

# ESTRUCTURA Y DESPLAZAMIENTO

PROYECTO DEL BUQUE Y ARTEFACTOS NAVALES



## GRUPO 4

Héctor Astigarraga

Miquel Queralt

Paula Sánchez

Aleix Rascón

Roger Parra

## ÍNDICE

APARTADO A .....	2
APARTADO B .....	2
APARTADO C .....	10
APARTADO D .....	12
APARTADO E .....	13

## APARTADO A

Realizar el plano de la cuaderna maestra del buque, basado en el de un buque similar que se muestra en la Figura 1. Este plano se entrega en CAD y deberá ser adaptado a las dimensiones de manga, puntal, altura de doble fondo y manga del doble casco que corresponda). Además, la disposición de refuerzos debe corresponder a la disposición general desarrollada con anterioridad.

Nota: se supondrá que las cuadernas no reforzadas, se intercalan con las cuadernas reforzadas (bulárcamas).

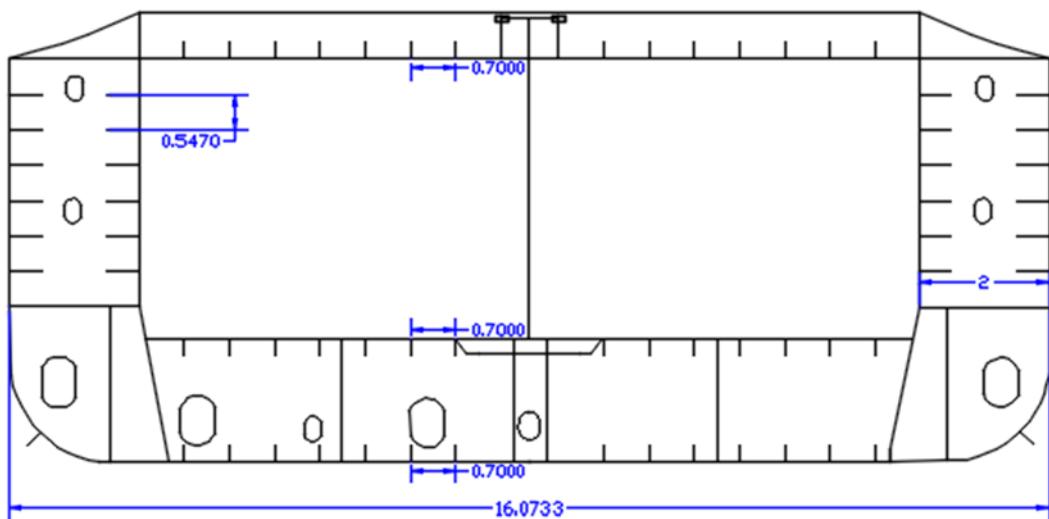


Figura 1. Plano de la cuaderna maestra de nuestro buque

## APARTADO B

Realizar el escantillonado de los elementos estructurales longitudinales de la cuaderna maestra del buque, llevando a cabo para ello las siguientes tareas:

- Calcular el espesor de las planchas de fondo, doble fondo, costado, doble casco, cubierta, mamparos y otros elementos longitudinales, de acuerdo a la normativa de la SSCC.

Para la realización de este apartado seguiremos las normas DNV-GL

En este caso debemos verificar el dimensionamiento de los elementos de la cuaderna maestra. Para lograr obtener los espesores mínimos de las planchas debemos "Pt.3 -> Ch. 6 -> Section 3.1.1.

Sabiendo que el espesor neto del revestimiento, en mm, no se considerará inferior a:

$$t = a + bL_2\sqrt{k}$$

Donde:

**a = coeficiente según las especificaciones de nuestro buque**

**b = coeficiente según las especificaciones de nuestro buque**

El valor  $k$ , debe obtenerse de forma ajena a este cálculo y depende del material a escoger. En nuestro caso, al ser de acero, tal como se especifica en

(DNV-GL ->Pt. 3 ->Ch. 3 ->Sec. 2.6),  $K<1$ , por lo que el metal que corresponde a dicha norma es: "Steel NV 316 L N", siendo  $K=235$  ReH0.2=ReH=235300=0,783.

