

Treball Tema 4

Estructura i desplaçaments



Facultat de Nàutica de Barcelona

Projecte del vaixell i artefactes navals

Octubre 2023

Grup 8

Juan Pedro Bulgakov Treise

Sergi Grané Ciudad

Òscar Sarto Morell

Oussama el Moudden Teleb

Joan Sindreu Riba

A. Realitzar el plàtol de la quaderna mestra el vaixell, basat en el d'un vaixell similar com es mostra a la Figura 1. S'entrega en el CAD i haurà de ser adaptat a les dimensions de màniga, puntal, altura de doble fons i màniga doble del casc que correspongui.

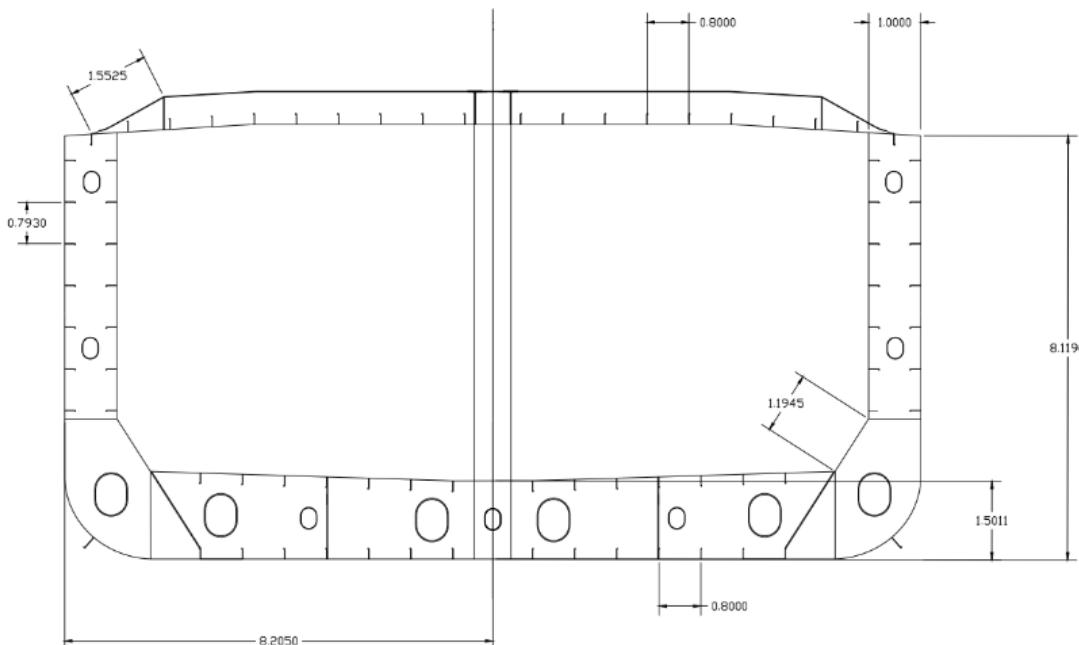


Figura 1. Dimensions de la Cadena Mestra (en metres).

Per a la resolució d'aquest apartat s'ha modificat el dimensionament de la quaderna mestra de l'anunciat, per tal que s'adapti i reflecteixi la quaderna mestra del model de vaixell dels treballs anteriors. A la *Figura 1* es pot visualitzar la quaderna mestre ja dimensionada i acotada.

S'ha hagut d'ampliar tant el doble fons com el doble casc i una vegada s'ha modificat aquestes dimensions hem pogut treure correctament l'escantillonat.

S'adjunta el plàtol a la entrega: "Annex I - Apartat A - Grup 8".

B. Realitzar l'escantillonat dels elements estructurals longitudinals de la quaderna mestra del vaixell, Fent les següents tasques:

- a) Calcular el gruix de les planxes de fons, doble fons, costat, doble casc, coberta, mampares i altres elements longitudinals, d'acord amb la normativa de la SSCC.

Per calcular els gruixos, és necessari seguir aquest ordre: calcular primer les acceleracions, les pressions externes i internes sobre el casc i els elements interns. S'ha de verificar la dimensió dels components de la cadena mestra per a les condicions de càrrega i per al calat de projecte, específicament a càrrega plena: HSM-1 i OST-1P1, durant l'operació habitual en alta mar.

- ACCELERACIONES:

ACCELERACIONES (en el centro de gravedad)				
Caso de carga:	HSM-1	Resultado	OST-1P	Resultado
Aceleraciones calculadas:	a surge=	2,056 m/s ²	asurge=	2,056 m/s ²
	a heave=	4,89904 m/s ²	aheave=	4,8990444 m/s ²
	a pitch=	0,1478 rad/s ²	aroll=	1,4659877 rad/s ²
			apitch=	0,1478 rad/s ²

Taula 1. Acceleracions calculades pels casos HSM-1 y OST-1P.

Després de seleccionar les situacions de càrrega, es procedeix al càlcul de les acceleracions que experimenta el vaixell. Per simplificar aquest procés, s'han triat 9 punts de la cadena mestra sobre els quals es realitza el càlcul. Aquests punts es mostren a la Figura 2.

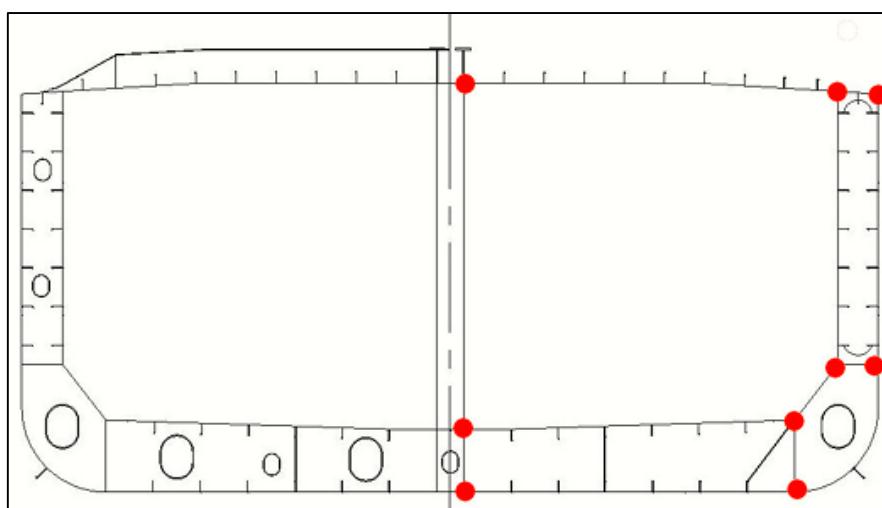


Figura 2. Punt de la cadena mestra per a l'estudi de pressions.

