



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2020/2021

ATUNERO CONGELADOR DE 2000 m³

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA/O

Gastón Manuel Mercado Roasso

TUTORAS/ES

Raúl Villa Caro

FECHA

SEPTIEMBRE 2021

1 RPA

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.020-2021

PROYECTO NÚMERO 21-GENO-11

TIPO DE BUQUE: Atunero congelador de 2000 m³

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNV, Marpol, Torremolinos

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Atún que se procesará y se congelará en tanques.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 14 knots con autonomía para 37 días

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Plumas en babor y estribor para la carga y descarga de la pesca

PROPULSIÓN: Motor diésel

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 35 tripulantes

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: constará de una panga para la realización del arte del cerco.

Ferrol, 15 septiembre 2021

ALUMNO/A: **D^a Gastón Manuel Mercado Roasso**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2020/2021**

ATUNERO CONGELADOR DE 2000 m³

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 3

DISEÑO DE FORMAS

INDICE

1 RPA	2
2 Título y resumen	5
3 Introducción	6
4 Cálculo de coeficientes	7
5 Proceso de diseño de las formas	9
6 Contornos de proa y popa.....	10
6.1 Curva de áreas seccionales.....	15
7 Plano de formas definitivo del buque proyecto.....	16
7.1 Cartilla de trazado.....	16
7.2 Justificación de las formas del bulbo.....	18
7.3 Plano de formas.....	18
8 Comprobación de los resultados.....	19
Tabla 1 "Características del buque"	6
Tabla 2 "Coeficientes iniciales"	7
Tabla 3 "Resultados claras mínimas"	14
Tabla 4 "Cartilla de trazado".....	17
Tabla 5 "Comparación de coeficientes".....	19
Ilustración 1 "Tabla hidrostáticas"	7
Ilustración 2 "Coeficientes".....	8
Ilustración 3 "Valle y Cresta resistencia olas".....	8
Ilustración 4 "Diseño de las formas del buque"	9
Ilustración 5 "Comprobación bulbo"	10
Ilustración 6 "Bulbo gota de agua"	11
Ilustración 7 "Buque de referencia Aterpe Alai"	11
Ilustración 8 "Buque de referencia Pendruc"	12
Ilustración 9 "Buque de referencia Txori Zuri"	12
Ilustración 10 "Área transversal"	13
Ilustración 11 "Medidas de claras mínimas del codaste"	13
Ilustración 12 "Codaste".....	14
Ilustración 13 "Curvas de áreas seccionales".....	15
Ilustración 14 "Bulbo".....	18

2 TÍTULO Y RESUMEN

Título: Atunero congelador de 2000 m³

El proyecto consistirá en el diseño general de un atunero congelador de 2000 m³, con una velocidad de diseño de 14 nudos, de propulsión diésel y para navegar 37 días.

Los temas fundamentales a tratar serán: elección de la cifra de mérito y definición de alternativas, seleccionando la más favorable; el cálculo de pesos y centro de gravedad del buque; el diseño de las formas; los cálculos relacionados con la arquitectura naval; las situaciones de carga; predicción de potencia propulsora y diseño del propulsor y del timón; la disposición general; la cuaderna maestra; el francobordo y arqueo; definir la planta propulsora y sus equipos auxiliares; la planta eléctrica; los equipos y servicios auxiliares del buque; y finalmente, se calculará el presupuesto de la construcción del buque.

Título: atuneiro conxelador de 2000 m³

O proxecto consistirá no deseño xeral dun atuneiro conxelador de 2000 m³, cunha velocidade de 14 nudos, de propulsión diésel y para navegar 37 días.

Os temas fundamentais a tratar serán: elección da cifra de mérita e definición de alternativas, escollendo a máis favorable; o cálculo de peso e centro de gravidade do buque; o deseño das formas; os cálculos relacionados coa arquitectura naval; as situación de carga; predicción da potencia propulsora e deseño do propulsor e timón; a disposición xeral; a caderna maestra; o francobordo e arqueo; definir a planta propulsora e os seus equipos auxiliares; a planta eléctrica; os equipos e servizos auxiliares ao buque; e finalmente, calcularase o orzamento da construción do buque.

Title: 2000 m³ freezer tuna vessel

The project will consist of the general design of a 2000 m³ freezer tuna vessel, with a design speed of 14 knots, diesel propulsion and to sail 37 days.

The fundamental issues to be discussed will be: choice of the figure of merit and definition of alternatives, selecting the most favorable; weight calculation and center of gravity of the ship; forms design; calculations related to naval architecture; loading situations; thruster power prediction and thruster and rudder design; general arrangement; master frame; freeboard and tonnage; propulsion plant definition and its auxiliary equipment; power plant; ship's auxiliary equipment and services; and finally, the budget for the construction of the ship will be calculated.