Aplicando esta fórmula obtenemos:

	DNV-GI -> Pt.3 -> Ch. 6 -> Section 3.1.1				
	a	b	k	Lsc	t (mm)
Fondo	4,5	0,035	0,7833333333	107,64381	7,451234458
Mamparos estancos	4,5	0,01	0,7833333333	107,64381	5,343209845
Mamparos no estancos	5	0,005	0,7833333333	107,64381	5,421604923
Mamparos tanques de carga	4,5	0,015	0,7833333333	107,64381	5,764814768
Doble fondo	4,5	0,02	0,7833333333	107,64381	6,18641969
Costado	4,5	0,02	0,7833333333	107,64381	6,18641969
Doble casco	4,5	0,02	0,7833333333	107,64381	6,18641969
Cubierta	4,5	0,15	0,7833333333	107,64381	17,14814768

Tabla 1. Espesor mínimo del revestimiento

A continuación, proseguiremos con los cálculos de espesores, pero esta vez aquellos que están sujetos a una presión lateral. Para ello, nos moveremos, dentro del mismo capítulo, hasta (Sec. 4.1).

Como podemos observar, este espesor varía dependiendo del criterio escogido, en nuestro caso AC-2 (DNV-GL ->Pt. 3 ->Ch. 4 ->5.1)

La fórmula a seguir en este espesor cambia a la mostrada a continuación:

$$t = 0.0158\alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

- **PS (sea pressure):**

$$Pex = PS + PW$$

Donde:

$$Pex = p \cdot g (TLC - z)$$

$$PW = 0$$

$$TLC = 6,224$$

$$p = 1025 \text{ T}$$

$$z = 0$$

Por lo tanto, tenemos:  $Pex = 62583,876 \text{ KN/m}^2$

- **Pwd (pressure on wather deck):**

$$Pwd = 0,7 + 0,08Lwl/(D - T)$$

Donde:

$$Lwl = 110,973$$

$$D = 9,8$$

$$T = 7,6$$

Por lo tanto, tenemos:  $Pwd = 4,353563636 \text{ KN/m}^2$

Presión lateral AC-1	B	A	Ca max	ReH (N/mm <sup>2</sup> )	k(<1)	Minimum average	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	Ca<Camax	ALPHAp	P=PS (N/mm <sup>2</sup> )	b (mm)	t
Longitudinal	1,05	0,5	0,95	235	1	41	205	0,613829	1,013945	62,583	700	7,386574
Transversal	1,05	1	0,95	450	0,5222	27	392,5531	0,177659	0,676810	62,58387	700	2,864082

Tabla 2. Presiones de los elementos longitudinales y transversales

**b) Calcular el módulo resistente y área o espesor mínimo de los elementos de refuerzo longitudinal del fondo, doble fondo, costado, doble casco y cubierta de acuerdo a la normativa de la SSCC.**

Para la realización de este apartado debemos verificar la dimensión de los elementos de la cuaderna maestra para las condiciones de carga y para el calado de proyecto (plena carga) HSM-1 y OST-1P.

Según lo establecido en la Parte 3 del casco, Capítulo 4, Sección 2, 2. Esto se aplica específicamente a la condición de "operación normal en el mar", como se detalla en la Parte 3 del casco, Capítulo 4, Sección 7, 2.

A continuación, recopilaremos diferentes tablas que describen cómo responde el barco al movimiento, así como las cargas globales asociadas a cada situación de carga dinámica que se tendrá en cuenta en la evaluación de la resistencia.

**Casos de Carga de HSM (Hydrostatic Steady Moment):**

- HSM-1:
  - Descripción: Simula el efecto de las olas en la proa del barco.
  - EDW de Proa en el Mar: Minimiza el momento de flexión vertical de las olas en el centro del barco.
  - Objetivo: Evaluar la resistencia estructural frente a momentos de flexión generados por olas en la proa.