- PRESSIONS:

Com es pot veure a la Taula 3, la normativa seguida per al càlcul de pressions és la següent i a més s'especifiquen els punts de la cadena mestra on s'han calculat aquestes pressions. Els resultats d'aquestes pressions es mostren a l'Excel. Una vegada obtingudes les pressions internes i externes per a les dues situacions considerades, es poden determinar els gruixos dels elements.

<i>Cálculo de presiones: TABLA RESUMEN</i>		<i>Normativa DNV-GL</i>		<i>Puntos CM donde se aplica</i>
<i>Presiones externas debidas al oleaje</i>		<i>Part 3 Hull, Chapter 4 Loads, Section 5</i>		
1. Sea pressure		Section 5, 1		5,7,9
	Total pressure		Section 5, 1.1	
	Hydrostatic pressure		Section 5, 1.2	
	External dynamic pressure		Section 5, 1.3	
2. Loads on exposed decks		Section 5, 2		1,2,3
	HSM, HSA and load cases		Section 2.2.3	
	BSR, BSP, OST and OSA load cases		Section 2.2.4	
<i>Presiones internas debidas al líquido en tanques</i>		<i>Part 3 Hull, Chapter 4 Loads, Section 6, 1.1, 1.2 y 1.3.</i>		1,2,4,6,8
	Total pressure	Section 6, 1.1		
	Static liquid pressure	Section 6, 1.2		
	Dynamic liquid pressure	Section 6, 1.3		

Taula 3. Taula resum del càlcul de pressions.

Els resultats d'aquestes pressions es mostren a Excel. Obtingudes ja les pressions internes i externes per a les dues situacions considerades, es poden obtenir els gruixos dels elements.

- **GRUIXOS:**

Un cop obtinguts els gruixos dels elements, s'han verificat per assegurar-se que compleixin els requisits mínims establerts per la normativa de la societat de classificació. Aquests gruixos mínims es poden veure calculats a la pestanya "Espesores" a l'Excel.

Part 3 Hull. Chapter 6 Hull local scantling	
SECTION 3. Minimum thicknesses	
1. Plating	Espesor mínimo requerido para planchas: Part 3 Hull, Chapter 6 Hull local scantling, Section 3, 1.1
2. Stiffeners & tripping brackets	Espesor mínimo de refuerzos: Part 3 Hull, Chapter 6 Hull local scantling, Section 3, 2.1.
3. Primary supporting members	Espesor mínimo de PMS: Part 3 Hull, Chapter 6 Hull local scantling, Section 3, 3.1.
SECTION 4. Plating	
1. Planchas sujetas a presión lateral	Espesor de planchas sujetas a presión lateral (tanques de lastre, tanques de carga y costado y fondo del ca: Part 3 Hull, Chapter 6 Hull local scantling, Section 4, 1.1.1.
2. Espesor plancha del pantoque	Espesor de plancha de pantoque: Part 3 Hull, Chapter 6 Hull local scantling, Section 4, 2.1.1.
SECTION 5. Stiffeners	
	Características de refuerzos longitudinales en tanques de lastre, tanques de carga y costado y fondo del ca: Part 3 Hull, Chapter 6 Hull local scantling, Section 5, 1.1.1
	Part 3 Hull, Chapter 6 Hull local scantling, Section 5, 1.1.2.
SECTION 6. Primary supporting members	
	Características de refuerzos longitudinales principales (definidos en la parte 3, capítulo 1, sección 4): Part 3 Hull, Chapter 6 Hull local scantling, Section 6, 2.1.1, 2.1.2

Taula 3. Normativa per calcular els gruixos de tots els elements.

b) Calcular el mòdul resistent i àrea o gruix mínim dels elements de reforç longitudinal del fons, doble fons, costat, doble casc i coberta d'acord amb la normativa de la SSCC.

Cal destacar que tenim tres casos de càlcul amb el procés següent la normativa tècnica:

Primary supporting members: En aquest apartat, següint la normativa es troba a partir dels paràmetres especificats en la següent fórmula, inicialment el mòdul resistent o "Z", a partir de la qual es troben traurà la dimensió "t" a thickness.

$$Z = 1000 \frac{P |S| \ell_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s^R eH}$$

Se'ls ha assignat el factor A2 pel fet que les càrregues en condicions de crevant y arrufament, a part de ser fluctuants, són de gran magnitud.

Per a les pressions calculades als punts crítics, per al càlcul de Primary Supporting Members, si el mateix element pertany a dos punts o càlculs crítics, es pren com a valor el més alt, com passa amb l'element X1 situat a coberta, sent la càrrega de coberta per crebant o arrufament la major. De la mateixa manera, l'element X2 pertany a dos punts crítics dels quals es pren el valor més gran pel seu dimensionament.

Z=required net section modulus in cm³ , only applicable for ships with class notation ESP

fbdg = bending moment distribution factor, as given in Table 1

C_s = permissible stress coefficient to be taken as:

C_s = 0.70 for AC-I

C_s = 0.85 for AC-II and AC-III.