3 INTRODUCCIÓN

El buque proyecto con número 21-11 consiste en un atunero congelador con una capacidad total de cubas de 2000 m³ con el objetivo de operar en la zona del mar del norte para la pesca del atún mediante redes de cerco. Las cubas irán dispuestas en la parte central del buque distribuidas 9 a babor y 9 a estribor y, mediante un sistema de refrigeración por tuberías, se congelará el atún en seco mediante salmuera. La habilitación será de 35 personas y la propulsión será tipo diésel, con una velocidad de diseño de 14 nudos, para dar una autonomía de 37 días. Dispondrá de embarcaciones auxiliares para la ayuda en la operación de pesca, como son la panga y tres botes rápidos.

Las características principales del buque son:

Lo.a(m)	85,75
Lpp(m)	71
B(m)	14,9
T(m)	7
Dcp(m)	7,16
Fn	0,273
CB	0,63
CM	0,989
CP	0,638
$\Delta(t)$	5032
v(kn)	14

Tabla 1 "Características del buque"

En este cuaderno se obtendrán las formas del buque, presentadas tanto en la cartilla de trazado como en el plano, y la tabla de hidrostáticas resultante. Además, se diseñarán los contornos de popa, cumpliendo con los requisitos mínimos en cuanto a las medidas de las claras siguiendo el reglamento DNV, y los contornos de proa, obteniendo las características del bulbo.

4 CÁLCULO DE COEFICIENTES

El valor de los coeficientes será aquel calculado en el Cuaderno 1 y, una vez hechas las formas, se verá si se ha modificado dicho valor, intentando siempre que se mantenga, pero debido a ajustes que se puedan ir haciendo a la hora de la realización de las formas, este valor podrá variar.

Por lo que, los valores obtenidos en el Cuaderno 1 son:

CB	0,63
CM	0,989
CP	0,638

Tabla 2 "Coeficientes iniciales"

Una vez realizadas las formas, la tabla de hidrostáticas queda:

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	5032	t
2	Volume (displaced)	4909,454	m ³
3	Draft Amidships	7,000	m
4	Immersed depth	7,000	m
5	WL Length	74,595	m
6	Beam max extents on	14,881	m
7	Wetted Area	1692,223	m ²
8	Max sect. area	101,213	m ²
9	Waterpl. Area	891,967	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,650	
11	Block coeff. (Cb)	0,632	
12	Max Sect. area coeff.	0,976	
13	Waterpl. area coeff. (C)	0,804	
14	LCB length	36,726	from ze
15	LCF length	31,101	from ze
16	LCB %	49,234	from ze
17	LCF %	41,693	from ze
18	KB	3,899	m
19	KG fluid	0,000	m
20	BMt	2,611	m
21	BML	64,467	m
22	GMt corrected	6,510	m
23	GML	68,365	m
24	KMt	6,510	m
25	KML	68,365	m
26	Immersion (TPc)	9,143	tonne/c
27	MTc	48,445	tonne.m
28	RM at 1deg = GMt.Dis	571,704	tonne.m

Density (water)

Ilustración 1 "Tabla hidrostáticas"

Cuaderno 3. Diseño de formas
Gastón Manuel Mercado Roasso

Como se puede observar, el coeficiente de bloque es el único valor que se mantiene con el valor de 0.63. Por otro lado, el resto de los coeficientes se han visto modificado por ajustes en las formas.

10	Prismatic coeff. (Cp)	0,650
11	Block coeff. (Cb)	0,632
12	Max Sect. area coeff.	0,976
13	Waterpl. area coeff. (Cw)	0,804

Ilustración 2 "Coeficientes"

Observando el siguiente gráfico, se obtiene que las formas del buque están bien definidas, encontrándose en el valle de resistencia de olas y en la zona recomendada.