**Casos de Carga de OST (Ocean Spectrum Torsion):**

- OST-1P:
  - Descripción: Simula un estado de mar oblicuo.
  - EDW de Mar Oblicuo: Minimiza el momento de torsión con olas desde babor.
  - Objetivo: Evaluar la resistencia estructural frente a momentos de torsión generados por olas oblicuas desde babor.

Load component		LCF	HSM-1	HSM-1 NUESTRO	OST-1P	OST-1P NUESTRO
Hull girderloads	MWV	CWV	-1	-1	-0.4	-0,4
	QWV	CQW	-1.0 fTp	-1	-0.4 fTp	-0,4
	MWH	CWH	0	0	-1.0	-1
	MWT	CWT	0	0	-fTp-OST	0,24
Longitudinal accelerations	asurge	CXS	0.3 – 0.2fT	0,1748316027	-0.25 + 0.2fT	-0,05
	apitch-x	CXP	-0.6	-0,6	0.4 – 0.2fT	0,2
	g sinφ	CXG	0.4fT + 0.4	0,6503367945	-0.4 + 0.2fT	-0,2748316027
Transverse accelerations	away	CYS	0	0	0	0
	aroll-y	CYR	0	0	-0.4 + 0.6fT	-0,02449480819
	g sinθ	CYG	0	0	0.2 – 0.3fT	0,0122474041
Vertical accelerations	aheave	CZH	0.8fT – 0.15	0,3506735891	-0.05	-0,05
	aroll-z	CZR	0	0	-0.4 + 0.6fT	-0,02449480819
	apitch-z	CZP	-0.6	-0,6	0.4 – 0.2fT	0,2748316027

Tabla 3. Módulo resistente y área de los diferentes elementos del buque

Nuestra "fT" viene dada de nuestra relación entre el calado en condiciones de carga y el calado de escantillón, tal como se define teniendo en cuenta:

- La aceleración:

$$a_\theta = \left( 1.58 - 0.47C_B \right) \left( \frac{2.4}{\sqrt{L}} + \frac{34}{L} - \frac{600}{L^2} \right)$$

La coordenada vertical, en m, del centro de rotación del buque nombrada "R":

$$R = \min \left( \frac{D}{4} + \frac{T_{LC}}{2}, \frac{D}{2} \right)$$

F1	F2	Mw0 (KN*m)	Mw (KN*m)	Z	Sigma (KN/m^2)
1	0,9699300699	230777,3263	223837,8683	0,1085983313	2061153,846
1	1,1	230777,3263	253855.059	0,1085983313	2337559,481
TLC	TLC/TSC	A0	fTp(popa)	fTp(proa)	FxL(x/L)
3,895240523	0,6258419863	0,6004969102	1	-1	0,5
/	/				
R					
					2,495

La determinación de las aceleraciones en casos de carga dinámica desempeña un papel fundamental en la evaluación del comportamiento dinámico de estructuras.

Debemos evaluar las cargas dinámicas cambiantes, las aceleraciones ofrecen una visión clara de cómo la estructura responde a estos cambios a lo largo del tiempo y desempeñan un papel crítico en el análisis de fatiga estructural.

Las aceleraciones asociadas a dichos escenarios de carga se encuentran definidas en la Parte 3 del casco, Capítulo 4, Sección 3, punto 3. Será suficiente calcular estas aceleraciones en los 9 puntos característicos de la cuaderna maestra y luego realizar interpolaciones entre estos valores para calcular cualquier otro punto necesario.

Para ello hemos definido estos nueve puntos en nuestra cuaderna maestra:

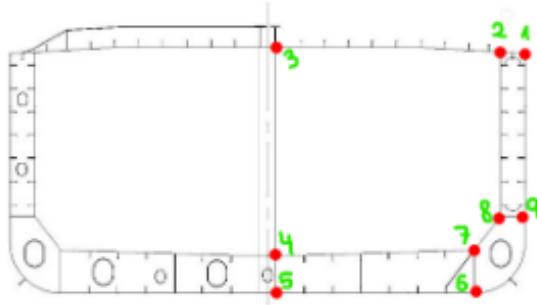


Figura2. Puntos característicos cuaderna maestra

Las coordenadas de nuestros puntos se definen de la siguiente manera:

