (1,0250)	0%	28,064	0,000	27,380	0,000	32,631	-4,333	1,401	2,792	Maximum
T. Lastre 1ER CCMM3	Tank default (1,0250)	0%	28,064	0,000	27,380	0,000	32,631	4,333	1,401	2,792	Maximum
T. LNG CCMM2	Tank default (0,4200)	50%	16,267	8,134	38,732	19,366	17,050	0,000	1,985	39,061	Maximum
T. LNG CCMM3	Tank default (0,4200)	50%	16,267	8,134	38,732	19,366	31,850	0,000	1,985	2,625	Maximum
T. Almacén OBR Proa	Tank default (0,8500)	50%	13,267	6,633	15,608	7,804	41,821	-0,948	0,537	9,797	Maximum
T. Lastre OC Proa	Tank default (1,0250)	0%	9,396	0,000	9,167	0,000	45,955	0,000	0,072	7,790	Maximum
T. Almacén 1.2BR	Tank default (0,8500)	50%	43,854	21,927	51,593	25,797	14,365	-2,698	2,265	39,711	Maximum
T. Almacén 1.2ER	Tank default (0,8500)	50%	43,854	21,927	51,593	25,797	14,365	2,698	2,265	39,711	Maximum
T. Lastre OBR	Tank default (1,0250)	0%	16,237	0,000	15,841	0,000	31,492	-0,886	0,006	20,591	Maximum
T. Lastre OER	Tank default (1,0250)	0%	16,237	0,000	15,841	0,000	31,492	0,886	0,006	20,591	Maximum
T. Aguas Grises y Negras OER	Tank default (1,0000)	50%	47,166	23,583	47,166	23,583	23,116	2,493	0,476	108,137	Maximum
T. Almacén OER Medio	Tank default (0,8500)	50%	19,996	9,998	23,525	11,762	36,680	1,706	0,470	28,220	Maximum
T. Almacén OER Proa	Tank default (0,8500)	50%	13,267	6,633	15,608	7,804	41,821	0,948	0,537	9,797	Maximum
T. Agua Técnica OER	Tank default (1,0000)	100%	16,985	16,985	16,985	16,985	29,792	2,609	0,740	33,593	Maximum
T. Agua Dulce OER	Tank default (1,0000)	100%	15,876	15,876	15,876	15,876	27,500	2,679	0,743	32,829	Maximum
Total Loadcase				1696,870	766,909	391,470	26,478	0,000	4,191	897,368	
FS correction									0,529		
VCG fluid									4,720		