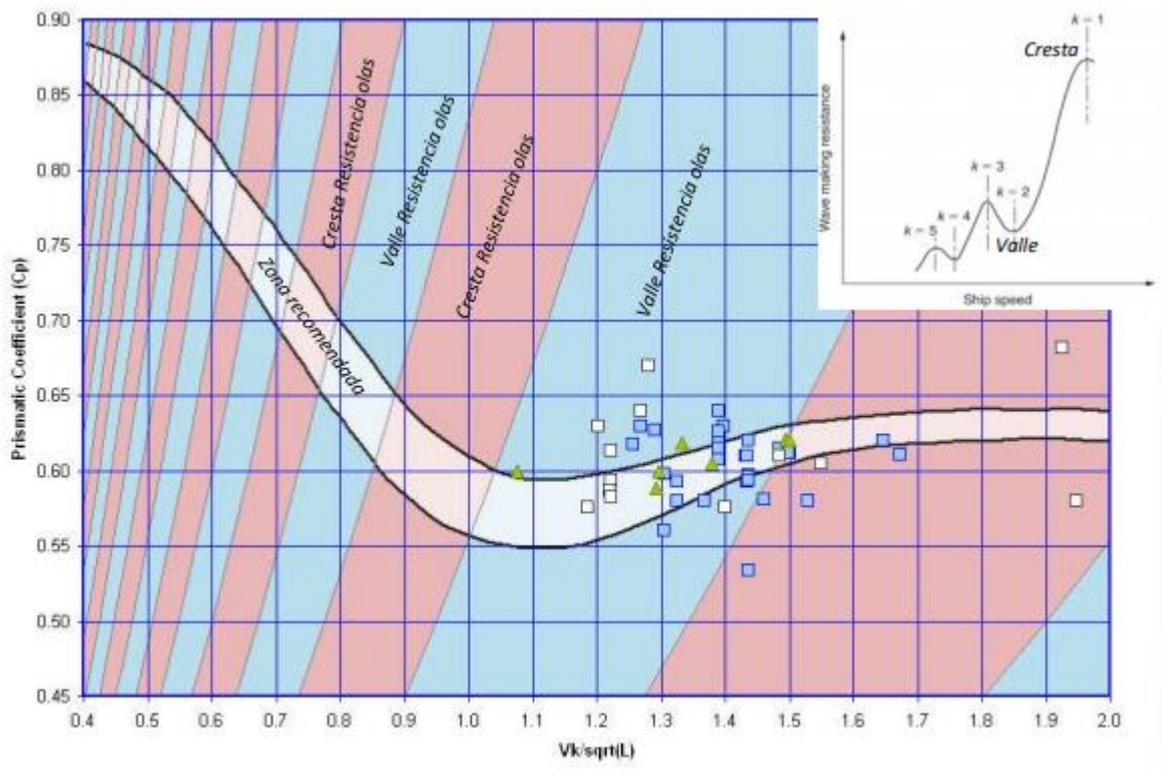


Ilustración 3 "Valle y Cresta resistencia olas"

Siendo:

$$C_p = 0.65 \quad \text{y} \quad \frac{v}{\sqrt{L_{wl}}} = \frac{7.2}{\sqrt{74.54}} = 0.83$$

5 PROCESO DE DISEÑO DE LAS FORMAS

Para el diseño de las formas se ha utilizado el programa Maxsurf, del cual se ha obtenido la tabla de hidrostáticas y plano de formas del buque proyecto. Para ello, se han escogido las formas de un buque arrastrero modelo de referencia de la base de datos del programa, y a través de la transformación paramétrica, se ha conseguido las formas deseadas para el atunero, con la eslora, manga y puntal obtenidas en el cuaderno 1. Una vez esto, se ha alisado la superficie del casco dándole más forma semejante a los buques de referencia.

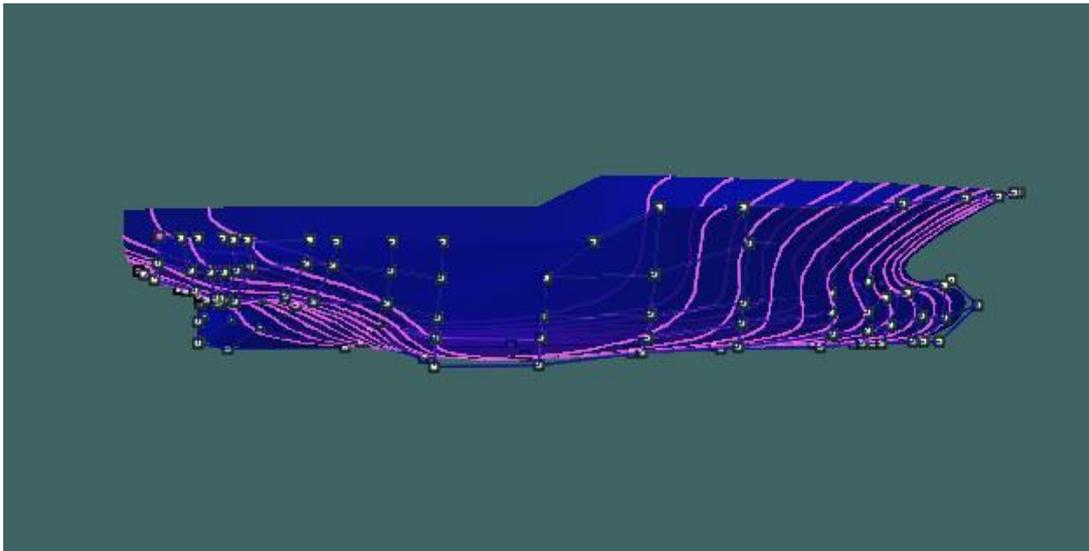


Ilustración 4 "Diseño de las formas del buque"

6 CONTORNOS DE PROA Y POPA

En el **contorno de proa** se verá si al buque habrá que incorporarle un bulbo dependiendo de las características y necesidades del atunero. Normalmente, los buques atuneros llevan incorporado un bulbo para reducir la resistencia al avance y también para disminuir los cabeceos debido a la mala mar, ya que muchas veces se encuentran en estas situaciones. A pesar de esto, se comprobará si se debe colocar bulbo o no a través de la siguiente gráfica:

