



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

CURSO 2016/17

REMOLCADOR DE PUERTO DE 60 TPF

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 3

CÁLCULO DE LAS FORMAS DEL BUQUE

Alumno: Mario Martínez Caamaño

Tutor: Marcos Míguez González

PROYECTO NÚMERO 17-08

TIPO DE BUQUE: Remolcador de puerto de 60 TPF

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: Bureau Veritas, SOLAS, MARPOL, FIFI 1 OIL REC

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Gancho de remolque

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 12 nudos en condiciones de servicio. 85%MCR+15% de margen de mar. Autonomía: 3000 millas a la velocidad de servicio

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los habituales en este tipo de buques

PROPULSIÓN: propulsor azimutal. DIESEL ELECTRICO

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 4 personas + 10 SURVIVORS

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Contraincendios, lucha contra la contaminación en el mar

Ferrol, 10 Setiembre 2016

ALUMNO/A: **Dº Mario Martínez Caamaño**

Contenido

1	PRESENTACIÓN.....	4
2	COEFICIENTE DE BLOQUE Y DE LA MAESTRA	4
3	FORMAS.....	6
3.1	CONTORNO DE PROA. BULBO DE PROA.....	6
3.2	CONTORNO DE POPA. BULBO DE POPA.....	7
3.3	DISEÑO DE LAS FORMAS	9
4	HIDROSTÁTICAS.....	15
5	CURVA DE ÁREAS.....	16
6	PLANO DE FORMAS	17

1 PRESENTACIÓN

En este cuaderno vamos a determinar las formas de nuestro buque. Diseñaremos las formas de proa y de popa, haremos un estudio de la conveniencia o no del bulbo de proa y popa, y una vez obtenidos los resultados de las hidrostáticas a través del programa maxsurf, compararemos estos con los valores obtenidos hasta ahora en cuadernos anteriores

Dimensiones:

Loa	30,20 m
Lpp	26,80 m
B	11,00 m
D	5,45 m
T	4,45 m
Cb	0,53
Cm	0,86
Cp	0,61
Cf	0,62
Δ	712,68 t

2 COEFICIENTE DE BLOQUE Y DE LA MAESTRA

Según el desplazamiento y las dimensiones calculadas tendremos:

$$C_b = \frac{\Delta}{1,025 \times L \times B \times T}$$

$$C_b = 0,53$$

Si utilizamos la fórmula de Munro- Smith:

$$C_b = 1 - 0,23 \times \frac{v}{\sqrt{L}}$$

$$C_b = 0,73$$

Según Van Lammeren:

$$C_b = 1,137 - 0,6 \times \frac{v}{\sqrt{L}}$$

$$C_b = 0,43$$

Por la fórmula de Alexander:

$$C_b = K_1 - K_2 \times Fr$$

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times L}}$$

En nuestro caso:

$$Fr = 0,37$$

Para buques de dos hélices:

$$K_1 = 1,09$$

$$K_2 = 1,68$$

Con lo cual obtenemos:

$$C_b = 0,46$$

Ante la diferencia entre los resultados por no ser las fórmulas empleadas específicas para la particular configuración de los remolcadores y observando coeficientes de bloque de buques similares, optamos por considerar el resultado ya obtenido con anterioridad de $C_b = 0,53$.

Para el cálculo del coeficiente de la maestra

Con $Fr < 0,5$

$$C_m = 1 - 2 \times Fr^4$$

$$C_m = 0,96$$

La fórmula para el cálculo de este coeficiente según Van Lammeren:

$$C_m = C_b + 0,1$$

$$C_m = 0,63$$

Al ser el primer resultado demasiado alto y el segundo muy bajo para nuestro tipo de buque, convenimos en considerar como válido:

$$C_m = 0,86$$

Sabiendo que:

$$C_b = C_p \times C_m$$

Obtenemos nuestro coeficiente prismático:

$$C_p = 0,61$$

3 FORMAS

3.1 CONTORNO DE PROA. BULBO DE PROA

Las formas estarán entre U y V afinándose a medida que nos acercamos a proa. La velocidad de servicio no es elevada por lo que se prevee que no contaremos con problemas de resistencia al avance que pudiesen ocasionar las formas en U.

La cubierta cuenta con arrufo que aumenta la altura de la proa lo que también nos permite reducir los embarques de agua.

Dispondremos de amurada reforzada por los continuos contactos con otros barcos dada la función de nuestro buque. Dicha amurada también facilitará el trabajo de la tripulación al disminuir los embarques de agua.

El desfase entre los sistemas de olas generados por la proa y la popa de un buque hace que la resistencia al avance disminuya apreciablemente. Por medio de la creación artificial de otro sistema de olas que interactúe con el propio buque, lo cual podemos conseguir con la incorporación de un bulbo de proa, podremos alcanzar esa reducción de la resistencia.

La acción del bulbo es distinta según el tipo de buque:

En buques rápidos ($Fr > 0,25$), actúa atenuando el sistema de olas de proa, reduciendo, por tanto, la resistencia por formación de olas.