ReH = specified minimum yield stress, see Ch.3 Sec.1 [2] , in N/mm²

P= Pressure, being the number considered the greatest that the structure has to endure, in KN/m²

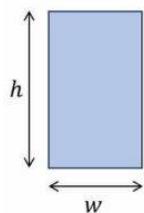
S= PSM spacing, defined in ch3pt3, 1.2

Ibdg = effective bending span, in m, as defined in Ch.3 Sec.6 [6.1.4]

Com que k=1, per norma s'ha considerat el factor Reh com a 235.

Un cop trobat els mòduls resistent dels PSM, dependent de la fórmula inercial segons la seva forma geomètrica, s'ha considerat com a rectangle tots els elements exceptuant X1, ja que aquest és una T.

En els elements rectangulars tenint el valor de Z i totes les variables (cost) fixades excepte thickness o espesor, sent aquest un SCD (Sistema Compatible Determinat) s'ha aïllat a cada cas la seva fórmula amb el mòdul resistent trobat per tenir el gruix indicat.



$$I_y = \frac{wh^3}{12}$$

$$I_z = \frac{hw^3}{12}$$

Shear Area of PSM

Per trobar la shear area dels PSM, s'ha calculat de la manera que indica la norma:

2.1.2 Shear area

The shear area, in cm^2 , of primary supporting members subjected to lateral pressure shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets defined in Sec.2 [2], given by:

$$A_{shr} = 10 \frac{f_{shr}|P|S\ell_{shr}}{C_t \tau_{eH}}$$

where:

- A_{shr} = $A_{shr-n50}$ required net shear area in cm^2 , only applicable for ships with class notation **ESP**
- = A_{shr-gr} required gross shear area in cm^2 , for other ships
- f_{shr} = shear force distribution factor, as given in **Table 1**
- C_t = permissible shear stress coefficient to be taken as:
 - $C_t = 0.70$ for AC-I
 - $C_t = 0.85$ for AC-II and AC-III.

Ishr	<i>measurements taken from cad file</i>		
P	<i>greatest value on selected element</i>		
S	4,145542857		
Ct	0,9		
τ_{EH}	162,9398995		
fshr	<i>depending on element, table1</i>		

El Ct s'ha considerat com ACII, sent aquest 0,90 per a tots els PSM, ja que en DNV-GL Ch3Pt6es considera aquest cas per a càrregues fluctuants o extremes. Considerant crebant y arrufament, es pren com Ct=0,90, ACII.

Table 1 Definition of f_{shr}

Coefficient	For continuous stiffeners with fixed end			For non-continuous stiffeners with simply supported ends
	Horizontal stiffeners	Upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	
f_{shr}	0.5	0.4	0.7	0.5

C_t = permissible shear stress coefficient for the acceptance criteria being considered, as defined in **Table 2**.

Table 2 Stiffeners, definition of C_t

Acceptance criteria	Structural member	C_t
AC-I	All stiffeners	0.75
AC-II	All stiffeners	0.90
AC-III	All stiffeners	0.95

Rigiditzadors

Per al càlcul del gruix d'aquests elements de reforç, la normativa específica que el gruix ha de complir amb el mínim observat a la taula:

2.1 Minimum thickness requirements

2.1.1 The net thickness of the web and face plate, if any, of stiffeners and tripping brackets in mm, shall comply with the minimum net thickness given in **Table 2**.

In addition, the net thickness of the web of stiffeners and tripping brackets, in mm, shall be:

- not less than 40% of the net required thickness of the attached plating, to be determined according to **Sec.4.**

Table 2 Minimum net thickness for stiffeners and tripping brackets

Element	Location	Net thickness
Stiffeners and attached end brackets	Tank boundary, boundary of cargo holds for dry bulk cargo, single strength deck and shell up to freeboard deck	$4.5 + 0.01 L_1$
	Structures in deckhouse and superstructure and decks for vessels with more than 2 continuous decks above 0.7 D from baseline	4.0
	Other structure	$4.5 + 0.005 L_1$
Tripping brackets		$4.5 + 0.01 L_1$

Es va calcular doncs mitjançant la fórmula corresponent a “Stiffeners and attached end brackets”, i es va obtenir el valor de 5,54 mm.

A més, s'exigeix que el gruix dels rigiditzadors mai no sigui inferior al 40% dels elements als que es troben units. Es calcula seguint aquest criteri tenint en compte la planxa amb més gruix, i s'obtenen 7,65 mm. A l'Excel adjuntat s'observen els càlculs dels gruixos seguint el segon criteri, corresponent a les pressions laterals. No obstant, i com marca la normativa en aquest apartat Part 3 Hull, Chapter 6, Section 5.1, s'agafa el gruix més estricte és a dir el que es va obtenir, primerament. Es decideix agafar el gruix de 10 mm per a tots els rigiditzadors, amb la idea de demanar únicament un tipus de rigiditzador i que estigui comercialitzat. També s'hi inclouen les quilles de balanç, ja que després de calcular-se s'obté un gruix per normativa de 7,54 mm.

Per als rigiditzadors, algunes consideracions tingudes en compte són les següents:

El mòdul resistent dels rigiditzadors que es mostra a la pestanya d’“Elementos” (17,400 cm³) varia respecte a aquest mateix calculat a la pestanya de “Descripció d'elements seleccionats” (39,5 cm³), ja que el valor final s'ha obtingut mitjançant un Prontuari. El mòdul resistent depèn del gruix de l'element i com el gruix obtingut no és el mateix que el triat finalment, el mòdul resistent també varia.