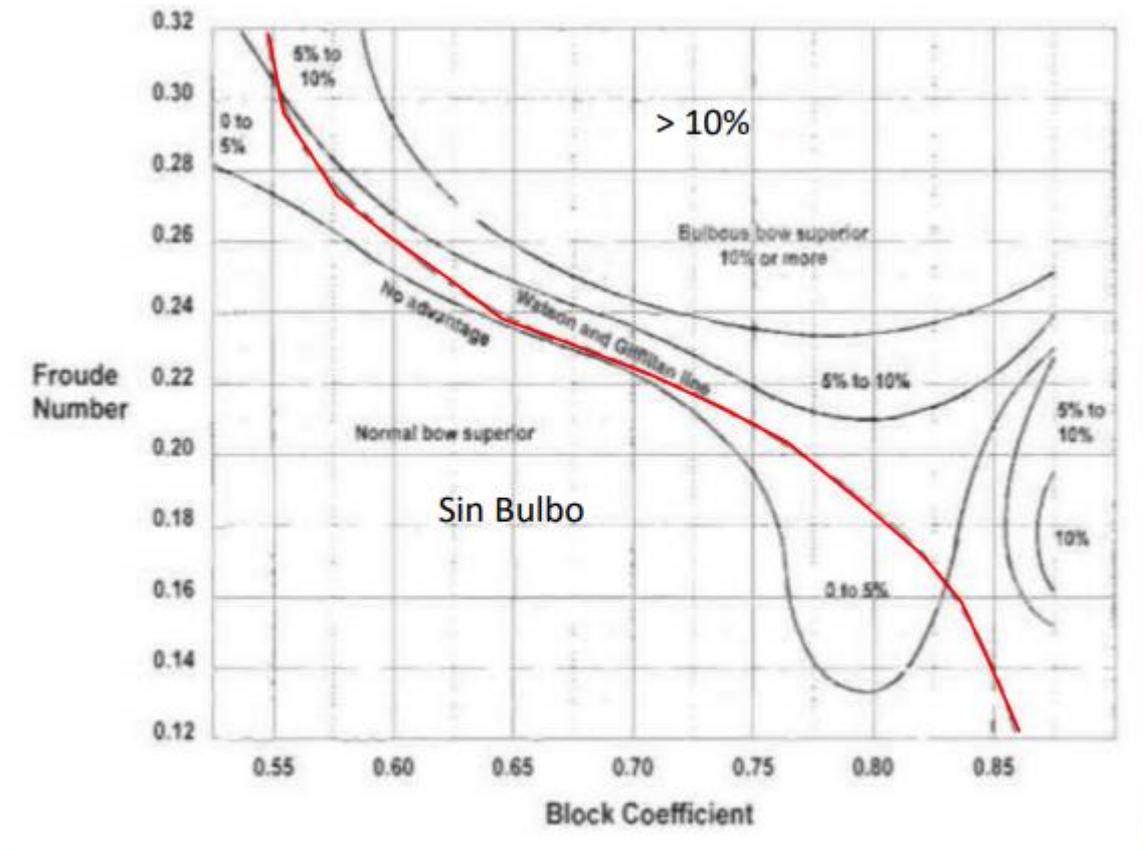


Ilustración 5 "Comprobación bulbo"

Siendo:

$$C_b = 0.63 \text{ y } Fn = 0.273$$

Por lo que, observamos que el buque proyecto va a necesitar un bulbo.

Una vez comprobado esto, se tendrá que elegir qué tipo bulbo se utilizará dependiendo de las formas del buque. En este caso, para el atunero proyecto se ha incorporada un bulbo con forma de gota de agua ya que este tipo de bulbo evitará la formación de olas rompientes.

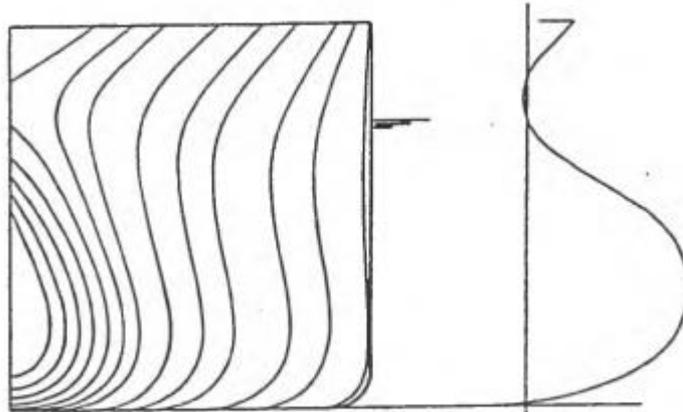


Fig. 8-b: Bulbo en Gota de Agua

Ilustración 6 "Bulbo gota de agua"

Ahora se calculará los parámetros que definen al bulbo:

- **Altura:** para la altura del bulbo se estima entre un 35-55% del calado. Se tomará el 50 %, por lo que:

$$h_{bulbo} = 0.5 * 7 = 3.5 \text{ m}$$

- **Protuberancia:** es, sin duda, un parámetro menos crítico que la altura, entendiendo con ello que admite variaciones de mayor entidad sin grave deterioro de la calidad de las formas. Además, aún en el caso de que se buscase la protuberancia óptima por encima de todo, esta solo lo sería para un calado y velocidad determinados.

