



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2017/18

BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA/O

Diego Carral Amenedo

TUTORAS/ES

Marcos Míguez González

FECHA

JULIO 2018

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

PROYECTO NÚMERO: 18-12

TIPO DE BUQUE: Bulkcarrier tipo “NEOPANAMAX” de 120.000 TPM adaptado a la operación en terminales graneleras del golfo de México y Asia.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, SOLAS, MARPOL y EXIGENCIAS DE LA ACP (Autoridad del Canal de Panamá).

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 120.000 T.P.M. grano, mineral, carbón

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 14 nudos en condiciones de servicio, 85% de MCR + 15% de margen de mar. 12.000 millas a la velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Escotillas de accionamiento hidráulico.

PROPULSIÓN: Un motor diesel acoplado a una hélice de paso fijo, motores auxiliares de tipo dual (FUEL-GNL).

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 30 tripulantes en camarotes individuales.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques y posibilidad de interconexión del cuadro eléctrico del buque con la corriente de tierra.

Ferrol, 30 Octubre 2017

ALUMNO/A: **D. DIEGO CARRAL AMENEDO**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO/MÁSTER
CURSO 2017/18**

BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 3

“COEFICIENTES Y PLANO DE FORMAS”

Indice

1 RPA	2
2 Introducción	5
3 Cálculo de coeficientes	6
4 Estudio del contorno de proa	7
4.1 Estudio del bulbo	7
5 Estudio del contorno de popa.....	8
6 Proceso de diseño de las formas	11
6.1 Formas del buque de partida	11
6.2 Obtencion de las formas finales	12
7 Curva de areas seccionales	16
8 Anexo 1_Codaste	17
9 Anexo 2_Formas Buque Partida	18
10 Anexo 3_Plano Formas Finales	19

2 INTRODUCCIÓN

En este Cuaderno trataremos de determinar el plano de formas del buque, dichas formas gobiernan principalmente dos cuestiones como son la capacidad de llevar carga y la resistencia al avance.

Nuestro propósito es el de diseñar un buque capaz de llevar las 120.000 TPM a la vez que minimice la resistencia al avance y por lo tanto los costes de la propulsión (costes de construcción y de operación).

El método de generación de las formas del buque depende, en un alto grado, de los recursos disponibles (capacidad de cálculo, recursos humanos, canales de experiencia, software disponible) y del tipo de buque (si es un buque novedoso o uno del que ya existen muchos otros muy similares). Podemos diferenciar dos casos:

1. Existencia de un buque base.
2. No existencia de un buque base, lo que implica:
 - a. Generación de las formas a partir de series sistemáticas.
 - b. Generación de las formas directamente a partir de los parámetros que se han calculado inicialmente en la cifra de mérito (Esta solución es la más costosa).

Además debemos realizar un estudio específico en las zonas de proa y de popa por la mejora que estas zonas pueden conllevar de cara a las características hidrodinámicas del buque. En concreto se va a desarrollar:

1. Zona de proa, comprobando la necesidad de instalar o no un bulbo.
2. Zona de popa (codaste): estudio de la integración de la hélice en el codaste, y definición de máximo diámetro del propulsor.

En nuestro caso, gracias a la existencia de un buque base, el método que emplearemos será el primero. Nos basaremos en una forma ya existente en la base de datos del programa Maxsurf que es similar a las formas de nuestro buque base, y mediante ciertos ajustes y retoques en las formas obtendremos finalmente nuestro buque.

Las dimensiones de nuestro buque son las siguientes:

Lpp	B	D	T(Δ)	Cb	Δ (Tn)	Fn	BHP (kW)
245,05	42,4	21,55	14,86	0,894	142.167	0,147	21600

3 CÁLCULO DE COEFICIENTES

De acuerdo a lo considerado tanto en el Cuaderno 1 como en el Cuaderno 2, los coeficientes serán:

Coeficiente de bloque:

$$C_B = 0,8940$$

Coeficiente de la flotación:

$$C_F = C_B^{0,5} + 0,04$$

$$C_F = 0,896^{0,5} + 0,04 = 0,9870$$

Coeficiente de la maestra:

$$C_F = 1 - N_F^4$$

$$N_F = \frac{7,46}{\sqrt{g * Lpp}} = \frac{7,46}{\sqrt{9,81 * 245,05}} = 0,15215$$

$$C_F = 1 - 0,1521^4 = 0,9995$$

Coeficiente prismático:

$$C_P = C_B / C_M$$

$$C_P = 0,894 / 0,9995 = 0,8944$$

4 ESTUDIO DEL CONTORNO DE PROA

4.1 Estudio del bulbo

El estudio del contorno de proa se resume en gran medida al uso o no de bulbo.

Para saber si nuestro buque llevará o no bulbo debemos calcular ciertas relaciones presentadas en los apuntes de la asignatura “Proyectos de Buques y Artefactos 1”, que de cumplirse, es decir, que la relación para nuestro buque se encuentre dentro de los márgenes, indicaría que es beneficioso emplear bulbo de proa. Las relaciones son las siguientes:

- Primer margen

$$Cb * \frac{B}{Lpp} < 0,135$$

Pero en nuestro caso:

$$Cb * \frac{B}{Lpp} < 0,135 \text{ --- NO CUMPLE --- } 0,894 * \frac{42,4}{245,05} = 0,155$$

- Segundo margen:

$$0,65 < Cb < 0,815 \text{ --- NO CUMPLE --- } Cb = 0,894$$

- Tercer margen:

$$5,5 < \frac{Lpp}{B} < 7,0 \text{ --- SI CUMPLE --- } Lpp/B = 5,7$$

- Cuarto margen:

$$0,24 < Fn < 0,57 \text{ --- NO CUMPLE --- } Fn = 0,147$$

Como podemos comprobar al no cumplir 3 de las 4 recomendaciones no sería recomendable el uso de bulbo.