5.2.3. Estabilidad a grandes ángulos

Heel to Starboard deg	-30,0	-25,0	-20,0	-15,0	-10,0	-5,0	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	50,0	60,0	70,0
GZ m	-0,466	-0,361	-0,274	-0,202	-0,138	-0,073	0,000	0,072	0,137	0,202	0,274	0,360	0,466	0,583	0,660	0,695	0,614	0,457
Area under GZ curve from zero heel m.rad	0,1115	0,0755	0,0480	0,0272	0,0124	0,0032	0,0000	0,0032	0,0124	0,0272	0,0479	0,0754	0,1113	0,1571	0,2120	0,3316	0,4476	0,5415
Displacement t	1697	1697	1697	1697	1697	1697	1697	1697	1697	1697	1697	1697	1697	1697	1697	1697	1697	1697
Draft at FP m	4,742	4,691	4,646	4,604	4,569	4,546	4,540	4,547	4,570	4,605	4,647	4,692	4,740	4,799	4,879	4,936	4,883	4,764
Draft at AP m	3,943	4,111	4,241	4,341	4,413	4,455	4,466	4,454	4,412	4,340	4,240	4,110	3,944	3,734	3,498	3,009	2,383	1,305
WL Length m	57,143	57,175	57,208	57,253	57,275	57,299	57,303	57,298	57,274	57,252	57,208	57,175	57,144	57,111	64,014	64,014	64,012	64,009
Beam max extents on WL m	13,173	12,657	12,224	11,899	11,674	11,543	11,500	11,543	11,674	11,899	12,224	12,657	13,173	12,904	11,916	11,240	10,732	10,369
Wetted Area m ²	906,715	903,985	903,068	901,615	902,211	909,285	913,035	909,281	902,205	901,554	903,045	903,971	906,708	928,997	939,200	973,320	994,579	1001,405
Waterpl. Area m ²	544,680	530,969	520,973	515,321	515,229	521,248	525,435	521,235	515,205	515,303	520,961	530,960	544,699	539,554	512,948	477,226	453,456	447,694
Prismatic coeff. (Cp)	0,603	0,595	0,589	0,584	0,581	0,580	0,579	0,580	0,581	0,584	0,589	0,595	0,603	0,614	0,560	0,585	0,607	0,625
Block coeff. (Cb)	0,510	0,525	0,538	0,549	0,558	0,563	0,565	0,563	0,558	0,549	0,538	0,525	0,510	0,529	0,518	0,641	0,790	1,024
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	26,509	26,499	26,493	26,487	26,483	26,480	26,481	26,482	26,485	26,489	26,494	26,500	26,507	26,511	26,524	26,535	26,537	26,536
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	24,378	23,901	23,425	22,925	22,394	21,799	21,524	21,800	22,395	22,926	23,426	23,902	24,377	24,759	25,588	27,289	28,440	29,241
Max deck inclination deg	30,0078	25,0056	20,0038	15,0023	10,0013	5,0009	0,0778	5,0009	10,0013	15,0023	20,0038	25,0056	30,0078	35,0103	40,0126	50,0122	60,0085	70,0048
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,8318	-0,6050	-0,4219	-0,2741	-0,1623	-0,0947	-0,0778	-0,0961	-0,1646	-0,2762	-0,4235	-0,6060	-0,8293	-1,1094	-1,4384	-2,0066	-2,6027	-3,5988



5.2.4. Criterios de estabilidad

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: IMO roll back angle	16,8	deg			
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	0,0550	m.rad	0,1113	Pass	+102,44
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	0,0900	m.rad	0,2120	Pass	+135,50
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	0,0300	m.rad	0,1006	Pass	+235,36
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,696	Pass	+248,00
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	49,0	Pass	+96,09
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt	0,150	m	0,852	Pass	+468,00
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	2,4	Pass	+84,94
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	9,78	Pass	+87,77
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	714,16	Pass	+614,16

5.3. Llegada a puerto

Por último, estudiamos la estabilidad en la condición de llegada a puerto, cuando los consumos estarán en mínimos, alrededor del 10% y los tanques de deshechos tanto de aguas grises y negras como de fangos y demás, estarán al máximo.

- ✓ Combustible MDO y LNG al 10%
- ✓ Aceites al 10%
- ✓ Agua dulce y técnica al 10%
- ✓ Aguas grises y negras 100%
- ✓ Lodos y fangos al 100%
- ✓ Sentinas al 100%
- ✓ Lastre a demanda

5.3.1. Condición de equilibrio

Draft Amidships m	4,259
Displacement t	1566
Heel deg	0,9
Draft at FP m	4,294
Draft at AP m	4,224
Draft at LCF m	4,251
Trim (+ve by stern) m	-0,070
WL Length m	57,639
Beam max extents on WL m	11,500
Wetted Area m ²	878,719
Waterpl. Area m ²	518,164
Prismatic coeff. (Cp)	0,563
Block coeff. (Cb)	0,548
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,970
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,791
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	26,881
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	21,723
KB m	2,428
KG fluid m	4,949
BMt m	3,120
BML m	66,422
GMt corrected m	0,598
GML m	63,900
KMt m	5,547
KML m	68,842
Immersion (TPc) tonne/cm	5,311
MTc tonne.m	18,199
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	16,359
Max deck inclination deg	0,8590
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,0729