Con esto, si se utiliza una de las fórmulas empíricas para la obtención de la protuberancia no coinciden con el valor obtenido a partir de las formas, dado que la teoría muchas veces no define lo que pasará en la realidad, y se ha ido adaptando el bulbo de manera que las formas y las dimensiones no varíen, además de diseñar el bulbo observando buques de referencia que tienen la misma forma, como, por ejemplo:

- Aterpe Alai:



Ilustración 7 "Buque de referencia Aterpe Alai"

- Pendruc:



Ilustración 8 "Buque de referencia Pendruc"

- Txori Zuri:



Ilustración 9 "Buque de referencia Txori Zuri"

- **Área transversal:** a partir del siguiente gráfico, se obtendrá un porcentaje del área transversal del bulbo respecto a la superficie mojada, siendo en atunero entre el 5-7%.

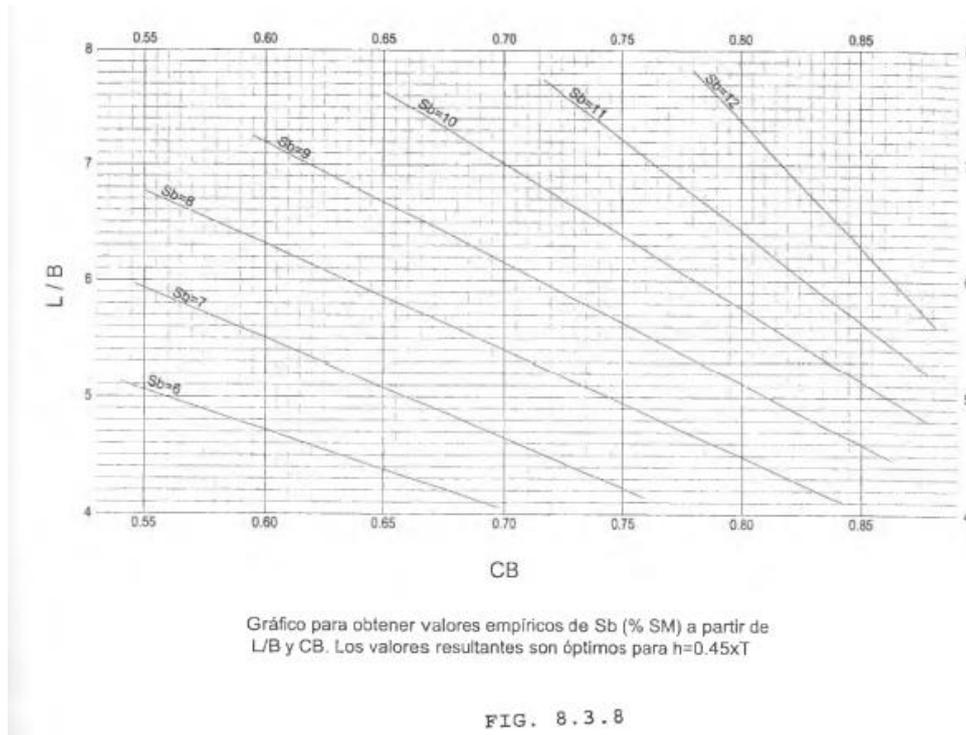


Ilustración 10 "Área transversal"

Siendo L/B igual a 4.77 y C_b con un valor de 0.63, entrando en la gráfica obtenemos un área transversal de:

$$S_b = 6.2\%$$

Para el **contorno de popa**, se tendrá que calcular las claras de la hélice para que no choque con el casco del buque. Para ello se utilizará el DNV dado que establece para buques de una línea de ejes las expresiones para el cálculo de las claras:

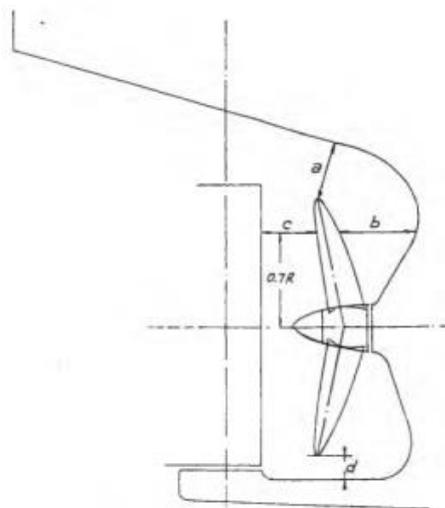


FIG. 8.4.1

Ilustración 11 "Medidas de claras mínimas del codaste"

$$\text{Clara } a = (0.24 - 0.01 * Z) * D$$

$$\text{Clara } b = (0.35 - 0.02 * Z) * D$$

$$\text{Clara } c = 0.1 * D$$

$$\text{Clara } d = 0.035 * D$$

Siendo D el diámetro del propulsor y Z el número de palas. Como todavía no se ha definido el propulsor, se tomarán estos datos del buque de referencia "Playa de Azkorri":

$$D = 4600\text{mm} ; Z = 4 \text{ palas}$$

Contorno POPA	
DNV	
Clara a	0,92 m
Clara b	1,242 m
Clara c	0,46 m
Clara d	0,161 m