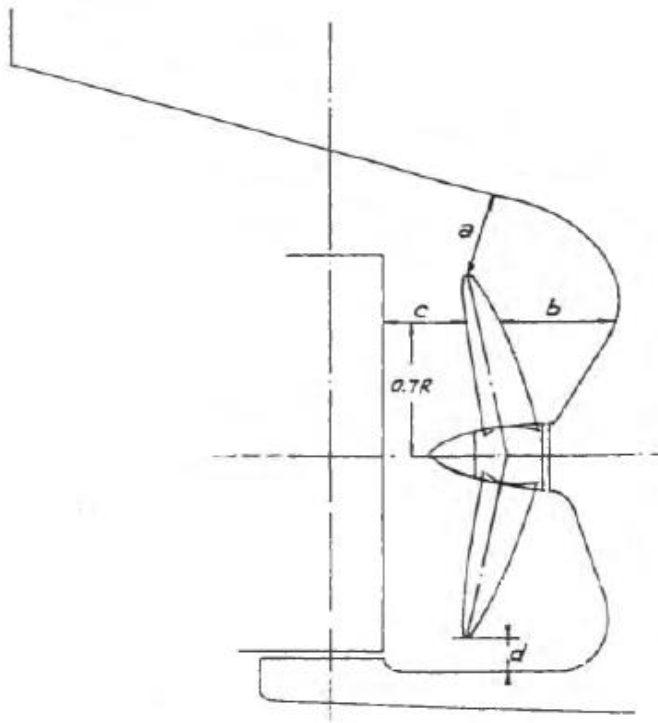
Conclusión: desarrollaremos las formas de nuestro buque sin bulbo.

5 ESTUDIO DEL CONTORNO DE POPA

El trazado de la zona de popa del buque tiene gran influencia en el rendimiento propulsivo. Por un lado por su influencia en el fenómeno de separación del flujo y por tanto en la resistencia viscosa, y por otro en el rendimiento del propulsor que es máximo cuando la estela es homogénea.

Para el trazado de esta zona debemos tener en cuenta los siguientes aspectos

- Dar cabida a la hélice con una inmersión adecuada.
- Disponer los huelgos mínimos entre hélice, codaste y timón. Las SSCC imponen unos requisitos mínimos de seguridad que para el caso de la Lloyd's podemos ver de forma esquemática en la siguiente figura:



En nuestro caso:

$$D_{HELICE} = 7,64 \text{ m}$$

$$0,7 * R = 0,7 * \frac{7,64}{2} = 2,667 \text{ m}$$

$$K = \left(0,1 + \frac{Lpp}{3050}\right) \left(\frac{2,56 * C_B * P}{Lpp^2} + 0,3\right) = 0,2019$$

Siendo: $P = \text{potencia en kW}$

Clara a: $a = A * K * D = 0,75 * 0,2026 * 7,64 = 1,157 m$

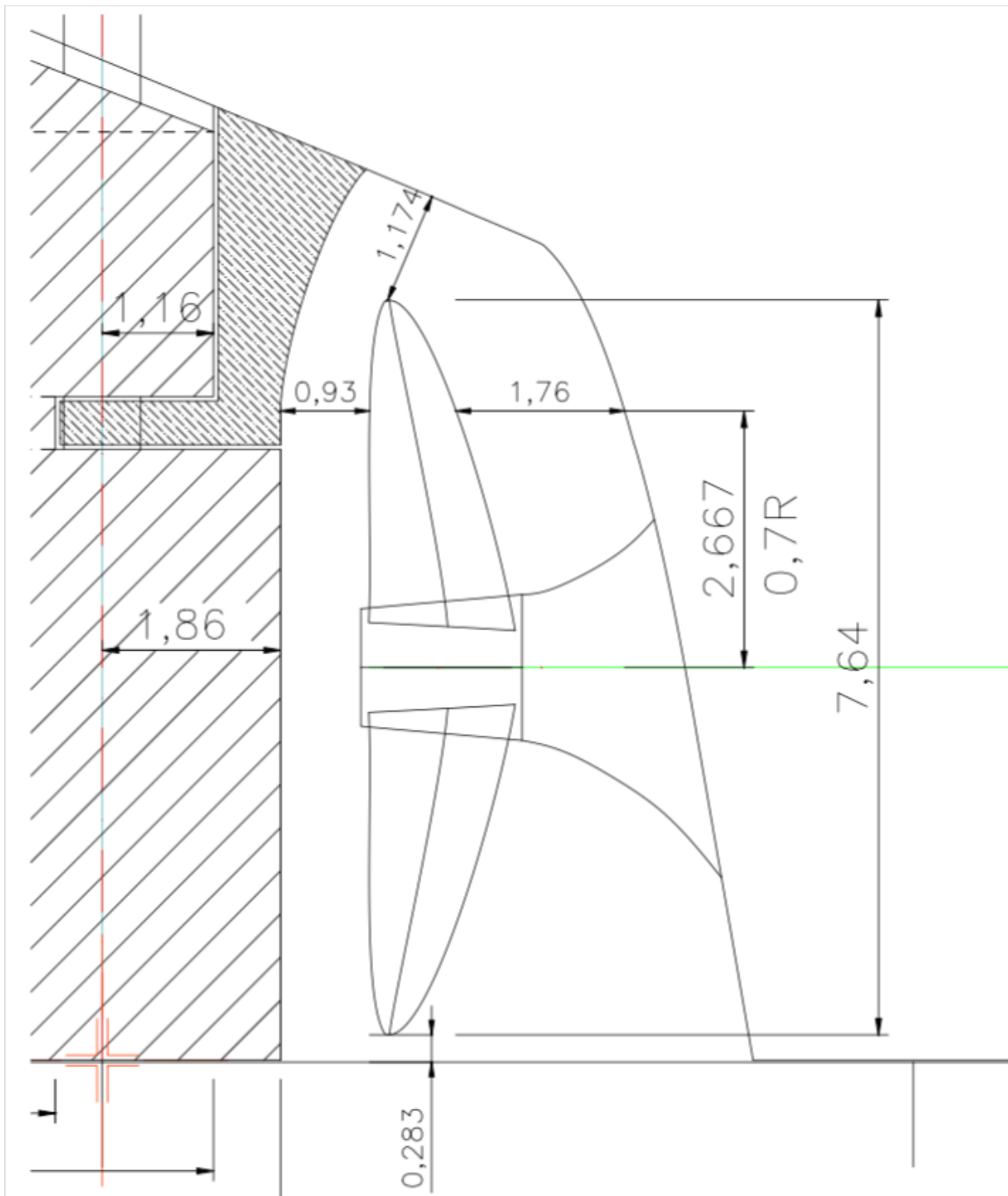
A toma el valor de 0,75 por ser de 6 palas nuestra hélice.