5.3.2. Condición de carga

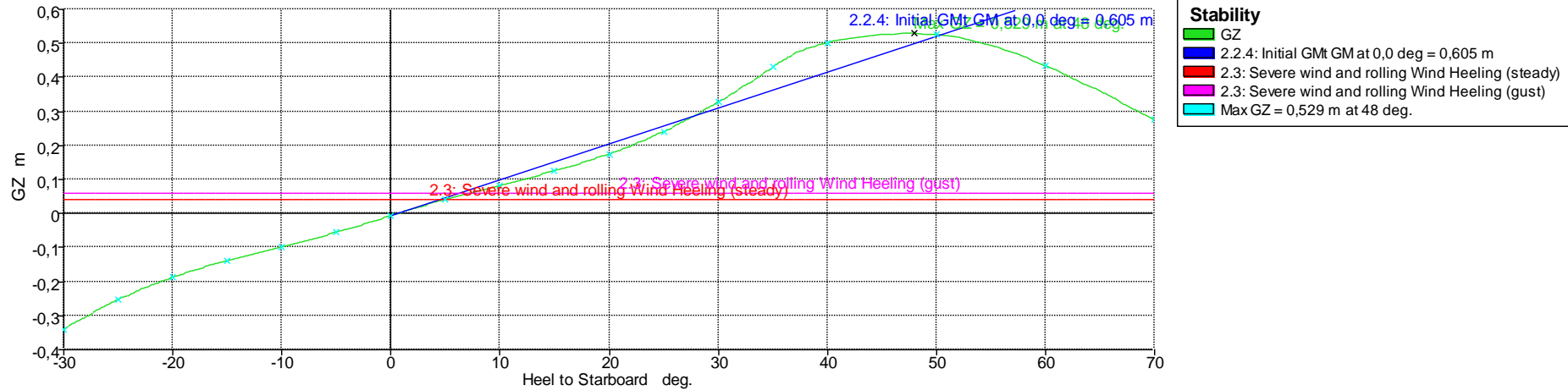
Free to Trim

 Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³) Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Specific gravity	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship		1	1355,000	1355,000			28,060	0,000	4,800	0,000	User Specified
T. Lastre Pique de proa	Tank default (1,0250)	0%	23,170	0,000	22,605	0,000	53,901	0,000	0,331	4,847	Maximum
T. Sentinas	Tank default (1,0000)	100%	7,633	7,633	7,633	7,633	32,500	0,000	0,702	1,557	Maximum
T. Agua Técnica OBR	Tank default (1,0000)	10%	16,985	1,698	16,985	1,698	29,789	-1,979	0,114	33,556	Maximum
T. Agua Dulce OBR	Tank default (1,0000)	10%	15,876	1,588	15,876	1,588	27,520	-2,071	0,123	32,801	Maximum
T. Aguas Grises y Negras OBR	Tank default (1,0000)	100%	47,166	47,166	47,166	47,166	23,009	-2,662	0,788	108,140	Maximum
T. Fangos	Tank default (1,0000)	100%	4,349	4,349	4,349	4,349	18,427	1,286	0,831	2,228	Maximum
T. Aceite Lubricación	Tank default (0,9200)	10%	4,001	0,400	4,349	0,435	18,536	-1,029	0,307	2,050	Maximum
T. Aceite Hidráulico	Tank default (0,9200)	10%	10,974	1,097	11,928	1,193	17,129	0,000	0,532	31,576	Maximum
T. Sedimentación OBR	Tank default (0,8500)	100%	6,798	6,798	7,997	7,997	17,571	-3,868	1,023	7,552	Maximum
T. Sedimentación OER	Tank default (0,8500)	100%	6,798	6,798	7,997	7,997	17,571	3,868	1,023	7,552	Maximum
T. Almacén OBR Medio	Tank default (0,8500)	10%	19,996	2,000	23,525	2,352	36,588	-1,142	0,156	28,220	Maximum
T. Almacén 1.1BR	Tank default (0,8500)	10%	56,502	5,650	66,473	6,647	11,748	-1,997	2,138	71,915	Maximum
T. Almacén 1.1ER	Tank default (0,8500)	10%	56,502	5,650	66,473	6,647	11,748	1,997	2,138	71,915	Maximum
T. Uso Diario 1BR	Tank default (0,8500)	100%	4,418	4,418	5,198	5,198	24,400	-4,050	4,100	0,837	Maximum
T. Uso Diario 1ER	Tank default (0,8500)	100%	4,418	4,418	5,198	5,198	24,400	4,050	4,100	0,837	Maximum