Elements de secció normalitzada:

En aquest apartat s'inclouen tots aquells elements de reforçament longitudinal no definits anteriorment. Per això s'ha fet servir la fórmula marcada pel apartat Part 3 Hull, Chapter 6, Section 4.1 :

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

Així doncs, s'han calculat seguint els elements següents:

- Planxes de costat
- Pantoc
- Planxes de fons
- Planxes de puntal (mampares)
- Tolves

Seguint el mateix criteri que en els apartats anteriors, es decideix agafar únicament 5 per al total de les planxes del vaixell, és a dir la que més gruix requereix, distingint entre:

- Fons: 1,9 cm
- Costat i mampares: 2,0 cm
- Coberta = 1,3 cm
- Tolves = 2,3 cm

Cal destacar que pel fet que aquests elements són planxes, la inèrcia de cadascuna ha estat calculada en funció del gruix, la longitud i el seu angle respecte la línia base:

$$I_x = (I_x + I_y)/2 + ((I_x - I_y)/2) \cdot \cos(2\theta) - I_{xy} \cdot \operatorname{sen}(2\theta)$$

Tenint en compte que el producte d'inèrcia per a un rectangle és 0 respecte als seus eixos principals:

$$I_x = (I_x + I_y)/2 + ((I_x - I_y)/2) \cdot \cos(2\theta)$$

A la pestanya “Descripción elementos seleccionados” del “Annex II – Apartat B Grup 8.xlsx” es pot trobar una descripció detallada de les característiques de cada element de la quaderna mestra, com també el càlcul de la inèrcia total de la secció respecte del seu eix neutre.

- c) Definir les característiques finals dels diferents elements calculats anteriorment.

Tal com indica el full d'Excel adjuntat, es verifica que la quaderna mestra compleix el mòdul resistent mínim a la secció mestre (Part 3 Hull, Ch. 5 Hull girder strength, Section 2, 1.3.) que vindrà donat per la següent fórmula :

$$Z_{R-gr} = k \left(\frac{1+f_r}{2} \right) C_w L^2 B (C_b + 0.7) 10^{-6}$$

En aquesta fórmula hi ha un factor “fr” de reducció relacionat amb restriccions de servei com es defineix a [Pt.1 Ch.2 Sec.5]. Pel vaixell no es té cap restricció, així que es prendrà el pitjor dels casos que és fr=0,6, quedant un mòdul resistent mínim a la secció mestra de:

$$Z_{R-gr}(\min) = 1,597 \text{ m}^3$$

El mòdul resistent total de la quaderna mestra, tal com es pot veure a la pestanya “Descripción elementos seleccionados” d'Excel, és de Z = 9,874 m³, superior al mòdul resistent mínim que la normativa exigeix.

TOTALES	Área (m2)	A*z	IO
	1,145	4,896	17444490,137
Distancia eje neutro / eje inicial	427,742 cm		
Momento Inercia rpto. al eje neutro	4223467301,292 cm ⁴		
(teniendo en cuenta la sección completa)			
Módulo resistente trancanil	11,026 m ³		
Módulo resistente fondo	9,874 m ³		
MÓDULO RESISTENTE TOTAL	9,874 m³		

Finalment s'adjunta la taula amb totes les característiques finals dels elements seleccionats