Clara b: $b = 1,5 * a = 1,735 m$

Clara c: $c = 0,12 * D = 0,917 m$

Clara d: $d = 0,03 * D = 0,267 m$

Adjunto imagen del codeaste del Buque Proyecto dibujado a partir de las formas del buque extraídas de Maxsurf, en ella se pueden observar las claras existentes y como estas cumplen con el mínimo calculado. El plano de la zona del codaste se incluye en el Anexo 1.



El trazado final de las líneas de agua ha de hacerse de manera que se minimice la separación y por lo tanto la resistencia viscosa. Para ello se recomienda que en ningún caso el semiángulo de estas líneas supere los 30° . De la misma manera, el trazado del final de los cortes paralelos a crujía ha de hacerse de manera que se minimice la separación y por lo tanto la resistencia viscosa. Para ello se recomienda que en ningún caso el ángulo de estas líneas con la horizontal supere los 30° (aunque la experiencia indica que para ángulos superiores a 15° se produce separación). Esta misma limitación del ángulo es aplicable a los cortes verticales de las formas.

6 PROCESO DE DISEÑO DE LAS FORMAS

6.1 Formas del buque de partida

En nuestro caso, como ya hemos mencionado anteriormente, emplearemos como punto de partida de nuestro diseño un buque de la base de datos del Software “MAXSURF” con unas formas similares a nuestro buque base. Como el modelo de bulkcarrier no se adapta a nuestras formas ni al coeficiente de bloque buscado, decidimos emplear el modelo de un petrolero de gran eslora por su similitud en coeficientes y formas a nuestro Buque de Proyecto. Adjunto a continuación la información sacada de Maxsurf sobre el buque inicial:

Como podemos observar los coeficientes se asemejan, dentro de las posibilidades de la base de Maxsurf, a los que buscamos para nuestro buque. Las vistas de este buque inicial serían las siguientes:

DATOS BUQUE INICIAL

Displacement	308625 t
Volume (displaced)	301097,591 m ³
Draft Amidships	20,422 m
Immersed depth	20,422 m
WL Length	330,366 m
Beam max extents on WL	54,252 m
Wetted Area	27025,599 m ²
Max sect. area	1103,764 m ²
Waterpl. Area	16055,723 m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,826
Block coeff. (Cb)	0,823
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,996
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,896
LCB length	12,304 from amidsh. (+ve fwd) m
LCF length	4,753 from amidsh. (+ve fwd) m
LCB %	3,725 from amidsh. (+ve fwd) % Lbp
LCF %	1,439 from amidsh. (+ve fwd) % Lbp
KB	10,598 m
KG fluid	0 m
BMt	11,909 m
BML	401,568 m
GMt corrected	22,506 m
GML	412,166 m
KMt	22,506 m
KML	412,166 m
Immersion (TPc)	164,571 tonne/cm
MTc	3850,487 tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1	121225,334 tonne.m
Length:Beam ratio	6,089
Beam:Draft ratio	2,657
Length:Vol ^{0.333} ratio	4,929

Adjunto plano de formas del buque de partida como **Anexo 2_Formas Buque Partida**.

Para hacernos una idea de las formas del buque que buscamos según las dimensiones y coeficientes calculados hasta ahora, y las formas del buque inicial de la “librería” de Maxsurf del cual partimos, presentamos la siguiente tabla:

COMPARTIVA: COEFICIENTES CALCULADOS - COEFICIENTES BUQUE INICIAL

	C Bloque	C Flotación	C Maestra	C Prismático
Coef. Calculados	0,894	0,987	0,9995	0,8944
Buque Inicial	0,823	0,896	0,996	0,826

6.2 Obtencion de las formas finales

Mediante el software Maxsurf vamos a modificar las formas del buque inicial hasta conseguir un buque con los coeficientes del nuestro y unas formas que se ajusten al buque que hemos tomado como referencia, cuyas vistas han sido presentadas en el Cuaderno 1 como “croquis” de nuestro buque.

La modificación de las formas de dicho buque comienza por escalar el buque de partida y darle las dimensiones principales de nuestro Buque Proyecto.

Tambien debemos establecer la separación entre secciones, líneas de agua y planos longitudinales. En nuestro caso tendremos 30 secciones repartidas uniformemente a lo largo de la eslora entre perpendiculares. 8 líneas de agua repartidas uniformemente respecto al puntal y 6 planos longitudinales repartidos uniformemente respecto a la sem-imanga.

Una vez conseguido esto podemos realizar una transformación paramétrica para ajustar el coeficiente de bloque. En nuestro caso, que buscamos un coeficiente de bloque alto ($C_b=0,894$), debemos llenar las formas del buque porque el de partida tiene un coeficiente de bloque menor al nuestro, pese a ser alto en general.