En buques lentos ($Fr < 0,25$), y en lastre, disminuye la resistencia por olas rompientes, la cual supone un 20% de la total. En situación de plena carga, el ahorro es menor ya que la incidencia de las olas rompientes en la resistencia total también es mucho más baja.

El bulbo de proa supone, al menos en muchos casos, una sustancial mejora en cuanto a la disminución de la velocidad en olas se refiere y en general, un mejor comportamiento del buque con tiempos duros.

Veremos ahora los márgenes en que más se viene utilizando el bulbo y comprobaremos si es de aplicación a nuestro buque.

Margen de aplicación:

$$0,65 < C_b < 0,815$$

$$5,5 < L_{pp}/B < 7,0$$

Más del 95% de los buques actuales dispone de bulbo si están dentro de estos valores.

En lo que respecta a la velocidad, quizá el modelo más ajustado sea el de Wilgley que define el siguiente margen:

$$0,24 < Fr < 0,57$$

Al ser esta gama de valores del número de Froud demasiado amplia, son otros los factores que afectarán la decisión de la adopción del bulbo.

Para las relaciones actualmente utilizadas entre Fr y el coeficiente de afinamiento global del buque, que puede medirse por $C_b \cdot B / L_{pp}$, el bulbo no suele ser recomendable si:

$$\frac{\Delta}{T \times L_{pp}^2} = C_b \times \frac{B}{L_{pp}} > 0,135$$

Si aplicamos todo lo anterior a nuestro buque:

$$C_b = 0,53$$

$$L_{pp}/B = 2,54$$

$$\frac{\Delta}{T \times L_{pp}^2} = 0,21$$

Al no cumplir ninguno de los márgenes, no parece aconsejable la adopción de bulbo de proa.

3.2 CONTORNO DE POPA. BULBO DE POPA

La elección adecuada de las formas en la zona de popa es fundamental con el fin de conseguir que el flujo de entrada del flujo de la hélice sea favorable. Con esto conseguiremos evitar condiciones inestables de flujo como separación de la capa límite, vorticidad, etc, como en lo que se refiere a instalación de hélices con mayor rendimiento.

Las claras hélice-carena serán amplias para evitar problemas de cavitación.

A la hora de diseñar el codaste deberemos tener en cuenta lo siguiente:

- El contorno de la popa deberá proporcionar suficiente columna de agua a la hélice
- El codaste deberá permitir la instalación de una hélice eficiente con unas claras hélice-carena necesarias para disminuir riesgos de excitaciones transmitidas por la hélice al casco y/o al eje de cola
- El perfil de la bovedilla deberá tener una ligera inclinación hacia popa para amortiguar movimientos de cabezada y disminuir coeficiente de succión
- Debido a temas de rendimiento escogeremos codaste abierto

Dado el tipo de propulsor que utilizaremos (azimutal: shottel), no contemplamos el empleo de bulbo de popa.

Utilizaremos las reglas que contemplan la sociedad de clasificación, (Bureau Veritas) para la definición de las claras:

Clara "a":

$$a = A \times f \times D$$

Siendo :

$$f = (Cb \times BHP)^{1,5} / (B \times Lpp)$$

El coeficiente "A" toma los valores respectivos de 0,8; 0,65; 0,55 y 0,5 cuando el número de palas de la hélice es 3, 4, 5 y 6 respectivamente.

Clara "b":