Tabla 3 "Resultados claras mínimas"

Por lo que, el diseño del codaste queda representado en la *Ilustración 9 "Codaste"*

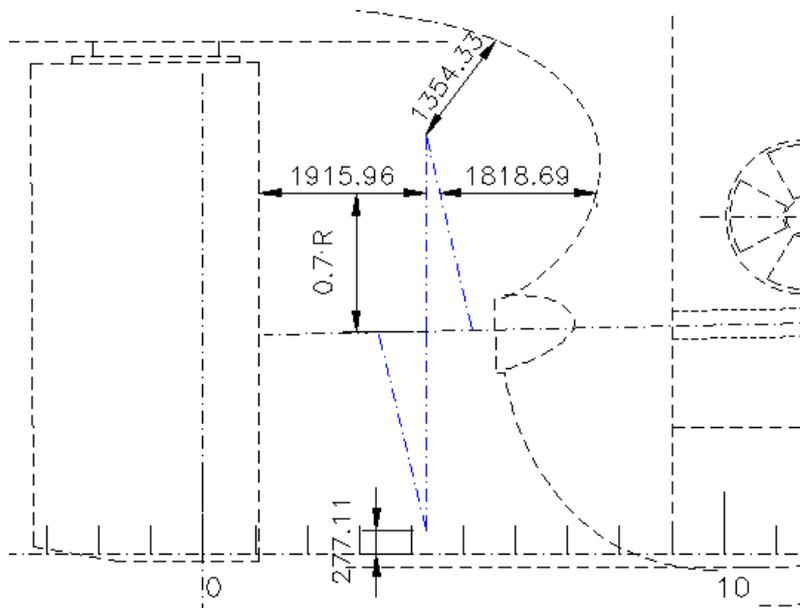


Ilustración 12 "Codaste"

6.1 Curva de áreas seccionales

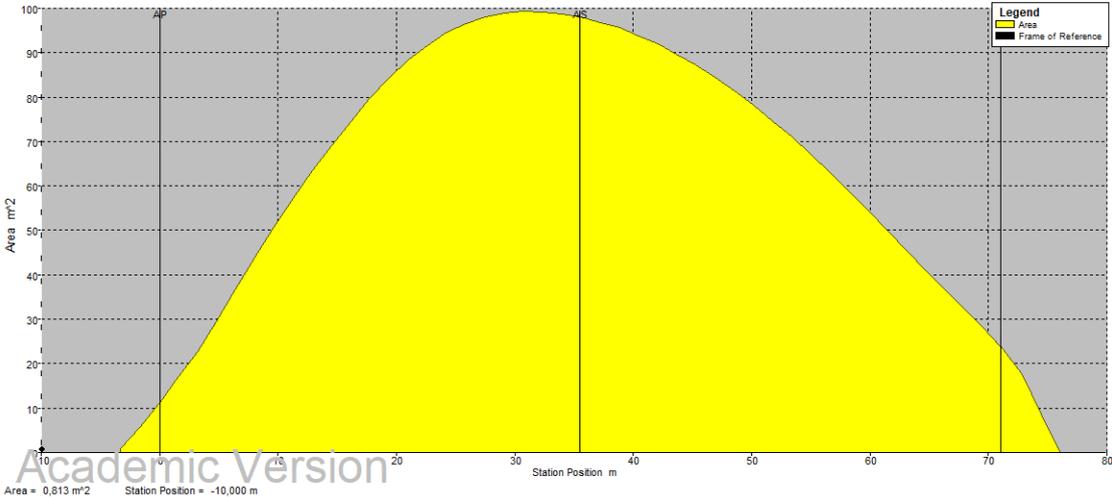


Ilustración 13 "Curvas de áreas seccionales"