Una vez obtenidas las formas del buque buscadas debemos dibujar la cubierta del mismo y las brazolas de las tapas de escotillas. Asimismo debemos conformar el castillo de proa, inexistente en el buque de partida, y darle forma a la proa para que se parezca a nuestras formas de referencia.

Finalmente obtenemos la cartilla de trazado de nuestro buque y sus coeficientes, todo obtenido del Maxsurf, que adjunto a continuación:

CARTILLA DE TRAZADO

	ST	ESPEJO	0	1	2	3	4	5	6	7
WL		-4,40	8,47	16,93	25,40	33,86	42,33	50,79	59,26	67,72
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	3,08	0,00	0,00	1,52	7,08	12,57	15,57	17,15	18,73	19,95
2	6,16	0,00	0,00	3,25	10,91	15,55	18,06	19,36	20,27	20,85
3	9,23	0,00	0,00	8,03	14,15	17,70	19,66	20,54	20,90	21,10
4	12,31	1,42	5,71	11,78	16,21	18,91	20,35	20,94	21,13	21,19
5	15,39	7,26	9,18	13,82	17,37	19,49	20,57	20,96	21,12	21,18
6	18,47	9,70	11,30	15,01	18,03	19,83	20,71	21,00	21,12	21,18
7	21,55	11,74	13,23	16,21	19,10	20,12	20,98	21,08	21,17	21,19

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
76,19	84,66	93,12	101,59	110,05	118,52	126,98	135,45	143,91	152,38	160,85	169,31
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20,65	21,01	21,15	21,18	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20
21,08	21,17	21,19	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20
21,17	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20
21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20
21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20
21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20
21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20

20	21	22	23	24	25	26	27	28,25	28,50	28,75	29
177,78	186,24	194,71	203,17	211,64	220,10	228,57	237,04	239,10	241,20	243,30	245,50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21,20	21,20	21,20	21,20	21,19	21,00	20,05	15,22	13,19	10,50	6,17	0,00
21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	20,92	16,89	15,03	12,45	8,64	0,00
21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	20,99	17,47	15,63	13,12	9,33	0,00
21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,03	17,78	15,92	13,42	9,57	0,00
21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,08	18,08	16,18	13,64	9,74	0,00
21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,14	18,44	16,53	14,06	10,53	4,31
21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	18,82	16,85	14,38	11,04	4,34

DATOS OBTENIDOS DE MAXSURF

Displacement	142652 t
Volume (displaced)	139172,428 m ³
Draft Amidships	14,9 m
Immersed depth	14,902 m
WL Length	249,99 m
Beam max extents on WL	42,402 m
Wetted Area	16379,692 m ²
Max sect. area	629,482 m ²
Waterpl. Area	9966,967 m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,901
Block coeff. (Cb)	0,897
Midship Sect. area coeff. (Cm)	0,996
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,957
LCB length	129,025 from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	123,757 from zero pt. (+ve fwd) m
LCB %	52,556 from zero pt. (+ve fwd) % Lbp
LCF %	50,41 from zero pt. (+ve fwd) % Lbp
KB	7,679 m
KG fluid	0 m
BMt	10,094 m
BML	335,288 m
GMt corrected	17,772 m
GML	342,967 m
KMt	17,772 m
KML	342,967 m
Immersion (TPc)	102,161 tonne/cm
MTc	1992,848 tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	44245,94 tonne.m
Length:Beam ratio	5,79
Beam:Draft ratio	2,845
Length:Vol ^{0.333} ratio	4,737

Como podemos apreciar se ajusta prácticamente al 100% con los datos calculados hasta ahora en los cuadernos 1 y 2. El desplazamiento es ligeramente superior (algo menos de 400 Tn) al calculado anteriormente fruto de que el coeficiente de bloque es 2 centésimas superior al considerado hasta ahora, y el calado lo hemos redondeado a 14,9 en lugar del 14,86 considerado hasta ahora. Con esto nos aseguramos que nuestro buque cumple con el desplazamiento necesario para ajustarse al Peso en Rosca calculado en el Cuaderno 2, y que dejamos pendiente de ajustar en este Cuaderno 3. Con estos datos cumpliríamos a raja tabla la RPA de Peso Muerto fijada en 120.000 TPM.

El plano de formas finales se adjunta en el **Anexo 3_Plano Formas Finales**.

En la siguiente tabla mostramos las diferentes dimensiones y coeficientes característicos de los “tres buques” que hemos tratado hasta ahora:

- En primer lugar la alternativa seleccionada como óptima, a partir de la cual hemos calculado sus coeficientes.
- En segundo lugar el buque de la base de datos de Maxsurf que hemos seleccionada como formas de partida por su similitud con las formas finales buscadas.
- Por último el buque obtenido de las formas finales, tras las ya explicadas modificaciones de las formas del buque de partida.

COMPARTIVA: ALTERNATIVA - FORMAS INICIALES MAXSURF - FORMAS FINALES

	ALTERNATIVA SELECCIONADA	INICIAL	FINAL
Eslora total (LOA) (m)	-	330	250
Eslora entre perpendiculares (Lpp) (m)	245,05	-	245,5
Manga (B) (m)	42,4	54,3	42,4
Calado (T) (m)	14,86	20,4	14,90
Puntal (D) (m)	21,55	-	21,55
Desplazamiento (Δ) (Tn)	142.167	308.625	142.652
Superficie Mojada (m ²)	-	27026	16380
Coefficiente Bloque (Cb)	0,894	0,823	0,897
Coefficiente Prismático (Cp)	0,8944	0,826	0,901
Coefficiente de la Maestra (Cm)	0,9995	0,996	0,996
Coefficiente de Flotación (Cf)	0,987	0,896	0,957