$$b = 1,5 \times a$$

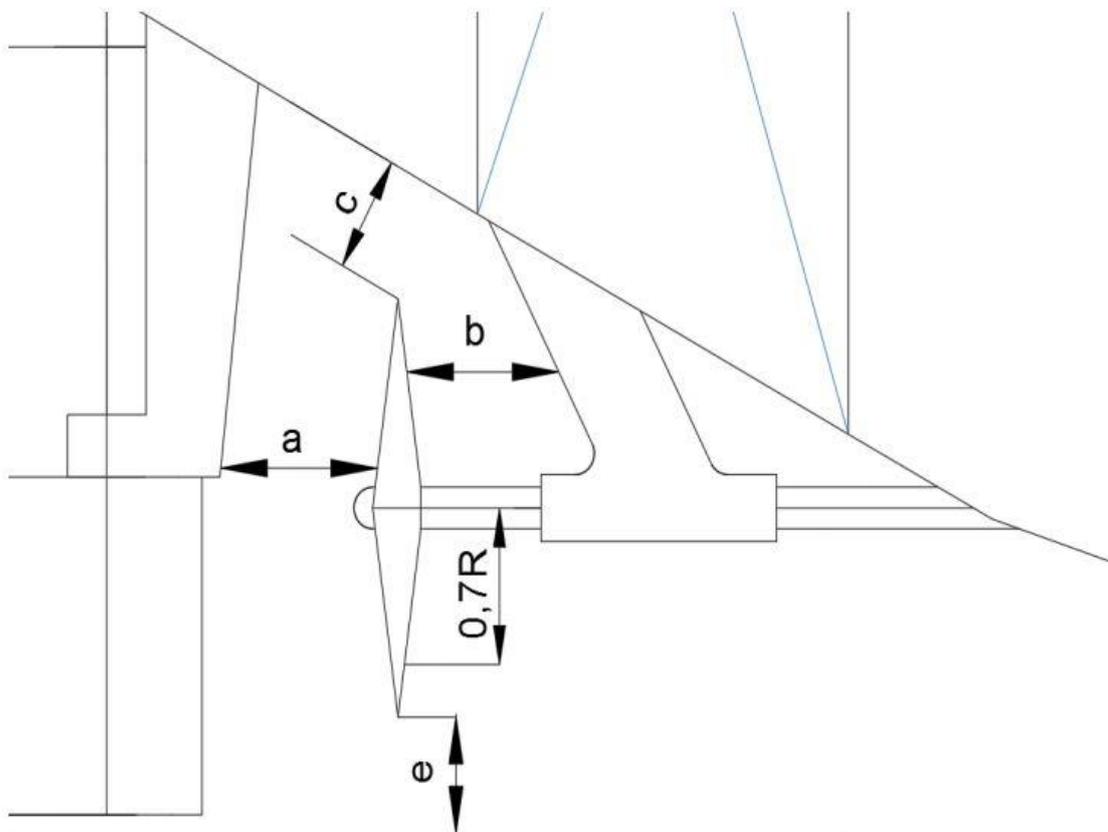
Clara "c":

La clara "c" ha de ser igual o mayor que el valor mayor entre:

$$c = 0,12 \times D$$

c= espesor máximo del timón

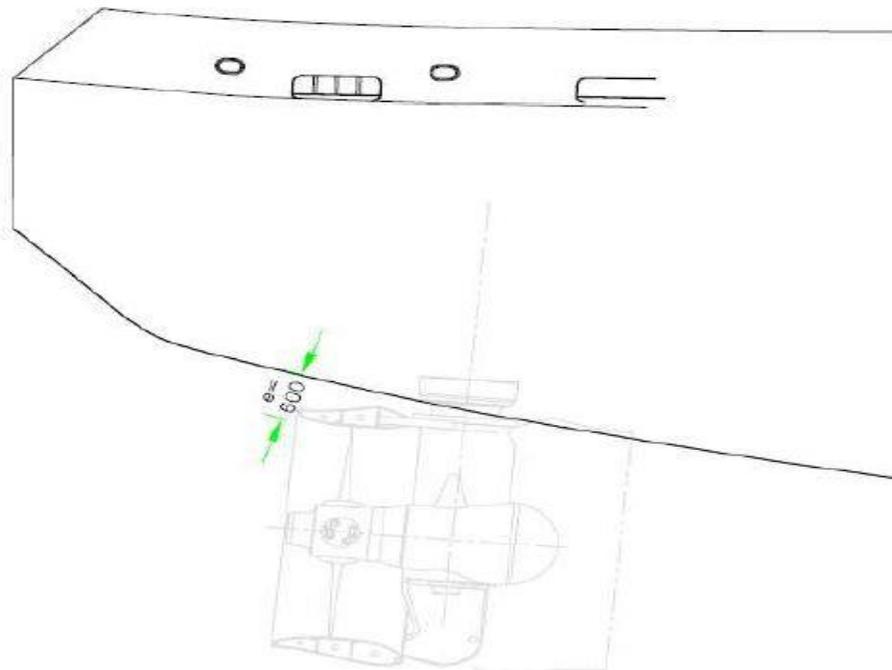
En esta figura se indican estas claras mínimas exigidas por la sociedad de clasificación que contempla nuestra RPA aunque no será este el modelo de hélice escogido para nuestro buque:



Nuestro buque llevará hélices azimutales, con lo cual dichos valores no nos resultarían de interés.

El fabricante Shottel, suministrador de prestigio para este tipo de propulsores, recomienda para la gama de potencias en la cual se encuentra nuestro buque, (2100-2500 Kw) el modelo SRP 4000T, con un diámetro de hélice de 2,80 m.

Mostramos una imagen de la serie 4000 así como quedaría su ubicación en nuestro buque:



3.3 DISEÑO DE LAS FORMAS

Podremos obtener las formas del buque de las siguientes maneras:

- Generando formas propias que podrían ser probadas en un canal de experiencias hidrodinámicas
- A partir de una serie sistemática
- Proyecto de formas por distorsión de formas existentes

Dentro de este último, un conjunto de métodos está basado en los sistemas de distorsión afín por variación proporcional o no de las dimensiones del buque.

Esta distorsión afín (multiplicación proporcional de la caja de cuadernas), es el más comúnmente empleado

Existen otros métodos de distorsión de formas basados en ecuaciones matemáticas que representan las diferentes líneas del buque.

La generación de formas propias no se contempla en este anteproyecto.