7 PLANO DE FORMAS DEFINITIVO DEL BUQUE PROYECTO

7.1 Cartilla de trazado

CARTILLA DE TRAZADO															
	ST	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
WL		-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,44	0,936	2,064	5,703	6,545
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,239	0,996	1,968	4,605	6,619	7,007
3	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0,244	0,5	1,538	3,024	5,711	6,883	7,132
4	2	0	0	0	0	0	0	0,075	0,405	0,72	2,056	3,978	6,157	6,996	7,192
5	2,5	0	0	0	0	0	0	0,145	0,522	0,897	2,543	4,651	6,441	7,094	7,247
6	3	0	0	0	0	0	0	0,182	0,599	1,031	3,004	5,236	6,683	7,181	7,294
7	3,5	0	0	0	0	0	0	0,193	0,642	1,129	3,502	5,79	6,89	7,254	7,334
8	4	0	0	0	0	0	0	0,186	0,683	1,266	4,142	6,266	7,057	7,31	7,364
9	4,5	0	0	0	0	0	0	0,573	1,216	1,865	4,998	6,653	7,181	7,35	7,386
10	5	0	0	0	0	0	2,005	2,919	3,212	3,568	5,751	6,945	7,267	7,379	7,402
11	5,5	0	0	0	0	2,72	3,759	4,266	4,511	4,781	6,343	7,132	7,327	7,399	7,414
12	6	0	0	1,401	3,575	4,392	4,801	5,053	5,231	5,442	6,665	7,25	7,367	7,414	7,423
13	6,5	0	4,255	4,3	4,84	5,169	5,394	5,555	5,691	5,857	6,857	7,323	7,393	7,424	7,43
14	7	4,013	4,732	5,124	5,397	5,604	5,766	5,895	6,01	6,146	6,977	7,362	7,408	7,431	7,435
15	7,5	4,991	5,289	5,515	5,7	5,859	5,998	6,121	6,234	6,354	7,052	7,38	7,419	7,437	7,438
16	8	5,365	5,555	5,722	5,875	6,017	6,15	6,275	6,39	6,504	7,107	7,392	7,427	7,44	7,441
18	9	5,659	5,799	5,937	6,072	6,206	6,337	6,465	6,582	6,692	7,18	7,403	7,435	7,445	7,444

Cuaderno 3. Diseño de formas
Gastón Manuel Mercado Roasso

20	10	5,769	5,903	6,038	6,171	6,304	6,435	6,561	6,676	6,78	7,207	7,4	7,437	7,446	7,445
22	11	5,801	5,943	6,082	6,217	6,348	6,476	6,596	6,704	6,802	7,197	7,387	7,433	7,444	7,444

CARTILLA DE TRAZADO															
	ST	35	40	45	50	55	60	65	70	71	72	73	74	75	76
WL		35	40	45	50	55	60	65	70	71	72	73	74	75	76
1	0,5	6,367	5,708	4,724	3,721	2,895	2,201	1,577	0,964	0,814	0,56		0	0	0
2	1	6,877	6,459	5,81	4,979	4,065	3,177	2,39	1,692	1,507	1,297	1,042	0	0	0
3	1,5	7,024	6,712	6,228	5,562	4,725	3,787	2,87	2,105	1,906	1,675	1,43	1,141	0	0
4	2	7,096	6,816	6,382	5,811	5,066	4,154	3,199	2,368	2,163	1,932	1,692	1,438	1,043	0
5	2,5	7,161	6,906	6,487	5,905	5,186	4,327	3,394	2,58	2,378	2,15	1,909	1,657	1,321	0
6	3	7,216	6,983	6,575	5,982	5,233	4,362	3,465	2,728	2,541	2,325	2,089	1,832	1,489	0
7	3,5	7,262	7,045	6,647	6,044	5,264	4,364	3,453	2,807	2,647	2,454	2,231	1,968	1,585	0,488
8	4	7,297	7,093	6,703	6,091	5,281	4,343	3,388	2,773	2,646	2,487	2,285	2,022	1,573	0
9	4,5	7,322	7,128	6,743	6,123	5,283	4,301	3,274	2,605	2,488	2,343	2,157	1,897	1,322	0
10	5	7,342	7,155	6,773	6,145	5,279	4,243	3,114	2,297	2,168	2,02	1,846	1,561	0,343	0
11	5,5	7,357	7,177	6,798	6,163	5,274	4,194	2,957	1,813	1,653	1,502	1,338	0,658	0	0
12	6	7,369	7,194	6,817	6,176	5,269	4,151	2,836	1,29	1,014	0,755	0	0	0	0
13	6,5	7,378	7,208	6,833	6,187	5,263	4,113	2,74	0,895	0,5	0	0	0	0	0
14	7	7,386	7,221	6,847	6,196	5,257	4,079	2,662	0,643	0	0	0	0	0	0
15	7,5	7,393	7,233	6,862	6,204	5,25	4,047	2,599	0,519	0,163	0	0	0	0	0
16	8	7,399	7,245	6,88	6,221	5,248	4,018	2,547	0,483	0,178	0	0	0	0	0
18	9	7,409	7,269	6,92	6,277	5,308	4,036	2,48	0,543	0,295	0,11	0	0	0	0
20	10	7,416	7,292	6,964	6,353	5,438	4,224	2,642	0,737	0,493	0,297	0,141	0	0	0
22	11	7,421	7,312	7,009	6,442	5,607	4,514	3,092	1,111	0,823	0,585	0,388	0,225	0,094	0

Tabla 4 "Cartilla de trazado"

7.2 Justificación de las formas del bulbo

Como se observa en el plano de formas, en la vista de planta en la zona de proa, el bulbo tiene forma de pico, sin embargo, esto se debe a un error del programa Maxsurf, el cual no define correctamente la forma redondeada del bulbo, ya que en las vistas transversal y de perfil se pueden ver perfectamente. También, se puede apreciar en la *Ilustración 10 "Bulbo"* como se le ha dado más forma curva a esta parte del buque, con el fin de mejorar su funcionalidad.