En resumen, las dimensiones y coeficientes principales del buque a partir de ahora serán las extraídas de las formas de Maxsurf, que recojo a continuación:

DIMENSIONES Y COEFICIENTES FINALES

Eslora total (LOA)	250 m
Eslora entre perpendiculares (Lpp)	245,5 m
Manga (B)	42,40 m
Calado (T)	14,9 m
Puntal (D)	21,55 m
Desplazamiento (Δ)	142652 Tn
Superficie Mojada	16380 m ²
Coefficiente Bloque (Cb)	0,897
Coefficiente Prismático (Cp)	0,901
Coefficiente de la Maestra (Cm)	0,996
Coefficiente de Flotación (Cf)	0,957

7 CURVA DE AREAS SECCIONALES

La curva de áreas seccionales representa la distribución del volumen de carena por debajo de la flotación. La información obtenida en este apartado radica en:

- Forma de repartir el **desplazamiento** del buque a lo largo de la eslora.

$$\Delta = 142652 Tn$$

- Obtención del **volumen de carena**.

$$\nabla = 139172 m^3$$

- Posición longitudinal del **centro de carena**

$$XB = 129,025 m$$

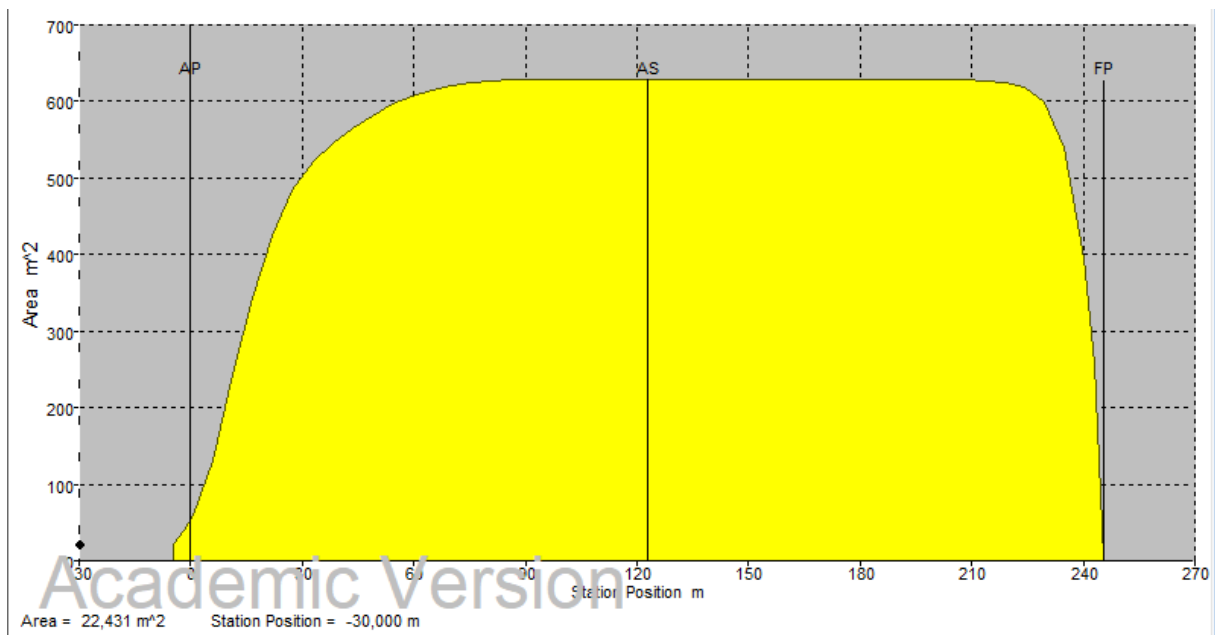
- **Área de la sección maestra**

$$A_{SM} = 629,482 m^2$$

- **Coeficiente prismático**

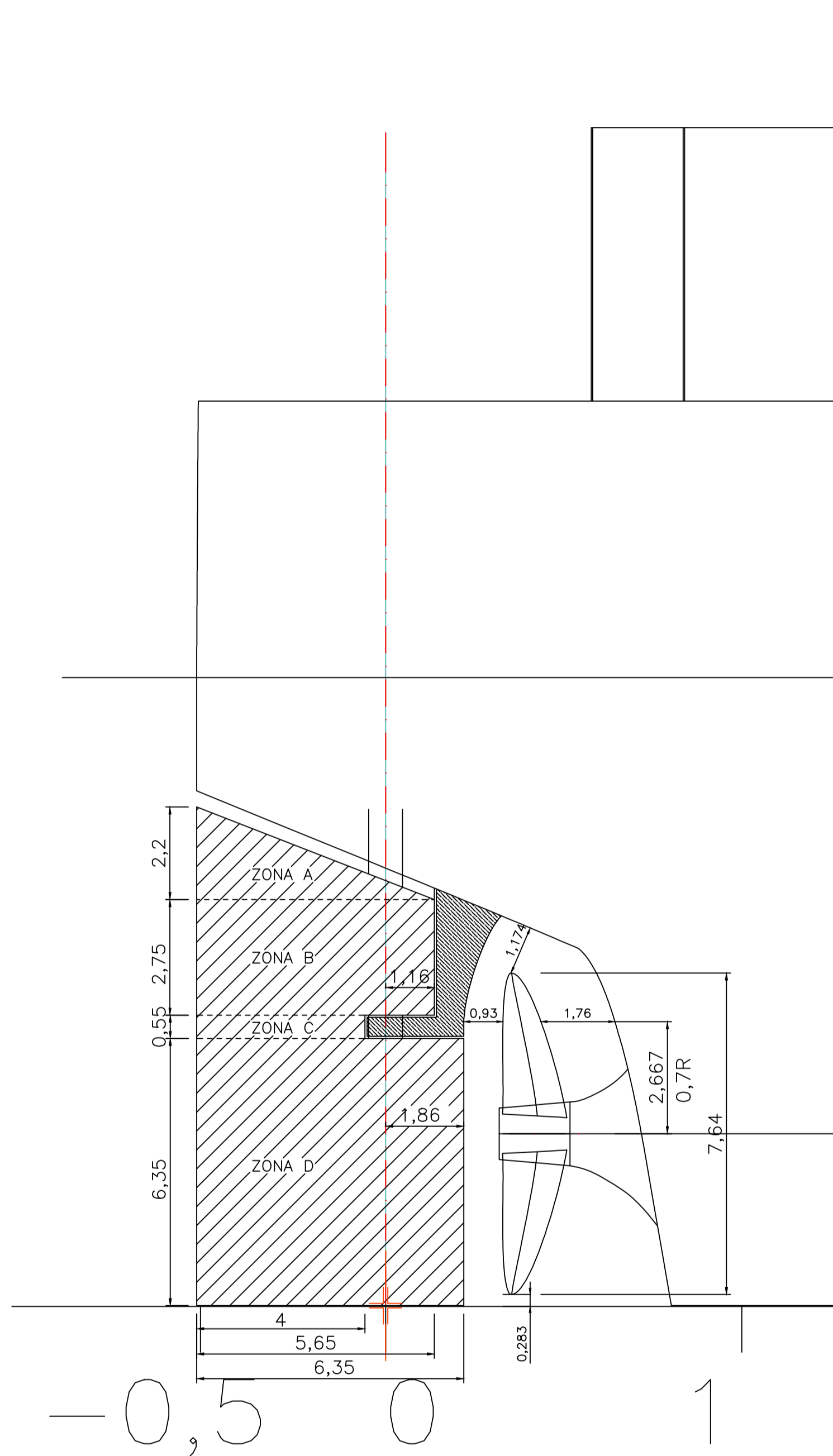
$$CP = 0,901$$

Extraemos del programa Maxusrf la curva de Areas Seccionales:



8 ANEXO 1_CODASTE

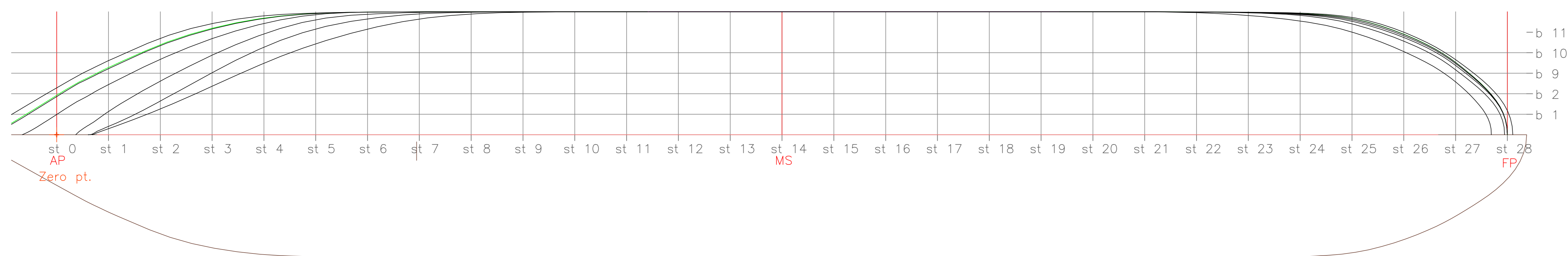
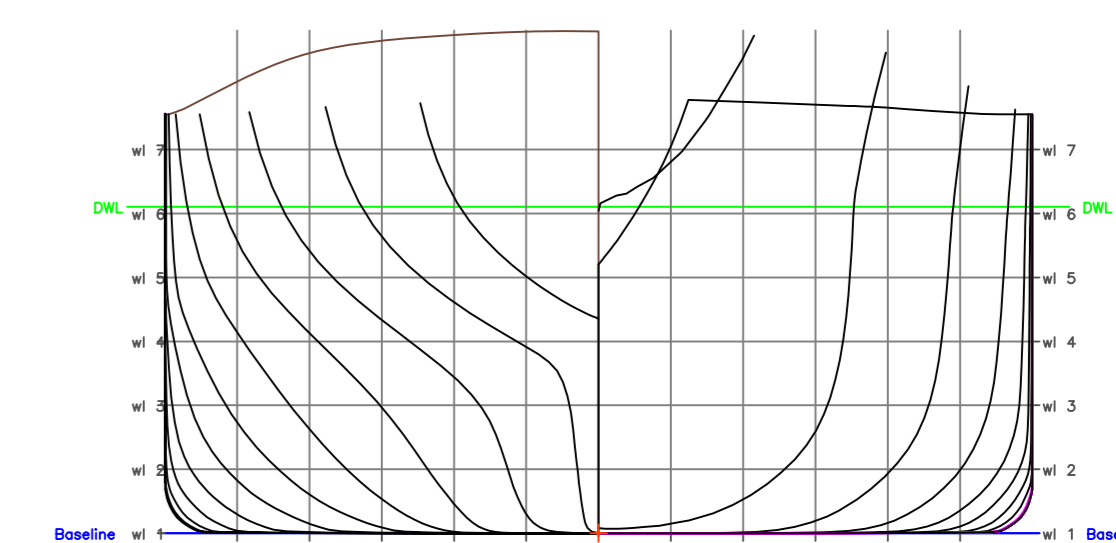
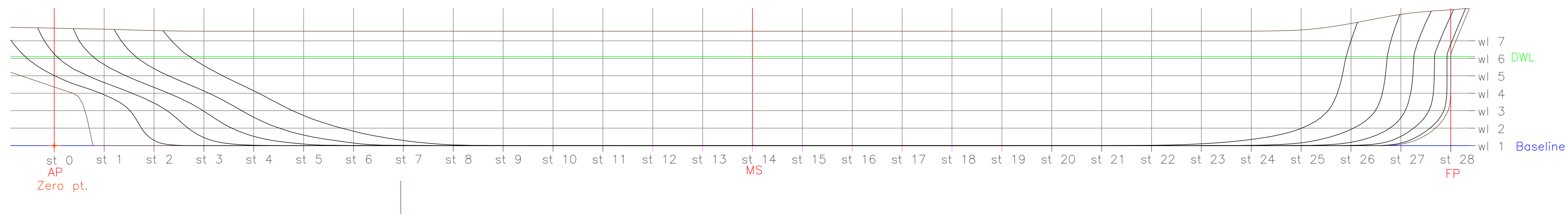
DWL