Característiques finals dels elements								
(eix neutre inicial en la línia base)		(s'han seleccionat un mateix gruix per a elements de la mateixa zona, prenent el major valor.)						
Elemento ²	Características element	Àrea ² (m ²)	Altura z ² (m) ²	A*z (m ³)	Àngulo (rad)	A*z^2 ² (cm ⁴)	Io (cm ⁴)	Io
Casco								
Er H1	Planchas costado	0,691	0,020	0,014	8,551	0,118	1,571	54870,611
Er H2	Planchas costado	2,200	0,020	0,044	7,100	0,312	1,571	1774666,667
Er H3	Planchas costado	2,200	0,020	0,044	4,904	0,216	1,571	1774666,667
Er H4	Planchas costado	2,200	0,020	0,044	2,852	0,125	1,571	1774666,667
Er H5	Pantoque	2,200	0,019	0,042	1,600	0,067	-	10,235
Er H6	Planchas fondo	2,116	0,019	0,040	0,000	0,000	0,000	120,924
Er H7	Planchas fondo	2,200	0,019	0,042	0,000	0,000	0,000	125,748
Er H8	Planchas fondo	2,200	0,019	0,042	0,000	0,000	0,000	125,748
Quilla / Puntal								
K0i		1,523	0,021	0,032	1,172	0,037	0,000	117,561
K0s		1,503	0,021	0,032	9,102	0,287	0,000	115,986
Er K1	PSM	0,646	0,091	0,084	9,100	0,767	-	1852012,064
Er K2	Plancha de puntal	2,200	0,021	0,046	8,002	0,370	1,571	1863400,000
Er K3	Plancha de puntal	2,200	0,021	0,046	5,801	0,268	1,571	1863400,000
Er K4	Plancha de puntal	2,200	0,021	0,046	3,602	0,166	1,571	1863400,000
Er K5	Plancha de puntal	1,332	0,021	0,028	1,837	0,051	1,571	413106,055
Er K6	PSM	1,172	0,033	0,039	0,586	0,023	1,571	442139,761
Interior								
Er T1	Tolva	1,340	0,024	0,032	1,356	0,044	2,251	290372,011
Er l1	Plancha cubierta	2,200	0,013	0,029	9,085	0,260	0,000	40,278
Er l2	Plancha cubierta	2,200	0,013	0,029	9,085	0,260	0,000	40,278
Er l3	Plancha cubierta	2,200	0,013	0,029	9,000	0,257	3,000	23011,927
Er l4	Plancha costado	2,200	0,011	0,024	7,839	0,190	1,571	976066,667
Er l5	Plancha costado	2,200	0,011	0,024	5,639	0,136	1,571	976066,667
Er l6	Plancha costado	2,137	0,011	0,024	3,470	0,082	1,571	894591,991
Er l7	Plancha fondo	1,358	0,024	0,033	1,327	0,043	3,107	766,450
Er l8	Plancha fondo	2,200	0,024	0,053	1,275	0,067	3,107	2846,931
Er l9	Plancha fondo	2,200	0,024	0,053	1,174	0,062	3,107	2846,931
Refuerzos								
Er X1		0,749	0,041	0,031	8,913	0,274	0,052	822,665
Er X2		0,750	0,046	0,035	2,402	0,083	0,000	608,350
Er X3	PMS	1,353	0,005	0,007	0,678	0,005	1,571	103292,140
Er X4	PMS	1,245	0,005	0,006	0,629	0,004	1,571	80330,071
Er X5	PMS	1,440	0,004	0,006	0,781	0,004	0,925	63457,709
Rigidizadores								
W mòdulo resistente								
Er R1		0,140	0,010	0,002	9,206	0,015	39,500	315,000
Er R2		0,140	0,010	0,002	9,206	0,015	39,500	315,000
Er R3		0,140	0,010	0,002	9,206	0,015	39,500	315,000
Er R4		0,140	0,010	0,002	9,206	0,015	39,500	315,000
Er R5		0,140	0,010	0,002	9,206	0,015	39,500	315,000
Er R6		0,140	0,010	0,002	9,206	0,015	39,500	315,000
Er R7		0,140	0,010	0,002	9,160	0,015	39,500	315,000
Er R8		0,140	0,010	0,002	9,111	0,015	39,500	315,000
Er R9		0,140	0,010	0,002	9,064	0,015	39,500	315,000
Er R10		0,140	0,010	0,002	8,813	0,015	39,500	315,000
Er R11	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	8,440	0,014	39,500	1,17
Er R12	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	8,440	0,014	39,500	1,17
Er R13	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	7,640	0,013	39,500	1,17
Er R14	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	7,640	0,013	39,500	1,17
Er R15	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	6,840	0,011	39,500	1,17
Er R16	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	6,840	0,011	39,500	1,17
Er R17	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	6,040	0,010	39,500	1,17
Er R18	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	6,040	0,010	39,500	1,17
Er R19	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	5,240	0,009	39,500	1,17
Er R20	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	5,240	0,009	39,500	1,17
Er R21	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	4,440	0,007	39,500	1,17
Er R22	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	4,440	0,007	39,500	1,17
Er R23	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	3,640	0,006	39,500	1,17
Er R24	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	3,640	0,006	39,500	1,17
Er R25	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	2,847	0,005	39,500	1,17
Er R26	(horizontal)	0,140	0,010	0,002	2,847	0,005	39,500	1,17
Er R27		0,140	0,010	0,002	1,068	0,002	39,500	315,000
Er R28		0,140	0,010	0,002	0,104	0,000	39,500	315,000
Er R29		0,140	0,010	0,002	1,093	0,002	39,500	315,000
Er R30		0,140	0,010	0,002	0,104	0,000	39,500	315,000
Er R31		0,140	0,010	0,002	1,119	0,002	39,500	315,000
Er R32		0,140	0,010	0,002	0,104	0,000	39,500	315,000
Er R33		0,140	0,010	0,002	1,145	0,002	39,500	315,000
Er R34		0,140	0,010	0,002	0,104	0,000	39,500	315,000
Er R35		0,140	0,010	0,002	1,171	0,002	39,500	315,000
Er R36		0,140	0,010	0,002	0,104	0,000	39,500	315,000
Er R37		0,140	0,010	0,002	1,197	0,002	39,500	315,000
Er R38		0,140	0,010	0,002	0,104	0,000	39,500	315,000
Er R39		0,140	0,010	0,002	1,223	0,002	39,500	315,000
Er R40		0,140	0,010	0,002	0,104	0,000	39,500	315,000
Er R41	Quilla balance	0,140	0,008	0,002	0,362	0,001	39,500	317,182

C. Definir una condició de plena càrrega en Maxsurf Stability.

Calculem el Pes en Rosca (LWT) com la diferència entre el desplaçament i el Pes Mort a màxima càrrega (DWT). Després trobem els valors de cada grup del LWT segons els percentatges de la taula de l'enunciat.

Δ	7918,803	ton
DWT	5100,000	ton
LWT	2818,803	ton
LCB	51,771	m

Els valors longitudinals dels diferents centres de massa (XG) estan mesurats respecte la perpendicular de popa per facilitar la comparativa amb les dades obtingudes de Maxsurf i per seguir amb les mateixes referències que els treballs anteriors.

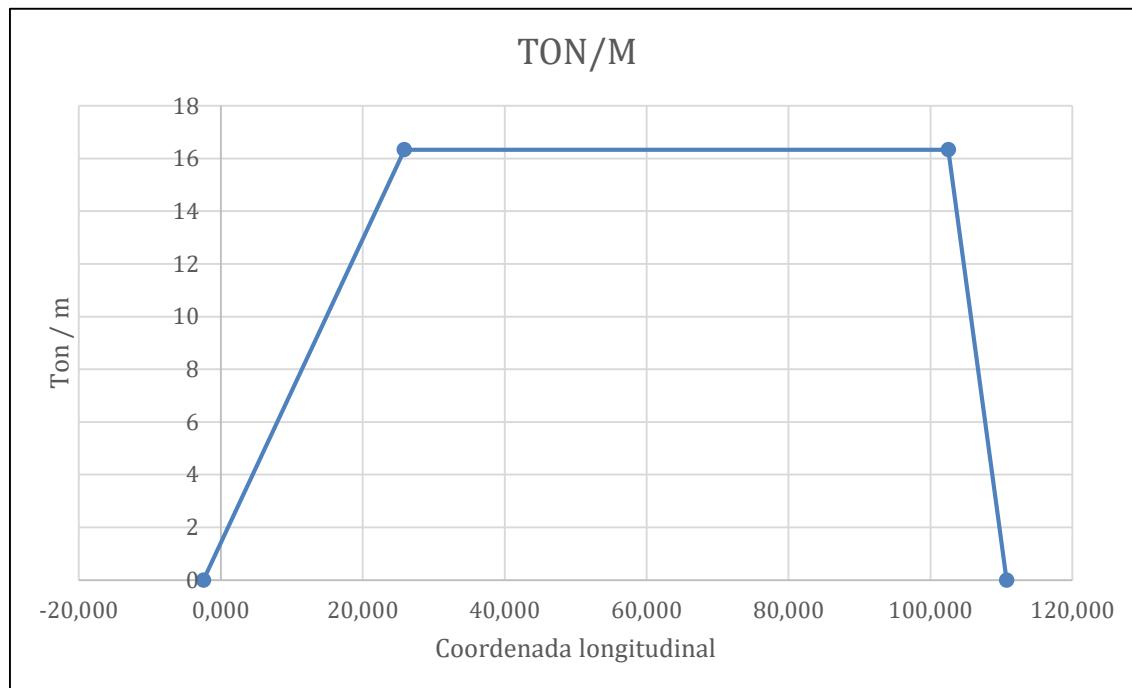
GRUPO	Peso (ton)	Peso	KG(m)	XG (m)
Estructura	55 % de LWT	1550,341 ton	4,013	52,294
Maquinaria	10 % de LWT	281,880 ton	6,000	15,031
Equipo	25 % de LWT	704,701 ton	8,900	27,500
Habilitacion	10 % de LWT	281,880 ton	13,900	15,031