Punto 1	z	6,2145
	x	8,0367
Punto 2	z	6,2145
	x	6,0286
Punto 3	z	6,2145
	x	0,263
Punto 4	z	1,9005
	x	0,263
Punto 5	z	0
	x	0,263
Punto 6	z	0
	x	6,0189
Punto 7	z	1,8918
	x	6,0189
Punto 8	z	2,3725
	x	6,0286
Punto 9	z	2,3725
	x	8,0367

Tabla 4. Coordenadas de la cuaderna maestra

Las aceleraciones empleadas para calcular las cargas iniciales en cualquier ubicación se definen con respecto al sistema de coordenadas fijo del barco. Los valores de aceleración especificados en [3.2] y [3.3] incorporan los componentes de la aceleración gravitacional derivados de los ángulos instantáneos de balanceo y cabeceo.

A continuación, pasaremos a calcular las diferentes aceleraciones para cada punto de nuestra cuaderna maestra:

### Aceleración longitudinal HSM-1

Esta medida está directamente relacionada con las fuerzas inerciales a lo largo del eje longitudinal del buque, es el movimiento del buque que va hacia adelante o hacia atrás en respuesta a las condiciones del mar en la proa.

Aceleración longitudinal HSM-1	
$a_X = f_\beta [(-C_{XG}g \sin \varphi) + C_{XS}a_{surge} + C_{XP}a_{pitch} (z - R)]$	
Ax(P.1)	-2,707205192
Ax(P.2)	-2,707205192
Ax(P.3)	-2,707205192
Ax(P.4)	-0,1188051918
Ax(P.5)	1,021494808
Ax(P.6)	1,021494808
Ax(P.7)	-0,1135851918
Ax(P.8)	-0,4020051918
Ax(P.9)	-0,4020051918

Tabla 5. Aceleración Longitudinal HSM-1

### Aceleración transversal HSM-1

Esta medida está directamente relacionada con las fuerzas inerciales laterales y la evaluación de la estabilidad lateral del buque.

Aceleración transversal HSM-1	
$a_Y = f_\beta [C_{YG}g \sin \theta + C_{YS}a_{sway} - C_{YR}a_{roll} (z - R)]$	
Ay(P.1)	0
Ay(P.2)	0
Ay(P.3)	0
Ay(P.4)	0
Ay(P.5)	0
Ay(P.6)	0
Ay(P.7)	0
Ay(P.8)	0
Ay(P.9)	0

Tabla 5. Aceleración Transversal HSM-1

### Aceleración vertical HSM-1

La estructura del buque responde a las fuerzas verticales generadas por las olas en la proa. Esta aceleración vincula las fuerzas inerciales verticales y nos permite ver la resistencia estructural y la estabilidad vertical del buque.

Aceleración vertical HSM-1	
$a_Z = f_\beta [C_{ZH}a_{heave} + C_{ZR}a_{roll}y - C_{ZP}a_{pitch} (x - 0.45L)]$	
Az(P.1)	-23,89113511
Az(P.2)	-25,09599511
Az(P.3)	-28,55535511
Az(P.4)	-28,55535511
Az(P.5)	-28,55535511
Az(P.6)	-25,10181511
Az(P.7)	-25,10181511
Az(P.8)	-25,09599511
Az(P.9)	-27,28965511

Tabla 6. Aceleración Vertical HSM-1

## Aceleración longitudinal OST-1P

Esta medida proporciona información sobre cómo la estructura del buque responde en la dirección longitudinal ante fuerzas que buscan torcer la embarcación.

Aceleración longitudinal OST-1P	
$a_X = f_\beta [(-C_{XG}g \sin \varphi) + C_{XS}a_{surge} + C_{XP}a_{pitch} (z - R)]$	
Ax(P.1)	1,333171603
Ax(P.2)	0,9315516027
Ax(P.3)	0,9687316027
Ax(P.4)	0,1059316027
Ax(P.5)	-0,2741683973
Ax(P.6)	-0,2741683973
Ax(P.7)	0,1041916027
Ax(P.8)	0,2003316027
Ax(P.9)	0,2003316027

Tabla 7. Aceleración Longitudinal OST-1P

## Aceleración transversal OST-1P

Las fuerzas iniciales laterales crean momentos de torsión específicos desde babor.