Zero pt.
AP

Alumno	Diego Carral Amenedo				
	BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM				
	TITULO DEL PLANO CODASTE				
	PROYECTO N° 18-12	FECHA	JULIO 2018	FORMATO	A4
		ESCALA	1/200	HOJA	1/1

9 ANEXO 2_FORMAS BUQUE PARTIDA



Diego Carral Amenedo

BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM

TITULO DEL PLANO
FORMAS INICIALES

PROYECTO Nº 18-12

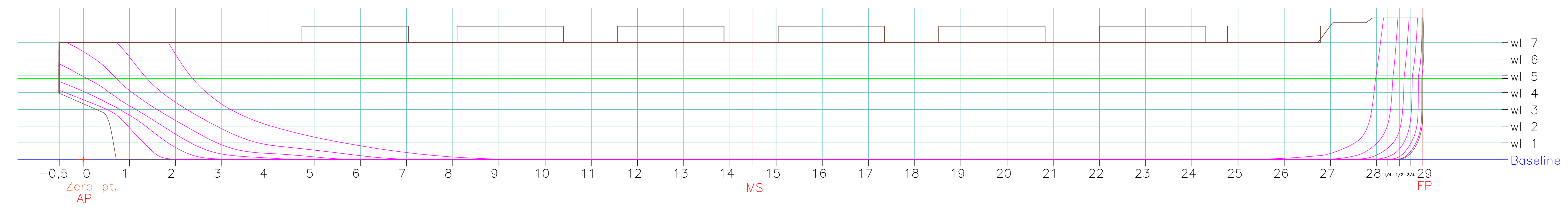
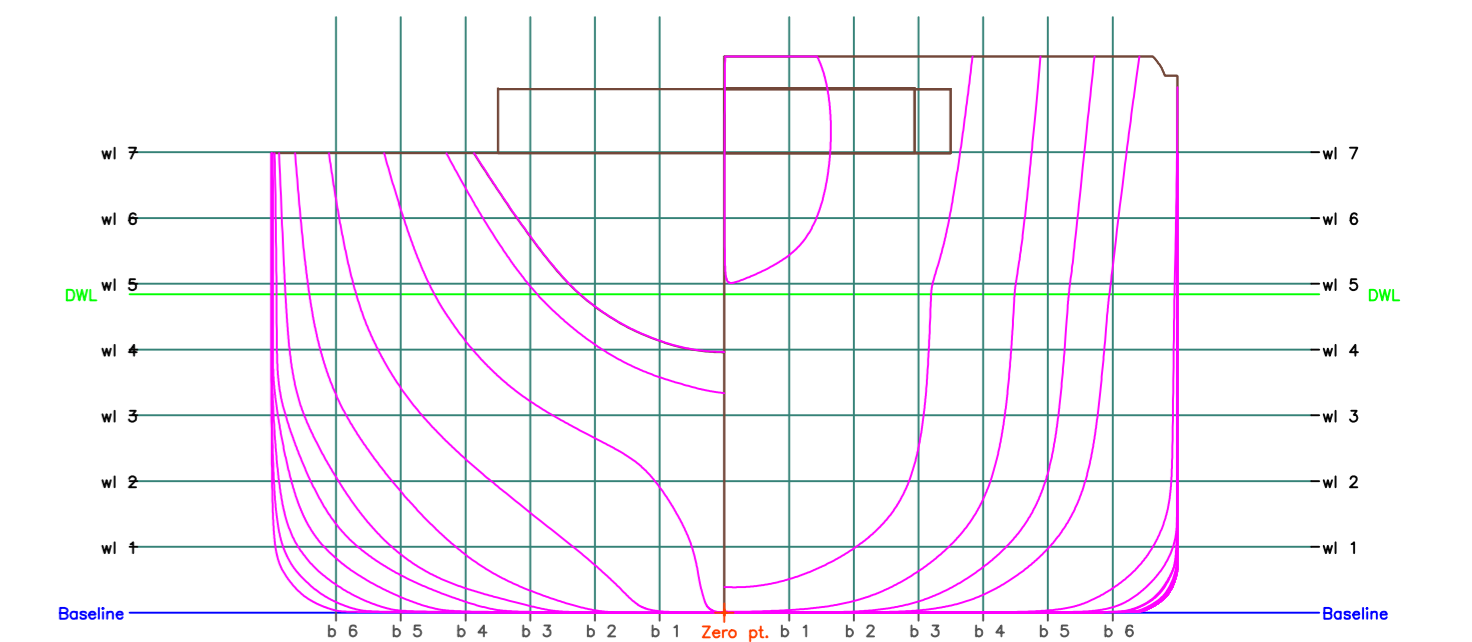
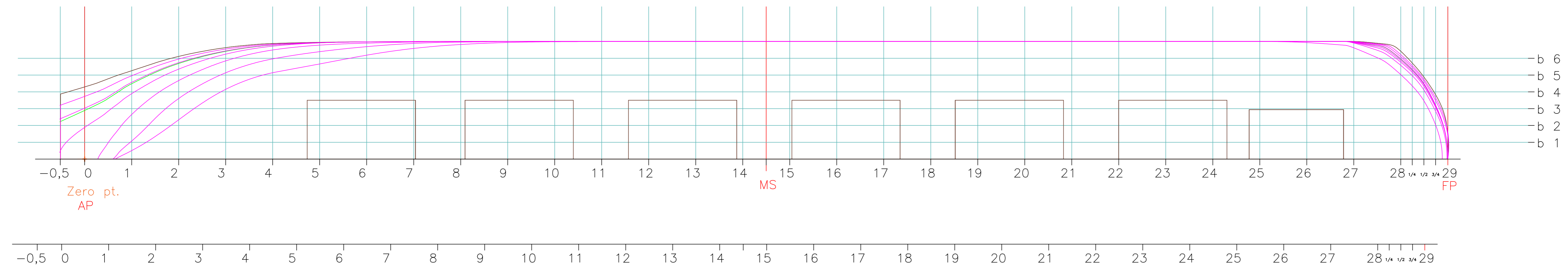
FECHA
ESCALA