Considerem que el XG de l'Estructura es troba al centre geomètric de l'àrea sota la corba de la distribució del pes al llarg de l'eslora. Sabem que la distància AB és més gran que CD cosa que comporta que XG estigui situat més a proa del punt mig de LPP. Per calcular-ho trobem primer els centres geomètrics del triangle de popa AB (a $\frac{2}{3}$ de la seva base), el rectangle intermid BC (al seu punt mig) i el triangle de proa CD (a $\frac{2}{3}$ de la seva base). Després calculem el global. Per trobar el KG de l'estructura fem servir la fórmula de Kupra.

Pel Grup de Maquinària considerem que el seu pes es distribueix uniformament i el XG es troba al punt mig de la sala de màquines. Després fem coincidir el del Grup d'Habilitació amb el de la Maquinària.

Trobem el de l'Equip amb la condició de perfectament “adrizado” iterant fins que la posició longitudinal del CG total coincideixi amb la del centre de carena (LCB), que la trobem amb la dada de XCC de MaxSurf.

Trobem el valor del Tallant màxim (16,334 Ton/m) de la gràfica com l'altura dels triangles i rectangle intermig que fa complir la condició que l'àrea total sota la corba sigui igual al pes total de l'estruatura.



Els detalls dels càlculs realitzats per obtenir els diferents XG i la distribució del pes al llarg de l'estruatura es poden trobar a l'annex adjunt “Annex III - Apartat C - Grup 8”.

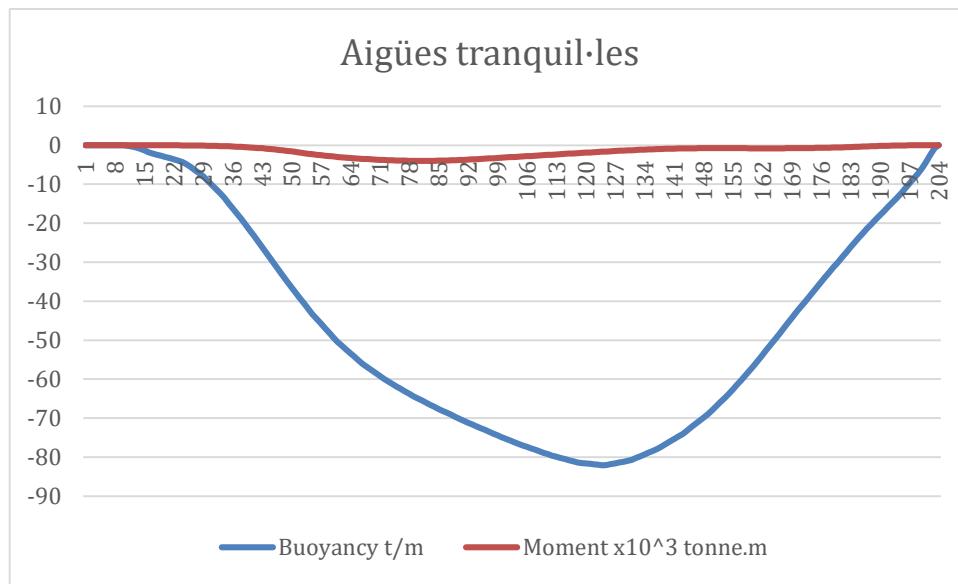
D. Utilitzant Maxsurf Stability, calcular el moment flector en aigües tranquil·les del vaixell, y el moment creat per una onada de amplitud igual a 2,5 m en condicions d'arrufament y crebant, per a la condició de plena càrrega en l'apartat anterior.

Per a la resolució d'aquest apartat hem utilitzat el software Maxsurf Stability amb el model de vaixell aconseguit als altres treballs. On amb la condició de plena càrrega trobada al apartat anterior hem de veure els moments flectors mitjançant l'eina de *Longitudinal Strenght* ja que tractem el vaixell com una peça única.

Aquests moments flector han de ser en aquestes tres situacions:

- Aigües tranquil·les.
- Onada d'amplitud de 2,5m en situació d'arrufament.
- Onada d'amplitud de 2,5m en situació de crebant.