Aceleración transversal OST-1P	
$a_Y = f_\beta [C_{YC}g \sin \theta + C_{YS}a_{sway} - C_{YR}a_{roll} (z - R)]$	
Ay(P.1)	0,1479902826
Ay(P.2)	0,09880225832
Ay(P.3)	-0,04242500779
Ay(P.4)	-0,04242500779
Ay(P.5)	-0,04242500779
Ay(P.6)	0,09856465868
Ay(P.7)	-0,002527864205
Ay(P.8)	0,09880225832
Ay(P.9)	0,1479902826

Tabla 8. Aceleración Transversal OST-1P

## Aceleración vertical OST-1P

La embarcación se eleva o desciende en respuesta a las condiciones del mar que generan momentos de torsión desde babor.

Aceleración vertical OST-1P	
$a_Z = f_\beta [C_{ZH}a_{heave} + C_{ZR}a_{roll}y - C_{ZP}a_{pitch} (x - 0.45L)]$	
Az(P.1)	11,02953042
Az(P.2)	11,58141976
Az(P.3)	13,16598885
Az(P.4)	13,16598885
Az(P.5)	13,16598885
Az(P.6)	11,58408563
Az(P.7)	11,58408563
Az(P.8)	11,58141976
Az(P.9)	11,02953042

Tabla 9. Aceleración Vertical OST-1P

Una vez calculadas las diferentes aceleraciones procederemos a calcular  $V_j$ . Para ello, definiremos las coordenadas XG, YG y ZG calculando los centros de gravedad de los diferentes tanques del buque y finalmente escogeremos el valor más elevado.

Después calcularemos los puntos  $X_j$ ,  $Y_j$  y  $Z_j$  respecto el límite superior de la bodega de lastre.

Calculo de $V_j$			
Se tomará como punto de referencia el punto con mayor valor de $V_j$ , calculado para todos los puntos que definen el límite superior del tanque o bodega de lastre de la siguiente manera:			
$V_j = a_x (x_j - x_G) + a_y (y_j - y_G) + (a_z + g) (z_j - z_G)$ dónde: $x_j$ = Coordenada X, en m, del punto $j$ en el límite superior del tanque o bodega de lastre $y_j$ = Coordenada Y, en m, del punto $j$ en el límite superior del tanque o bodega de lastre $z_j$ = Coordenada Z, en m, del punto $j$ en el límite superior del tanque o bodega de lastre.			
XG	4,4	Xj	14,5
ZG	0,5	Zj	1
YG	1,84	Yj	7,68
Vj1 (HSM-1)	-34,38333999	Vj1 (OST-1P)	24,74906165
Vj2 (HSM-1)	-34,98576999	Vj2 (OST-1P)	20,68138626
Vj3 (HSM-1)	-36,71544999	Vj3 (OST-1P)	21,02442157
Vj4 (HSM-1)	-10,57260999	Vj4 (OST-1P)	12,31014157
Vj5 (HSM-1)	0,9444200073	Vj5 (OST-1P)	8,471131568
Vj6 (HSM-1)	2,671190007	Vj6 (OST-1P)	8,503559609
Vj7 (HSM-1)	-8,793117993	Vj7 (OST-1P)	11,73461528
Vj8 (HSM-1)	-11,70324999	Vj8 (OST-1P)	13,29606426
Vj9 (HSM-1)	-12,80007999	Vj9 (OST-1P)	13,30737765

Tabla 9. Cálculos del  $V_j$

### c) Definir las características finales de los diferentes elementos calculados anteriormente

La determinación de las características finales de los elementos estructurales, específicamente la aceleración HSM-1 y OST-1P ha proporcionado una comprensión integral de la respuesta del buque a condiciones operativas específicas, facilitando la base para el análisis de cargas y la subsiguiente determinación de los requerimientos estructurales. El cálculo del módulo resistente ha sido esencial para evaluar la capacidad del buque ante solicitudes de flexión y torsión, asegurando un diseño estructural robusto y conformidad con los estándares de resistencia establecidos.