T. Lastre 1BR CCMM1	Tank default (1,0250)	100%	21,594	21,594	21,067	21,067	6,146	-2,585	3,925	46,842	Maximum
T. Lastre 1ER CCMM1	Tank default (1,0250)	100%	21,594	21,594	21,067	21,067	6,146	2,585	3,925	46,842	Maximum
T. Lastre 1BR CCMM3	Tank default (1,0250)	0%	28,064	0,000	27,380	0,000	32,631	-4,333	1,401	2,792	Maximum
T. Lastre 1ER CCMM3	Tank default (1,0250)	5%	28,064	1,403	27,380	1,369	32,634	4,338	1,485	2,792	Maximum
T. LNG CCMM2	Tank default (0,4200)	10%	16,267	1,627	38,732	3,873	17,050	0,000	1,525	39,061	Maximum
T. LNG CCMM3	Tank default (0,4200)	10%	16,267	1,627	38,732	3,873	31,850	0,000	1,525	2,625	Maximum
T. Almacén OBR Proa	Tank default (0,8500)	10%	13,267	1,327	15,608	1,561	41,673	-0,574	0,209	9,797	Maximum
T. Lastre OC Proa	Tank default (1,0250)	0%	9,396	0,000	9,167	0,000	45,955	0,000	0,072	7,790	Maximum
T. Almacén 1.2BR	Tank default (0,8500)	10%	43,854	4,385	51,593	5,159	14,460	-2,392	1,601	39,711	Maximum
T. Almacén 1.2ER	Tank default (0,8500)	10%	43,854	4,385	51,593	5,159	14,460	2,392	1,601	39,711	Maximum
T. Lastre OBR	Tank default (1,0250)	0%	16,237	0,000	15,841	0,000	31,492	-0,886	0,006	20,591	Maximum
T. Lastre OER	Tank default (1,0250)	0%	16,237	0,000	15,841	0,000	31,492	0,886	0,006	20,591	Maximum
T. Aguas Grises y Negras OER	Tank default (1,0000)	100%	47,166	47,166	47,166	47,166	23,009	2,662	0,788	108,140	Maximum
T. Almacén OER Medio	Tank default (0,8500)	10%	19,996	2,000	23,525	2,352	36,588	1,142	0,156	28,220	Maximum
T. Almacén OER Proa	Tank default (0,8500)	10%	13,267	1,327	15,608	1,561	41,673	0,574	0,209	9,797	Maximum
T. Agua Técnica OER	Tank default (1,0000)	10%	16,985	1,698	16,985	1,698	29,789	1,979	0,114	33,556	Maximum
T. Agua Dulce OER	Tank default (1,0000)	10%	15,876	1,588	15,876	1,588	27,520	2,071	0,123	32,801	Maximum
Total Loadcase				1566,382	766,909	223,592	26,875	0,007	4,376	897,245	
FS correction									0,573		
VCG fluid									4,949		