JULIO 2018
1/1000

FORMATO
HOJA

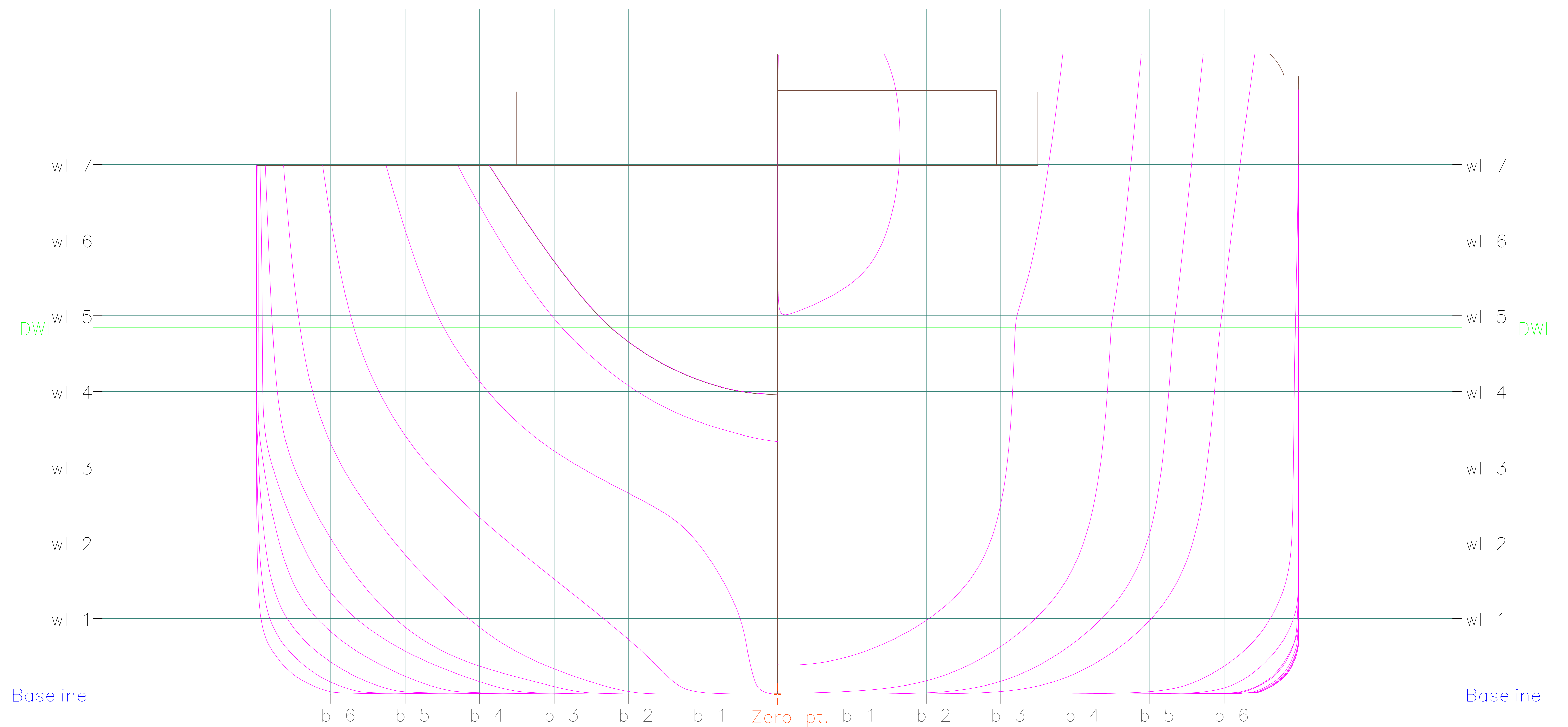
A3
1/1

10 ANEXO 3_PLANO FORMAS FINALES



DIMENSIONES PRINCIPALES	
Eslora total (LOA)	250 m
Eslora entre Perpendiculares (Lpp)	245,5 m
Manga (B)	42,4 m
Puntal (D)	21,55 m
Calado (T)	14,9 m
Peso Muerto	120.000 T.P.M

Alumno		Diego Carral Amenedo			
		BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM			
		TITULO DEL PLANO FORMAS FINALES			
PROYECTO N° 18-12		FECHA	JULIO 2018	FORMATO	A3
		ESCALA	1/1000	HOJA	1/1



Alumno		Diego Carral Amenedo			
		BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM			
		TITULO DEL PLANO CAJA DE CUADERNAS			
PROYECTO N° 18-12	FECHA	JULIO 2018	FORMATO	A4	
	ESCALA	1/250	HOJA	1/1	