La aplicación de criterios normativos de la SSCC nos ha proporcionado un valor definido de sus presiones, aceleraciones y como será afectado según las condiciones de la mar. Estos parámetros, considerando cargas máximas operativas, características geométricas y propiedades de materiales, han sido determinantes para cumplir con los niveles requeridos de seguridad y desempeño estructural.

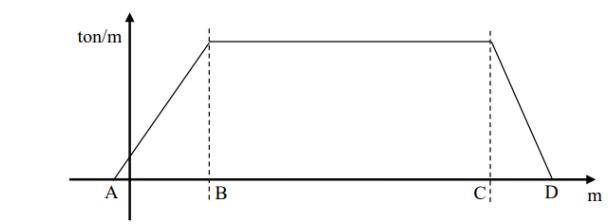
El enfoque técnico adoptado en la evaluación y definición de estas características finales se alinea de manera precisa con los principios normativos.

## APARTADO C

C.- Definir una condición de plena carga en Maxsurf Stability, y calcular la posición del centro de gravedad de las diferentes partidas del peso en rosca, teniendo en cuenta los datos de la siguiente tabla y las condiciones indicadas.

Grupo	Peso (ton)	KG (m)	XG (m)
Estructura	55,0% de LWT		
Maquinaria	10.0% de LWT	6.0	
Equipo	25.0% de LWT	8.9	
Habilitación	10.0% de LWT	13.9	

- El peso de la estructura, que representa el 55% del peso en rosca, se distribuye a lo largo de la eslora del buque, de acuerdo a la siguiente gráfica. El punto A representa el extremo de popa, el punto B, la posición del mamparo de proa de cámara de máquinas, el punto C, el mamparo de colisión, y el punto D, el extremo de proa.



- El peso de la habilitación se distribuye uniformemente a lo largo de su eslora (de la habilitación).
- El peso de la maquinaria se distribuye uniformemente a lo largo de la eslora de cámara de máquinas.
- Estimar, mediante fórmulas empíricas, la posición vertical del centro de gravedad (KGE) del peso de acero de la estructura del buque.
- Asumir que la posición longitudinal del centro de gravedad del peso del equipo es tal que el buque queda perfectamente adrizado en la condición de plena carga.

Grupo	Peso	KG	XG
Estructura	1621,4	7,595330134	43,1
Maquinaria	294,8	6	6,866666667
Equipo	737	8,9	18,4
Habilitación	294,8	13,9	0,2

Para el cálculo de los centros de gravedad, tanto verticales como horizontales (KG y XG), debemos conocer las longitudes de las áreas de la figura mostrada en el enunciado de este ejercicio (los 2 triángulos y el rectángulo central) y aplicar las fórmulas correspondientes para sus cálculos.

En el caso de los triángulos, como recordatorio, dicha fórmula es  $\frac{1}{3}$  de su base, mientras que la del rectángulo es simplemente la mitad de su misma base.

Finalmente, como último dato calculable y requerido antes de iniciar el cálculo en Maxsurf, es el centro de gravedad (KG) de la estructura.

Este cálculo se ha realizado mediante la siguiente fórmula empírica proporcionada por nuestro profesor.

$$Zg = 0,01 * D(46,6 + 0,135 * (0,81 - Cb)(LB)2) + (LB - 6,5)0,08 * D \text{ (m)}$$

Con estos datos conocidos e introducidos en Maxsurf, únicamente debemos “jugar” con el valor XG del grupo **equipos** hasta encontrar el equilibrio Trim=0 o un valor próximo a él.