Moment Flector a Aigües Tranquil·les:

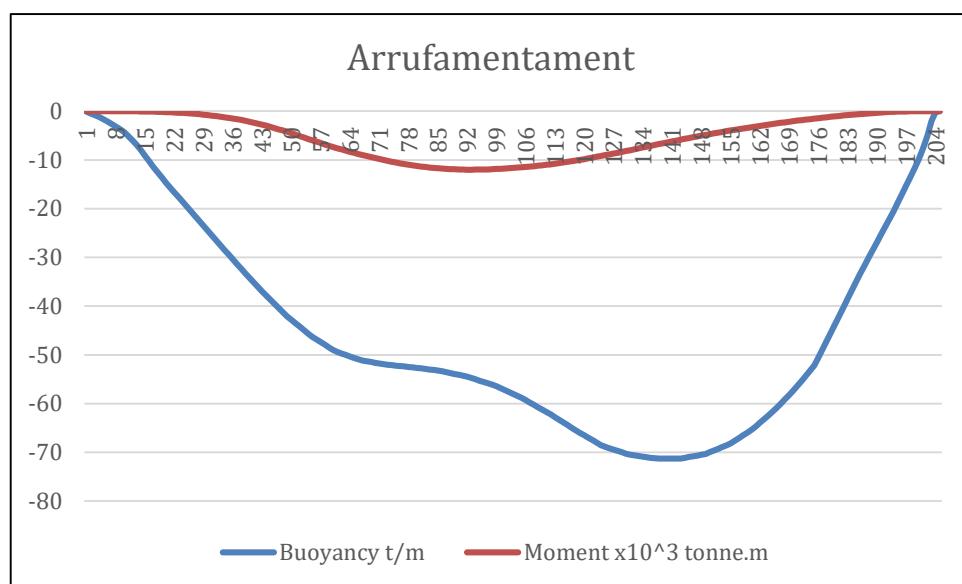


Al utilitzar l'eina obtenim dues resultats, el moment flector del vaixell al llarg d'aquest en diferents punts de l'eslora i l'empenta del vaixell també al llarg d'aquest.

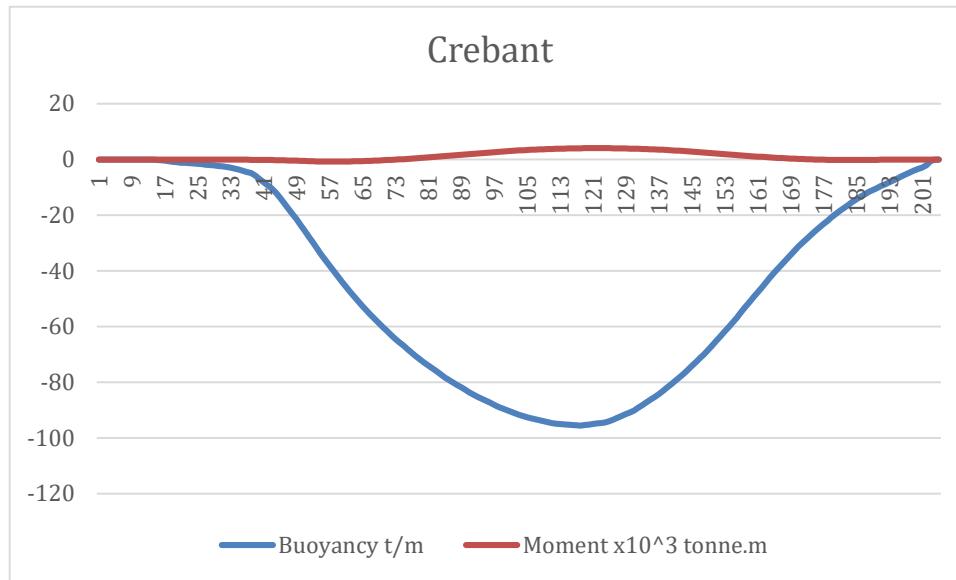
Obtenim una empenta màxima en aigües tranquil·les de **-82.086 t/m** i un lleuger primer moment màxim de $-4.004 \times 10^3 \text{ t}^*\text{m}$.

Fent servir una taula d'Excel amb les dades obtingudes podem veure com fins i tot a una situació d'aigües tranquil·les hi ha moment quasi al centre de l'embarcació i com l'empenta està ben repartida.

Moment Flector amb Onada d'Amplitud 2,5 m en situació d'arrufamentament:



A la situació d'arrufament la flotabilitat de l'embarcació augmenta considerablement fins a una empenta màxima de **-71.283 t/m** i un moment flector màxim de **-12.001x10^3 t*m**.

Moment Flector amb Onada d'Amplitud 2,5 m en situació de crebant:


A la tercera situació, la de crebant podem veure com el moment flector es positiu al centre de l'embarcació amb un valor màxim de **4.069x10³ t*m** i com la flotabilitat o empenta cau fins a un valor màxim de **-95.586 t/m**.

Les dades obtingudes tant de l'empenta com del la força a la que es sotmet l'embarcació era una llista extensa sent la força en els diferents punts del vaixell, aquesta es troba adjunta a: "Annex IV - Apartat D - Grup 8.xlsx"

E. Verificar el compliment del requisits de resistència longitudinal a la secció central del vaixell per a la condició de plena càrrega definida anteriorment, d'acord als requisits de la normativa de les SSCC.

La verificació de la resistència longitudinal del vaixell-biga es farà segons:

- El mòdul resistent mínim a la secció mestra: *Part 3 Hull, Ch. 5 Hull girder strength, Secció 2, 1.3.*
- El mòdul resistent a la secció mestra: *Part 3, Hull, Ch. 5 Hull girder strength, Secció 2, 1.4.*

Només es requerirà verificar la resistència longitudinal del vaixell-biga per al calat de projecte (càrrega plena) en condicions d'embat i escorament. Per a aquestes verificacions, primer s'ha d'estimar el moment flector produït en aigües tranquil·les i posteriorment s'ha d'estimar el moment flector produït per embat i escorament en condicions de càrrega plena, segons la normativa de les SSCC.