Aunque la aplicación a partir de una serie sistemática es sencilla y abarca prácticamente la totalidad de proyectos de buques más frecuentes, no se adapta a nuestro tipo de buque, debido a las particularidades de las formas de un remolcador. Daremos unas indicaciones del modo de hacerlo con este método aunque nos decantamos por la realización de una transformación paramétrica a partir del modelo para remolcadores que tiene predeterminado el programa maxsurf.

La explicación de la obtención de las formas a partir de esta serie está sacada de los apuntes del profesor Vicente Díaz y del libro "Proyecto de las formas de un buque" del profesor Fernando Junco.

Serie sistemática BSRA:

Se aplica con el campo de variación:

$0,55 < C_b < 0,85$ tanto se trate de buques con bulbo o sin él.

Las flotaciones que muestra la serie están en porcentajes de calado según la siguiente tabla:

% calado

7,69
 15,38
 23,08
 38,46
 53,85
 69,23
 84,62
 100
 115,38
 130,77

Otra tabla nos muestra los puntos de tangencia en el fondo en función del coeficiente de bloque:

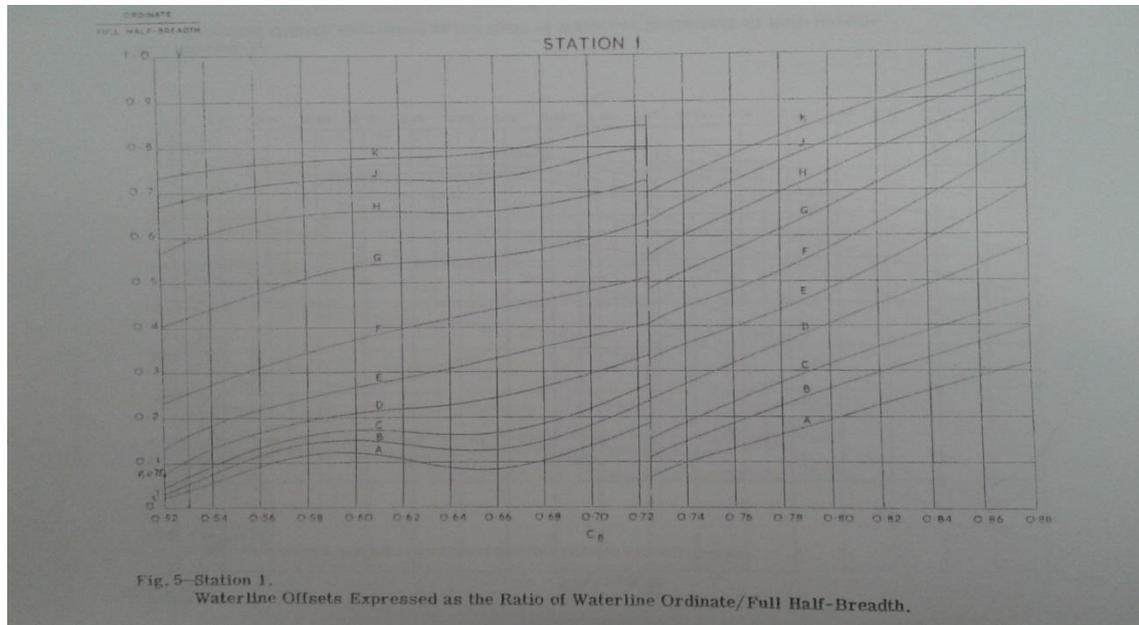
TABLE 3
 Offsets of Tangent to Flat of Bottom: Normal Forms
 (Expressed as the Ratio of Ordinate/ Full Half-Breadth)

C _B	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60	0.62	0.64	0.66	0.68	0.70	0.72
Stn											
1/4	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.017	0.017	0.017	0.018
1/2	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.017	0.017	0.017	0.018
3/4	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.017	0.017	0.017	0.018
1	0.016	0.027	0.030	0.030	0.023	0.021	0.020	0.020	0.020	0.031	0.052
1 1/2	0.016	0.033	0.042	0.044	0.042	0.037	0.030	0.026	0.030	0.058	0.127
2	0.017	0.044	0.062	0.072	0.076	0.075	0.070	0.069	0.080	0.120	0.235
2 1/2	0.026	0.064	0.093	0.113	0.128	0.139	0.147	0.164	0.193	0.245	0.362
3	0.150	0.163	0.179	0.198	0.223	0.250	0.285	0.326	0.375	0.435	0.500
3 1/2	0.482	0.432	0.396	0.377	0.380	0.411	0.473	0.543	0.598	0.630	0.627
4	0.762	0.662	0.594	0.560	0.562	0.591	0.637	0.687	0.724	0.737	0.727
5	0.647	0.681	0.711	0.733	0.754	0.768	0.781	0.792	0.800	0.807	0.813
6	0.249	0.363	0.454	0.527	0.588	0.640	0.684	0.703	0.755	0.783	0.806
6 1/2	0.058	0.162	0.260	0.347	0.427	0.498	0.564	0.625	0.680	0.734	0.783
7	—	0.060	0.120	0.187	0.257	0.330	0.408	0.486	0.568	0.651	0.734
7 1/2	—	—	0.040	0.082	0.131	0.186	0.250	0.327	0.415	0.517	0.642
8	—	—	—	0.021	0.049	0.082	0.123	0.178	0.248	0.348	0.482
8 1/2	—	—	—	—	0.003	0.015	0.034	0.063	0.106	0.170	0.268
9	—	—	—	—	—	—	—	—	0.005	0.028	0.065