Draft Amidships m	3,756
Displacement t	4091
Heel deg	0,0
Draft at FP m	3,752
Draft at AP m	3,759
Draft at LCF m	3,756
Trim (+ve by stern) m	0,007
WL Length m	107,470
Beam max extents on WL m	16,077
Wetted Area m^2	1924,456
Waterpl. Area m^2	1448,889
Prismatic coeff. (Cp)	0,641
Block coeff. (Cb)	0,623
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,982
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,839
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	48,412
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	44,800
KB m	2,155
KG solid m	0,911
BMt m	7,108
BML m	261,044
GMT corrected m	8,351
GML m	262,287
KMt m	9,263
KML m	263,199
Immersion (TPc) tonne/cm	14,851
MTc tonne.m	101,358
RM at 1deg = GMT.Disp.sin(1) tonne.m	596,241
Max deck inclination deg	0,0040
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0040

## APARTADO D

**Utilizando Maxsurf Stability, calcular el momento flector en aguas tranquilas del buque, y el momento creado por una ola de amplitud igual a 2,5 m en condiciones de arrufo y quebranto, para la condición de plena carga definida en el apartado anterior.**

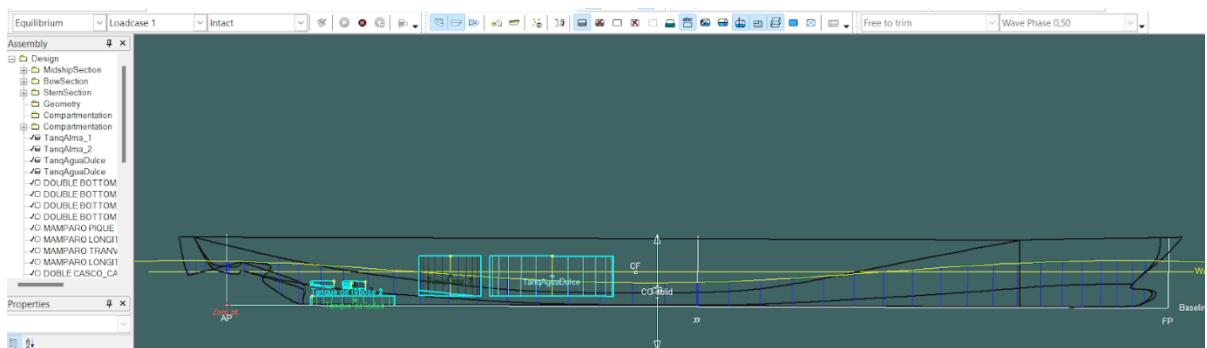
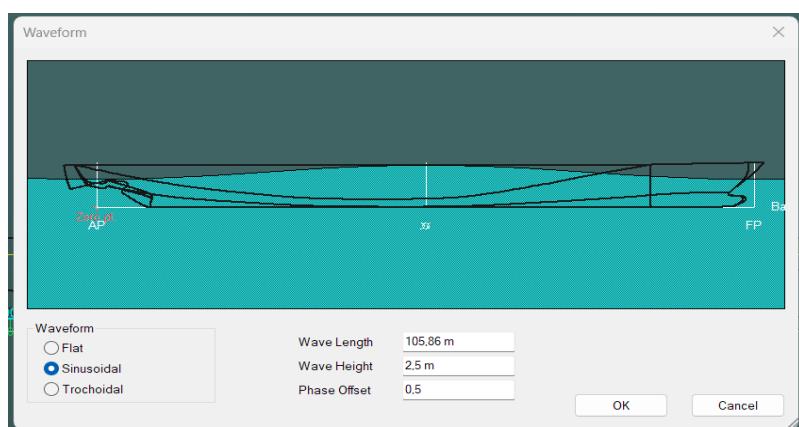
La flexión de los buques se puede comparar a la flexión de las vigas en muchos casos. En este apartado debemos calcular las tensiones globales, de tracción / compresión, de la viga "buque" debidas a los momentos flectores que se producen.

Estas tensiones son las mas importantes ya que son las de mayor modulo y por consiguiente las que gobiernan el diseño estructural del buque.