Per a aquesta verificació, en primer lloc, es comprova que el mòdul resistent a la secció mestra sigui superior al mòdul resistent mínim a la secció mestra que exigeix la normativa (*Part 3 Hull, Ch. 5 Hull girder strength, Secció 2, 1.3*). Aquest mòdul resistent mínim ve donat per la següent fórmula:

$$Z_{R-gr} = k \left(\frac{1+f_r}{2} \right) C_w L^2 B (C_b + 0.7) 10^{-6}$$

En aquesta fórmula hi ha un factor "fr" de reducció relacionat amb les restriccions de servei tal com es defineix a [Pt.1 Ch.2 Sec.5]. Per al vaixell, no hi ha cap restricció, així que s'agafarà el pitjor dels casos, que és fr=0,6, resultant en un mòdul resistent mínim a la secció mestra de:

$$Z_{R-gr(min)} = 1.589 \text{ m}^3$$

Amb els elements obtinguts al "Apartat B" de la cadena mestra, s'ha aconseguit un mòdul resistent total de la cadena mestra de:

$$Z_{CM} = 11,026 \text{ m}^3$$

Aquesta primera verificació s'ha completat amb èxit, ja que el mòdul resistent de la cadena mestra és superior al mínim requerit.

En segon lloc, es calcula el mòdul resistent en la secció mestra (*Part 3, Hull, Ch. 5 Hull girder strength, Section 2, 1.4*) que ve donat per la següent fórmula on, σ_{perm} 175 KN/m², ja que k=1.

$$Z_{gr} = \frac{|M_{sw} + M_{wv}|}{\sigma_{perm}} 10^{-3}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{175}{k} \quad \text{for } 0.3 \leq \frac{x}{L} \leq 0.7$$

Aquesta fórmula requereix calcular el moment en aigües tranquil·les (M_{sw}) i el moment en ones (M_{wv}). Per a calcular-les s'ha anat a la *Part 3. Hull Chapter 4. Loads Section 4 Hull girder loads 2.2.1*, on es defineixen els moments flectors de disseny.

Tal com diu la normativa, el moment flector en aigües tranquil·les es poden prendre com a valor preliminar.

2.2.1 Still water bending moment in seagoing condition:

$$M_{sw-h-min} = f_{sw} (171 C_w L^2 B (C_B + 0.7) 10^{-3} - M_{wv-h-mid})$$

$$M_{sw-s-min} = -0.85 f_{sw} (171 C_w L^2 B (C_B + 0.7) 10^{-3} + M_{wv-s-mid})$$

Com s'observa, per a poder calcular-ho és necessari calcular $M_{wv-h-mid}$ y $M_{wv-s-mid}$ que s'estimen mitjançant les següents fórmules:

3.1 Vertical wave bending moment:

Hogging condition:

$$M_{wv-h} = 0.19 f_{n\ell-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$$

Sagging condition:

$$M_{wv-s} = -0.19 f_{n\ell-vs} f_m f_p C_w L^2 B C_B$$

Realitzant els càlculs anteriors s'obtenen els següents resultats:

Hagging (crebant) condition

Msw-h-min	153690,355 kNm
Mwv-h	185959,86 kNm

Sagging (arrufament) condition

Msw-s-min	-102649,84 kNm
Mwv-s	-218885,69 kNm

Per verificar que el vaixell compleix els requisits de resistència longitudinal es compara els moments calculats amb MaxSurf Stability amb aquells obtinguts mitjançant DNV-GL.

El moment flector produït en aigües tranquil·les calculat amb MaxSurf és igual a:

$$M_{sw} = 28792.35 \text{ kNm}$$

S'observa que el valor real calculat por MaxSurf Stability es menor a l'estimada por DNV-GL mitjançant les fórmules ($M_{wv} - h - min$, $M_{wv} - s - min$).

Finalment, es calcula l'esforç màxim en la coberta superior i en el profund de la quaderna, i es comprova que no superi l'esforç màxim admissible por la Societat de Classificació (σ_{perm} 175 kN/m²). Si no se supera aquest valor, quedaria verificada la quaderna mestra, i en cas de superar-se, caldria posar més reforços fins que compleixi.

Mòdul resistent trencanil	7,684 m ³
Mòdul resistent fondo	9,996 m ³

Calculant els esforços màxims:

Esfuerzo trancanil=	27,95	kN/m ²	(hoging)
Esfuerzo fondo=	21,4838145	kN/m ²	(hogging)
Esfuerzo trancanil=	32,2329573	kN/m ²	(sagging)
Esfuerzo fondo=	24,7777155	kN/m ²	(sagging)

S'observa que no se supera l'esforç màxim admissible impost per la Societat de Classificació. És per aquesta raó, que es pot confirmar que el vaixell compleix amb les exigències de resistència longitudinal requerides i la quaderna mestra queda verificada.

Per a la verificació de la resistència longitudinal s'adjunta el "Annex V - Apartat E – Grup 8.xlsx"

Annexos

Annex 1: Dimensions de la Cuaderna Mestra

S'adjunta el pla de la cuaderna mestra ja dimensionada i adaptada a les formes del vaixell:

“Annex I – Apartat A – Grup 8.pdf”

Annex 2: Elements de la Cuaderna Mestra

Càlculs de l'Apartat B, per a la resolució de l'apartat B del treball s'adjunta un Excel amb tots els càlculs realitzats:

“Annex II – Apartat B – Grup 8.xlsx”

Annex 3: Posició del centre de gravetat de les diferents partides del pes en rosca (apartat C).

Càlculs de l'Apartat C, per a la resolució de l'apartat C del treball s'adjunta un Excel amb tots els càlculs realitzats:

“Annex III – Apartat C – Grup 8.xlsx”

Annex 4: Moment flector en aigües tranquil·les i moment creat per una ona de 2,5metres.

Càlculs de l'Apartat D, per a la resolució de l'apartat D del treball s'adjunta un Excel amb tots els càlculs realitzats:

“Annex IV – Apartat D – Grup 8.xlsx”

Annex 5: Verificació de la resistència longitudinal del vaixell.

Càlculs de l'Apertat E, per la verificació de la resistència longitudinal i la resolució de l'apartat E del treball s'adjunta un Excel amb tots els càlculs realitzats:

“Annex IV – Apartat D – Grup 8.xlsx”

Annex 6 i 7 : ARXIUS MAXSURF (MODELER I STABILITY)

“Annex VI - Maxsurf Modeler Tema 4 - Grup 8”

“Annex VII - Maxsurf Stability Tema 4 - Grup 8”