A partir de las gráficas para las distintas secciones y entrando con el valor del coeficiente de bloque, obtenemos un valor en el eje de ordenadas que al

multiplicarlo por la semimanga de nuestro buque, vamos sacando las distintas semimangas para cada sección a los distintos calados:

Muestra de gráfica de una de las secciones:



Esta es la cartilla de trazado que obtenemos para nuestro buque, y que utilizaríamos en caso de obtener las formas con la utilización de la serie sistemática BSRA:

Columna1	LB	L.A.1	L.A.2	L.A.3	L.A.4	L.A.5	L.A.6	L.A.7	L.A.8	L.A.9	CUB. PRPAL
SECCIONES											
0									0,77	1,43	1,98
1/4	0,016	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,165	0,50	1,49	2,20	2,64
1/2	0,016	0,06	0,06	0,11	0,22	0,28	0,385	1,10	2,20	2,81	3,19
3/4	0,016	0,14	0,17	0,22	0,33	0,50	0,825	1,71	2,75	3,30	3,69
1	0,021	0,11	0,17	0,25	0,41	0,72	1,375	2,31	3,25	3,74	4,07
1 1/2	0,024	0,22	0,39	0,66	1,38	1,98	2,585	3,36	4,02	4,46	4,73
2	0,03	0,77	1,27	1,71	2,42	3,08	3,685	4,24	4,62	4,95	5,06
2 1/2	0,045	1,60	2,26	2,81	3,58	4,18	4,565	4,84	5,12	5,34	5,39
3	0,156	2,53	3,36	3,91	4,51	4,90	5,17	5,34	5,39	5,45	5,45
3 1/2	0,457	3,69	4,40	4,84	5,17	5,34	5,445	5,50	5,50	5,5	5,5
4	0,712	4,57	5,06	5,34	5,50	5,50	5,5	5,50	5,50	5,5	5,5
5	0,664	4,51	5,01	5,23	5,39	5,45	5,5	5,50	5,50	5,5	5,5
6	0,306	3,08	3,69	4,13	4,57	4,84	5,06	5,17	5,23	5,34	5,5
6 1/2	0,11	2,31	2,92	3,41	3,96	4,29	4,565	4,73	4,90	5,01	5,12
7		1,49	2,15	2,64	3,25	3,63	3,905	4,13	4,29	4,46	4,51
7 1/2		0,94	1,49	1,93	2,64	2,86	3,19	3,38	3,58	3,74	3,96
8		0,44	0,88	1,21	1,71	2,09	2,31	2,53	2,75	2,97	3,11
8 1/2		0,11	0,44	0,72	1,1	1,32	1,54	1,76	1,93	2,09	2,26
9			0,17	0,33	0,55	0,74	0,935	1,05	1,18	1,27	1,43
9 1/4			0,11	0,22	0,39	0,50	0,6325	0,74	0,85	0,96	1,05
9 1/2			0,06	0,11	0,22	0,30	0,385	0,47	0,55	0,61	0,72
9 3/4					0,08	0,11	0,165	0,22	0,28	0,39	0,39
10										0,055	0,11