Los momentos flectores que las provocan se deben a que, aún en aguas tranquilas, la distribución de pesos a lo largo del buque no coincidirá nunca con la distribución de la flotación, de modo que tendremos algún momento flector y cortante en cada sección transversal que se considere. Cuando el buque se encuentre entre las olas, el momento flector y el cortante seguramente aumentarán, para cada sección transversal, con respecto a los valores obtenidos en aguas tranquilas.

Para la realización de este apartado se ha utilizado "MAXSURF Stability" para realizar una simulación de nuestra embarcación en una situación de olas sinusoidales de altura 2.5m y una longitud equivalente a la de nuestro buque, tanto para situaciones de arrufo como de quebranto. Se adjuntan las tablas con los resultados aparte.

Cabe destacar, y como se puede observar en las fotografías, que a pesar de tratar de calcular el quebranto modificando el "Wave Phase Offset" a 0.5, este se autocorre a 0 calculando otra vez el arrufo.

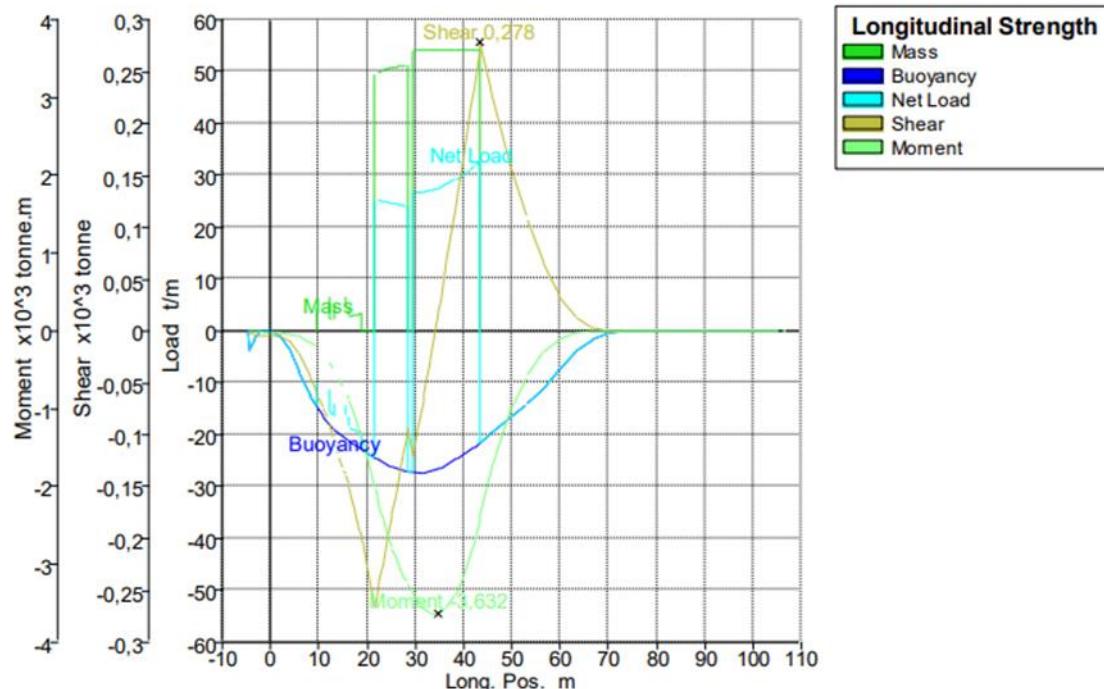


## APARTADO E

**Verificar el cumplimiento de los requisitos de resistencia longitudinal en la sección central del buque para la condición de plena carga definida anteriormente, de acuerdo a los requisitos de la SSCC.**

La resistencia longitudinal en la sección central del buque es fundamental para la seguridad y eficiencia operativa de la embarcación. Un diseño adecuado y una evaluación precisa son esenciales para garantizar que el buque pueda resistir las cargas y condiciones a las que estará expuesto a lo largo de su vida útil.

Para la realización de este apartado hemos utilizado el “Maxsurf Stability” para la verificación de los requisitos de la resistencia longitudinal.



*“Los resultados obtenidos en el Maxsurf, serán adjuntados en un PDF a parte de este trabajo.”*