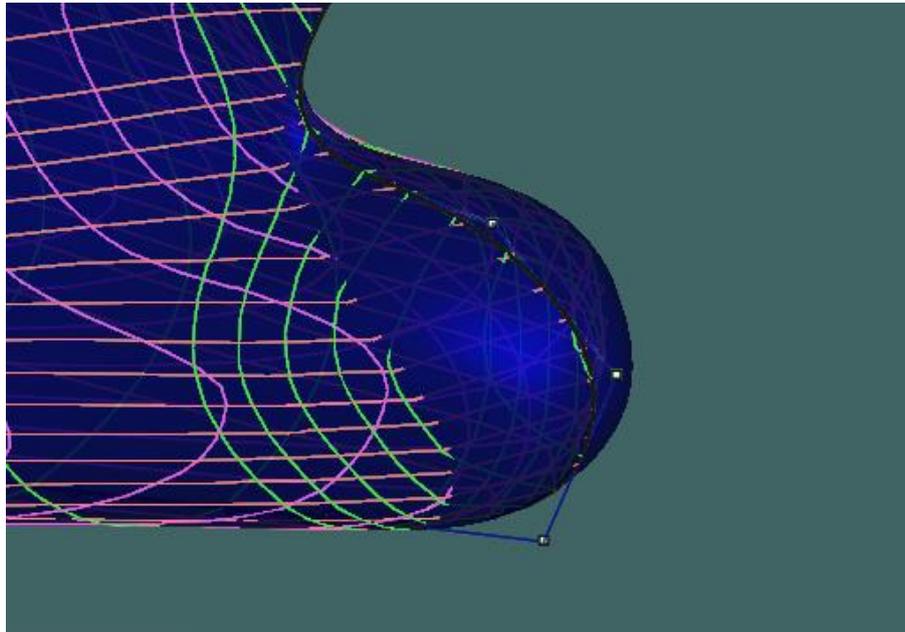
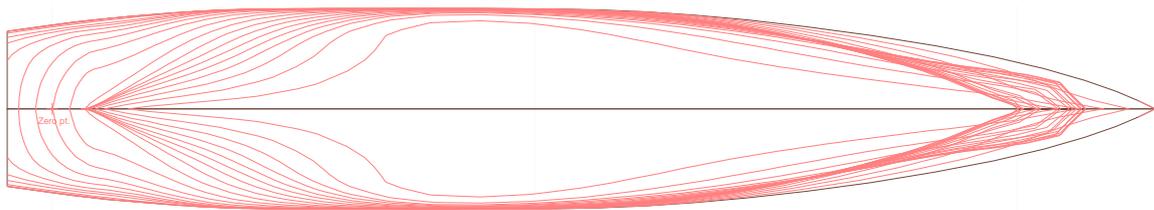
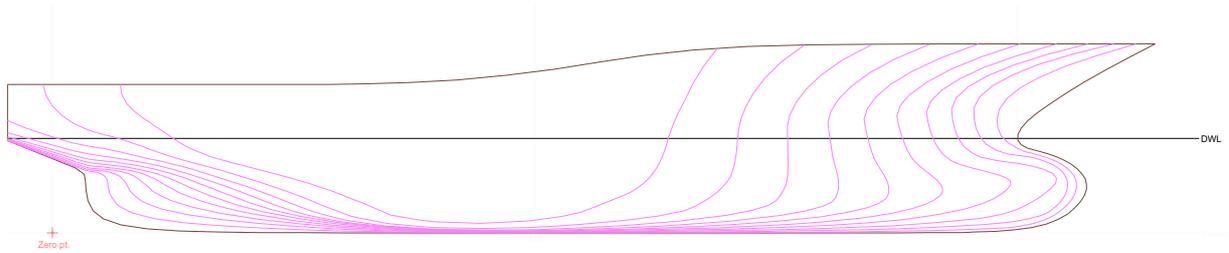
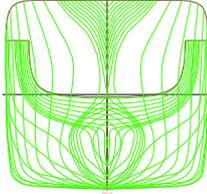


Ilustración 14 "Bulbo"

7.3 Plano de formas



	ATUNERO CONGELADOR 2000 m3	
	PLANO DE FORMAS	
	GASTÓN MERCADO ROASSO	

8 COMPROBACIÓN DE LOS RESULTADOS

Como se ha visto en el apartado del cálculo de los coeficientes, han variado respecto a los realizados en el cuaderno 1, debido a que se han ido modificando las formas. Además, en el cuaderno 1 se ha estimado un desplazamiento de 4782 t, y ahora este valor ha aumentado a 5032 t, esto es porque en la primera estimación solo se ha tenido en cuenta las formas entre las perpendiculares de popa y proa. Sin embargo, el programa Maxsurf tiene en cuenta todo el buque de extremo de popa al extremo de proa, por lo que, se ha sumado esa diferencia.

Se pueden observar los datos en la *Ilustración 1 "Tabla de Hidrostáticas"*.

	INICIALES	FINALES
$\Delta(t)$	4782	5032
CB	0,630	0,632
CM	0,989	0,976
CP	0,638	0,650

Tabla 5 "Comparación de coeficientes"