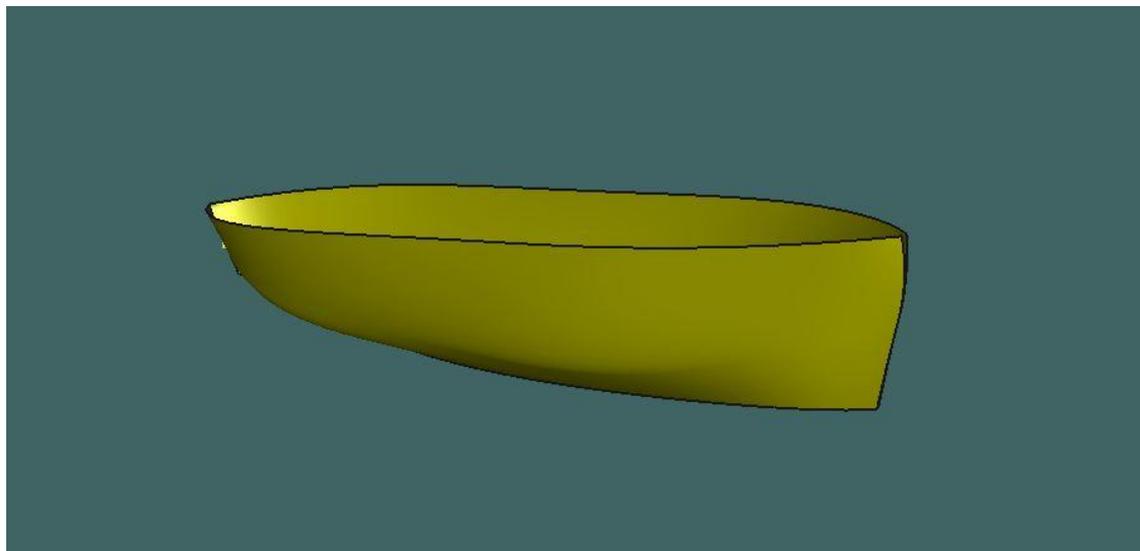
T (m)= 4,45		L.A. 1 = 0,34		Manga(m)= 11	
		L.A. 2 = 0,68			
D (m)= 5,45		L.A. 3 = 1,03			
		L.A. 4 = 1,71		Separación secciones	2,8
Lpp(m)= 28		L.A. 5 = 2,40			
		L.A. 6 = 3,08			
		L.A. 7 = 3,77			
		L.A. 8 = 4,45			
		L.A. 9 = 5,13			
		CUB. PRPAL	5,45		

Los datos obtenidos se configuran en columnas en Excel, y los guardamos en Texto(MS-DOS) para posteriormente importarlos desde Maxsurf.

Una vez importados como markers dichos valores, se genera una malla y se ordenan por sección.

A partir de dichos markers generamos las curvas para la obtención de las superficies de nuestro buque. Trataremos de que estas generen superficies de formas suaves, sin cambios bruscos. Se añadirán superficies para terminar de cerrar las formas de nuestro casco.

Mostramos la forma obtenida con este método a pesar de no ser por el que optamos como explicamos más adelante:



Nosotros optamos por la generación de las formas a partir de una transformación paramétrica del modelo que el programa maxsurf contempla para buques de este tipo "Harbour tug" debido a que como explicamos anteriormente ,según el libro "Proyectos de buques y artefactos" del profesor Fernando Junco, la serie BSRA, se aplica para buques mercantes y un campo de variación del coeficiente de bloque en el cual tampoco nos encontramos; es por esto que todo lo anterior lo mostramos como ejemplo de cómo se haría aún no siendo el método escogido.

A continuación mostramos la cartilla de trazado del buque base:

Separación entre secciones transversales: 2300 mm

Separación entre líneas de agua: 670 mm

SECCIONES	BaseLine (mm)	L.A ½	L.A 1	L.A 2	L.A 3	L.A 4	L.A 5	L.A 6
-1/2						2210	2645	2760
0						2856	3331	
½						3295	3612	
1						3570	3750	
1 ½					3182	3746	3825	
2				2862	3720	3813	3861	
3			3243	3743	3831	3871	3898	
4	1350	3224	3633	3793	3860	3894	3919	
5	2115	3354	3601	3769	3844	3888	3921	
6	1757	3193	3418	3651	3767	3835	3889	
7		2811	3131	3414	3595	3700	3789	3864
8		1367	2263	2872	3202	3403	3555	3675
8 ½				2119	2700	3039	3277	3472
9					951	1978	2597	2952
9 ½								522

4 HIDROSTÁTICAS

Estos son los datos de las hidrostáticas que nos proporciona el Maxsurf Modeler Advance una vez realizada la transformación paramétrica:

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	745,3	t
2	Volume (displaced)	727,118	m ³
3	Draft Amidships	4,450	m
4	Immersed depth	4,449	m
5	WL Length	30,000	m
6	Beam max extents o	10,391	m
7	Wetted Area	397,956	m ²
8	Max sect. area	39,978	m ²
9	Waterpl. Area	272,757	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,606	
11	Block coeff. (Cb)	0,524	
12	Max Sect. area coeff	0,876	
13	Waterpl. area coeff.	0,875	
14	LCB length	15,621	from z
15	LCF length	13,325	from z
16	LCB %	52,070	from z
17	LCF %	44,418	from z
18	KB	2,748	m
19	KG fluid	0,000	m
20	BMt	2,884	m
21	BML	23,527	m
22	GMt corrected	5,632	m
23	GML	26,274	m
24	KMt	5,632	m
25	KML	26,274	m
26	Immersion (TPc)	2,796	tonne/c
27	MTc	6,994	tonne.
28	RM at 1deg = GMT.Di	73,255	tonne.

Density (water)

Std. densities

VCG

Los valores que nos proporcionan las hidrostáticas son muy similares a los que habíamos obtenido hasta ahora en los cuadernos anteriores:

$$C_b=0,524$$

$$C_p=0,606$$

$$C_m=0,87$$

Siendo $C_b=0,53$ $C_p=0,61$ y $C_m=0,86$ los obtenidos anteriormente.