5.3.3. Estabilidad a grandes ángulos

Heel to Starboard deg	-30,0	-25,0	-20,0	-15,0	-10,0	-5,0	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	50,0	60,0	70,0
GZ m	-0,340	-0,254	-0,189	-0,139	-0,097	-0,056	-0,007	0,041	0,083	0,125	0,175	0,241	0,327	0,430	0,502	0,526	0,435	0,276
Area under GZ curve from zero heel m.rad	0,0789	0,0531	0,0339	0,0197	0,0095	0,0028	-0,0001	0,0015	0,0070	0,0160	0,0290	0,0470	0,0716	0,1046	0,1458	0,2369	0,3224	0,3849
Displacement t	1566	1566	1566	1566	1566	1566	1566	1566	1566	1566	1566	1566	1566	1566	1566	1566	1566	1566
Draft at FP m	4,599	4,536	4,471	4,410	4,354	4,309	4,291	4,311	4,356	4,411	4,472	4,536	4,602	4,667	4,750	4,830	4,765	4,598
Draft at AP m	3,564	3,755	3,911	4,035	4,131	4,199	4,226	4,198	4,130	4,034	3,910	3,755	3,562	3,315	3,007	2,295	1,353	-0,267
WL Length m	57,279	57,332	57,404	57,490	57,543	57,612	57,643	57,609	57,540	57,488	57,402	57,331	57,276	57,230	64,018	64,021	64,021	64,019
Beam max extents on WL m	13,101	12,641	12,219	11,897	11,673	11,542	11,499	11,542	11,673	11,897	12,219	12,641	13,101	13,127	11,988	11,439	10,853	10,435
Wetted Area m ²	868,927	866,791	864,870	859,941	862,716	869,343	879,177	869,313	862,700	859,936	864,967	866,616	868,946	886,711	893,883	926,456	943,417	943,022
Waterpl. Area m ²	529,839	517,054	507,098	501,477	501,388	508,014	518,684	507,954	501,344	501,446	507,083	517,045	529,800	536,216	516,283	480,966	458,115	451,871
Prismatic coeff. (Cp)	0,591	0,582	0,575	0,570	0,566	0,564	0,563	0,564	0,566	0,570	0,575	0,582	0,591	0,602	0,549	0,574	0,596	0,613
Block coeff. (Cb)	0,502	0,513	0,525	0,535	0,542	0,547	0,548	0,547	0,542	0,535	0,525	0,513	0,502	0,511	0,513	0,659	0,865	1,325
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	26,912	26,907	26,898	26,890	26,883	26,878	26,877	26,881	26,886	26,893	26,900	26,908	26,918	26,928	26,941	26,959	26,963	26,963
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	24,703	24,240	23,766	23,286	22,787	22,228	21,699	22,231	22,790	23,288	23,767	24,240	24,706	25,084	25,501	27,205	28,365	29,270
Max deck inclination deg	30,0132	25,0102	20,0072	15,0046	10,0026	5,0013	0,0678	5,0014	10,0027	15,0047	20,0073	25,0102	30,0133	35,0166	40,0201	50,0211	60,0159	70,0095
Trim angle (+ve by stern) deg	-1,0774	-0,8127	-0,5842	-0,3904	-0,2320	-0,1150	-0,0678	-0,1181	-0,2352	-0,3929	-0,5860	-0,8138	-1,0834	-1,4081	-1,8158	-2,6390	-3,5496	-5,0547



5.3.4. Criterios de estabilidad

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: IMO roll back angle	14,4	deg			
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	0,0550	m.rad	0,0716	Pass	+30,22
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	0,0900	m.rad	0,1458	Pass	+62,02
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	0,0300	m.rad	0,0742	Pass	+147,31
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,529	Pass	+164,50
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	48,0	Pass	+92,13
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt	0,150	m	0,605	Pass	+303,33
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	4,9	Pass	+69,22
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	17,08	Pass	+78,65
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	816,89	Pass	+716,89

6. BIBLIOGRAFÍA

- Apuntes de asignatura “Proyecto de buques y artefactos marinos I”, Vicente Díaz Casás, Basilio Puente Varela. Ingeniería Naval y Oceánica, Escola Politécnica Superior, Universidade da Coruña.
- Maxsurf Stability