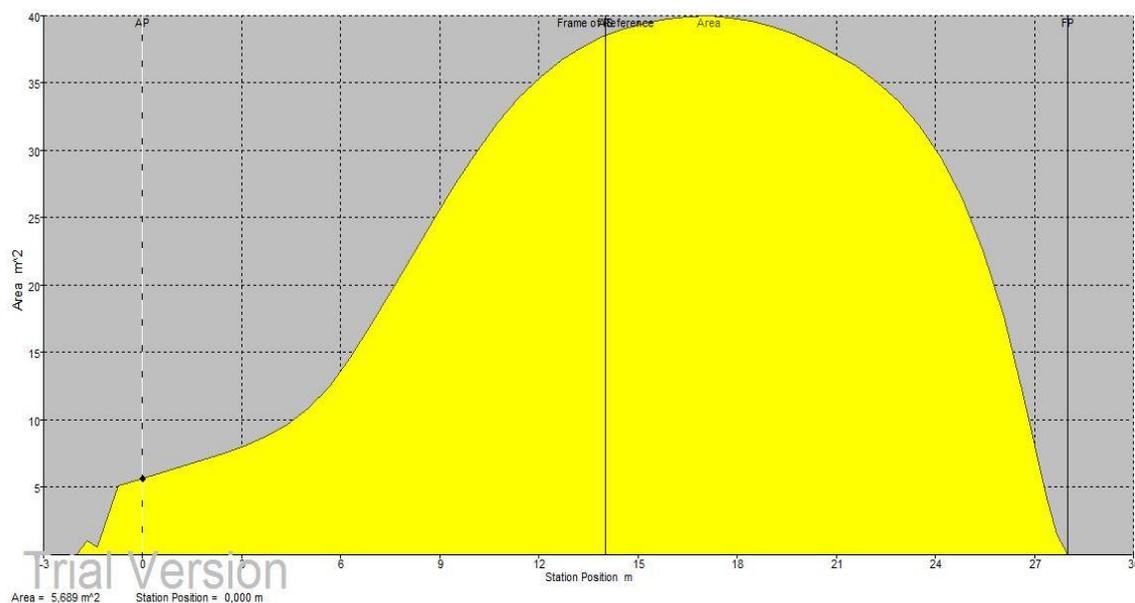
5 CURVA DE ÁREAS

La curva de áreas representa gráficamente la distribución longitudinal del volumen de carena (área encerrada bajo la curva).

Debe presentar una curva de contornos suaves sin grandes inflexiones.

La elección de la forma de la curva de áreas de cuadernas es decisiva para alcanzar una resistencia favorable y un buen comportamiento en la mar.

Esta es la obtenida a través del programa Maxsurf para nuestro buque:

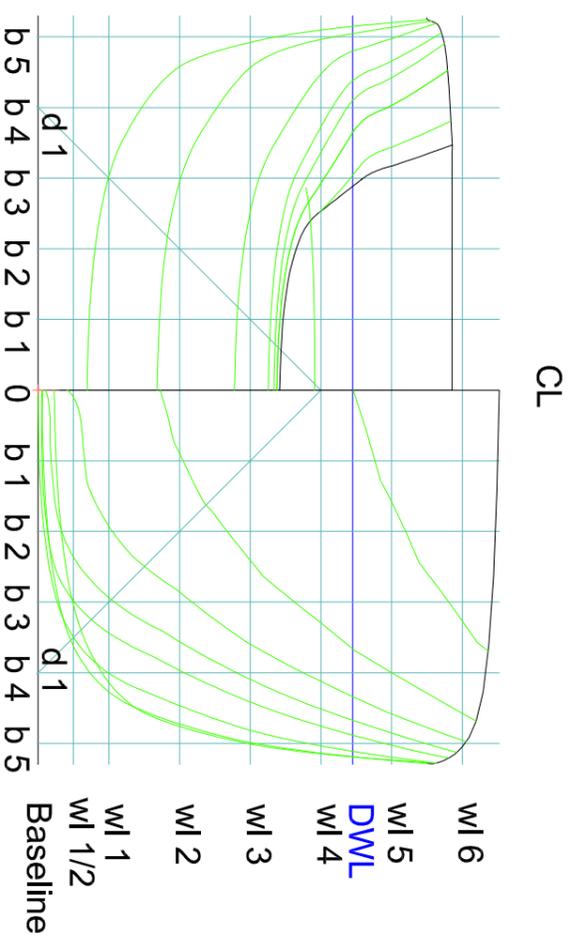
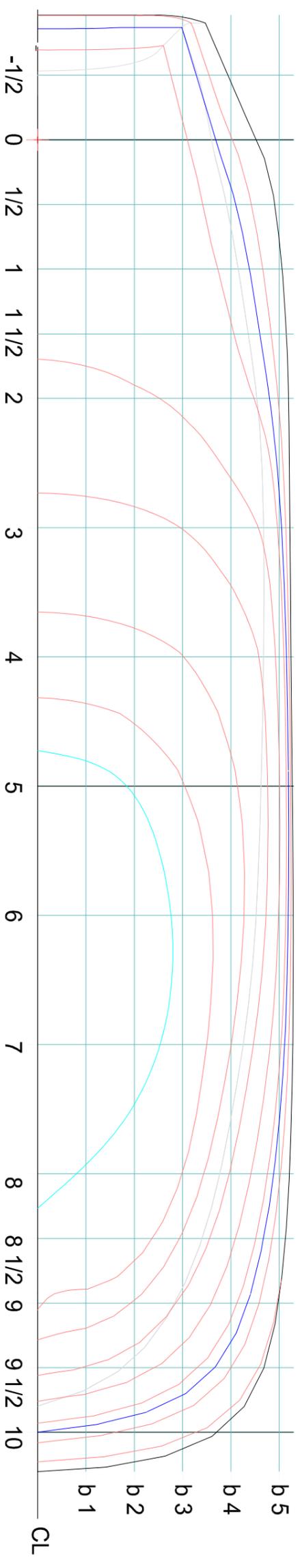
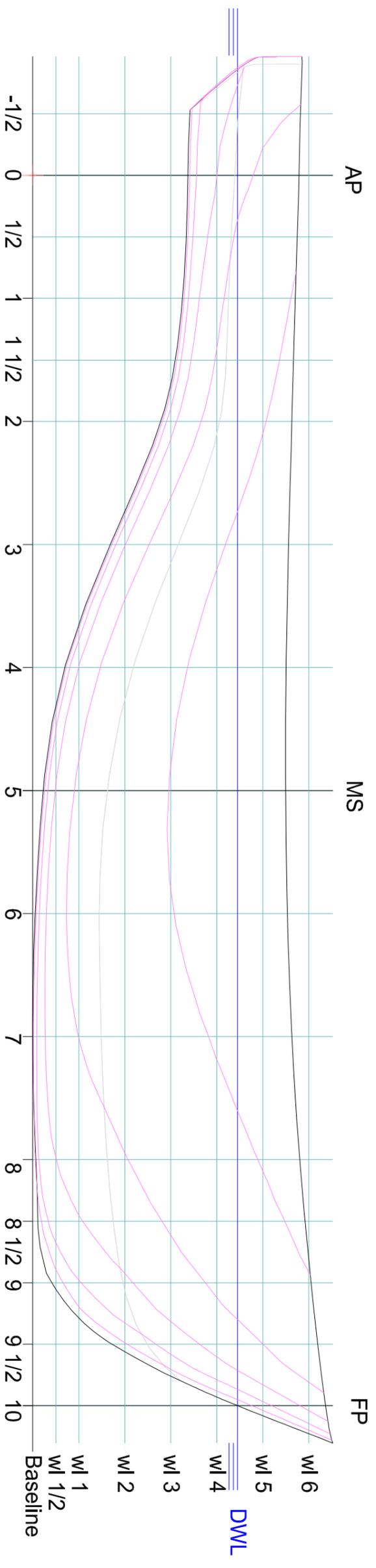


6 PLANO DE FORMAS

Mostramos la cartilla de trazado, así como el plano de formas obtenido para nuestro buque, una vez realizada la transformación paramétrica:

CONTORNO DE POPA		CONTORNO DE PROA	
	X (mm)		X (mm)
BASE LINE	16000	BASE LINE	22780
L.A. 1/2	11565	L.A. 1/2	24260
L.A. 1	9790	L.A. 1	24888
L.A. 2	7322	L.A. 2	25611
L.A. 3	4544	L.A. 3	26157
L.A. 4	-1970	L.A. 4	26610
L.A. 5	-2576	L.A. 5	27017
		L.A. 6	27409

SECCIONES	BaseLine (mm)	L.A ½	L.A 1	L.A 2	L.A 3	L.A 4	L.A 5	L.A 6
-1/2						2759	3547	
0						3099	4030	
½						3408	4412	
1						3718	4648	
1 ½						4056	4823	
2					2528	4477	4976	
3				2946	4564	4961	5135	
4			3017	4565	4928	5087	5192	
5	1844	3035	4126	4749	4990	5137	5225	
6	2750	3620	4272	4725	4986	5137	5241	
7	2524	3489	3996	4455	4803	5023	5184	
8	790	2973	3423	3955	4403	4744	5016	
8 ½		2337	2924	3547	4082	4502	4843	
9		113	1922	2856	3594	4122	4582	4957
9 ½				886	2403	3287	3988	4564
10							1578	3259



Características generales	
Esloira total	30,20 m
Lpp	26,80 m
Manga máxima	11,00 m
Puntal	5,45 m
Calado de trazado	4,45 m

Nombre buque:	Remolcador de puerto	Fecha:	Sept 2017	E.P.S Ferrol
Plano de Formas	Autor: Mario Martínez	Número Plano:		
Escala: 1/100	Firma:			